**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

# İNŞAAT SEKTÖRÜNDE PLANLAMA VE KONTROL İŞ AKIŞ SÜREÇLERİNİN YAPI ENFORMASYONU MODELLEMESİ (BIM) KULLANILARAK ETKİNLEŞTİRİLMESİ: KAVRAMSAL BİR MODEL ÖNERİSİ

**DOKTORA TEZİ**

**Ayşen SARAÇ ÇIRACIOĞLU**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Proje ve Yapım Yönetimi Programı**

**EKİM 2021**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

# İNŞAAT SEKTÖRÜNDE PLANLAMA VE KONTROL İŞ AKIŞ SÜREÇLERİNİN YAPI ENFORMASYONU MODELLEMESİ (BIM) KULLANILARAK ETKİNLEŞTİRİLMESİ: KAVRAMSAL BİR MODEL ÖNERİSİ

**DOKTORA TEZİ**

**Ayşen SARAÇ ÇIRACIOĞLU**
**(502142458)**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Proje ve Yapım Yönetimi Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan YAMAN**

**EKİM 2021**

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502142458 numaralı Doktora Öğrencisi Ayşen SARAÇ ÇIRACIOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "İNŞAAT SEKTÖRÜNDE PLANLAMA VE KONTROL İŞ AKIŞ SÜREÇLERİNİN YAPI ENFORMASYONU MODELLEMESİ (BIM) KULLANILARAK ETKİNLEŞTİRİLMESİ: KAVRAMSAL BİR MODEL ÖNERİSİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Hakan YAMAN** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Hüsnü Murat GÜNAYDIN** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Atilla DİKBAŞ** .....
Medipol Üniversitesi

**Doç. Dr. Fatma Pınar ÇAKMAK** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Nurettin UĞURAL** .....
İstanbul Kültür Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 09 Eylül 2021**
**Savunma Tarihi : 11 Ekim 2021**

***Annem'e, Eşim'e ve Oğlum'a***

## ÖNSÖZ

Bu doktora çalışmasında ve bu tezin ortaya çıkmasında emeği ve katkısı olan herkese teşekkür ediyorum. Kuşkusuz ki bu teşekkürlerin en büyüğü çabalarıma olan katkısıyla, beni doğru hedeflere yönlendirmesiyle, ilgisi ve özverisi ile bu çalışmayı ortaya çıkarmamı sağlayan yüksek lisans ve doktora tez danışmanım Prof. Dr. Hakan YAMAN'a olacaktır. Tüm destekleriniz ve danışmanlığınız için teşekkür ediyorum.

Tez jürisinin değerli üyeleri sayın Prof. Dr.Atilla DİKBAŞ'a ve sayın Prof. Dr. Murat GÜNAYDIN'a, süreç içerisindeki öneri ve yönlendirmeleri, paylaştıkları bilgi ve deneyimler için teşekkürü bir borç bilirim.

Değerli ailem; beni sevgi ve özveriyle büyütüp hayatımın her aşamasında sonsuz destekleriyle yanımda olan beni ben yapan canım annem Evşen SARAÇ'a, babam Aydın SARAÇ'a; süreç boyunca moral ve motivasyonumu hep yükseklere taşıyan, yüzümü hep güldüren sevgili kardeşlerim Aydan ve Aslıhan'a çok teşekkür ederim. Sevgili annem bu süreçte bana olan desteğini ve gücünü kelimelerle ifade edemem, sensiz başaramazdım.

İkinci ailem olup süreç boyunca ihtiyacımız olan her zaman yanımızda olup desteklerini esirgemeyen sevgili kayınvalidem Sema ÇIRACIOĞLU'na teşekkür ederim.

Bu doktora tezi sırasında benimle sabreden, her türlü yardım ve destekte bulunup bu tezin gerçeğe dönüşmesi için güç veren sevgili eşim Ömer ÇIRACIOĞLU'na sevgisi, desteği ve bana olan inancı için çok teşekkür ederim.

Son olarak hayatımıza katılmasıyla beni daha da güçlü kılan, varlığıyla mutluluk kaynağımız olan canım oğlum Barış'a çok teşekkür ederim.

Ekim 2021

Ayşen SARAÇ ÇIRACIOĞLU
(Yüksek Mimar)

**İÇİNDEKİLER**

**ÖNSÖZ** ..... **vii**
**İÇİNDEKİLER** ..... **ix**
**KISALTMALAR** ..... **xi**
**ÇİZELGE LİSTESİ** ..... **xiii**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **xv**
**ÖZET** ..... **xvii**
**SUMMARY** ..... **xix**
**1. GİRİŞ** ..... **1**
1.1 Problemin Belirlenmesi ..... 2
1.2 Tezin Amacı ..... 6
1.3 Tezin Kapsamı ..... 7
1.4 Tez Kapsamında Kullanılan Yöntemler ..... 8
**2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE PLANLAMA VE KONTROL İŞ AKIŞ SÜREÇLERİ** ..... **11**
2.1 İnşaat Sektöründe İş Akışları ve Güvenilirlik ..... 11
2.2 İnşaat Sektöründe Planlama ve Kontrol ..... 14
2.2.1 Geleneksel planlama ve kontrol iş akış süreci ..... 15
2.2.2 Yalın inşaat üretim planlama ve kontrol iş akış süreci ..... 20
2.3 Bölüm Sonu ..... 27
**3. BIM TABANLI PLANLAMA VE KONTROL SÜREÇLERİ (4D BIM)** ..... **29**
3.1 Bibliometrik Analiz ..... 29
3.2 4D BIM'in Faydaları ..... 32
3.2.1 4D BIM kullanımı önündeki engeller ..... 34
3.2.2 4D BIM otomatik iş programı oluşturulması ..... 35
3.2.3 İş programı ve BIM Model Olgunluk Düzeyi (LOD) ilişkisi ..... 38
3.2.4 4D BIM araçları ..... 40
3.3 Dünyada Planlama ve Kontrol Yaklaşımları ..... 42
3.3.1 İngiltere'de inşaat sektöründe planlama ve kontrol yaklaşımı ..... 42
3.3.2 Çin inşaat sektöründe planlama ve kontrol yaklaşımı ..... 43
3.3.3 Türk inşaat sektöründe planlama ve kontrol yaklaşımı ..... 45
3.4 Bölüm Sonu ..... 46
**4. TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YÜKLENİCİ FİRMALARDA PLANLAMA VE KONTROL İŞ AKIŞ SÜREÇLERİ MEVCUT DURUM ANALİZİ ALAN ARAŞTIRMASI** ..... **49**
4.1 Alan Araştırmasının Amaçları ..... 49
4.2 Alan Araştırmasında Kullanılacak Yöntemin Seçimi ..... 50
4.3 Karşılıklı Görüşme Sorularının Oluşturulması ..... 50
4.4 Karşılıklı Görüşmelerin Kapsamı ve Örneklem ..... 52
4.5 Görüşme Yapılan Firmalar ..... 53
4.6 Alan Araştırmasının Bulguları ve Değerlendirmeler ..... 54

4.6.1 Planlama ve kontrol iş akış süreçlerine ilişkin bulgu ve değerlendirmeler ..... 55
4.6.2 BIM süreçlerine ilişkin bulgu ve değerlendirmeler ..... 59
4.6.3 İş programı ve BIM bütünleşmesine ilişkin bulgu ve değerlendirmeler ... 62
4.7 Bölüm Sonu ..... 64
**5. KAVRAMSAL MODEL ÖNERİSİ ..... 69**
5.1 Modelin Amacı ..... 71
5.2 Modelin Kapsamı ..... 75
5.3 Model Oluşturulurken Kullanılan Yöntem ve Teknikler ..... 77
5.4 Kavramsal Model Önerisi Aşamaları ..... 78
5.4.1 Proje uygulama modeli öneri gelişim evresi: planlama ve BIM bütünleşmesi ..... 82
5.4.2 Öneri: proje modeli oluşturulması LOD 200-300 ..... 84
5.4.3 Öneri: Aşama 1- Ana iş programının oluşturulması ..... 90
5.4.4 Öneri: proje modeli oluşturulması LOD 350-400 ..... 95
5.4.5 Öneri: Aşama 2 – Faz planı oluşturulması ..... 98
5.5 Öneri Organizasyon Yapısı ..... 101
5.6 Bölüm Sonu ..... 105
**6. SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 107**
**KAYNAKLAR ..... 115**
**EKLER ..... 135**
EK A ..... 136
EK B ..... 137
**ÖZGEÇMİŞ ..... 139**

## KISALTMALAR

**BIM** : Yapı Enformasyonu Modellemesi
**LOD** : Model Olgunluk Düzeyi
**IDEF-0** : Integration Definition Language
**PMBOK** : Proje Yönetimi Bilgi Birikimi Klavuzu
**TOC** : Kısıtlar Teorisi
**LC** : Yalın İnşaat
**CE** : Eş zamanlı Mühendislik
**WBS** : İş Kırılım Yapısı
**PMI** : Proje Yönetimi Enstitüsü
**LOB** : Denge Diyagramları
**CPM** : Kritik Yol Yöntemi
**PERT** : Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği
**LBMS** : Zaman-Konum Matrisi Modeli
**LPS** : Son Planlayıcı Sistem
**PPC** : Planlama Yüzdesi
**TA** : Beklenen Görevler
**TMR** : Hazır Hale Getirilmiş Görevler
**CSV** : Virgülle Ayrılmış Veriler
**VOSviewer** : Van Eck and Waltman
**BCIM** : Bina İnşaat Enformasyon Modeli
**VOSviewer** : Van Eck ve Waltman
**AIA** : American Institute of Architects
**LODg** : Grafiksel Ayrıntı Düzeyi
**LODt** : Zamansal Ayrıntı Düzeyi
**IFC** : Industry Foundation Classes
**LoB** : Denge Hattı Planlaması
**GSYİH** : Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
**ENR** : Engineering News Record
**BUP** : BIM Uygulama Planı

**ROI** **:** Yatırım Getirisi

**PYP** **:** Proje Yönetim Planı

**IBS** **:** Bilgi Kırılım Yapısı

**MBS** **:** Model Kırılım Yapısı

## ÇİZELGE LİSTESİ

**Sayfa**

**Çizelge 3.1:** LOD Tanımları (AIA, 2013; BIMforum.org, 2013) ..... **39**
**Çizelge 3.2:** Güncel 4D Yazılım Araçları (Butkovic ve diğ., 2019) ..... **41**
**Çizelge 4.1:** Görüşme Yapılan Kişiler ve Firma Pozisyonları ..... **53**

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa**

**Şekil 1.1 :** Araştırma Methodolojisi Akış Diyagramı. ..... **10**
**Şekil 2.1 :** Dönüşüm-Akış-Değer Modeli (Bertelsen ve Koskela, 2002). ..... **12**
**Şekil 2.2 :** LPS'nin Faydaları (Daniel, 2017 çalışmasından uyarlanmıştır). ..... **22**
**Şekil 2.3 :** LPS'nin aşamaları (Hamzeh, 2009 çalışmasından uyarlanmıştır). ..... **25**
**Şekil 3.1 :** "Planlama ve Kontrol" Odaklı Bibliometrik Analiz Sonucu. ..... **32**
**Şekil 4.1 :** Alan araştırmasının altyapısı. ..... **49**
**Şekil 4.2 :** Yüklenici firmaların BIM ekibi yapılanması ve BIM süreci algısı. ..... **62**
**Şekil 4.3 :** İş Programı ve BIM bütünleşmesine ilişkin değerlendirmeler. ..... **63**
**Şekil 5.1 :** IDEF-0 Aktivitesi (Soung-Hie ve Ki-Jin, 2000'den uyarlanmıştır). ..... **78**
**Şekil 5.2 :** A0 Süreci. ..... **81**
**Şekil 5.3 :** A1 Süreci. ..... **83**
**Şekil 5.4 :** Proje Modeli Oluşturulması LOD 200-300. ..... **87**
**Şekil 5.5 :** Aşama 1: Ana iş programının oluşturulması. ..... **92**
**Şekil 5.6 :** Planlama Süreci. ..... **94**
**Şekil 5.7 :** LOD 350-400 Modelleme. ..... **97**
**Şekil 5.8 :** Aşama-2 Faz Planı Oluşturulması. ..... **100**
**Şekil 5.9 :** Öneri Organizasyon Yapısı. ..... **105**

# İNŞAAT SEKTÖRÜNDE PLANLAMA VE KONTROL İŞ AKIŞ SÜREÇLERİNİN YAPI ENFORMASYONU MODELLEMESİ (BIM) KULLANILARAK ETKİNLEŞTİRİLMESİ: KAVRAMSAL BİR MODEL ÖNERİSİ

## ÖZET

Planlama ve kontrol iş akış süreçleri, projenin hedefleri doğrultusunda teslim edilmesi, zamanı, bütçeyi ve kaynakların yönetilmesini sağlayan proje yönetimi ve proje başarısı için kritik fonksiyonlardır. Genel olarak geleneksel yöntem ve tekniklerden beslenmekte olup, yüksek oranda değişkenlik ve belirsizlik içermektedir. Bu durum inşaat sektöründe değişken iş akışlarına ve genel olarak verimliliğinin düşük olmasına sebebiyet vermektedir.

İnşaat sektöründe iş akışları kaynak, bilgi ve mekân akışından oluşmakta olup, çoğu zaman kontrol edilemeyen dış faktörlerden doğrudan etkilenmekte, planlamaları ve kontrol edilmeleri oldukça güçtür. Bu nedenle etkili bir şekilde yönetilmeleri gerekmekte olup, geleneksel planlama ve kontrol iş akış süreçleri özellikle karmaşık ve büyük projelerde, aktivite ilişkilerinin planlanması, görselleştirilmesi ve kontrolünde yetersiz kalmaktadır. Ayrıca iş akışları yönetimi yerine aktivite yönetimine odaklanması nedeniyle sıklıkla eleştirilmektedir. Bu yaklaşım nedeniyle birçok projenin başarısız olduğu raporlanmaktadır. Literatürde planlama süreci enformasyon teknolojileri ile bütünleştirildiğinde proje teslim sürelerinin kısalacağı ve iş programı değişkenliklerinin azalacağı belirtilmiştir. Bu sonuç göstermektedir ki proje performansının arttırılması için planlama ve kontrol iş akış sürecinin enformasyon teknolojileri ile bütünleştirilmesi bir gerekliliktir.

Günümüzde, planlama ve kontrol iş akış süreçleri çoğunlukla inşaat sektörünün temel katılımcılarından biri olan genel yüklenici firmalar tarafından oluşturulup yönetilmektedir. Bu nedenle bu sürecin başarısı büyük oranda genel yüklenici firmaların planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin etkinliğine bağlıdır. Yüklenici firmaların etkili bir planlama ve kontrol iş akış süreci yönetimi yapabilmesi için, projenin erken evreleri itibariyle doğru ve ulaşılabilir proje enformasyonuna ihtiyaçları vardır. Ancak mevcut durumda yüklenici firmalar genellikle metraj çıkarmaya uygun olmayan ve iş programı oluşturulurken faydalanamadıkları tutarlı ve kaliteli bir BIM modelin eksikliği ile mücadele etmektedirler. Bunun sonucu olarak, iş programları çoğunlukla planlama ekiplerinin eksik veya hatalı 2D proje enformasyonu algılama becerisine bağlı olarak geliştirilmekedir. Planlama süreçlerinin iyileştirilmesi için enformasyon teknolojilerinin bütünleştirilmesiyle hem proje enformasyonunun niteliğinin artması hem de koordinasyonla geliştirilmeleri gerekmektedir.

Bu çerçevede, yapılan doktora tez çalışması ile birlikte planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin BIM ile bütünleştirilerek iyileştirilmeleri çalışmanın odak noktasına alınmıştır. Söz konusu amaca ulaşmak için, bütünleşme çalışmasının nasıl ve ne şekilde yapılabileceği; gerekli girdiler, süreci çalıştıran mekanizmalar, sürecin kısıtlayıcıları ve çıktıları tanımlanarak gösterilmiştir. Bu amaçla öneri iş akış süreçleri

kavramsal bir model önerisi kurgulanarak aktarılmıştır. Böylece, yüklenici firmaların tüm projelerinde söz konusu bütünleşme çalışmasını yapabilecekleri bir strateji modeli oluşturulmak istenmiştir. Böyle bir gereksinimle oluşturulmuş bir kavramsal model önerisi Türk inşaat sektöründe ve de dünyada mevcut değildir. Bu anlamda literatürde önemli bir boşluğu dolduracağı düşülmüştür.

Söz konusu amaca ulaşabilmek için gerçekleştirilen doktora tezi toplamda altı bölümden oluşmaktadır. Tezin ilk bölümünde; problemin tanımlanması yapılarak, tezin amaç ve kapsamı ile yöntemine yer verilmiştir. Tezin ikinci bölümünde; inşaat sektöründe iş akışları ve güvenilirlik, geleneksel ve yalın inşaat planlama ve kontrol iş akış süreçlerini incelemeye yönelik literatür araştırması yapılmıştır. Tezin üçüncü bölümünde ise planlama ve kontrol iş akış süreçlerini literatürde bütün girdileriyle ayrıntılı inceleyebilmek, hangi kavramlarla birlikte sıklıkla ve görece az çalışıldığı, hangi yaklaşımların etkisinde geliştiği ve sürecin genelinde problemlere neden olan eksiklik ve boşlukları tespit edebilmek amacıyla yapılan bibliometrik analiz çalışmasına yer verilmiştir. Bu amaçla yine, BIM'in planlama ve kontrol iş akış süreçlerine olan etkilerini incelemek ve boşluk analizi için sırasıyla; 4D BIM'in faydaları, kullanımı önündeki engeller, otomatik iş programlarının oluşturulması, iş programı ve BIM model LOD düzeyi ilişkisi ve 4D BIM araçları anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde İngiltere, Çin ve Türkiye'deki planlama ve kontrol çalışmalarına ilişkin literatür araştırmasının sonuçlarına yer verilmiştir. Tezin dördüncü bölümü ise alan araştırmasının yapıldığı bölümdür. Bu bölümde, literatürde tespit edilen planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde karşılaşılan problemleri doğrulamak ve sektördeki 4D BIM adaptasyon düzeyini tespit edebilmek için Türk inşaat sektöründe yurt içi ve yurt dışında faaliyet gösteren büyük ölçekli yüklenici firmaların planlama ve BIM departmanlarıyla karşılıklı görüşmeler yapılarak gerçekleştirilen alan araştırması bulguları ve değerlendirmeleri sunulmuştur. Beşinci bölümde kavramsal model önerisi sunularak sırasıyla; modelin amacı, kapsamı, kullanılan yöntem ve teknikler ile model önerisinin aşamaları ve öneri organizasyon yapısı anlatılmıştır. Tezin son bölümünde ise, yapılan çalışmalar özetlenerek, tez kapsamında önerilen model ve çalışmalara ait anahtar bulgulara, değerlendirmelere ve önerilere yer verilmiştir.

## IMPROVING PLANNING AND CONTROL WORKFLOW PROCESS WITH BIM: A CONCEPTUAL MODEL PROPOSAL


### SUMMARY

The project planning and control workflow process is a key to successful construction project management. It plays a significant role while managing time and budget, determining available resources flexibility, and ensuring the tasks are completed in a logical and timely manner. Although the planning and scheduling process becomes a substantial challenge for construction projects, it still relies on traditional methods and contains a high degree of variability and uncertainty. Thus, construction projects suffer from variable workflows and low efficiency in general.

Construction flows can be classified into three; resource, information, and space. They are often directly affected by uncontrollable external factors, which makes them hard to plan and control. Effective management would be required. However, traditional planning and control techniques are insufficient in planning, visualizing, and controlling activity relationships, especially in complex and large projects. They are also frequently criticized for focusing on activity management rather than workflow management. Moreover, many projects are reported to have failed due to this approach. It has been stated in the literature that when the planning process is integrated with information and communications technologies, project delivery times will shorten, and work schedule variability will decrease. Thus, it is evident that the planning and control workflow process should be integrated with information and communication technologies to increase project performance.

Currently, planning and control workflow processes are primarily created and managed by general contractors, one of the main participants of the construction industry. Because of that, the success of this process depends mainly on the efficiency of the planning and control workflow processes of the general contractor companies. Contractor companies need accurate and accessible project information at the early stages of the project to perform adequate planning and control workflow process management. However, in the current situation, contractors are often struggling with the lack of a consistent and high-quality BIM model while creating the work schedule. As a result, work schedules are often developed depending on the ability of planning teams to detect incomplete or incorrect 2D project information. In order to improve the planning processes, the quality of the project information should be increased by the integration of information technologies, and they should be developed in coordination.

In this framework, with the doctoral thesis study, the integration of planning and control workflow processes with BIM and improving them have been the focus of the study. In this sense, in order to show how and in what way the integration work can be achieved; The necessary inputs, the mechanisms that run the process, the constraints, and outputs of the process are defined and presented. For this purpose, the suggestion workflow processes are shown by submitting a conceptual model. Thus, it has been

targeted to create a strategy model in which contractor companies can carry out all their projects. Because of the fact that there is not such a kind of model in the Turkish construction sector and abroad, it has been thought that it will fill an essential gap in the literature.

This doctoral thesis consists of six main chapters. The first chapter of the doctoral thesis is the introduction. The introduction part consists of a background of the study, problem statement, purpose of the thesis, scope of the thesis, and the methodology overview.

In the second chapter of the doctoral thesis, the literature review is related to construction planning and control workflow process is provided. Firstly, the concept of workflow process and reliability are explained. Then, the traditional planning and control system is examined in detail with the related techniques and approaches. Subsequently, the lean construction system and its production control tool LPS are presented. Also, the synergy between the LPS and BIM is explained.

The third chapter of the doctoral thesis includes the literature review of BIM-based planning and control processes (4D BIM). This chapter starts with the bibliometric analysis of planning and control processes. With the help of the bibliometric analysis, planning and control workflow processes are examined with all aspects in detail. The concepts which are frequently and less studied are determined. The different approaches that are developed under their influence are presented, and the deficiencies and gaps that cause problems throughout the process are identified. Then, to examine the effect of BIM on the planning process and to analyze the gap respectively; The benefits of 4D BIM, the obstacles to its use, the creation of automatic scheduling programs, the relationship between the schedules and the BIM model LOD level, and 4D BIM tools are explained. Also, in this section, the results of the literature research on planning and control studies in England, China, and Turkey are given.

The fourth chapter of the doctoral thesis includes the field study about lead Turkish contractor companies' planning and control process. A semi-structured face to face interview technique is used to investigate the current planning methods and identify BIM usage in the planning and scheduling process with understanding the contractors' approach to benefit from BIM. After explaining the aim, methodology, scope, and sample group of the field study, findings are presented. To precisely explain the source of the main problem areas among the different planning stages, findings are grouped as tendering process and the implementation of construction schedules process. Accordingly, the problems of BIM adaptation and the BIM and schedule integration process are examined in detail by investigating the project and document deficiencies, stakeholder problems, and technical problems. With the research findings, a list of issues is created. The current condition highlights the problems like; tendering with missing project documents, examining 2D project drawings while scheduling, fragmentation, project manager's reluctance to use and follow project schedule, issues with updating the plan as per construction improvements and quantities, lack of investment for BIM implementation.

In the fifth chapter of the thesis, the conceptual model proposal is presented. After explaining the aim, scope, methods, and techniques, the stages of the model proposal are shown. Integration Definition Language 0 (IDEF0) technique is adopted while creating model proposal, which was based on the data derived from lead Turkish contractor companies. IDEF0 is used to organize workflows in a more logical and simplified manner to create a model of activities. The conceptual model consists of

LOD 250-300 model development, overall scheduling phase, LOD 350-400 model development and phase (collaborative) planning phases. Subsequently, the proposed organizational structure is generated. In this way, information management, document management, stakeholder management, organizational structure issues are re-evaluated. In order for the proposed model to be efficient and develop over time, it should be renewed with feedback and updates according to the change in information technologies and business method.Thus, it is aimed to propose a guiding sustainable model for a contractor company operating in the construction sector to successfully manage the planning and control workflow processes.

The last chapter of the doctoral thesis is the conclusion. It consists of a summary of all the studies conducted through the doctoral thesis. Also, key findings, discussions, and future recommendations are explained.

# 1. GİRİŞ

Planlama ve kontrol süreçleri, zamanı, bütçeyi ve kaynakların yönetilmesini sağlayan proje yönetimi ve proje başarısı için kritik fonksiyonlardır. Etkisiz yönetildiklerinde projelerde gecikmelere neden olup, gelişmekte olan ülkelerde en sık karşılaşılan gecikme problemi olarak raporlanmışlardır (AlSehaimi ve diğ., 2013). Proje başlangıcı itibariyle doğru proje bilgileri üzerine kurulmayan, paydaşların iş birliği ile geliştirilmeyen iş programlarının doğru planlamanın önünde önemli bir problem olduğu ve yapım projelerinin bütçe ve süre aşımlarıyla teslim edilmesine sebebiyet verdiği görülmüştür (Tallgren ve diğ., 2020). Bu durumda iş programlarının güvenirliği azalmakta olup, değişkenlik önemli bir verimsizlik problemi haline gelmektedir. Geleneksel yöntemler bu problemlerin çözümü için yetersiz kalmakta ve verimlilik artışını kısıtlamaktadır.

Son yıllarda planlama ve kontrol süreçlerinin Yapı Enformasyonu Modellemesi (Building Information Modeling) bütünleşmesi yolu ile iyileştirilmesi sıklıkla üzerinde çalışılan bir konu haline gelmiştir. BIM ve iş programı bütünleşmesi bir başka deyişle 4D BIM, dinamik bir planlama süreci yönetilmesine olanak sağlamak suretiyle proje ve iş programının tüm paydaşlar tarafından şeffaf bir şekilde anlaşılmasını sağlayarak önemli bir koordinasyon problemini ortadan kaldırmaktadır (Faghihi ve diğ., 2015). Bu sayede iş programı geliştirilirken ve uygulanırken birçok yanlış anlaşılma ve yorum farkı ortadan kaldırılabilmektedir. Literatürde 4D (4 boyutlu) BIM aracılığıyla gerçekleştirilen planlamanın geleneksel planlama yöntemlerine göre %40 daha etkin olduğu belirtilmiştir (Candelario-Garrido ve García-Sanz-Calcedo, 2017). 4D BIM ile sağlanan faydalara karşın, yapım projelerinde kullanımı beklenen düzeyde değildir (Tallgren ve diğ., 2020). Bunun en önemli nedeninin, 4D BIM teknolojisinin mevcut planlama ve kontrol süreçleri ile nasıl uyumlulaştırılacağının bilinmemesi olduğu konuşulmaktadır. Bir başka önemli problem de farklı detay düzeyindeki iş programlarına göre 4D model üretilmesi için gerekli BIM model detay düzeyinin (LOD: Model Olgunluk Düzeyi) nasıl olacağı ve geliştirileceğinin bilinmemesidir

(Butkovic ve diğ., 2019). Bu durum 4D'lerin sadece kısıtlı pilot çalışmalarda kullanılmasına, proje yaşam döngüsü boyunca kullanılmamasına neden olmaktadır.

### 1.1 Problemin Belirlenmesi

Literatür araştırmaları sırasında yapım süreçlerinin oldukça verimsiz ilerlediğini gösteren birçok çalışma olduğu görülmüştür. Horman ve Kenley (2005) tarafından yapılan üretkenlik konusundaki meta-analiz çalışması sonucuna göre, son 30 yıldır inşaat süreçlerinin %49'u değer katmayan aktiviteler ile boşa harcanmaktadır. Benzer bir çalışma İsveç'te yapılmış ve saha çalışanlarının mesai saatlerinin sadece %15-20'sinde planlanan işlerine odaklanabildikleri raporlanmıştır (Jongeling ve Olofsson, 2007). ABD'de yapılan başka bir araştırma ise inşaat sektöründeki üretkenliğin 1964 ve 2003 yılları arasında %20 oranında azaldığını, diğer endüstrilerin ise üretkenliklerinin %200'den fazla arttığına dikkat çekmiştir (Teicholz, 2004).

İnşaat sektörü genel olarak geciken teslimler, bütçe aşımları ve kalite eksikliği problemleriyle karakterize olmuştur (Nowotarskia ve diğ., 2016). Bu durumun oluşmasında kuşkusuz inşaat sektörünün kendine özel karmaşık, parçalanmış yapısı, süreçlerin kolayca standartlaştırılamaması, kontrol edilebilirliğinin güç olması, standart oturmuş bir enformasyon yönetim mekânizmasının olmayışı (Cha ve Lee, 2018), kaliteden çok maliyete odaklanılması (Sarhan ve Fox, 2013) ve geleneksel yöntemlerden beslenmesi etkilidir (Kim ve diğ., 2013; Matthews ve diğ, 2015; Sigalov ve Konig, 2017; Tserng ve diğ. 2014).

İnşaat projeleri tipik olarak, birçok farklı organizasyonun belli bir alanda eş zamanlı çalışmasıyla yürütülmektedir. Bunun nedeni olarak, inşaat sürecinin temel katılımcılarından biri olan yüklenici inşaat firmalarında yöneticilerin riski dağıtmak için birçok işi farklı alanlarda uzmanlaşmış alt yüklenicilere ihale etmesi gösterilmektedir (Harvey, 2000). Ekiplerin yanlış planlanması boşa zaman geçirmelerine, aynı işi yeniden yapmalarına ve gereksiz yer değişimlerine neden olmaktadır (Sacks ve diğ., 2010a). Bu durum da yapım süreçlerinde üretkenliğin düşük olmasında önemli bir etkendir.

İngiltere'de inşaat sektöründe verimsizlik konusunda önemli çalışmalar yapılmıştır. Constructing the Team (Latham, 1994), Rethinking Construction (Egan, 1998) ve Accelerating the Change (Egan, 2002) raporları inşaat sektöründe verimsizlik

problemini eleştiren önemli çalışmalardır. Bu raporlara göre, inşaat sektöründe üretim planlama ve kontrolüne odaklanmak süreçlerin verimliliğini arttıracaktır.

Belirtilen rapor sonucuna paralel, literatürde inşaat sektöründeki verimsiz süreçleri iyileştirmek için planlama ve kontrol süreçlerinin önemini gösterir birçok çalışma mevcuttur. Zhang (2005), yapım sürecindeki başarı faktörlerini tanımlamak için inşaat yöneticileri ile bir anket çalışması yapmış ve çalışma sonucunda: (1) Planlama ve kontrol, (2) İletişim / koordinasyon, (3) İşgücü istihdamı ve kalitesi, (4) Ekipman ve araçların yeterliliği ve (5) Çalışma yöntemlerini önemli faktörler olarak belirtmiştir. Söz konusu faktörlerin anlaşılmasının, bu konularda gelişme kaydedildiğinde verimliliğin de olumlu etkilenmesi nedeniyle önemli olacağı vurgulanmıştır. Koch (2005), inşaat sektöründe planlama ve kontrolün, iletişim ve iş birliğinin ve tasarım süreçlerinin problemlere neden olan ana faktörler olduğuna dikkat çekmiştir. Shen ve diğ., (2017) inşaat sektörünün özellikleri nedeniyle, planlamanın öngörülemeyen değişiklikler ve değişkenliklere maruz kaldığını, çözüm olarak endüstriyel üretimdeki düzenli iş akışı kavramının inşaat sektörüne entegre edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Sacks ve diğ. (2009) inşaat sektöründe planlama ve kontrol süreçlerinde akışların verimliliğine odaklanıldığında tüm sürecin olumlu etkileneceğini belirtmiştir.

Literatürde, planlama ve kontrol süreçlerinin çoğunlukla inşaat sektörünün temel katılımcılarından biri olan yüklenici firmalar tarafından oluşturulup yönetildiği, sürecin yoğun bir şekilde geleneksel yöntemlerden beslendiği ve bu durumun proje performansını olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir (Navon ve Sacks, 2007; Sacks ve diğ., 2010b; Sarhan ve Fox, 2012; Sloot ve diğ., 2019). Crotty (2012), inşaat projelerini planlamak ve gerçekleştirmek için kullanılan geleneksel bilgi formlarının "niteliksiz" olduğunu ve bu amaçla BIM kullanıldığında "çok daha yüksek kalitede geliştirilmiş tasarım enformasyonundan" yararlanılabileceğini belirtmiştir. Çünkü planlama sürecinde girdi olarak kullanılan enformasyon kalitesindeki herhangi bir gelişme, planlama sürecinin kalitesini ve sonuç olarak da iş programlarını olumlu yönde etkilemektedir (Gledson ve Greenwood, 2016). Mevcut uygulamalarda, proje başlangıcında, proje dokümanları eksik ve projeyi anlamak için yetersiz olmakta, planlamacılar koordine edilmemiş bilgi üzerinden çalışmaktadır (Tallgren ve diğ., 2020). Planlamacılar projeyi ve kapsamı tam anlamadıklarında ise öngörülerine ve deneyimlerine dayalı bir iş programı hazırlamaktadırlar (Büchmann-Slorup ve Andersson, 2010; Pellerin ve Perrier, 2019). Oysa ki, projenin erken evrelerinde

oluşturulan iş programları, proje hedeflerinin doğru belirlenmesi, paydaşların koordinasyonu ve proje gereksinimlerinin netleştirilmesi açısından çok önemli olup, çoğunlukla güvenilir değildir (Baldwin ve Bordoli, 2014). Projenin ilerleyen evrelerinde, proje dokümanları geliştikçe ve sahadan geri dönüşler alındıkça ana iş programlarının sıklıkla revize edilmesi gerekir. Sonuç olarak da projenin başında üretilen ana iş programı ve sahada geliştirilen ayrıntılı iş programları arasında büyük farklar ortaya çıkmaktadır. BIM'in, planlamacıların, proje müdürlerinin ve süreçte aktif diğer tüm paydaşların projeyi daha iyi anlamasına ve yorumlamasına yardımcı olarak, ana iş programlarının projenin en başında güvenilir bir şekilde oluşturulmasına yardımcı olduğu düşünülmektedir.

BIM, bina yaşam döngüsü boyunca bilgi akışı ve eksik tasarım verileri konusunda büyük fayda sağlasa da tek başına planlama sürecindeki tasarım ve yapım enformasyonunu iyileştirmek için yeterli değildir (Büchmann-Slorup ve Andersson, 2010). BIM'in süreçlere adaptasyonu için yeni iş akış süreçlerinin tasarlanması, yeni süreçlerle bütünleşik olacak şekilde personelin eğitilmesi, çalışanların yeni sorumluluk ve bilgi paylaşımlarının, yazılım gereksinimlerini belirlenmesi gerekmektedir (Arayici ve diğ 2011; Eastman ve diğ., 2010). Bu noktada BIM'in süreçlerle nasıl uyumlulaştırılacağı konusunda da anlaşılmış ortak bir metin veya standart mevcut değildir (Azhar ve diğ., 2012). Bu durum, yüklenici firmalarda da BIM adaptasyonun beklenildiğinden daha yavaş olmasına neden olmaktadır.

Planlama ve kontrol iş akış süreçlerini BIM tabanlı yapabilmek için 4D BIM çalışmaları yapılmaktadır. 4D BIM, iş programlarını görselleştirerek analiz yapılmasına, kararların kontrol edilmesine ve hataların daha erken tespit edilmesine olanak sağlamaktadır (Hartmann ve Fischer, 2007; Olde Scholtenhuis ve diğ., 2016). 4D BIM sayesinde otomatik iş programları üretilirken kişi bazlı planlama hataları da engellenmiş olur (Kim ve diğ., 2013a; Kim ve diğ., 2013b). Ancak, günümüzde çoğunlukla 4D uygulamaları BIM modelleri oluşturulma sürecinden ayrı ilerlemekte, gerekli durumlarda sonradan el ile oluşturulmaktadır. Bunun en önemli nedeni, BIM modellerin projenin en başında planlama ve kontrol süreçlerinde kullanılacak şekilde geliştirilmemesi ve farklı detay düzeylerinde iş programları için gerekli BIM model düzeyinin belirlenememesidir (Butkovic ve diğ., 2019).

Mevcut 4D uygulamalarında, iş programı ve BIM bütünleşmesi çoğunlukla otomatik oluşturulmamakta, yüklenici firmalar her revizyonda tekrar tekrar aynı çalışmaları

yapmakta, projelerde zaman ve maliyet kaybı yaşanmaktadır (Sigalov ve Konig, 2017). Bu durumda 4D modeller, projenin tasarım aşamasında belli amaçlar için kullanılsa da proje yaşam dönemi boyunca güncellenip kullanılamamaktadır (Tallgren ve diğ., 2020). Bu kısıtlı kullanım ve kısa süreli fayda elde etme amacı, 4D BIM'in sektörde yaygın kullanılmasını engellemektedir. Bu nedenle 4D modelleri, projenin farklı aşamalarında ve farklı detay düzeyinde elde edebilmek için her aşama için gerekli model olgunluk düzeyi, gerekli dokümanlar, sisteme dâhil edilecek paydaşlar, yazılımlar ve takip edilecek standartlar sürecin en başında belirlenmelidir.

Projenin erken aşamalarında 4D BIM adaptasyonu için mevcut süreçlerde bütüncül bir yaklaşımla sadece bütünleşme gereksinimlerini değil, yapılması gereken organizasyonel ve süreç bazlı diğer iyileştirmeleri de içeren bir çalışmanın literatürde olmadığı görülmüştür. Literatür araştırmaları ışığında, inşaat sektöründe proje performansının arttırılması için inşaat sektörünün temel katılımcılarından biri olan yüklenici firmalarda planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilmesi konusunda bir gereklilik olduğu tespit edilmiştir. Çünkü planlama ve kontrol iş akış süreçleri çoğunlukla genel yüklenici firmalar tarafından geliştirilip, yönetilmektedir. Genel yüklenici firmalar mevcut durumda planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde geleneksel yöntemler kullanmakta, gecikmiş proje teslimleri, maliyet aşımlarıyla mücadele etmektedirler. Öte yandan, mevcut ve gelişmekte olan enformasyon teknolojilerinden yeterince faydalanamayıp gelişmelerin gerisinde kalmaktadır. Bu durum genel yüklenici firmaların küresel ölçekte rekabet gücünü zayıflatmaktadır. Bu çerçevede, yüklenici firmalarda planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde BIM'den faydalanmak sürecin güvenilirliğini ve proje performansını arttıracak olsa da mevcut 4D BIM uygulamaları bu amacı karşılamak için yeterli olmamaktadır.

Bu doktora tezinde, inşaat sektöründeki verimsiz süreçlerin iyileştirilmesi amacıyla genel yüklenici firmaların planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin projenin erken evreleri itibariyle enformasyon teknolojileri ile bütünleştirilmesi çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Bu amaçla, tüm dünyada uygulanan bütünleşme yöntemleri incelenmiş, genel yüklenici firmaların mevcut planlama ve kontrol süreçlerinde yapılması gereken iyileştirilmeler belirlenmiştir. Planlama ve kontrol iş akış süreçleri ve BIM bütünleşmesini verimli ve sürdürülebilir bir şekilde sağlamak için, yeni iş akış süreçleri belirtilerek, ekiplerin sorumluluk paylaşımları ve enformasyon gereksinimleri, kullanılacak yazılımlar tanımlanarak kavramsal bir model önerisi

sunulmaktadır. Böylece, inşaat sektörünün temel katılımcılarından biri olan genel yüklenici firmaların proje başlangıcı itibariyle, doğru proje bilgilerine dayalı, ekipler arası koordinasyon ve iletişimle geliştirilmiş güvenilir bir planlama ve kontrol iş akış süreci geliştirmelerine yardımcı olup, proje performanslarının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Böyle bir bütünleşme çalışmasının tüm sektörün enformasyon teknolojilerini benimsemesinde ivme kazandıracağı ve örnek olacağı düşünülmektedir.

### 1.2 Tezin Amacı

Literatür araştırmalarında inşaat sektöründe iş akışlarının verimli yönetilebilmesi için planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin etkin ve etkili bir şekilde organize edilmesi, endüstriyel verimlilik araçlarıyla bütünleştirilmesi gerektiği görülmüştür. Bunu gerçekleştirmenin yolunun da projelerin belirlenen hedefler doğrultusunda teslim edilmesinde büyük etkisi olan ve süreçte riskin çoğunu üstlenen genel yüklenici inşaat firmalarının planlama ve kontrol iş akış süreçlerini iyileştirmek olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, öncelikle mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerini ayrıntılı bir şekilde analiz ederek problemli yanları ortaya koymak, ardından mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilmesi için çözüm yollarından biri olarak tanımladığımız BIM tabanlı bir model gereksinimini ortaya koymak ve bu gereksinim doğrultusunda da bir kavramsal model önerisi geliştirmektir.

Tezin amaçları:

- Planlama sürecine bütün girdileriyle odaklanmak suretiyle sonuç odaklı (iş programı) üretim anlayışı yerine, süreç odaklı bir üretim anlayışına dönüş algısının önemini ortaya koymak. Bu yaklaşımla sadece sürecin çıktısının iyileştirilmesi değil, üretim süreci boyunca rol alan diğer etkenlerin de iyileştirilmesi amaçlanmaktadır,
- Türk inşaat sektöründe yüklenici firmalarda planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde yaşanan problemleri, kullanılan yöntem ve teknikleri, enformasyon teknolojisi adaptasyonu düzeyini tespit etmek,
- Yüklenici firmaların planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin etkinleştirilmesi için dünyada kullanılan yöntemleri ve teknikleri incelemek,

- İnşaat sektöründe belirli bir iş hacmine sahip uluslararası düzeyde etkin genel yüklenici firmaların planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde yaşanan problemlerin iyileştirilmesine yönelik enformasyon teknolojilerindeki gelişmeleri temel alan çözümleri tespit etmek,
- Yüklenici firmaların planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin BIM tabanlı hale getirilmesi amacıyla yeni iş ve enformasyon akış süreçlerinin tasarlanması, organizasyonel yapıda ve teknik altyapıda yapılması gereken iyileştirmelerin belirlenmesi, söz konusu iyileştirmelerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli önlem ve gereksinimlerin belirlenmesini sağlayacak kavramsal bir model önerisi geliştirmektir.

## 1.3 Tezin Kapsamı

Bu doktora tezi kapsamında öncelikle inşaat sektöründe genel yüklenici firmalarda planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde verimsizliğe neden olan tüm faktörler incelenmiştir. Planlama ve kontrol iş akış süreçlerindeki sorunların tüm iş akış süreçlerine olan etkileri araştırılmıştır. Günümüzde dünyada planlama ve kontrol yöntemlerinin iyileştirilmesi için kullanılan yöntemler incelenmiş, endüstriyel verimlilik araçlarıyla bütünleşme modelleri araştırılmıştır. Bu bağlamda tez kapsamında genel anlamda iş akış süreçlerinin iyileştirilmesi için planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilmesi odak noktasına alınmıştır. Tedarik zinciri yönetimi, kalite yönetimi, atık yönetimi gibi iş akış yönetiminde etkili diğer faktörler tez kapsamında dâhil edilmemiştir.

İnşaat sektöründe planlama ve kontrol iş akış süreçleri genellikle genel yüklenici inşaat firmaları tarafından yönetilmektedir. Bu nedenle, önerilen kavramsal modelde kullanılan mevcut planlama ve kontrol iş akış süreci verileri, Türk inşaat sektöründe lider konumunda olan ciro bazında dünyada ilk 100'e giren büyük genel yüklenici inşaat firmalarından elde edilmiştir. Bu anlamda modelde kullanılan mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçleri ve iyileştirmeler tüm dünyada benzer büyüklükteki genel yüklenici firmalar tarafından uygulanabilir nitelikte oluşturulmuştur. Bu doktora tezinde ortaya koyulan mevcut durum tespitleri alan araştırmasının yapıldığı dönemdeki belirli bir kesiti yansıtmaktadır. Modeldeki iyileştirilmesi düşünülen süreç aşamaları bu mevcut duruma göre şekillendirildiği için, ileride bu modele eklemeler

ya da çıkartmalar yapılması gerekebilir. Modelin kurgulanma yöntemi bu güncellemelerin yapılmasına olanak tanımaktadır.

### 1.4 Tez Kapsamında Kullanılan Yöntemler

Bu doktora tezinde nitel araştırma yöntemi uygulanmıştır. Bunun nedeni, BIM tabanlı planlama ve kontrol iş akış süreçleri uygulamalarının hem dünyada hem de Türk inşaat sektöründe kısıtlı uygulanması ve problemlerin daha çok keşif yoluyla öğrenilmesi gerekliliğidir. Yin (2009), nitel yöntemlerin yeni fenomenleri incelemek için nicel yöntemlerden daha uygun olduğunu, çünkü nasıl ve nedenini daha iyi açıkladıklarına dikkat çekmiştir. Ayrıca nitel araştırma, 4D BIM kavramının Türkiye'de nasıl kullanıldığının derinlemesine anlaşılmasına olanak sağladığı için seçilmiştir. Ancak nitel araştırmaların dezavantajı tamamlanmalarının uzun bir zaman gerektirmesidir (Jacobs, 2010). Aşağıda araştırmanın aşamaları görülmektedir. Şekil 1.1' de de araştırma methodolojisi akış diyagramı sunulmuştur.

i. Literatür araştırması bulguları kullanılarak, inşaat sektöründe verimsiz iş akış süreçlerinde geleneksel planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin etkisi ortaya koyulmuştur. Bu amaçla, tez çalışmasının ilk bir yıllık döneminde ayrıntılı bir literatür araştırması yapılmış, yurt içi ve yurt dışında kullanılan mevcut ve yeni planlama ve kontrol teknikleri, entegre edildikleri projelerde gereksinimleriyle ve katkılarıyla incelenmiştir. Bu çerçevede, hem geleneksel proje yönetimindeki planlama ve kontrol iş akış süreçlerine olan eleştiriler, hem de yalın inşaat planlama ve kontrol iş akış süreci yaklaşımı ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Ayrıca, literatürde planlama ve kontrol iş akış süreçleriyle ilgili yayınların incelenmesi için bibliometrik analiz çalışması yapılmıştır. Bu amaçla Scopus veri tabanı kullanılmış, son 15 yıldaki akademik çalışmalar incelemiştir. Bibliometrik analizle birlikte, planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin hangi kavramlarla birlikte sıklıkla çalışıldığı tespit edilmiştir. Ardından, doktora tezi için kilit önem taşıyan BIM tabanlı planlama ve kontrol iş akış süreçleri daha ayrıntılı araştırılmış, süreçlere faydaları, kullanımı önündeki engeller ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Literatürde iş programlarının otomatik elde edilmesi, LOD-iş programı ilişkisi gibi çok az çalışılmış konular araştırılmıştır. Ayrıca yurt dışında enformasyon teknolojileri adaptasyon stratejileri konusunda ön plana çıkan İngiltere ve yine uluslararası alanda çok

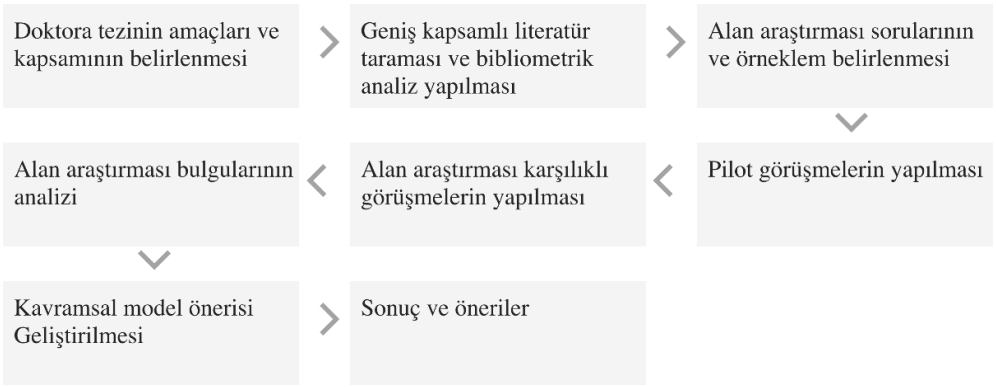
büyük inşaat projelerini başarıyla gerçekleştiren Çin'de mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçleri incelenmiştir.

ii. Alan araştırması bulguları kullanılarak, Türk inşaat sektöründe genel yüklenici firmaların mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin problemli yanları ve BIM kullanım düzeyleri tespit edilmiş, mevcut durum analizi yapılmıştır. Türk inşaat sektöründe lider konumunda bulunan, ciro büyüklüğü açısından dünyada ilk 100'e giren 7 genel yüklenici inşaat firması ile görüşülerek mevcut planlama ve kontrol süreçleri ve BIM bütünleşme düzeyleri konusunda alan araştırması yapılmıştır. İlgili firmaların BIM ve planlama departmanlarında yönetici ve şef görevinde 16 profesyonel ile karşılıklı görüşmeler Mayıs 2019-Aralık 2019 tarihleri arasında gerçekleşmiştir. Görüşmeler birebir karşılıklı olup yaklaşık 60-90 dakika sürmüştür. Katılımcılar seçilirken çalıştıkları firmanın taktiksel ve operasyonel kararlarında etkin ve alanlarında yetkin kişiler olmalarına dikkat edilmiştir. Karşılıklı görüşmelerde sorular açık uçlu olmasına karşın, görüşmeleri belli bir kapsamda tutmak adına bir soru seti hazırlanmıştır. Sorular oluşturulurken literatür araştırmalarında dünyada farklı ülkelerde benzer amaçlar için hazırlanmış anket soruları incelenmiştir. Bu Alan araştırmasında, daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, risk ve belirsizliğin planlama yöntemi seçimine etkisi, iş programındaki değişkenliğinin üretkenliğe etkisi, mevcut kullanılan planlama ve kontrol yöntemlerinin saha yönetimi ve koordinasyonu üzerine etkisi, planlama ve kontrol süreçlerinin nasıl şeffaflaştırılabileceği, tercih edilen planlama yöntemini rekabet avantajına etkisi gibi genel yüklenici firmaların mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerini derinlemesine analiz etmeye yarayacak ve de potansiyellerini ortaya çıkartacak sorular hazırlanmıştır. Genel olarak soru grubu üç bölümden oluşturulmuş olup, birinci kısımda firma yapısı ve iş yapış şekilleri görüşülmüş, ikinci kısımda firmaların planlama kültürleri, mevcutta uyguladıkları planlama ve kontrol süreçlerinde yaşadıkları problemler öğrenilmiş, üçüncü bölümde ise BIM ve planlama süreçleri bütünleşmesine yönelik çalışmaları konusunda bilgi alınmıştır.

iii. Literatür araştırması ve alan araştırması bulguları kullanılarak, mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin problemli yanları tespit edilmiş, mevcut durum analizi yapılmıştır. Planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilmesi için BIM tabanlı bir model önerisi gereksinimi ortaya konmuş,

bu gereksinim doğrultusunda kavramsal model önerisi geliştirilmiştir. Bu model mevcut süreçlerin tamamen değişmesini gerektirmemekte, mevcut süreç akışında iyileştirilmesi için değiştirilmesi gereken ve eklenmesi gereken kısımlara odaklanmaktadır. Bu çerçevede modeli geliştirmek için Integration Definition Language (IDEF0) yöntemi ve süreci görselleştirmek için Microsoft Visio® programı kullanılmıştır. IDEF yönteminin seçilmesinin nedeni, iş akışlarını daha mantıklı ve basileştirilmiş düzende gösterilmesine olanak tanımasıdır. Ayrıca IDEF yöntemi, modeli çalıştıran tüm girdilerin, kısıtlamaların, mekânizmaların ve çıktıların açık bir şekilde tanımlanmasına izin vermektedir (Hirao ve diğ., 2008; Imran ve diğ., 2010). Diğer bir neden de tüm iş akışlarının hiyerarşik olarak görüntülenmesine ve talep edildiği kadar alt detaylarına girilmesine izin vermesidir. Böylece inşaat sektöründeki karmaşık iş akış süreçlerin daha net, basit bir gösterimle anlatılmasına olanak vermektedir (Veis ve diğ., 2009). Model kurgulanırken, planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin BIM tabanlı olabilmesi için gerekli, girdiler, kısıtlayıcılar, sistemin mekânizmaları ve her sürecin çıktıları anlatılmıştır. Yeni eklenen süreçler daha ayrıntılı alt süreçleriyle birlikte anlatılmıştır.

Modelde kullanılan mevcut durum analizi, özellikle alan araştırması bulgularından elde edildiği için, belli bir kesiti yansıtmaktadır. İleride sektörel değişimler olduğunda ihtiyaçlar doğrultusunda güncellenmesi gerekebilir. Modelin kurgulanma şekli de gerekli değişikliklerin yapılmasına olanak tanımaktadır.




**Şekil 1.1 :** Araştırma Methodolojisi Akış Diyagramı.

# 2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE PLANLAMA VE KONTROL İŞ AKIŞ SÜREÇLERİ

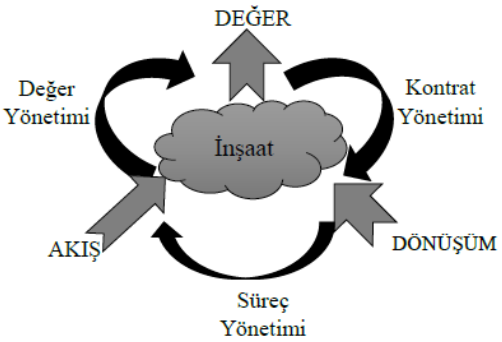
Bu bölümde, genel yüklenici firmalarda mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde yaşanılan problemleri aktarabilmek için, öncelikle inşaat sektöründe iş akışları kavramı ve güvenilirliğinin önemine ilişkin bilgilere yer verilmiştir. Geleneksel planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin problemli yanları ve söz konusu problemlere çağdaş tekniklerin sunduğu çözümler sunulmuştur. BIM'in planlama ve kontrol iş akış süreçlerine sunduğu çözümler ve uygulama önündeki engeller anlatılmıştır.

## 2.1 İnşaat Sektöründe İş Akışları ve Güvenilirlik

Akış kavramı üretim endüstrisinde uzun yıllardır kullanılmakla birlikte aslında fizikten ödünç alınmıştır ve çoğunlukla üretimde lojistik ve tedarik zincirinde, bir metafor olarak malzeme, bilgi ve finans akışlarını ifade etmek için kullanılmıştır (Kalsaas, 2010). 1997 yılında Yalın İnşaat Enstitüsü (Lean Construction Enstitute-LCE) kurulduktan sonra, üretim teorisi üzerinde düsünen araştırmacılar açık ve bilinçli bir sekilde, proje yönetiminin amacını iş akışının yönetimi olarak belirlemişlerdir. Yapılması gereken, mevcut uygulamada %35 ile %60 arasında olan iş akışının güvenilirliğini geliştirebilmenin yollarını öğrenmektir (Kim ve Ballard, 2010).

İnşaat sektöründeki ürün akışı, endüstriyel üretimden farklı olup, imalatın başlangıcından bitişine kadar söz konusu ürünün ortaya çıkmasını sağlayan bir dizi aktiviteyi içermektedir. Ayrıca inşaat sektöründe değer üretilirken diğer sektörlerden farklı olarak dış koşullar ve işletme dışı çalışan uzmanlar doğrudan etkilidir. Bu açıdan bakıldığında çoğu zaman kontrol edilemeyen dış faktörlerin başarı üzerinde bu kadar etkin rol oynaması, inşaat sektörünün verimliliğinin genel olarak düşük olmasına ve akışlarının güçlükle kontrol edilmesine neden olmaktadır (Baldwin ve Bordoli, 2014; de Araújo ve Guerrini, 2011; Forbes ve Ahmed, 2010; Henrich ve Koskela, 2005; Koskela, 1999).

İnşaat sektöründe yalın üretim düşüncesinin incelenmeye başlamasıyla akış kavramı üretim planlama ve kontrol süreçlerini kapsayacak şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bertelsen ve Koskela (2002), iş akışlarında üretim kavramına üç farklı bakış açısını inşaat projelerinde bütünleştirerek Şekil 2.1'deki Dönüşüm-Akış-Değer (Transformations-Flow-Valus-TVF) yöntemini önermiştir. Modelin hedefi inşaat projeleri süreçlerinin maliyet ve süresini azaltıp, müşteri için üretilen değerin arttırılmasıdır.




**Şekil 2.1 :** Dönüşüm-Akış-Değer Modeli (Bertelsen ve Koskela, 2002).

Ballard and Tommelein (1999) ise, iş akışını birbirinden bağımsız ağlar üzerinden bilgi ve malzemelerin hareketi olarak tanımlamaktadır. Ayrıca, yapım sahalarında mekânlar arasındaki kaynak, ekipman ve insan akışı da iş akışlarının bir parçası olarak belirtilmiştir (Jongeling ve Olofsson, 2007; Kalsaas ve Sacks, 2011; Kalsaas, 2012).

Koskela'ya (2000) göre, üretim süreçlerinde iş akışlarını iyileştirmek için altı ilke vardır. Bunlar, değer üretmeyen aktivitelerin kaldırılmak, (bekleme süresi dâhil), döngü süresini kısaltmak, değişkenliği azaltmak, adım sayısını en aza indirmek (süreçlerin, ilişkilerin basitleştirilip yalınlaştırılması, esnekliği en üst düzeye çıkarmak ve şeffaflık sağlamaktır. Koskela (2000), bir yapım aktivitesinin gerçekleştirilebilmesi için yedi adet ön koşulun yerine getirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bunlar, önceki iş, bilgi, malzeme, ekipman, ekipler, çalışılacak alan ve dış koşullardır (Koskela, 2000). Bu ön koşulların belli bir ölçüde akışı, senkronizasyonu ve uygun zamanda imalata başlanması aktivitenin başarıyla gerçekleşmesini sağlamaktadır. Genel olarak bu akışlar kaynak, bilgi, katkılar ve dış faktörler başlıkları altında tanımlanmaktadır (Ballard ve diğ., 2003).

- Kaynak akışı işçi, malzeme ve imalatın yapılacağı alanı ifade etmektedir. (Riley ve Tommelein, 1996). Kaynaklar yapım sahasında aktivite zincirleri

arasında hareket eder ve kaynakların değişkenliği doğrudan üretimin oluşmasını engellemektedir.

- Katkı akışı malzeme ve montajı ifade etmektedir. Bunların akışı doğrudan tedarik zincirinin başarısına bağlıdır. Tedarik zincirindeki değişkenlik artıkça katkı akışı da doğrudan etkilenmektedir.
- Bilgi akışı proje çizimleri, şartnameler, değişiklik talebi, kararlar, performans standartları gibi çeşitli bilgilerden oluşmaktadır. Yapım sahalarında bir proje çiziminin beklendiği ve gerçekte geldiği tarihler arasında çok değişkenlik olduğu belirtilmektedir (Ballard ve Howell, 1994). Bu değişkenlik yapım sahalarında verimliliği azaltmaktadır.
- Son olarak dış koşulların uygun olması bir aktivitenin gerçekleşmesi için en önemli durumdur. Koskela'ya (2000) göre uygun olmayan koşullarda yapılan üretimlerde üretkenlik büyük oranda azalmaktadır.

Koskela (2002) iş akışı değişkenliği ve bir yapım aktivitesinin tamamlanması arasındaki ilişkiyi şu şekilde belirtmiştir. Yukarıda belirtilen yedi adet iş akışının her birindeki %5 belirsiz koşul ve değişkenlik olası kabul edildiğinde, görevin tamamlanma şansı %70 oranında olmaktadır.

Sacks (2016) inşaat sektöründeki akışların içerisinde bilgi akışını koordinasyonu, ölçümü ve kontrolü en zor olan akış olarak tanımlamıştır. Bilgi akışı ürün bilgisinin yanı sıra süreç akış bilgisini de içermektedir. Ürün bilgisine (ürün modeli) BIM modelleyici aracılığıyla hâkim olunabilse de süreç bilgisinde (proje modeli) birçok akışın bilgisi gereklidir. Sacks ve diğ., yapımda en büyük problemin süreç akışının görselleştirilmesi olduğunu belirtmiştir (Sacks ve diğ., 2009). Çünkü süreç akışı işçilerin akış bilgisi (hangi mahallerde hangi zaman dilimlerinde çalışacakları), malzeme, ekipman ve finans akış bilgilerini içermekle birlikte, bu bilgiler çok parçalanmış ve karmaşıktır. Burada akışlar arası koordinasyonu sağlayabilmek için öncelikle doğru kişiye, doğru bilgiyi zamanında iletecek bir sistem oluşturmak gerekmektedir.

Ballard ve Howell (1998)'ın yürüttüğü çalışmalara göre inşaat sektöründe etkisiz yürütülen planlama süreçleri iş akışı güvenilirliğinin düşük düzeyde olmasına neden olmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre planlamanın tutarlılığının %50'den yüksek olduğu projelerde, yükleniciler haftalık yapılması gereken işte %30 daha az işçi

kullanarak inşaatları başarıyla tamamlayabilmektedirler. Planlamanın güvenirliğinin artması değişken iş akışlarının önceden öngörülebilmesi ve önlem alınmasına bağlıdır (Daniel, 2017).

Sonuç olarak, inşaat sektöründe iş akışı değişkenlikleri bir tür israf çeşidi olarak fazla depolama, üretim kaybı, kapasite fazlası üretim, geciken teslimler, kalite eksikliği ve düşük müşteri memnuniyeti olarak ortaya çıkmaktadır (Alves ve diğ, 2005; Green ve May, 2005; Hopp ve Spearman, 1996; Hopp ve Spearman 2008; London ve Kenley, 2001; Vrijhoef ve Koskela, 2000). İnşaat sektöründe iş akışlarında değişkenliklerin azaltılması için planlama ve kontrol iş akış sürecinin başarılı bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

## 2.2 İnşaat Sektöründe Planlama ve Kontrol

Planlama ve kontrol, günümüzde karmaşık ve eş zamanlı yürütülen inşaat projelerin belirsizlik koşullar altında projeleri daha kısa sürede, maliyet ve kaliteden ödün vermeden tamamlamak için kritik öneme sahiptir. Literatürde birçok planlama yaklaşımı mevcut olup, Sriprasert ve Dawood (2003) planlama sürecindeki yaklaşımları dört konsept altında toparlamışlardır. Bu yaklaşımların planlama ve kontrol iş akış sürecinde uygulanan yöntem ve teknikleri birebir etkilediğini belirtmişlerdir:

- Project Management Body of Knowledge (PMBOK) – geleneksel planlama ve kontrol yaklaşımı olup, temel prensibi projeyi yönetilebilir küçük parçalara bölmektir (Duncan, 1996).
- Kısıtlar Teorisi (TOC) – sürekli iyileştirme odaklı bir yönetim felsefesidir. TOC, projelerin hedefine ulaşılmasını engelleyen kısıtlayıcı faktörlere odaklanır (Goldratt, 1990).
- Yalın İnşaat (LC) – Endüstriyel üretimdeki Toyota yalın üretim sistemi anlayışından geliştirilmiştir. PMBOK'un geleneksel planlama ve kontrol yaklaşımını eleştirip, akış ve değer yönetimine odaklanır (Howell, 1999).
- Eş zamanlı Mühendislik (CE)- minimum zaman ve maliyetle, işlevsellik, kalite ve üretilebilirlik açısından en uygun ürünü elde etmek amacıyla, disiplinlerarası ekiplerle eş zamanlı görevlerin paralel yürütülmesidir (Rolstadås, 1995).

Farklı planlama anlayışları, farklı planlama sıklıkları, modelleme varsayımları ve ayrıntı düzeyleri anlamına gelmektedir. Belirtilen bütün yaklaşımların karşılaştığı en büyük zorluk, farklı karar verme düzeyleri arasındaki tutarlılığı korumaktır (Harris ve McCaffer, 2013; Kerzner, 2013). Çünkü planlama farklı hiyerarşik düzeylerden oluşmaktadır (Vargas ve diğ., 2015). Uzun vadeli planlama, çoğunlukla hedeflerin belirlendiği stratejik kararları içerir (Kerzner, 2013). Orta vadeli planlama, uzun vadeli kararlarla belirlenen amaçlara ulaşmak için gerekli taktik kararları ve araçları içerir (Harris ve McCaffer, 2013). Son olarak, operasyonel düzeyde kısa vadeli kararlar ise systemin hedefleri doğrultusunda çalışmaya devam etmesini sağlamak için malzeme ve işçilerin koordinasyonu, süreçleri ve ekipmanı ayarlayarak gerekli önlemleri alıp kontrolü sağlamaktadır (Lee ve diğ., 2006).

Yapım sürecinde, geleneksel planlama, uygulama ve kontrol süreçleri birbirinden kopuk ve dengesiz olma eğilimindedir (Ballard ve diğ., 2009; El-Sabek ve McCabe, 2017). Literatürde oldukça eleştirilmektedir. Son yıllarda geleneksel planlama ve kontrol süreçlerine alternatif olarak yalın inşaat yöntemleri uygulanmaktadır. Bu nedenle geleneksel ve yalın inşaat planlama ve kontrol iş akış süreçleri arasındaki farklar dikkatle incelenmelidir.

### 2.2.1 Geleneksel planlama ve kontrol iş akış süreci

Proje zaman yönetimi genellikle iki ana işlevden oluşmaktadır: Proje programlanmasını içeren planlama işlevi ve proje izlemeye odaklanan proje kontrol işlevi (Hekimoglu, 2007; Willems ve Vanhoucke, 2015). Projenin ilk aşamalarında, proje toplu bir şekilde İş Kırılım Yapısı (WBS) olarak temsil edilir. WBS projeyi yönetilebilir faaliyetlere ayıran ve ayrıntılı olarak projenin faaliyetlerini teknolojik, öncelik ilişkilerine ve bağımlılıklara göre birbirine bağlayan bir diyagramdır. Geleneksel yaklaşımda genellikle faaliyetler arasında doğrusal bir ilişki olduğunu kabul edilirken, uygulamada projelerin daha hızlı teslimi için faaliyetler üst üste çakışarak yürütülür. Örneğin, mühendislik faaliyetleri genellikle satın alma süreci ile paralel ilerlemektedir (Berthaut ve diğ., 2014). Geleneksel yöntem iş programı üzerinde, paralel yürütülen farklı öncelik ilişkileri ve kaynak gereksinimi olan aktiviteleri planlamış gibi gözükse de gerçekte bu ilişkilerin görselleştirilmesinde ve kontrolünde yetersiz kalmaktadır (Hajdu, 2015). Bu nedenle birçok proje başarısız olmaktadır (Al Nasseri ve diğ., 2016; Derbe ve diğ., 2020).

Öte yandan yüklenici firmaların etkili bir planlama ve kontrol iş akış süreci yönetimi yapabilmesi için, proje kapsamını doğru belirlemeleri ve geliştirmeleri, projenin girdilerini, çıktılarını tanımlamaları, proje programını yürütmek ve kontrol etmek için metodolojiler geliştirmeleri gerekmektedir (PMI, 2008). Yüklenici firmalar planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde birçok karar verme problemi ile mücadele etmektedir:

- Proje ve kapsamının tam anlaşılmaması (Büchmann ve Andersson, 2010; Faghihi ve diğ., 2015),
- Tasarım ve yapım süreci arasındaki bilgi akış kanallarında yaşanan problemler nedeniyle oluşan kopukluk (Candelario-Garridoana ve diğ., 2017; Hardin ve Mcool, 2015);
- İnşaat sektörünün parçalanmış yapısı nedeniyle oluşan enformasyon, doküman ve iletişim yönetimi problemi (Matthews ve diğ., 2015; Wang ve diğ., 2015);
- Standart planlama süreci takip edilmeden ayrıntılı iş programlarının ana (master) iş programından üretilmesi (Hamzeh ve diğ., 2015);
- İş programında aktivite bağımlılıkları oluşturulurken kaynak akışı, ekipler arası iş teslim süreci, yapılan işin lokasyon bilgisine yeterince odaklanılmaması (Evinger ve diğ., 2013; Seppanen ve diğ., 2010),
- Proje ilerlemesinin analiz edilmesi ve raporlanması, ilerlemelerin ana iş programı ile karşılaştırılması, sapmaların ve kontrol dışı durumların tespit edilmesi ve zamanında yeterli çözümleyici önlemlerin alınmasıdır (Hamzeh ve diğ., 2012; Hazir, 2015).

Bu problemlerin çözümü için iş programlarının projenin en başında doğru proje enformasyonu üzerine geliştirilmesi gerekmektedir. Ancak mevcut uygulamalarda uygulama projelerinin oluşturulması süreci yapım süreci ile kesişmekte, ana iş programları oluşturulurken planlamacılar çoğunlukla eksik proje dokümanları üzerinden çalışılmaktadır (Tallgren ve diğ., 2020). Bu durumda planlama sürecinin güvenilirliği planlamacıların deneyimi ve firmaların geçmiş proje verilerine dayanmaktadır.

Literatürde geleneksel planlama ve kontrol iş akış süreçleri şu konularda sıkça eleştirilmektedir:

- Belirsiz durumları öngörmek ve kapsamlı bir şekilde takibini yapmak (Johnston ve Brennan, 1996; El-Sabek ve McCabe, 2017),
- İşbirliğiyle oluşturulmaması, görevlerin tüm paydaşlar tarafından tam anlaşılmaması (Ballard ve diğ., 2009; El-Sabek ve McCabe, 2017; Koskela ve Howell, 2002),
- Faaliyetler arasındaki belirsizlik ve karşılıklı bağımlılıkların uygun şekilde tanımlanmamasıdır (Kenley ve Seppänen, 2010; Koskela ve diğ., 2010).
- Aktivitelerin makine, alet, personel, talimatlar vb. gibi gerekli tüm girdiler sahada olmadan başlatılmasıdır (Fireman ve diğ., 2013; Koskela, 2004). Bu durum günlük işlerde yeniden planlamaya, gecikmeye (Johnston ve Brennan 1996), devam eden çalışmalara, daha uzun teslim sürelerine ve daha fazla işletme giderine yol açmaktadır (Koskela, 2004).

Ayrıca, geleneksel proje yönetiminde uygulama aşamasında işin uygulanabilirliği konusunda çok az geri bildirim olduğu ve inşaat sürecinde günlük olarak ortaya çıkan sorunlara önlem almak için geç kalındığı belirtilmiştir (Koskela ve Howell, 2002). Bu durumun nedenleri arasında, geleneksel yöntemde iş programı oluşturulması aşamasına fazlaca vurgulanması ve bazen proje yönetimi ile bir bütün olarak eş anlamlı olarak algılanıp, kontrol sürecine yeterince önem verilmemesi gösterilmektedir (Kerzner, 2013). Bu durumda planlama ve kontrol iş akış süreçleri etkili bir şekilde yönetilememektedir. Bu noktada geleneksel planlama ve kontrol planlama tekniklerine bir göz atmak yararlı olacaktır.

#### 2.2.1.1 Geleneksel planlama teknikleri

Planlama teknikleri, inşaat sırasının düzenlenmesi için gerekli araçlardır. Bu programlar sayesinde proje yönetim ekipleri gerçek inşaat sırasını zaman ve maliyet perspektiflerinden optimize edebilirler. Literatürde, geleneksel planlama tekniklerinin iş programındaki belirsizlikleri ve kaynak kısıtlamalarını ele almak yerine, toplam proje süresini görselleştirmek ve optimize etmeyi amaçladığı belirtilmiştir (Al Nassari, 2016). Ayrıca geleneksel planlama teknikleri, sadece bir programlama aracı olup bütüncül bir planlama ve kontrol yönetimi yaklaşımı geliştirmemeleri nedeniyle de eleştirilmektedir (Faghihi ve diğ., 2015).

Geleneksel planlama teknikleri Aktivite Tabanlı ve Konum Tabanlı olmak üzere iki farklı yaklaşımla sınıflandırılmaktadır (Ahuja ve Thiruvengadam, 2004; Cegarra ve Wezel, 2011; Bertelsen ve diğ., 2007)

- Aktivite Tabanlı iş programlarında, proje yönetilebilir faaliyet gruplarına bölünmektedir. Bu konuda geliştirilen temel yöntemler, Gantt Cetvelleri, Denge Diyagramları (Line of Balance- LOB), Kritik Yol Yöntemi (Critical Path Method – CPM), Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (Program Evaluation and Review Technique – PERT) gösterilmektedir. CPM günümüzde hala en yaygın kullanılan planlama tekniği olup daha ayrıntılı anlatılacaktır.
- Diğer taraftan Konum Tabanlı programlama ise projeyi yönetilebilir mekânlara bölmektedir. Denge hattı (Line-of-Balance), Dikey üretim yöntemi, Zaman-konum matrisi modeli (LBMS) en çok tercih edilen yöntemlerdendir (Henrich ve Koskela, 2006).

Günümüzde karmaşık ve büyük inşaat projelerinin yönetiminde geleneksel planlama yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Planlamacıların becerilerine göre ortaya çıkan iş programları teknik ve teknik olmayan paydaşlar tarafından farklı algılanmakta ve iş programlarının performans takibi düzenli yapılamamaktadır. Projenin erken aşamaları itibariyle planlama ve kontrol iş akış sürecindeki koordinasyon kopukluğunu gideren bir teknik kullanılması gerekmektedir.

Geleneksel planlama araçları çubuk diyagramları ve ağ diyagraları gibi projenin mekânsal (spatial) ve geciçi (temporal) bilgilerini etkili bir şekilde görselleştirme ve iletmeyi başaramazlar. Sonuç olarak da planlamacılara ya da proje müdürlerine en iyi senaryoyu oluşturma konusunda pratik bir çözüm sunamazlar (Umar ve diğ., 2015). Bu nedenle optimum iş programlarının oluşturulabilmesi için bilgi ve enformasyon teknolojileri ile bütünleştirilmiş yaklaşımların kullanılması kaçınılmazdır.

Dünyada geleneksel yöntem ve diğer tekniklerle de entegre edilerek en sık kullanılan planlama yönteminin Kritik Yol Yöntemi (CPM) olması nedeniyle bu yöntem daha ayrıntılı anlatılacaktır.

**Kritik Yol Yöntemi**

CPM, 1957'lerin sonunda geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan bir proje planlama algoritmasıdır (Kelley ve Walker, 1959; Kelley, 1961; O'Brien ve Plotnick, 1999; Dachyar ve Saputra, 2009). CPM ile aşağıdaki öğeleri içeren bir proje modeli oluşturulmaktadır (Samuel, 2010):

- Proje içerisindeki tüm faaliyetlerin listesi,
- Her aktivitenin süresi, ve
- Faaliyetler arasındaki öncelik ilişkisidir.

Yukarıdaki bilgilerle CPM, projeyi tamamlamak için en uzun yolu (kritik yolu) ve projenin tamamlanmasını geciktirmeden her faaliyetin en erken ve en geç başlangıç ve bitiş zamanını hesaplamak için kullanılabilir. Kritik yoldaki faaliyetler "kritik faaliyetler" olarak adlandırılır ve kritik yolda olmayanlar "bolluğu olan faaliyetler" olarak adlandırılır. Literatürde, CPM'in güçlü özelliği olarak faaliyetlerin mantıksal ilişkilerine ve bağımlılıklarına odaklanması gösterilmiştir (Nicholas ve Steyn, 2012, Thornley, 2013). Bir başka öne çıkan özelliği de özellikle kaynak kısıtlaması olan küçük projelerde minimum serbest bolluk da olmak üzere aktivitelerin önceliklerinin iyi belirlenmesine olanak tanımasıdır (Chanas ve Zielinski, 2001; Hegazy ve Menesi, 2010).

Öte yandan CPM için literatürde eleştiriler de mevcuttur. Bu yöntemde aktiviteler ve süreleri içerisindeki belirsizlik faktörü göz ardı edilip, aktivite sürelerinin kesin olarak bilindiği varsayılarak planlama yapılmaktadır. Ancak yüzlerce aktivite ve bağımlılık ilişkileri olan büyük projeler de etkili bir planlama aracı olarak kullanılamamaktadır (Hegazy ve Menesi, 2010; Winch ve Kelsey, 2005). Bir başka eleştiri, CPM'in kritik yol üzerinde bulunan aktivitelere odaklanması ve kritik olmayan aktivitelerdeki gecikmeyi, riski, kaynak dengelemesi ve kaynak planlamasını göz ardı etmesidir (Andersson ve Johansson 1996; Lui ve Lu 2003; Nicholas ve Steyn, 2012; Walesh, 2012; Zhou ve diğ., 2013). Bu durum da uygulama sırasındaki değişikliklerin planlaması ve kontrol edilmesini zorlaştırmaktadır. Literatürde belirtilen problemlerin çözümü için CPM'in enformasyon ve iletişim teknolojileri ile entegre edilerek kullanılması önerilmektedir (Nicholas ve Steyn, 2012; Thornley, 2013).

#### 2.2.1.2 Geleneksel kontrol yaklaşımı

Proje kontrolü proje başarısında kilit öneme sahip olup genellikle üç adımda gerçekleştirilmektedir: Performans standartlarının belirlenmesi, gerçek performansın bu standartlarla karşılaştırılması ve gerekli düzeltici önlemlerin alınması (Olawale ve Sun, 2013). Gerçekleşen ve planlanan aktiviteler arasındaki küçük değişkenlikler aktivitelerin belirsizlik faktörü içerisinde tolere edilebilse de büyük değişiklikler için mutlaka gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Standart olarak proje kontrolünü kolaylaştırmak için proje başlamadan nicel performans ölçütleri tanımlanmalıdır. Bu ölçütler kritik başarı faktörlerinin yanı sıra maliyet, zaman, kalite, güvenlik, üretkenlik ve iş kapsamı gibi proje hedeflerinin belirlenmesini sağlamaktadır.

Proje yaşam döngüsü boyunca projelerin kontrollü gitmesi istenilse de özellikle büyük ve karmaşık projelerde zaman ve maliyet kontrolünü sürekli yapmak mümkün olmayabilir. Bu nedenle projedeki kritik aşamalar için kontrol noktaları belirlenmeli ve mutlaka bu aşamalarda ayrıntılı kontroller yapılmalıdır.

### 2.2.2 Yalın inşaat üretim planlama ve kontrol iş akış süreci

Endüstriyel üretimdeki yalın felsefe, geleneksel proje yönetiminde karşılaşılan verimsizlik problemlerine çözüm olarak inşaat sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. İnşaat sektörünün verimliliğini arttırmanın en etkili yollarından biri planlama ve kontrol iş akış sürecinin iyileştirilmesi olup, yalın inşaatta planlama ve kontrol birbirini tamamlayan dinamik süreçler olarak görülmektedir. Planlama, proje hedeflerine ulaşmak için kriterleri belirlemekte ve gerekli stratejileri oluşturmakta, kontrol ise aktivitelerin planlandığı sırayla gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Yalın inşaatta planlanan aktiviteler gerçekleşmediğinde geri bildirimler alınması, işin neden yapılmadığının tespit edilmesi için önemlidir (Howell, 1998).

Ballard ve diğ. (2007) yalın inşaat uygulaması için destekleyici etkenleri şu şekilde sıralamıştır: İş sahibi ve müşteri talebi, firma içindeki daha iyi iş yapma isteği, proje müdürleri üzerindeki baskıyı azaltma talebi, inşaatlardaki israf ve değişikliğin azaltılması ve proje ekibiyle olan iletişimin geliştirilmesidir.

Yalın inşaatın planlama ve kontrol aracı Son Planlayıcı Sistem (Last Planner System - LPS) olup, geleneksel proje yönetimindeki eksik ve verimsizliğe neden olan faktörleri

temel problem alanları olarak belirleyip, iş akışlarını iyileştirme amacıyla geliştirilmiştir. LPS 1992 yılından beri çeşitli projelerde uygulanmakta olup, birçok rapor ve araştırma sonuçlarına gore, LPS kullanıldığı projelerde iş akışı güvenirliği ve üretkenliği arttırıp, ekip çalışmasını desteklemekte, kalite ve güvenliği arttırmasının yanı sıra proje maliyet ve sürelerini azaltmaktadır (Kim ve Jang, 2006). Bu doktora tezinde ayrıntılı anlatılmasının nedeni, LPS'nin "iş birlikçi planlama (faz planlama)" sürecinin tez kapsamında önerilecek kavramsal model önerisinin de bir bileşeni olmasıdır.

#### 2.2.2.1 Modern planlama ve kontrol tekniği: Son Planlayıcı Sistem (LPS)

LPS yalın inşaatın üretim planlama ve kontrol aracı olup, Glenn Ballard tarafından 90'lı yılların başlarında proje üretim kontrolünü sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde pilot projelerde sıklıkla kullanılmakta olup, proje performansına olan olumlu etkisiyle dikkat çekmektedir. Bu doktora tezinde kavramsal model önerisi geliştirilirken, LPS'nin planlama ve kontrol sürecine katkıları incelenmiş ve özellikle iş birlikçi planlama süreci anlayışından faydalanılmıştır.

Ballard ve ekibi (2000) geleneksel yöntemdeki planlama ve kontrol anlayışını, yapım sahalarındaki proje kontrolüne odaklanıp, birim üretim kontrolüne odaklanmaması nedeniyle eleştirmişlerdir. Bu nedenle, LPS'yi iş akışı kontrolü ve birim üretim kontrolüne dayandırarak geliştirdiklerini belirtmişlerdir (Aziz, 2013). Üretim Birimi Kontrolü, yapım ekipleri ve tasarım ekipleri gibi üretim birimlerinde işin yürütülmesini koordine ederken, iş akışı kontrolü ise üretim birimleri aracılığıyla tasarım, tedarik ve kurulum akışını koordine etmektedir (Ballard, 2000). Ballard ve Howell'a (2003) göre LPS özellikle haftalık iş planı kalitesine odaklanarak, doğru iş sıralaması ve iş miktarının oluşturulmasını sağlamaktadır.

Mossman (2005), LPS sistemini projenin planlaması, programlanması ve teslimi aşamalarında saha ekipleri ve saha yönetimi arasındaki iş birliği ve görüşmeleri teşvik edici bir sistem olarak tanımlamıştır. LPS'nin, kontrol odağını geleneksel yöntemdekinin aksine, saha işçilerinin üzerinden alarak onları birbirine bağlayan iş akışına kaydırdığı belirtilmiştir. LPS' nin iki ana amacı, çalışanları sürekli öğrenme ve düzeltici eylem yoluyla yönlendirerek daha iyi üretim yapmasını sağlamak ve işin elde edilebilecek en iyi sıra ve hızda olabilmesi için üretim birimleri arasında iş akışını sağlamak olduğunu belirtilmiştir (Kenley ve Seppanen, 2009; Nikhil ve diğ., 2017).

Ogunbiyi (2014) ‘e göre, LPS uygulamasının destekleyici etkenleri, iş sahibi veya müşteri ihtiyacını karşılamak, rekabet avantajı sağlamak ve sürekli iyileşmeye olan taleptir. Destekleyici etkenler incelendiğinde LPS uygulaması için sadece iş sahibi desteği değil, yüklenici firmaların da bu konuda istekli olması önemlidir. Çünkü özellikle rekabet avantajını sağlama ve projenin hedefleri doğrultusunda gerçekleştirilmesi birincil olarak genel yüklenici firmalarla ilgilidir.

Daniel (2017), doktora tez çalışması kapsamında LPS kullanım durumunu öğrenmek için İngiltere’de faaliyet gösteren yüklenici firmalarda çalışan alanında uzman 28 kişiyle karşılıklı görüşmeler yapmıştır. Görüşme bulgularına göre LPS kullanımının sağladığı faydalar Şekil 2.2’de görülmektedir. Öne çıkan başlıklar, projede paydaşlar arasındaki iletişimi arttırması, güvenilir işprogramı oluşturulmasını sağlaması ve sürecin verimliliğini arttırmasıdır.




**Şekil 2.2 :** LPS'nin Faydaları (Daniel, 2017 çalışmasından uyarlanmıştır).

Literatürde LPS uygulaması faydalarıyla ön plana çıksa da uygulanmasının önünde birtakım engeller olduğu da tespit edilmiştir. Bunlar, değişime olan direnç, LPS’yi tam olarak kabullenmeme, nasıl uygulanacağı konusunda eğitim ve deneyim ekikliği ve üst yönetim desteğinin yeterli olmayışıdır (Fernandez-Solis ve diğ., 2012; Porwal ve diğ., 2010). Liker’a göre (2004), yalın prensipleri uygulayabilmek için organizasyonlar değişimi istemelidir ve yeni yaklaşımlara açık olmalıdırlar. Bu görüş aynı zamanda diğer tüm enformasyon ve iletişim teknoloji araçları adaptasyonu için de geçerlidir. LPS adaptasyon süreci bütüncül bir yaklaşım gerektirip uzun sürmekte olup, kısa zamanda fayda beklenilmesi adaptasyon sürecini olumsuz yönde etkilemektedir (Perez ve Grosh, 2018).

Brady (2014), gelişmekte olan ülkelerde LPS uygulamasının önündeki engelleri şu şekilde belirtmiştir. Bu engeller farklı bir endüstriyel verimlilik aracı adaptasyonu için de geçerlidir.

- Zayıf İletişim ve Şeffaflık
- Yapım Ekiplerinin (inşaat işçileri) planlama sürecine katkısının olmayışı,
- Katılımcıların sürece yeterince hazırlanmaması, eğitim eksikliği, kalifiye olmayan çalışanlar,
- Süreçteki rol tanımlarının ve dağılımının tam sağlanamaması,
- Bilginin yeterli kullanılamaması, bilgi akışındaki eksiklik,
- Yeniliklere adaptasyon için sürenin kısa olması,
- Tedarik zincirindeki bütünleşme eksikliği,
- Yeni çalışma kültürüne adaptasyon,
- LPS süreçlerin birbirine çok sıkı sıkıya bağlı olmasıdır.

**LPS Planlama Aşamaları**

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi LPS beş ana planlama sürecinden oluşmaktadır. (Ballard ve Tommelein, 2016): Ana Planlama (master planlama), iş birlikçi planlama (faz planlama), uygulamaya yönelik planların oluşturulması (Lookahead), haftalık iş planı oluşturulması ve geri beslemedir.

LPS mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinden farklı olarak, iş birlikçi planlama sürecini tanımlamaktadır. Diğer ana planlama, ileriye yönelik planların oluşturulması, haftalık iş planlarnın oluşturulması kavramları geleneksel yöntemde de tanımlanmaktadır. Bu doktora tezinde de kavramsal model önerisi bileşenlerinden biri olan iş birlikçi planlama konusuna daha ayrıntılı yer verilmiştir.

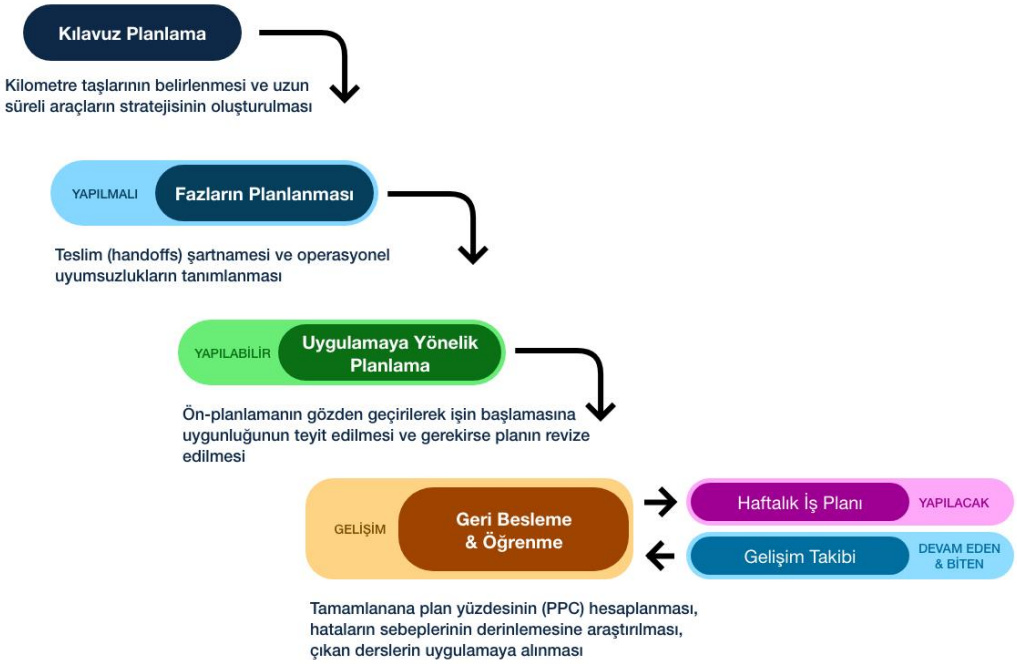
Faz planlama veya iş birlikçi programlama, alt yüklenicilerin, yüklenicilerin, tedarikçilerin, tasarımcıların, işveren ve diğer paydaşların planlama ve programlama sürecine doğrudan dâhil edilmesi yoluyla, ana veya sözleşme programından güvenilir bir yapım programı geliştirilmesinde kullanılan bir süreçtir (Anderson ve diğ., 2011; Ballard, 2000; Mossman, 2014). Bu yaklaşımla tüm ekip planlama sürecine dâhil olup, fazlar ve ilgili aktiviteler arasındaki ilişkilerin nasıl sağlandığını görmüş olurlar. Planlama sürecinin şeffaflığı ve proje ekibi arasındaki güven artarak projeyle ilgili

ortak bir anlayış (sekizinci akış) geliştirilmesi sağlanır (Pasquire, 2012). Bu aşamada kritik tarihler sondan başa gidilerek tüm ekibin katıldığı toplantılarla teyit edilmektedir (Koskela ve diğ., 2010; Macomber ve diğ., 2005). Böylece gecikmeye neden olacak faktörler önceden belirlenmektedir. Fazların bitiş ve başlangıç tarihleri ekiplerle teyit edilmektedir. Faz planlama ana iş programı (master program) ve 4-8 haftalık ayrıntılı iş programlarının (lookahead) planları arasında bir geçiş oluşturur.

Ballard ve Howell (1998), iş programları geliştirilirken iş birliğine dayalı programlamanın bulunmamasının inşaat projesi başarısızlıklarının ana nedenleri arasında olduğunu belirtmiştir. Faz planlamada fazların teslim tarihleri işi yapacak ekiplerle belirlendiği için süreç "çekme planlama" olarak da adlandırılmaktadır (talebin saha koşulları ve ekiplerin bildirimine göre oluşturulması). Geleneksel yöntemde, saha ekiplerine uygulamaları ve takip etmeleri için bir iş programı dayatıldığı belirtilmektedir. Bu duruma literatürde "itme planlama" denilmektedir. Faz planlama sırasında ekiplerin taahhütlerine dayalı olarak her fazın bitiş tarihinden başlangıcına doğru bir planlama ve ilişki düzeni oluşturulur. Literatürde, faz planlama sürecinin, uygulandığı projelerde inşaat aşamasındaki satın almadaki değişimleri, gecikmeleri, yeniden yapılan ve değer katmayan aktiviteleri ve yapım süreçlerindeki uyuşmazlıkları azalttığı belirtilmiştir (Anderson ve diğ., 2011; Hans ve diğ., 2006; Pasquire, 2012).

Öte yandan, LPS'de iş akışı güvenirliğinin 4-8 haftalık uygulama planları ile birim üretim kontrolünün ise haftalık iş programlarıyla sağlandığı belirtilmiştir (Nikhil ve diğ., 2017). Uygulamaya yönelik planlar LPS'nin kritik bir sürecini oluşturmakta olup, her bir faz tesliminin zamanında yapılabilmesi için aktivitelerdeki iş akışlarının iç ve dış kısıtlayıcıları ve belirsizliklerine odaklanıp, gecikmeleri engellemeye çalışmaktadır (Ballard, 2000; Macomber ve diğ., 2005).

LPS uygulamasındaki ana ölçümler, Planlama yüzdesi (PPC), güvenilirlik indeksleri ölçümü için Beklenen Görevler (TA) ve Hazır Hale Getirilmiş Görevler (TMR)'dir (Ballard, 2000; Hamzeh ve diğ., 2015). Pilot uygulamalarda en çok faydalanılan ölçüm PPC olup, toplam işin yapılan işe oranlanması ile bulunmaktadır. Haftalık olarak her bir alt yüklenicinin PPC oranları hesaplanır ve söz verdikleri işlerden hangilerini yapmadıkları tespit edilir. Buna göre gecikmelerin olmaması için gerekli tedbirler haftalık olarak alınır.




**Şekil 2.3 :** LPS'nin aşamaları (Hamzeh, 2009 çalışmasından uyarlanmıştır).

### 2.2.2.2 LPS ve BIM ilişkisi

Literatür araştırmaları sırasında görülmüştür ki, birçok uygulamada yapım süreçlerinin verimliliğini arttırmak için BIM ve LPS süreçlere ayrı ayrı entegre edilmiş ve belli bir orana kadar yapım projelerindeki gecikmeyi azaltmışlardır. Örneğin, Alsehaimi ve diğ., (2014), Suudi Arabistan'daki 2 devlet projesinde sadece LPS'yi uygulayarak proje süresinin %50 oranında azaltıldığını raporlamıştır. Chelson (2010), Amerika'da farklı ölçeklerdeki 8 adet yapım projesinde BIM'i uygulamış ve proje sürelerinde ortalama %9 azalma olduğunu belirtmiştir. Parvan (2012), BIM uygulanan ve uygulanmayan 30 yapım projesini incelemiş ve BIM'in kullanıldığı projelerde tasarım süresinin %30 kısalması, yapım süreçlerinde %10 süre azalması ve toplamda bütün proje süresinden %16'lık bir azalma olduğunu raporlamıştır.

Sacks ve diğ (2010b), 24 yalın prensip ve 18 BIM fonksiyonu arasında 56 etkileşim olduğunu ve bunların 52 tanesinin pozitif etkileşim olduğunu belirtmiştir. Oskouie ve diğ. (2012), BIM ve Yalın İnşaat arasındaki etkileşim matrixini büyütmüş yeni BIM fonksiyonları eklemişlerdir: (1) uygulamaya yönelik planların oluşturulması sürecini desteklemesi, (2) gerçek zaman yapım takibi ve raporlamasını iyileştirmesi ve (3) arttırılmış gerçekliği desteklemesidir. Eastman ve diğ. (2011), BIM ve LPS arasında 4 temel sinerji alanı olduğunu belirtmiştir.

BIM kullanımı değişkenliği azaltmaktadır. Ayrıca BIM:

- Tasarımın görselleştirilmesini ve fonksiyonların etkinliğinin değerlendirilmesini sağlar.
- Alternatif tasarımların hızlıca üretilmesini sağlar.
- Tüm proje bilgilerini ve tasarım modelinin güvenle korunmasını sağlar.
- Tüm raporların otomatik bir şekilde üretilmesini sağlar.
- Tutarlı sonuçlar ve güvenilir bilgiler sunarak yeniden işleme miktarını ve bilgi bekleyen zamanı azaltır.

BIM döngü süresini azaltır:

- Yapım görevlerini otomatik olarak oluşturur.
- Yapım sürecini simüle eder.
- 4D modelinde inşaat programını görselleştirir.
- Projelerdeki uyuşmazlık problemlerinin erkenden tespit edilip hızlıca giderilmesini sağlayarak döngü süresiniazaltır.

BIM hem inşaat ürünlerinin hem de süreçlerinin görselleştirilmesini sağlar:

- Ayrıntılı BIM modelleri sayesinde üretkenlik artar.
- LPS toplantıları öncesi ve sırasında 4D animasyon modelleriyle süreç planları simule edilip incelenir.
- Tedarik zinciri veri tabanı ile entegre BIM modelleri çekme üretim sisteminin sağlanması, malzeme teslim ve ürün tasarımı bilgilerini sağlaması açısından çok önemlidir.

BIM birçok yalın prensibin tasarım aşamasında kullanılmasını destekler:

- İş sahibinin tasarımı daha iyi anlamasını sağlar ve tasarımcıların analiz yapmalarını sağlar.
- Bilgi akışı ve gereksinimini iyileştirir.

## 2.3 Bölüm Sonu

Bu bölümde inşaat sektöründeki akış kavramı açıklanmış, endüstriyel üretimdeki akış kavramından farklılaşan yanları ortaya koyulmuştur. İnşaat sektöründeki geleneksel proje yönetiminde planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde karşılaşılan problemler açıklanmış, geliştirilen modern planlama tekniklerinin katkıları ortaya koyulmuştur. Yurt dışında son yıllarda dikkat çeken yalın inşaat kavramı ve planlama ve kontrol aracı olan LPS anlatılmıştır. LPS ve BIM bütünleşmesinin planlama ve kontrol iş akış süreçlerine getirdiği faydalar sunulmuştur.

Geleneksel proje yönetimdeki, planlama ve kontrol iş akış sreçlerinin problemli yanları şu şekilde özetlenebilir;

- Proje ve kapsamının tam anlaşılmaması,
- İş akışlarının görselleştirmesine olanak vermemesi,
- Özellikle karmaşık ve büyük projelerde iletişim ve koordinasyon problemine neden olması,
- Ana iş programlarının doğru proje bilgileri üzerine kurulmaması nedeniyle, uzun ve kısa vadeli planlar arasında kopukluk,
- Saha ilerleme takibinin ve ana iş programı ile karşılaştırmaların zorluğu,
- İş programındaki değişikliklerin geç farkedilmesi ve zamanında önlem alınmaması,
- Farklı yapım senaryolarının oluşturulma zorluğu,
- Planlama sürecinin güvenilirliğinin daha çok iş programlarını geliştiren kişilerin yetkinliğine dayanmasıdır.

# 3. BIM TABANLI PLANLAMA VE KONTROL SÜREÇLERİ (4D BIM)

Bu bölümde, genel yüklenici firmaların mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilmesi için çözüm yollarından birisi olarak ön plana çıkan BIM tabanlı çalışmalar (4D BIM) anlatılmıştır. Bu amaçla öncelikle, planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin literatürde nasıl ele alındığını ayrıntılı bir şekilde analiz edebilmek için bir bibliometrik analiz çalışması yapılmıştır. Analiz çalışması bulguları, bu alanda geliştirilebilir problemli alanların belirlenmesine yardımcı olmuş, BIM tabanlı planlama ve kontrol iş akış süreçleri konusunda literatürdeki boşluğun tespit edilmesini sağlamıştır. Ardından planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirmesine yönelik enformasyon teknolojilerindeki gelişmeleri temel alan çözümler kapsamında, BIM bütünleşmesinin önemi, bu konuda yapılan güncel çalışmalar ve proje performansına olumlu etkileri sunulmuş, kullanımı önündeki engeller, otomatik iş programı oluşturulması konusundaki güncel çalışmalar ve problemler anlatılmıştır. Literatürde oldukça kısıtlı çalışılan iş programı ve LOD ilişkisi konusu ele alınmıştır. Türk inşaat sektöründeki mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerini yurt dışındaki diğer örneklerle karşılaştırabilmek için, İngiltere ve Çin'de uygulanan planlama ve kontrol iş akış süreçleri incelenmiştir.

## 3.1 Bibliometrik Analiz

Literatürde planlama ve kontrol iş akış süreçlerini bütün girdileriyle ayrıntılı inceleyebilmek, hangi kavramlarla birlikte sıklıkla ve görece az çalışıldığı, hangi yaklaşımların etkisinde geliştiği ve sürecin genelinde problemlere neden olan eksiklik ve boşlukları tespit edebilmek amacıyla bibliometrik analiz çalışması yapılmıştır. Bu çalışma, süreçte etken farklı bileşenlerin incelenmesine, sürecin geneli üzerinde geliştirilebilir alanların belirlenmesine ve bu sayede inşaat sektöründe hâkim olan sonuç (üretilen çıktı) odaklı iyileştirme yaklaşımı yerine süreç odaklı bir yaklaşım benimsenmesine yardımcı olmuştur. Analiz sonucu elde edilen bulgular, planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin problemli alt süreçlerinin belirlenmesi, iyileştirilmeleri için

tez çalışmasında önerilen stratejilerin geliştirilmesi ve odaklanılan kavramların belirlenmesinde kullanılmıştır.

Bibliometrik analiz, yayınların özet, makale ve başlık verileri içerisindeki ilişkilerin takip edilmesine olanak verip, yeterli bilgiye ulaşılmasını sağlamaktadır (Bankar ve Lihitkar, 2019). Bu çalışmada akademik yayınlara ulaşmak için Scopus veri tabanı kullanılmıştır. Scopus veri tabanının tercih edilmesinin nedeni, önemli atıf ve özetlerden oluşması ve de hakemli literatürün en büyük kaynaklarından birisi olmasıdır (Bakkalbaşı ve diğ., 2006; Martin-Martin ve diğ., 2018). Araştırmada yalnızca İngilizce dilinde yazılmış yayınlara odaklanılmıştır.

Analize başlarken, öncelikle Scopus veri tabanında "planlama ve kontrol" ve "inşaat" kelimeleri 2005 yılı başlangıç kabul edilerek 2021 yılı Ocak ayına kadar ulaşılan yayınlarda araştırılmıştır. Elde edilen yayınların "alıntı, bibliografik, özet ve anahtar kelimeleri" bibliometrik analizde kullanılmak üzere veri tabanından CSV dosya formatında çıktı alınmıştır.

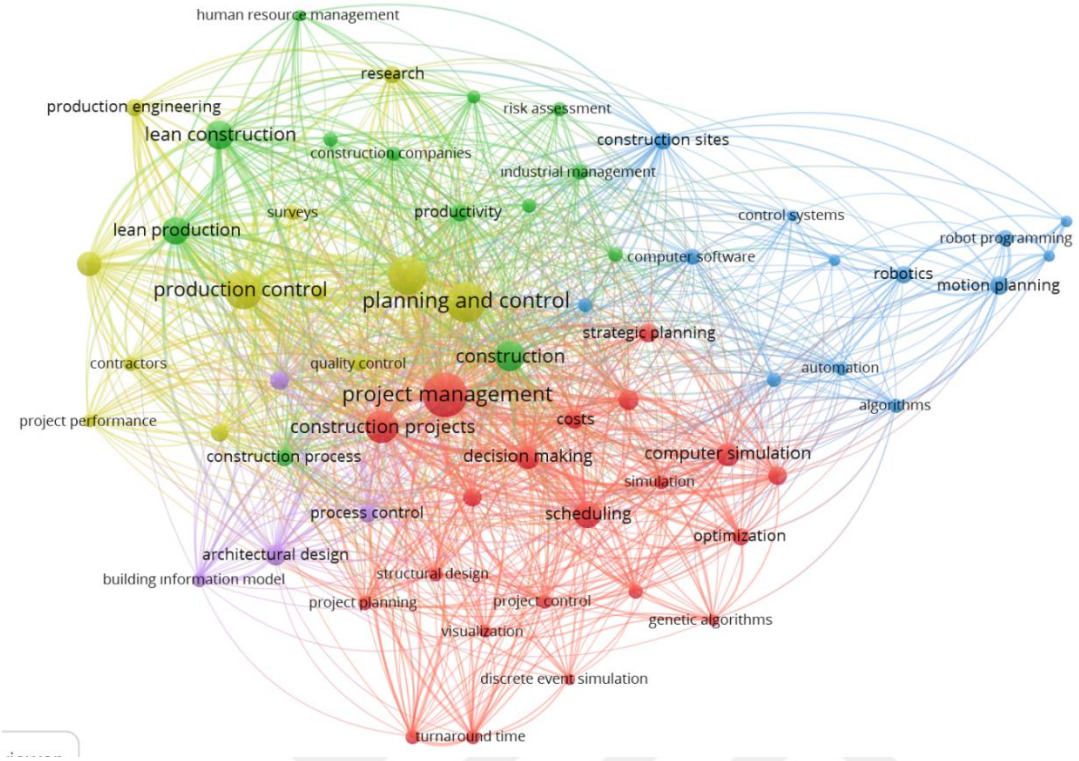
Günümüzde bibliometrik analiz için birçok yazılım mevcuttur, bu çalışma için VOSviewer (van Eck and Waltman, 2011) tercih edilmiştir. VOSviewer tercih edilmesinin nedeni, metinsel veriler arasındaki bağları kurmak, analiz etmek ve görselleştirmek için kullanışlı olması ve metin kapasitesinin oldukça yüksek olmasıdır. Bir başka nedeni de literatürde özellikle inşaat sektöründe, proje yönetimi, atık yönetimi, iş güvenliği ve BIM alanında yapılan bibliometrik analizlerde VOSviewer yazılımının sıklıkla kullanıldığının görülmesidir (He ve diğ., 2017; Jin ve diğ., 2019).

VOSviewer yazılımında bibliometrik analiz için, CSV formatındaki çıktı kullanılmış ve yazılımın tespit ettiği kelimeler en az 10 kez tekrarlanma ile kısıtlanmıştır.

Şekil 3.1'de bibliometrik analizin sonucu görülmektedir. Burada farklı kavramlar yuvarlak düğümlerle ifade edilirken, aralarındaki karşılıklı ilişki de çizgilerle gösterilmektedir. Yuvarlak düğümlerin büyüklüğü "planlama ve kontrol" kavramıyla olan ilişkisine göre değişmektedir. Buna göre elde edilen veriler aşağıda sıralanmıştır.

- "Planlama ve kontrol" kavramı, en çok "üretim kontrolü", "yalın inşaat", "yalın üretim" ve "proje yönetimi" kavramlarıyla karşılıklı ilişki içerisinde ele alınmaktadır.
- "İş programı oluşturulması (scheduling)", "stratejik planlama", "strüktürel tasarım" planlama ve kontrol kavramıyla birlikte sıklıkla çalışılmaktadır.

- “Proje kontrolü”, “optimizasyon” ve “kalite kontrol” kavramları planlama ve kontrol kavramıyla görece az çalışılan konulardır.
- Çalışmanın önemli bir tespiti, “dijitalleşme”, “enformasyon teknolojileri” kavramlarının analizde yer almamasıdır, bu durum literatürde bu kavramlar ve planlama ve kontrol iş akış süreçleri arasındaki boşluğu göstermektedir. May ve diğ., (2018), yapım sürecindeki dijitalleşme eksikliğinin, iş programlarında ortalama %20 değişkenliğe neden olduğunu ve enformasyon teknolojileri bütünleşmesi sağlandığında teslimlerde gecikmelerin yaklaşık %10-15 oranında azalacağını, üretkenliğin artacağını belirtmişlerdir.
- Bir diğer dikkat çekici olduğu düşünülen tespit, planlama ve kontrol faaliyetleri çoğunlukla yüklenici firmalar tarafından yürütülmesine karşın, “Yüklenici” ve “Planlama ve Kontrol” kavramlarının görece az çalışılan konular arasında yer almasıdır.
- Günümüzde inşaat sektöründe sıklıkla ele alınan “risk yönetimi”, “risk değerlendirmesi” kavramları ve planlama ve kontrol iş akış süreçleri az ele alınan konular arasındadır.
- “Görselleştirme”, “Bilgisayar yazılımları” kavramlarının “planlama ve kontrol” süreçleriyle kısıtlı çalışıldığı görülmektedir.
- Ve “BIM” ve “planlama ve kontrol” iş akış süreçleri ilişkisinin de oldukça kısıtlı olduğu görülmektedir. Özellile BIM tabanlı planlama ve kontrol süreçleri (4D BIM) analizde görülmemektedir. Bu durum da bu alanda planlama ve kontrol iş akış süreçleri arasında literatürde boşluk olduğunu göstermektedir. Bir sonraki bölümde BIM tabanlı planlama ve kontrol süreçleri daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.




**Şekil 3.1 :** "Planlama ve Kontrol" Odaklı Bibliometrik Analiz Sonucu.

### 3.2 4D BIM'in Faydaları

BIM tabanlı planlama, diğer adıyla 4D BIM teknolojisi inşaat sektöründe 1990'larda kullanılmaya başlanmıştır (Collier ve Fischer 1995; Matsuzawa ve diğ.,1994). 4D BIM, 3D teknolojisinde kullanılan geometriye dördüncü boyut olarak zamanın eklenmesi ile oluşturulmakta olup (Koo ve Fischer, 2000), proje yaşam döngüsü boyunca kullanılabilecek en iyi planlama tekniği olarak görülmektedir (Chau ve diğ., 2005; Heesom ve Mahdjoubi, 2004; Kamat ve Martinez 2002; Kähkönen ve Leinonen 2003; Koo ve Fischer 2000; McKinney ve Fischer 1998; Wang ve diğ., 2004). Öncelikle tasarım aşamasındaki farklı senaryoları görmek ve görselleştirmek için geliştirilmiş olup sonrasında yapım sürecine de entegre edilmiştir. 4D BIM ile yürütülen süreçlerin geleneksel planlama prosedürü ile gerçekleştirilen süreçlere göre %40 daha verimli olduğu belirtilmektedir (Candelario-Garrido ve diğ., 2017). Han ve Golparvar (2015), 4D metodolojisinin inşaat ilerlemesinin izlenmesi için kullanıldığında %95,9 doğruluk gösterdiğini belirtmişlerdir.

4D BIM, projenin erken aşamaları itibariyle tasarım ve planlama sürecini bütünleştirerek, planlama ve kontrol iş akış sürecinin doğru proje enformasyonu

üzerine kurulmasını sağlamaktadır. Bu sayede ana ve ayrıntılı iş programları arasında kopukluğun giderilmesini sağlamaktadır (Candelario-Garrido, 2017). 4D süreci ile oluşturulan iş programları daha güvenilir ve eksiksiz olup, daha iyi iş akışı sağlayarak, zaman ve maliyet aşımını engelleyen güçlü bir kontrol aracı olmaktadır. (Songer ve diğ., 2001). Öte yandan, 4D modeller yapım sürecinde iş akışlarını görselleştirerek önceden öngörülemeyen tasarım, yapım problemlerinin ve tutarsızlıkların tespit edilmesini kolaylaştırır, zaman-mekân uyuşmazlıklarını engeller (Koo ve Fischer 2000; Sacks, 2009). 4D BIM, planlama, programlama olasılıklarını ve tasarımın optimize edilmesini sağlarken, planlanan işlerin paydaşlar arasında hızlı ve kolayca anlaşılmasını sağlar, ekipler arası iletişim ve koordinasyonu güçlendirmektedir (Olde Scholtenhuis ve diğ., 2016).

4D BIM proje müdürlerinin karmaşık ve hâkim olması zor olan proje enformasyonuna pratik bir şekilde hâkim olmasına yardımcı olur. Bu şekilde yapım metodolojilerini oluştururken doğru proje enformasyonu üzerinden çalışırlar. Böylece inşaat sektöründeki en karmaşık akışlardan birisi olan "bilgi akışının" koordine edilmesi konusunda etkilidir. Ayrıca, 4D BIM teknolojisinin güçlü yanlarından biri saha ekiplerinin mevcut geleneksel sistemdeki etkili saha yönetimi, kaynak dağılım problemlerine çözüm sunmasıdır (Kassem ve diğ., 2015; Wang ve diğ., 2004).

Yukarıda sözü edilen özellikler dışında, BIM'in dâhil olduğu projelerde proje yönetiminde veya üretim yönetiminde destekleyici etmenleri şu şekildedir (Dave, 2013): Yapım aşamalarının ve sıralamalarının kolaylıkla oluşturulması, uyuşmazlık testleri, detay tasarımınların görselleştirilmesi, model üzerinde notlar alarak, toplantılar yaparak bilgi paylaşımı ve iletişimini desteklemesi, maliyet ve metraj hesaplarının yapılmasına olanak tanıması, kısıtlayıcı analizlerin yapılmasının sağlanması, alternatif yapım ve tasarım senaryolarının değerlendirilmesinin sağlaması ve yapım sürecinin takibinin görsel olarak gerçek zamanlı yapılmasına olanak sağlamasıdır.

4D BIM teknolojisi avantajlarına karşın, sektörde kullanımının beklenen düzeyde olmadığı raporlanmaktadır (Hartmann ve diğ., 2008; Hartmann ve Fischer, 2007; Liu ve diğ., 2014; Mahalingam ve diğ., 2010; Trebbe ve diğ., 2015). Bu nedenle, bir sonraki bölümde 4D BIM kullanımı önündeki engeller anlatılmaktadır.

### 3.2.1 4D BIM kullanımı önündeki engeller

Literatür araştırmalarının sonucu 4D BIM'in operasyonel yönden ve iletişim açısından önemini ortaya koymasına karşın, uygulamada 4D BIM'in istenildiği düzeyde kullanılmadığı tespit edilmiştir (Hartmann ve diğ., 2008; Hartmann ve Fischer, 2007; Liu ve diğ., 2014; Mahalingam ve diğ., 2010; Trebbe ve diğ., 2015).

Bu durumun birincil nedeni, öncelikle 4D BIM'in inşaat sektörü için bir inovasyon olması ve beraberinde diğer inovasyonlar gibi kökten değişim algısını getirmesidir. Hosseini ve diğ., (2015) inşaat inovasyonlarının temel özelliklerini istihdam eden kuruluş(lar) için yeni olması, önemli değişim(ler) gerektireceğinin düşünülmesi, süreç bağlantılı faydaları tahmin etme zorluğu hem risk hem de belirsizliğe tabi olması ve de inşaatta aşina olunmayan uygulamaları içermesi olarak belirtmiştir. Bu özellikler 4D BIM kullanımı için de sektörde var olan psikolojik engellerdir.

4D BIM, genellikle süreç bazlı teknolojik bir yenilik olmasına karşın, aynı zamanda mevcut planlama pratikleriyle entegre edilebilir modüler bir yeniliktir (Slaughter, 2000). Bu nedenle düşünülenin aksine 4D BIM kullanımı için mevcut planlama ve kontrol süreçlerinin tamamen değişmesi gerekmemektedir (Gledson ve Greenwood, 2016). Literatürde mevcutta kullanılan iş kırılım yapılarının (WBS) detay ve bilgi düzeyinin arttırılmasıyla iş programlarının model verileriyle daha kolay entegre olabileceği belirtilmektedir (Butkovic ve diğ., 2019).

Ana yüklenici firmalar genellikle metraj çıkartmaya uygun olmayan ve iş programı oluşturulurken faydalanamadıkları tutarlı ve kaliteli bir BIM modelinin eksikliği ile mücadele etmektedirler (Olsen ve diğ., 2014). Bu nedenle sektörde belli amaçlar için oluşturulan 4D çalışmaları, mevcut planlama ve BIM modellerinin oluşumu sürecinden ayrı yönetilmektedir. Çünkü, BIM modeli ve iş programı çıktıları birlikte çalışılabilir (teknolojik araçlar arası), birbirleriyle bütünleştirilebilir bir altyapıda oluşturulmamaktadır (Faghihi ve diğ., 2015). Bu problemlerin üstesinden gelmek için, ana yüklenici firmalar tasarım ofislerinden proje dokümanlarını teslim aldıktan sonra BIM modeli doğru proje dokümanlarına göre, planlama sürecinin ihtiyaçları da gözetilerek tekrar oluşturmaları gerekmektedir. Bu durum da yüklenici firmaların adam-saat maliyetini arttırmaktadır (Sigalov ve König, 2017).

Bir başka önemli konu da günümüzde inşaat projelerinde çoğunlukla aktivitelerin planlanması, süreçlerin incelenmesi ve kontrol edilmesinin el ile yapılmasıdır (Kropp

ve diğ. 2018). Ve inşaat projelerindeki mevcut 4D faaliyetleri model oluşturulması, iş programının üretilmesi ve her ikisinin senkronize edilmesi gibi emek yoğun çalışmaları gerektirmektedir. Bu faaliyetlerin bir proje bütçesi içindeki ortalama payı %40'a kadar çıkmaktadır. Projede değişiklik olduğunda aynı zaman alıcı ve zahmetli süreç her seferinde tekrarlanmaktadır. Bu nedenle ana yüklenici firmalar 4D BIM'i bütün süreçlerde kullanmak yerine belli amaçlar için pilot olarak kullanmayı tercih etmektedirler (Kataoka, 2008). Sonuç olarak, 4D BIM uygulamalarının otomatikleştirilmesi ve buna bağlı olarak planlamacılarının iş yükünün azaltılması 4D BIM kullanımının artmasını sağlayacağı için çok önemlidir.

Aredah ve diğ. (2019), 2018 yılında 4D BIM'in dünya genelinde inşaat sektörü üzerindeki etkisini öğrenebilmek için internet üzerinden bir anket çalışması yapmışlardır. Anket soruları 2500 adet yöneticiye Linkedin üzerinden gönderilmiş ve 391 adet yanıt alınmıştır (%16 dönüş oranı). Anket çalışması sonuçlarına göre katılımcıların %51'i CPM kullanmaktadır. Katılımcıların %75'i 4D BIM'in geleneksel yöntemlere göre sürecin görselleştirilmesinde, ekipler arasında koordinasyonu arttırması yönünden daha iyi olduğunu belirtse de zaman ve sözleşmesel baskısı, uygulama maliyetlerinin yüksekliği en önemli engeller olarak gösterilmiştir.

Diğer engeller şu şekildedir: Birlikte çalışabilir yazılım eksikliği, yüksek ilk kurulum maliyeti, modeller içindeki nesneler için kodlama protokollerinin eksikliği, BIM yazılımını kodlamak için kodlama standartlarının olmaması, entegre modellerin olmaması (Stanley ve Thurnell, 2014), standardizasyon eksikliği (Porkka ve Kähkönen, 2007), mevcut sürecin aksaması / değişime direnç, BIM uygulaması için sözleşmeye dayalı bir gerekliliğin olmaması ve BIM kullanımının net olmayan yatırım getirisi (ROI) (Ahmed ve diğ., 2014), kültürel ve sosyal yaklaşımlar, eğitim ve öğretim eksikliği gibi sorunlardır (Tulke ve Hanff, 2007). Ancak en önemli kısıtlama 4D teknolojisinin nasıl kullanılacağının tam olarak bilinmemesi ve maliyeti olarak gösterilmektedir (Gledson ve Greenwood, 2016).

### 3.2.2 4D BIM otomatik iş programı oluşturulması

BIM'de depolanan, örneğin mekânsal, geometrik bilgi, metraj ve adet bilgisi, ilişkisel bağlantılar ve malzeme katmanı bilgileri gibi verilerin otomatik bir şekilde modelden çekilerek iş programları içerisinde kullanılmasıyla 4D otomatik iş programları geliştirilmektedir. Otomatik oluşturulan iş programlarının geleneksel programlama

yöntemleriyle üretilen programlara göre çok daha kısa sürede oluşturulduğu belirtilmektedir (Kim ve diğ., 2013).

İş programlarının otomatik oluşturulma çalışmaları BIM teknolojisi kullanılmaya başlanmadan önce başlamıştır. Belli başlı çalışmalar şu şekildedir: Cherneff ve diğ. ve Zozaya-Gorotiza bilgi tabanlı sistemler kullanarak CAD ve iş programlarının otomatik eşleşmesi üzerinde çalışmışlardır. Çalışma inşaat sektöründe üretkenliğin arttırılması için bir potansiyel olarak görülse de çalışma sonucunda CAD çizimden veri almanın önemli bir problem olduğu belirtilmiştir (Cherneff ve diğ., 1991; Zozaya-Gorostiza 1988). Daha sonra Fischer ve Aalami bu çalışma üzerine giderek inşaat yönetimi şablonları kullanarak aktiviteler ve sıralamalarını üretebilecekleri bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, aktivitelerin farklı detay düzeylerinde gözlenebilme ve kontrol edilebilmesinin mümkün olduğu, ancak sürecin yine de elle kontrol gerektirdiği belirtilmiştir (Fischer ve Aalami, 1996).

BIM modellerinin kullanılmaya başlamasıyla birlikte 3D CAD ve BIM içerisindeki verilerin iş programlarında otomatik kullanılmasıyla ilgili çalışmalara başlanmıştır. Tulke ve Hanff (2007), BIM'de kullanılan yapı bileşeni miktarları ve üretim hızı bilgisini de kullanarak iş programındaki görevler için otomatik süreler oluşturulabileceğini göstermişlerdir. Bu çalışmadaki amaç, iş programı üretilmesinden öte 4D simülasyon üretim sürecinin hızlandırılması olarak belirtilmiştir. İş programı oluşturulma problemlerine yönelik otomatik çözümlerle ilgilenen Fırat ve diğ., (2007), sırasıyla tasarım hedeflerine, kaynak hedeflerine ve faaliyet hedeflerine odaklanan üç alt modeli içeren bina inşaat enformasyon modelini (BCIM) önermiştir. Fırat, BCIM alt modelini ve denge yöntemi kullanarak konut inşaatı projelerinde metraj hesabı yapabilmek için modelini genişletmiştir.

De Vries ve Harink (2007), yapım sırasını 3D modelden otomatik elde edebilen bir algoritma sunmuştur. Uygulama sürecinde iş programı üzerinde daha fazla kontrole sahip olsalar da tasarım sürecinin aşamasına bağlı olarak, farklı detay düzeylerinde planlamaya izin veren katmanlı bir yaklaşıma gereksinim olduğunu belirtmişlerdir. Büchmann-Slorup ve Anderson (2010) BIM tabanlı yaklaşımlarla iş programları üretilme sürecini irdelemişler ve en zor aşamanın yapım sürecinin ilk aşamalarındaki eksik bilgilerle otomatik iş programı oluşturulması olduğunu belirtmişlerdir. Kataoka (2008) inşaat süreçlerinin ilk aşamalarında hızlı ve otomatik bir şekilde yapım süreçlerinin simülasyonunun görülebileceği bir model üzerinde çalışmıştır. Bu

çalışmada yenilikçi bir çalışma olmasına karşın, farklı yapım metodolojisi stratejilerine göre geliştirilmiş iş programlarının karşılaştırılmasına odaklanmış olup, özellikle BIM modelinden üretilen iş programları odaklı olmamıştır. Tauscher ve diğ. (2009) IFC standardı kullanan dosyalardan veri çekilmesi odaklı yarı otomatik iş programı geliştirebilen bir sistem önermiştir. Çalışmalarında, görev sürelerini benzer projelerdeki bilgileri kullanarak belirlemişlerdir. Ancak çalışmanın bulguları ve detayları gösterilmemiştir.

Kim ve diğ. (2013) fiziksel model girişini otomatikleştirmeye odaklanarak, BIM modelden otomatik veri çekip iş programı üretilmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmanın amaçları şu şekildedir: Öncelikle BIM modeldeki bütün elemanların malzeme, lokasyon ve miktar bilgilerini almak ve verileri BIM objelerinin lokasyonuna göre depolamak, ikincisi BIM modelden çekilen verilere göre aktivite ve sürelerini belirlemek, üçüncüsü aktivitelerin sıralamasının yapılması, dördüncüsü iş programı oluşturulan bir yazılımda BIM'de oluşturulan taslak ilk iş programının çıktısını almak ve sonuç olarak BIM ve iş programı yazılımları arasındaki veri alış verişini kolaylaştırmak için iyileştirme sürecinin tanımlanmasıdır. Sigalov ve Konig (2017) farklı iş programlarındaki benzerlik oranlarına odaklanarak, benzer yapım süreçlerinin otomatik iş programlarında kullanılmasını hedeflemiştir. Burada çalışmanın eksik yönü benzerlik kurulan iş programlarının kesinliği ya da doğruluğunu teyit edecek bir sistemin olmayışıdır.

Yukarıda otomatik iş programlarının elde edilebilmesi için önce iki boyutlu ardından üç boyutlu modelle yapılan bütünleşme çalışmaları incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre projelerde belli oranlarda otomatik iş programları elde edilebilse de gelinen noktada bütünleşme çalışması için mutlaka her proje ve her yapı elemanı için bir dizi faaliyet ve kuralın önceden el ile belirlenmesi gerekmektedir (Cha ve Lee, 2018). Yapılan çalışmaların bir eksikliği de farklı planlama evreleri (ana plan, iş birlikçi plan vb. gibi) ve BIM model olgunluk düzeylerine (LOD) göre aşama aşama yapılması gereken bütünleşme çalışmalarının ele alınmayışıdır. Bu nedenle bir sonraki bölümde literatürdeki iş programı ve BIM model olgunluk düzeyi ilişkisi incelenmiştir.

### 3.2.3 İş programı ve BIM Model Olgunluk Düzeyi (LOD) ilişkisi

LOD kavramı ile projenin konsept tasarımından yapım aşamasına kadar BIM model elemanlarının içermesi gereken farklı geometrik ve metin içerikli bilgi düzeyleri tanımlanmaktadır. LOD kavramı ilk olarak 2008 yılında, AIA komitesi (Amerikan Mimarlar Enstitüsü) tarafından yapı bilgi modellemesi protokolunun bir parçası olarak yayınlanmıştır. BIM kullanımının artmasıyla birlikte dokuman revize edilerek son olarak AIA E203-2013 adıyla 2013 yılında yayınlanmıştır. LOD kavramının standartlaşması ve yaygınlaştırılması için BIM Forum AIA ile iş birliği içerisinde çalışmalar yapmakta, 2011 yılı itibariyle LOD şartnamesi yayınlamaktadır. Bu şartnamelerde her bir yapı elemanı için gelişmişlik detay düzeyi tanımlanmış, dokumanda grafik olarak temsili yapılmıştır (BIM Forum, 2019). Bir projede model objeleri farklı detay düzeyinde modellenip, farklı LOD düzeylerinde olabilmektedirler. BIM forum, LOD kavramını ihtiyaçlar doğrultusunda güncelleyerek LOD 350 düzeyini eklemiş, LOD 500'ü çıkartmıştır. Önerilen kavramsal modelde farklı detay düzeyleri kullanıldığı için burada AIA ve BIM Forum tanımlamaları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1 :** LOD Tanımları (AIA, 2013; BIMforum.org, 2013).

| LOD | AIA | BIM Forum |
|---|---|---|
| LOD 100 | Modelde, bir elemanın varlığını grafiksel olarak gösteren, ancak diğer ilişkili model öğelerinden, notlardan, belirtme çizgilerinden, çizelgelerden veya diğer harici açıklamalardan türetilenler dışında bilgi aktarmayan sembolik bir temsil. | Model elemanları gerçek şeklini, boyutunu ve konumunu göstermez. LOD 100 öğelerinden türetilen herhangi bir bilgi yaklaşık olarak kabul edilmelidir. |
| LOD 200 | Model objelerinin yaklaşık miktar, boyut, şekil ve konumları tanımlanabilir. Diğer veriler, notlar veya diğer temsiller aracılığıyla öğeye bağlanabilir. | Model elemanı bir yertutucu olarak gerçek görüntüsüne benzer birşekilde basit birşekil ile modellenir. Önemli olan modelde, gerçekteki eleman ile aynı yer ve boyutta bir obje kullanmaktır LOD 200'den türetilenler bilgiler hala yaklaşık olarak kabul edilmektedir. |
| LOD 300 | Model Objesi, belirli bir sistemi veya montajı oluşturan aksesuarlar da dahil olmak üzere model içinde gerçek görünümüne grafik olarak benzer modellenir. Temsil ile miktar, boyut, şekil, konum ve yönelim çıkarılabilir. Modellenmemiş objeyle ilgili diğer veriler parametrelerde belirtilebilir. | Bir Level 300 Model objesi, gerçekteki objenin miktarı, boyutu, şekli, konumu ve yönünü göstermektedir. |
| LOD 350 | AIA tanımlarında LOD 350 bulunmamaktadır | LOD 300 düzeyindeki bir model elemanına detaylı bağlantı aksesuarlarının eklenmesiyle elde edilir. Model objesi görünümü LOD 300 ile çok benzerdir. |
| LOD 400 | BIM model objesi, büyüklük, biçim, konum, miktar olarak gerçekteki haline çok benzemekle birlikte, fabrikasyon, kurulum, teknik açıklık gereksinimleri de dahil olarak modellenir. | LOD 400 düzeyindeki bir model objesi, imalat için gerekli tüm bilgileri içerek şekilde modellenir. Objenin gerçek boyutu, adeti, konumu doğrudan modelden elde edilebilir. Uygulama için farklı bir veriye referans vermeye gerek yoktur. |
| LOD 500 | Model elementi, sahada uygulamada onaylanmış büyüklük, biçim, konum, miktar ve diğer objelerle ilişkisine göre gösterilmektedir. Grafiksel olmayan bilgi de model elementine eklenebilir. | BIM Forum'un LOD 500 tanımı mevcut değildir. |

LOD projenin ihtiyaçlarına ve farklı yapım aşamalarının gereksinimlerine göre belirlenmelidir (Boton ve diğ., 2015), 4D simulasyonu tek seferlik bir çalışma olmayıp dinamik bir süreci ifade ederken gereksinimlere göre farklı LOD düzeyleri ile iş programlarının entegre olabilmesi gerekmektedir. Butkovic ve diğ., (2019) LOD lerin grafiksel ayrıntı düzeyi (LODg) ve zamansal ayrıntı düzeyi (LOD t)'den oluşması gerektiğini belirtmiştir. Farklı aşamalarda 4D BIM'in simulasyon aracı olarak kullanılabilmesi için LODt ler iler LODg lerin entegre olması gerekmektedir.

Yapım sürecinin daha "gerçekçi" simülasyonlarının elde edilebilmesi için,

- Yapım sırasında BIM objelerinin gerçekçi görseller sunması ve
- 4B modelinin (LODti) durum değişiklikleri arasındaki zamanı çok iyi ayarlaması, BIM objelerinin bu zamana göre nasıl bileşenlere ayrıldığının gösterilmesi gerekmektedir.

Literatür araştırmasında görülmüştür ki farklı yapım süreçleri için gerekli olan LOD düzeyleri ve 4D simülasyon ilişkisi literatürde az çalışılan bir konudur (Butkovic ve diğ., 2019). Bu doktora tezinde yapılan çalışma ile gerçekleştirilmek istenen amaçlardan birisi de ana yüklenici bir firmanın farklı planlama aşamalarında gerçekçi 4D simülasyonlar elde edebilmeleri için gerekli BIM detay düzeylerini inceleyebilecekleri, yol gösterici bir model önerisi sunulmasıdır.

### 3.2.4 4D BIM araçları

İnşaat sektöründe 4D BIM konusunda farkındalık arttıkça yazılım şirketleri de yeni araçlar geliştirmeye devam etmektedirler. Bu araçların işlevleri farklılaşabilse de en temel özellikleri üç boyutlu nesnelerin bireysel ya da grup olarak geçici verilerle bağlanabilmelerini sağlamaktır. Günümüzde genellikle bu araçlar el ile bağlamaya olanak tanısa da sürecin tamamen otomatik ilişkilendirmeye izin veren araçları da geliştirilmeye devam etmektedir.

Birçok 4D yazılımı Primavera, Microsoft Project ve Asta Powerproject gibi planlama araçlarından iş programlarını içeri aktarabilse de aynı zamanda iş programının da tamamen 4D araçları üzerinde oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu gelişmeler ileride 3D model ile ilişkilendirme problemlerini çözmek açısından büyük potansiyel içermektedir. 4D yazılımlarının birçoğu BIM modellerini IFC formatında kullanabilmektedir.

4D yazılımlarının bir başka özelliği farklı zaman dilimlerine göre görselleri oluşturabilmeleridir. Ancak, aynı tek bir 4D simulasyonu üzerinde farklı zaman dilimleri gösterilememektedir. Örneğin, yapım sahasında aylara göre ilerlemeyi göstermeye göre ayarlanmış bir 4D simulasyon, aynı oturum üzerinde günlere göre değişimleri gösteremez. Bu durumda aylara göre ve günlere göre ilerlemeleri göstermek üzere manuel müdahale ile iki farklı 4D simulasyon oluşturulmalıdır. Araçların bir başka ortak özelliği, iş programında tek bir göreve bireysel ya da grup şeklinde birçok üç boyutlu birçok nesne ilişkilendirilebilirken, araçların hepsi 4D Model üzerinde, üç boyutlu geometrilerin detayına inilmesine izin vermez. Bu fonksiyon 4D Modellerin detay düzeyinin arttırılmasını sağlaması açısından önemlidir. Çizelge 3.2'de güncel 4D yazılım araçları ve özellikleri gösterilmektedir.

**Çizelge 3.2 :** Güncel 4D Yazılım Araçları (Butkovic ve diğ., 2019).

| Firma /Yazılım | Tanım | Linkleme Özelliği |
|---|---|---|
| Bentley/Construct Sim Planner | İş programı simülasyonlarının projelerindirilmesi ve analiz edilmesini sağlar. 2D ve 3D lu tasarım dosyalarının farklı kaynaklardan çekilmesini sağlar | Microsoft Project, Excel veya Primavera'dan çizelge bilgilerini içe aktarma ve bağlama. Çakışmaları gözden geçirme ve program simülasyonlarını görüntüleme ve analiz etme olanağı verir. |
| Autodesk Navisworks | Çeşitli sayıda BIM formatını desteklemekte ve genel olarak görselleştirme yetenekleriyle öne çıkmaktadır çok iyidir. Çeşitli kaynaklardan çizelgelerin içe aktarılmasına izin vermektedir. | Manuel ve otomatik linklemeyi destekler. Kullanıcıların, 4D model içerisinde farklı kalemleri görevlere göre birleştirmesinive simule etmesini sağlar. |
| Innovaya / Visual Simulation | BIM objelerini iş programı aktiviteeleri ile birleştirir. Yapım sürecinin simulasyonunu oluşturabilir. | Proje iletişimini, senkronizasyonunu ve lojistik planlamayı artırır. DWG'deki 3D tasarım verilerini Microsoft Project veya Primavera ile bağlar |
| Bentley Synchro PRO | İş programını geliştiren ve proje yönetim hizmeti de sağlayan yeni 4D aracıdır. | 4D simulasyona ek olarak riskleri, kısıtlamaları ve kaynak kullanımını gösterir araçlar içerir. Ayrıca Risk ve kaynak analizi yapabilme özelliklerini içermektedir. |
| Elecosoft / Asta Powerproject BIM | 4D Planlamaoluşturmak için, üç Boyutlu planlamayı projeplanı ve modelle tek seferde birleştirir. Özellikle teklif verme ve saha ilerlemelerini takip etmede kullanılmaktadır. | Kilometre taşı ve temel tarihlerin simule edilebilmesi için, proje planındaki üçboyutlu özelliği yitirmeden IFC formatında kullanmaktadır. |
| Vico / Schedule Planner and 4D Player | Vico Office Suite'in bir parçası olup, 4D ve 5D yapım simulasyonlarının oluşturulmasını sağlar. | 4D oluşturabilmek için, 3D model ile Denge hattı Planlaması (LoB)'nı bağlayabilir. |
| rib software / iTWO 4.0 | 4D simülasyon için işprogramı verilerini dâhil etme yeteneğini de içeren 5D bulut tabanlı girişimsel platformdur. | Model içeriye aktarılır ve bu platform üzerinde aktiviteler oluşturularak iş programı hazırlanır. |
| ACCA Software (Italy) / usBIM.gantt | 4D simulasyon dışında proje yönetimi yapılmasına da olanak verir. | Proje yöneticilerinin, tüm inşaat sürecini açık formatlarda görebilmesiiçin için BIM modelinin her bir bileşenine IFC formatında zaman çizelgesi ile ilgili bir özellik atamasına izin vermektedir. |

### 3.3 Dünyada Planlama ve Kontrol Yaklaşımları

Bu bölümde İngiltere, Çin ve Türkiye'deki planlama ve kontrol çalışmalarına ilişkin literatür araştırmasının sonuçlarına yer verilmiştir. Öncelikle İngiltere'deki planlama ve kontrol uygulamalarının incelenmesinin nedeni, İngiltere'nin inşaat sektöründe BIM adaptasyon çalışmaları konusunda uyguladığı stratejileri ile dünyada bu anlamda dikkat çeken bir ülke olmasıdır. Bu nedenle uyguladıkları stratejilerin planlama ve kontrol iş akış süreçlerine olan etkisi araştırmaya değer bulunmuştur.

Çin dünyada Amerika'dan sonra inşaat sektörü büyüklüğü bakımından ikinci olup, büyük inşaat projelerini başarıyla gerçekleştirmektedir. Çinli ana yüklenici firmalar, Türk inşaat sektöründeki ana yüklenici firmalar için de uluslararası alanda önemli rakiplerdir. Özellikle geleneksel yaklaşımların ve kültürel etkinin yoğun olduğu Çin'de, inşaat firmalarının planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde uyguladıkları stratejiler ve yaklaşımların irdelenmesinin Türk inşaat sektörü için de karşılaştırma yapılması açısından önemli olacağı düşünülmüştür.

#### 3.3.1 İngiltere'de inşaat sektöründe planlama ve kontrol yaklaşımı

İnşaat sektörü, İngiltere ekonomisinin önemli bir parçasıdır. 2014 yılında inşaat üretimi 103 milyar sterlin ile GSYİH'nın %6,5'ini, inşaat sektöründeki istihdam Birleşik Krallık'taki toplam istihdamın %6,3'ünü oluşturmuştur (HM Government, 2016). Ayrıca rapora göre, 2016 yılı itibariyle tasarım ve yapımla ilgili tüm süreçlerin BIM Level 2 düzeyinde gerçekleştirilmesi hedefi konulmuştur.

İngiltere'de inşaat sektöründe zaman yönetimi konusu çok önemli bir başlık olup, 2007-2015 yılları arasında sektörden alınan verilere göre, projelerin süre tahminlerinin doğruluğunda düşüş eğilimi görülmektedir (Gledson ve Greenwood, 2016). Bu nedenle, İngiltere devleti tarafından yayınlanan 2025 vizyon raporunda, 2013 yılına göre proje teslimlerinde %50 daha hızlı proje teslimi yapılması hedefi konulmuştur.

2015 yılında İngiltere inşaat sektöründe ciro anlamında en büyük 250 ana yüklenici firma ile web tabanlı anket sonrasında da bu firmalarda çalışan alanında uzman 15 kişi ile karşılıklı görüşmeler yapılarak İngiltere'de yaygın kullanılan planlama ve kontrol teknikleri incelenmiştir. Çalışma sonucuna göre ana yüklenici firmaların %35'i Gantt Çubuk Diyagramı, %28'i CPM, %17'si Milestone Date Programming Technique ve %10'u PERT kullanmaktadır. En çok kullanılan planlama ve kontrol yazılımının %35

ile Microsoft Project ve sonrasında %44 ile Asta Powerproject ve %15 ile Primavera olduğu öğrenilmiştir (Olawale ve Sun, 2015).

İngiltere'de 2015 yılında planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde BIM bütünleşmesini öğrenmeye yönelik bir çalışma yapılmıştır. 4D BIM kullanım yoğunluğunu tespit etmek için inşaat sektörü genelinde sözleşmesel yükümlülük altında proje teslimi yapan bütün firmalara yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 4D BIM kullanımında en büyük destekçinin üst yönetim desteği olduğu belirtilmiştir. Görüşmeye katılan firmalar 4D BIM konusunda bilgi sahibi olduktan sonra yaklaşık olarak üç yıllık bir süre içerisinde adaptasyon çalışmasına başladıklarını belirtmişlerdir. Ankete cevap veren 97 firma, 4D BIM'in geleneksel planlama yaklaşımlarına göre süreçlerin verimliliğini arttırdığını ve 4D BIM'in özellikle ekip içerisindeki iletişimi ve doğru bilgi akışı sağlamasını en güçlü özelliği olarak belirtmişlerdir. Firmaların %51,5'u 4D BIM konusunda bilgi sahibidir (Gledson ve Greenwood, 2016). Bir başka çalışma ise İngiliz inşaat sektöründe lider konumda olan ana yüklenici firmalarda LPS kullanım sıklığı konusunda yapılmıştır. Çalışma 30 adet katılımcıyla karşılıklı görüşme ve 15 adet projenin incelenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda LPS'nin kısıtlı bir grup tarafından uygulandığı ve sektörde kullanılan iş birlikçi planlamanın LPS olarak kabul edildiği öğrenilmiştir (Daniel ve diğ., 2016).

İngiltere özelinde planlama ve kontrol süreçleri konusunda yapılan literatür araştırmasına göre, sektörde yaygın bir biçimde 4D BIM konusunda farkındalık vardır ve 4D BIM kullanımı İngiltere devletinin BIM kullanım hedeflerine paralel olarak artacaktır. Ancak mevcut durumda hala sektörde CPM ve çubuk diyagram gibi geleneksel yöntemler tercih edilmektedir.

### 3.3.2 Çin inşaat sektöründe planlama ve kontrol yaklaşımı

Çin'de her yıl dünyadaki toplam yeni inşaatın %50'sinden fazlasını oluşturan 2 milyar metrekareden fazla yeni inşaat yapılmaktadır. Dünyada Amerika'dan sonra en büyük inşaat payına sahiptir. Bu gelişmelerin olmasında Çin devletinin, altyapı, kırsal kalkınma ve ulaşım konularındaki inşaat stratejileri etkili olmuştur. Çin'in lider konumundaki ana yüklenici şirketleri dünyanın çeşitli ülkelerinde büyük projeleri gerçekleştirmektedirler. Bu bakımdan Türk inşaat sektörü Çin inşaat sektörü ile rekabet etmektedir.

Çin'de kültürel etkilerle birlikte ana yüklenici firmalar hiyerarşik bir yapıda olup, planlama ve kontrol süreçlerinde de genellikle geleneksel yöntemlerden beslenmektedirler (Li ve diğ., 2017; Zhang ve diğ., 2016). Projelerin zamanında teslimi çok önemli olup, bunu başarmak için üretkenlik kaybı ve malzeme israfı sıkça karşılaştıkları bir problemdir. Bu nedenle, son yıllarda yalın inşaat uygulamaları konusunda sektörde bir bilinç mevcuttur. Li ve diğ., 2017 yılında Çin'de 2 adet büyük ana yüklenici şirkette çalışan 10 profesyonel ile karşılıklı görüşmeler yapmışlar ve yalın inşaat uygulamalarını incelemişlerdir. Bu çalışma sonuçlarına göre görüşülen firmalarda yalın inşaat uygulamalarının oldukça kısıtlı olup, firmalarda geleneksel yöntemlerin hâkim olduğu belirtilmiştir.

Shang ve Pheng 2014 yılında Çin'de büyük ölçekli 16 adet ana yüklenici firmada çalışan 27 profesyonel ile görüşerek LPS konusundaki düşüncelerini öğrenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, Çin'de planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin güvenilirliği ve projelerin teslimi genellikle proje müdürlerine bağlıdır. Yapım sahalarında projelerin gecikmeden teslim edilebilmesi için çok sıkı bir çalışma kültürü hâkimdir. Yönetim ve proje müdürleri genellikle saha ekipleriyle güven konusunda problem yaşamaktadırlar ve bu nedenle çok sıkı denetim yapmaktadırlar (Shang ve Pheng, 2014)

Çin'de 2012 yılı itibariyle tasarım süreçlerinde BIM kullanımı artmış olup, yapım aşamasında da sürecin tamamında olmasa da belli amaçlar için BIM tercih edilmektedir. Örneğin değişiklik taleplerinin maliyete ve süreye etkisini incelemek, farklı sistemler arasındaki çakışmaları görmek ve de inşa edilebilirlik analizlerini gözden geçirmek bu amaçlar arasındadır. Ancak genel olarak yapım süreçleri çoğunlukla geleneksel yöntemlerden beslenmektedir (An ve Zhou, 2014). Çin'de 4D BIM kullanımı çok kısıtlı olup, 4D BIM tercih eden yükleniciler genellikle iki amaçla kullanmaktadır. Birincisi geleneksel yöntemde yapılan iş programlarını görselleştirip ekipler arasında iletişim ve bilgi akışını kolaylaştırmak, ikincisi ise farklı iş programı simulasyonlarını yapmaktır (Zhang ve diğ., 2016).

Özellikle son yıllarda Çin'de yapım performansını arttırmak için BIM kullanımı önemli bir strateji haline gelmiştir. Ancak Çin'de BIM Uygulama Planı eksikliği ve BIM konusunda uzman personel eksikliği adaptasyon sürecini olumsuz etkilemektedir. Bir başka önemli kısıtlama da Çin'in kendine özel yapım standartları ve kodları nedeniyle, uluslararası BIM araçlarının kullanımında ve bu araçlar üzerinde

teknik analiz yaparken ve yerel yapım standartlarına uyumluluklarını denetlerken problem yaşamalarıdır.

### 3.3.3 Türk inşaat sektöründe planlama ve kontrol yaklaşımı

İnşaat sektörü Türkiye'de GSYİH'nın yaklaşık %8-9'unu oluşturmakta olup, yaklaşık 2 milyon kişiye istihdam olanağı sağlamaktadır. Diğer sektörler üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileriyle inşaat sektörünün Türkiye ekonomisindeki payı %30'a ulaşmaktadır (TMB, 2020).

1972-2019 yılları arasında Türk yüklenici firmalar 126 ülkede toplam değeri 401,3 milyar dolar olan 10.147 proje gerçekleştirmişleridir. 2018 yılı verilerine dayanarak, 44 Türk müteahhit şirketi, Ağustos 2019'da önde gelen uluslararası endüstri dergisi "ENR-Engineering News Record" tarafından yayınlanan "Dünyanın En İyi 250 Uluslararası Müteahhitleri" listesinde yer almıştır (ENR, 2019). Bu rakamla Türkiye, Çin'den sonra dünyada ikinci sırada yer almış olup ve 10 yıldır konumunu korumaktadır.

İnşaat sektörünün Türkiye ekonomisinde önemli bir yeri olsa da literatür araştırmalarında Türk inşaat sektöründe sıklıkla gecikme problemleriyle karşılaşıldığı görülmüştür (Arditi ve diğ., 1985; Kazaz ve diğ., 2012). Kazaz ve diğ. 2012 yılında, Türk inşaat sektöründe gecikmelere neden olan faktörleri literatür araştırmasından derledikleri 34 faktör üzerinden karşılıklı görüşmeler ve anket yolu ile 71 Türk yüklenici firma üzerinde incelemiştir. Anket sonuçlarına göre proje ve malzeme değişimleri, ödemelerin gecikmesi ve nakit akışı problemleri projelerde başlıca gecikmelere neden olan faktörler olarak ön plana çıkmıştır. Türk inşaat sektöründe modern planlama tekniklerinin göz ardı edilmesi ve saha yönetiminin hala geleneksel yönemlerle yapılması sektörde yaşanan finansal krizlere ve iş programında yaşanan gecikmelere neden olarak gösterilmiştir. Bu durumun çözümü olarak da modern proje yönetim tekniklerinin kullanılması, projelere yeterli finansal kaynak ayrılması ve yetenekli yeterli deneyime sahip teknik personellerle projelerin yönetilmesini önerilmiştir. 2008 yılında Türk inşaat sektöründe planlama algılamalarının belirlenmesi için 26 yüklenici ile karşılıklı görüşmeler yapılmış, çalışma sonuçlarına göre yapılan planların kontrolü, sürekli bilgi akışı ile izlenmesi, gerekli durumlarda plan üzerinde değişiklik yapılması konularına gereken ilginin gösterilmediği belirtilmiştir (Uğur ve Baykan, 2008). 2014 yılında Türk inşaat sektöründe 4D

modellemenin uygulanabilirliği konusunda yapılan bir anket çalışmasında, 4D modellemenin yaygın kullanılmadığı tespit edilmiştir (Gokyigit, 2014).

2004 yılında Bollard ve Polat çalışmalarında Türk inşaat sektöründe proje performansının artması ve atıkların azaltılması için, yalın inşaat tekniklerinin kullanılması gereklililiğine dikkat çekmiştir. 2013 yılında yapılan bir çalışmada Türk inşaat sektöründe yalın inşaat uygulamaları incelenmiş ve Türk inşaat sektöründe yalın inşaat ve uygulama konusunda bir farkındalık olmadığı tespit edilmiştir (Tezel ve Nielsen, 2013). Dikmen ve Birgönül (2003) olumlu firma imajının, kaliteli hizmet ve üretkenliğin iyileştirilmesinin Türk inşaat şirketleri açısından stratejik amaçlar olduğuna dikkat çekmiştir. Bu amaçlara ulaşabilmek için kuşkusuz modern proje yönetim tekniklerinden faydalanılmalıdır.

Türk inşaat sektörü özelinde yapılan literatür araştırmalarında görünen odur ki, Türk inşaat sektörü planlama ve kontrol süreçlerinde yoğun bir şekilde geleneksel yöntemlerden beslenmektedir ve geciken proje teslimleri, verimsiz iş akışlarıyla mücadele etmektedir. Bu durum tez çalışmasında belirlenen problemin varlığını da teyit etmektedir.

Günümüze kadar farklı ülkelerde inşaat sektöründe gecikmelere ve verimsizliğe neden olan faktörlerle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde gecikmelere neden olan faktörler incelendiğinde ise etkisiz planlama ve iş programı oluşturma çalışmalarının en çok karşılaşılan problem olduğu belirlenmiştir (Al Sehaimi ve diğ., 2013). Shah ve diğ. (2008) bir anket çalışmasında, gelişmekte olan ülkelerde gerçekleşen projelerin %29'unun zayıf planlama ve etkisiz oluşturulmuş iş programı nedeniyle ertelendiğini bulmuşlardır.

### 3.4 Bölüm Sonu

Bu bölümde, öncelikle mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin ayrıntılı analizi için yapılan Bibliometrik Analiz çalışması sunulmuştur. Analiz bulguları literatürdeki inşaat sektöründe enformasyon teknolojileri bütünleşmesi, dijitalleşme ve BIM adaptasyonu konusundaki boşlukların belirlenmesine yardımcı olmuştur.Bu bölümde, planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilebilmesi için birçok farklı karar verme probleminin çözülmesi gerektiği bunlar içerisinde de bilgi akışı probleminin önemli bir yer edindiği belirtilmiştir. Belirtilen problemlerin çözümünde BIM

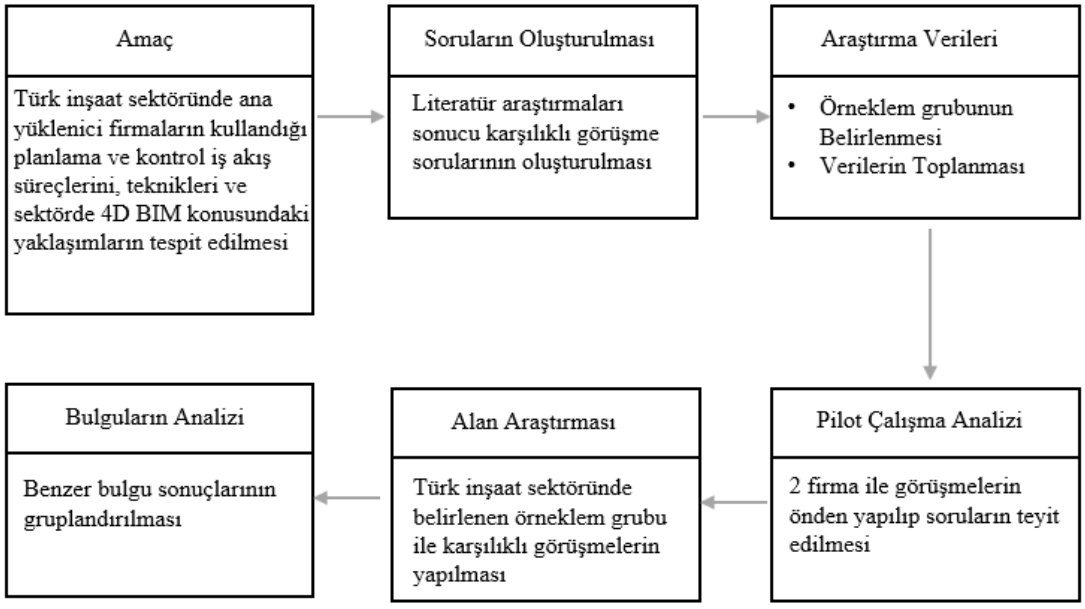
bütünleşmesinin kilit önem taşıdığı anlatılmıştır. BIM tabanlı planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin (4D BIM), mevcut karşılaşılan problemlere sunduğu çözümler ve yaygın kullanılmamasının nedenleri anlatılmıştır. 4D BIM uygulamalarında otomatik iş programlarının oluşturulma süreci ve gerekliliği, iş programı ve LOD ilişkisi açıklanmıştır.

Ayrıca dünyada inşaat sektöründe iletişim ve enformasyon teknolojisi adaptasyon stratejileriyle ön plana çıkan İngiltere ve dünyada büyük projeleri başarıyla gerçekleştiren Çin inşaat sektöründeki planlama ve kontrol yaklaşımları sunulmuştur. Buna göre 4D BIM konusunda İngiltere'de gelişmiş bir bilinç mevcuttur. Ancak yine de sektörde geleneksel sistemler yoğun kullanılmaktadır. Çin yoğun olarak geleneksel planlama ve kontrol yaklaşımlarından beslenmektedir. Ancak Çin'de de yapım süreçlerinde BIM modellerden faydalanmak için devlet destekli stratejiler geliştirilmektedir.

Bu bölümde elde edilen veriler ve tespit edilen boşluklar, genel yüklenici firmalarda planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde BIM tabanlı bir model gereksinimini ortaya koymaktadır. Bu gereksinim doğrultusunda oluşturulacak kavramsal model önerisinde yeni iş ve enformasyon akış süreçlerinin tasarlanması, organizasyonel yapıda, teknik altyapıda yapılması gereken iyileştirmeler önlem ve gereksinimlerin belirlenmesini sağlamıştır. Aynı zamanda bu bölümde incelenen çalışmalar alan araştırması çalışmasının da temelini oluşturmuştur.

# 4. TÜRK İNŞAAT SEKTÖRÜNDE YÜKLENİCİ FİRMALARDA PLANLAMA VE KONTROL İŞ AKIŞ SÜREÇLERİ MEVCUT DURUM ANALİZİ ALAN ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, Türk inşaat sektöründe faaliyet göstermekte olan genel yüklenici inşaat firmalarındaki mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin mevcut durumunu ve 4D BIM konusundaki uygulama ve yaklaşımları tespit etmek amacıyla yapılan alan araştırmasının bulgularına ve bulgulara ilişkin tartışma ve değerlendirmelere yer verilmektedir. Şekil 4.1'de alan araştırmasına ilişkin altyapı görülmektedir.




**Şekil 4.1 :** Alan araştırmasının altyapısı.

## 4.1 Alan Araştırmasının Amaçları

Alan araştırmasının amaçları şunlardır:

- Türk inşaat sektöründe yurt içi ve yurt dışında faaliyet gösteren büyük ölçekli yüklenici firmaların proje planlama ve kontrol süreçlerine yaklaşımlarının örneklem bazında tespit edilmesi,
- Türk inşaat sektöründe yurt içi ve yurt dışında faaliyet gösteren büyük ölçekli yüklenici firmaların proje planlama ve kontrol süreçlerinin mevcut durumunun

tespit edilmesi, süreçte varsa eksikliklerin, sorunların örneklem bazında tespit edilmesi,

- Söz konusu firmaların Yapı Enformasyonu Modellemesi (BIM) ve planlama yöntemlerinin entegre edilmesi konusundaki yaklaşımlarının tespit edilmesi, bu konuda firmalar tarafından varsa yapılmış çalışmaların, belirlenen sorunların ve çözüm önerilerinin ortaya çıkarılması.
- Örneklem bazında 4D BIM uygulamasının inşaat sektörüne nüfuz derecesinin tespit edilmesidir.

### 4.2 Alan Araştırmasında Kullanılacak Yöntemin Seçimi

Doktora tezinin temel dayanağını oluşturan Türk inşaat sektöründe yurt içi ve yurt dışında faaliyet gösteren büyük ölçekli yüklenici firmaların proje planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde BIM bütünleşmesi konusu Türk inşaat sektöründe yeni bir kavram olduğu için çalışmada nitel araştırma yöntemi kullanılmasının daha uygun olduğuna karar verilmiştir. Yin (2009), nitel yöntemlerin yeni uygulamaları incelemek için nicel araştırma yöntemlerinden daha uygun olduğunu, çünkü nasıl ve nedeni daha iyi açıkladıklarını belirtmiştir. Ancak, nitel yöntemlerin başarıyla tamamlanması uzun zaman gerektirmektedir. (Jacobs, 2010). Literatürde karşılıklı görüşme yönteminin nitel araştırma yöntemleri içerisinde yeni kavramları araştırmak için en uygun yöntem olduğu belirtilmiştir (Churchill, 2001). Çünkü, karşılıklı görüşmeler araştırmacıların yanıt ortamını ve konuların tartışılma sırasını kontrol etmelerine ve de kolayca gözlemlenemeyecek ayrıntılar hakkında bilgi edinmelerine olanak tanımaktadır. Ayrıca karşılıklı görüşmelerde yüksek yanıt oranı elde edilmektedir. Genellikle katılımcılar soruların hepsini yanıtlamak için yeterli zaman ayırma konusunda isteksiz davranmaktadırlar.

### 4.3 Karşılıklı Görüşme Sorularının Oluşturulması

Alan araştırmasında katılımcıları sınırlamamak için açık uçlu sorular tercih edilmiştir. Açık uçlu görüşmelerin başlıca avantajları, bir konu hakkında anket çalışmalarından daha ayrıntılı bilgi sağlayabilmesi ve keşif araştırmaları için zengin içgörüler ortaya çıkarabilmesidir (Berg, 2004; Rapley, 2001). Ayrıca, karmaşık konuların tartışılmasına olanak vermektedir (Easterby-Smith ve diğ., 2008).

Sorular oluşturulurken literatürde dünyada farklı ülkelerde benzer amaçlar için hazırlanmış araştırma soruları incelenmiştir (Allen ve Smallwood, 2008; Aredah ve diğ., 2019; Buchman ve Andersson, 2010; Daniel ve diğ., 2015; Gong ve diğ., 2019; Li ve diğ., 2017; Olawe ve Sun, 2015; Shang ve Pheng, 2014; Uğur ve Baykan, 2008; Gokyigit, 2014). Bu alan araştırmasında, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, risk ve belirsizliğin planlama yöntemi seçimine etkisi, iş programındaki değişkenliğinin üretkenliğe etkisi, mevcut kullanılan planlama ve kontrol yöntemlerinin saha yönetimi ve koordinasyonu üzerindeki etkisi, planlama ve kontrol süreçlerinin nasıl şeffaflaştırılabileceği, tercih edilen planlama yöntemini rekabet avantajına etkisi gibi yüklenici firmaların mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerini hem derinlemesine analiz etmeye yarayacak hem de potansiyelini ortaya çıkartacak sorular eklenmiştir.

Karşılıklı görüşme soruları toplamda 19 sorudan ve 3 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm firmayı ve organizasyon yapısını tanımaya yönelik genel sorulardan oluşmaktadır. İkinci bölüm mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin nasıl oluşturulduğu, yönetildiği, süreçte yaşanılan problemler, problemlere karşın alınan önlemler gibi firmanın planlama ve kontrol iş akış süreçlerini ve yaklaşımlarını analiz etmeye yardımcı olacak sorulardan oluşturulmuştur. Üçüncü bölüm de ise firmaların BIM kullanım olgunluk düzeyi ve planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde BIM bütünleşme düzeyini öğrenmeye yönelik sorulardan oluşturulmuştur. Görüşmeler sırasında takip edilen sorular önceden hazırlanmış olsa da görüşmenin ilerlemesine göre sorular çeşitlendirilmiştir.

Soruların anlaşılabilirliğini, mantıksal ilişkilerini, yeterli tespit yapılmasına olanak verip vermediğini test etmek için belirlenen örneklem grubu ile görüşmelere başlamadan, alanında uzman 2 proje müdürü ile 40-60 dakika süren karşılıklı görüşmeler yapılmıştır. Bu pilot çalışma sonucunda, sorulara son şekli verilmiştir.

### 4.4 Karşılıklı Görüşmelerin Kapsamı ve Örneklem

Bu alan araştırmasıyla hem Türk inşaat sektöründe mevcut planlama ve kontrol iş akış uygulamalarının tespiti, hem de yeni bir yaklaşım olarak planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde BIM adaptasyon düzeyi inceleneceği için örneklem olarak yurt içi ve yurt dışında uluslararası alanda faaliyet gösteren Türkiye Müteahhitler Birliği'ne üye lider genel yüklenici firmalarla görüşülmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu kararın farklı nedenleri bulunmaktadır. Öncelikle, kurumsal olarak olgun bir yapıya sahip firmaların bilgi ve enformasyon teknolojilerinin adaptasyonu konusunda yalnızca yurt içinde faaliyet gösteren orta ölçekli inşaat firmalarına göre daha ileri aşamada olmalarıdır. Bir diğer nedeni, ilgili yüklenici firmalardan sağlanacak verilerle yapılacak mevcut durum tespiti, sektördeki potansiyeli belirlemek açısından önemli bir çalışma olacaktır. Ayrıca, yurt dışında faaliyet gösteren büyük ölçekli firmaların sözleşmesel gereklilikler nedeni ile gelişmiş ülkelerde kullanılan endüstriyel verimlilik araçlarına yaklaşımları daha olumludur. Bu nedenle, belirlenen örneklem grubunun BIM ve iş akışları bütünleşme modeline veri sağlaması açısından daha uygun olacakları düşünülmüştür.

Bu çerçevede, Türk inşaat sektöründe ciro büyüklüğü açısından lider konumundaki yüklenici firmaları tespit edebilmek için, ENR'ın "Dünyanın En Büyük 250 Uluslararası Müteahhiti" listesinden yararlanılmıştır. İlgili listede ciro büyüklüğü açısından dünyada ilk 100'e giren 7 adet Türk yüklenici firmada, bu firmaların planlama ve BIM departmanlarında çalışan yöneticiler ile karşılıklı görüşmeler yapılmıştır. Görüşmeler sırasında karşılaşılan en büyük zorluk, ilgili firmaların bünyelerinde birçok farklı firmayı barındırmaları nedeniyle, firmaların genel iş yapma kültürüne hâkim, firmaların taktiksel, operasyonel ve stratejik yaklaşımları konusunda bilgi verebilecek, alanında yetkin kişilere ulaşmak olmuştur. Bu zorluğu aşarken kişisel bağlantı kanalları ve Linkedin sosyal medya ağı yararlı olmuştur. Diğer bir zorluk da görüşülen kişilerin programının yoğun olması nedeniyle, karşılıklı görüşmelere yeterli zamanı ayırmaları konusunda ikna etmek olmuştur. Bu noktada da görüşmelerin çok uzun zaman önceden ayarlanması etkili olmuştur.

Görüşülen yüklenici firmalar gerçekleştirdikleri yapı tipine göre kısıtlanmamıştır. Firmalar endüstriyel tesisler, elçilik binaları, sağlık yapıları, konut ve alışveriş merkezi gibi çeşitli projeleri gerçekleştirmektedir. Anket çalışması kapsamında tasarım ofisleri mal sahipleri, proje yönetim ve danışmanlık firmaları ile görüşmeler yapılmamıştır.

Bunun nedeni, inşaat aşamasında planlama ve kontrol çalışmalarının genellikle yüklenici firmalar tarafından yapılması ve yürütülmesidir.

### 4.5 Görüşme Yapılan Firmalar

Anket çalışması kapsamında, örneklem grubunun belirlenmesinin ardından, ilgili firmaların BIM ve planlama departmanlarında çalışan 16 adet yönetici ile karşılıklı görüşmeler yapılmıştır. Aşağıda Çizelge 4.1'de görüşme yapılan kişiler ve firmalardaki pozisyonları belirtilmiştir. Buna göre görüşme yapılan kişilerin ortalama deneyimi 15 yıl olup, %69'u inşaat mühendisi, %31'i ise mimardır. Planlama departmanında çalışanların %90'ı en az üç büyük inşaat projesinin planlama sürecine liderlik yapmıştır. %50'si pilot projelerlede olsa 4D süreci hakkında bilgi sahibidir.

Karşılıklı birebir görüşmeler Mayıs 2019-Aralık 2019 tarihleri arasında yapılmış olup, ortalama 60-90 dakika arasında sürmüştür.

**Çizelge 4.1 :** Görüşme Yapılan Kişiler ve Firma Pozisyonları.

| Görüşme Yapılan Firma | Görüşülen Kişinin Mesleği ve Unvanı | Tecrübe Yılı |
|---|---|---|
| A Firması | Planlama Şefi / İnşaat Mühendisi | > 15 |
| A Firması | Planlama Şefi / İnşaat Mühendisi | > 5, <10 |
| B Firması | Maliyet Kontrol ve Teklif Müdürü / İnşaat | > 15 |
| B Firması | BIM Sorumlusu/ İnşaat Mühendisi | > 15 |
| C Firması | Planlama ve Maliyet Müdürü / İnşaat | > 15 |
| D Firması | Planlama ve Maliyet Müdürü / İnşaat | > 10 |
| E Firması | BIM Müdürü /Mimar | > 15 |
| F Firması | Tasarım Müdürü /Mimar | > 5, <10 |
| F Firması | Teknik Ofis Müdürü/ İnşaat Mühendisi | > 15 |
| F Firması | Planlama Müdürü / İnşaat Mühendisi | > 15 |
| G Firması | BIM Müdürü /Mimar | > 15 |
| H Firması | BIM Müdürü / Mimar | > 10 |
| I Firması | Bilgi Sistemleri Alerjisi / İnşaat Mühendisi | > 10 |
| I Firması | Mühendislik İşleri ve Tasarım Müdürü/ İnşaat | > 15 |
| L Firması | Planlama Müdürü / İnşaat Mühendisi | > 15 |
| L Firması | BIM Sorumlusu /Mimar | > 5, <10 |

### 4.6 Alan Araştırmasının Bulguları ve Değerlendirmeler

Bu bölümde görüşmelerden elde edilen bulgular açıklanırken, planlama ve BIM süreçlerine ilişkin değerlendirmeler ayrı ayrı ele alınmış, sonrasında firmaların planlama ve kontrol iş akış süreçleri ve BIM bütünleşme süreçleri analiz edilmiştir.

Anket bulgularını değerlendirmeye geçmeden önce, genel olarak görüşme yapılan yüklenici firmaların kültürel, teknolojik ve organizasyon yapısı açısından belli başlı özellikleri aşağıda verilmiştir.

Firma Kültürü Açısından:

- Firmaların hepsi uzun yıllardır oturmuş bir planlama kültürüne sahip olup, planlama ve kontrol faaliyetlerini yürüten bir planlama departmanına sahiptir.
- Firmaların uzun yıllardır birikmiş deneyimi ile oluşturdukları yurt içi ve yurt dışı projelere özel inşaat standartları ve adam-saat verimlilik analizleri mevcuttur.

Teknoloji Açısından:

- Planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde, yazılım olarak projenin karmaşıklık düzeyine göre Primavera, MS Project ve Tilos programları kullanılmaktadır.
- Görüşme yapılan firmaların çoğunda BIM süreçlerine adaptasyon ve BIM süreçlerinin algısı konusunda ciddi bir eksiklik mevcuttur.
- BIM kullanan firmalar çoğunlukla modelleme aracı olarak Autodesk Revit, uyuşmazlık testleri için Navisworks kullanmaktadır.

Organizasyon Yapısı Açısından:

- Görüşülen tüm firmalarda yapım projelerinin iş akışları sahadan yürütülmekte olup, saha raporları ve maliyet onay talepleri merkez ofise gönderilmektedir.
- Görüşülen firmaların çoğunluğunda merkez ofislerde proje uygulama ve koordinasyon ekipleri mevcut olup, bu ekiplerin projelerde üstlendikleri rol ve sorumluluklar benzerdir.
- Firmalarda BIM modelleri ayrı bir BIM ekibi tarafından değil, yüklenici firmaların tasarım ve koordinasyon departmanları tarafından üretilmektedir.
- Firmaların hepsinde, planlama departmanı ve BIM ekibi Teknolojiden Sorumlu Yönetici'ye (CTO) bağlı olup, CTO'ya raporlama yapmaktadırlar.

### 4.6.1 Planlama ve kontrol iş akış süreçlerine ilişkin bulgu ve değerlendirmeler

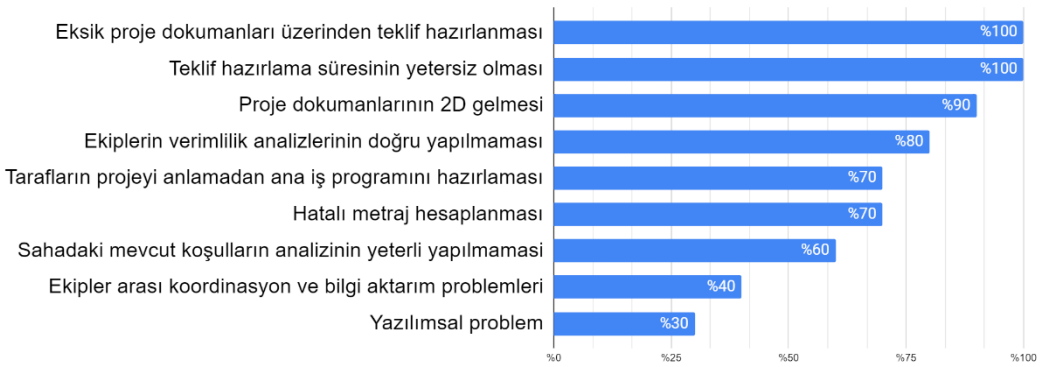
Alan araştırmasından elde edilen bulgular kapsamında planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde karşılaşılan problemler, proje ve belge eksikliğine ve süreç katılımcılarına ilişkin olmak üzere iki ana başlık altında aşağıda verilmektedir.

#### 4.6.1.1 Teklif hazırlama sürecine ilişkin bulgu ve değerlendirmeler

**Proje ve Belge Eksikliği Problemi**

Planlama ve kontrol departmanı yöneticileriyle yapılan karşılıklı görüşmeler sırasında, planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde karşılaşılan problemlerin birçoğunun teklif süreci kaynaklı olduğu öğrenilmiştir. Bu süreçte karşılaşılan problemlere çözüm üretilmediği durumda, söz konusu problemlerin projenin ilerleyen aşamalarında daha büyük sorunlara dönüştükleri ve sonradan üretilen çözümlerin de genellikle proje maliyetini arttıran, sorunun kaynağını çözmeyen faaliyetler olduğu belirtilmiştir.

Şekil 4.2'de yapılan görüşme sonuçlarına göre teklif hazırlama sürecinde karşılaşılan problemler görülmektedir. Görüşülen tüm yöneticiler, teklif süreçlerinde iş sahipleri tarafından paylaşılan projelerin çoğunlukla iki boyutlu (2D), eksik ve yanlış olması nedeniyle projeyi tam anlamadan teklif vermek zorunda kaldıklarını belirtmiştir. Teklif aşamasında firmaların geçmiş deneyimleri, benzer proje portfolyoları önemli rol oynasa da teklif verecekleri projenin ayırt edici özellikleri, risk analizleri ve farklı yapım senaryoları üzerinde çalışma yapamadan, genellikle 30 iş günü gibi kısa bir sürede teklif dokümanları hazırlamaktadırlar. Birçok yüklenici firma projenin yapılacağı alanı bile görmeden teklif dokümanlarını oluşturduklarını belirtmiştir. Aynı şekilde kısıtlı süreç nedeniyle projedeki kritik uzun terminli işleri ihale edebilecekleri potansiyel firmalarla görüşmeler yapamadan ana iş programını oluşturmaktadırlar.




**Şekil 4.2 :** Teklif hazırlama sürecinde karşılaşılan problemler.

Yüklenici firmalar bir başka problem olarak, uluslararası işlerde eksik proje evrakları üzerinden hazırlanan metrajların çoğunlukla hatalı çıktığı ve yapım aşamasında, iş programında öngörülen adam saat hesaplarına göre büyük artışlar olduğunu belirtmiştir. Ek olarak, uluslararası projelerde yerel işçi verimlilik analizlerinin hatalı yapılması nedeni ile terminlerde gecikme riski oluştuğu, telafisi için gereken ek maliyetlerin ciddi oranda yüksek olduğu belirtilmiştir.

Bu aşamada görüşme yapılan firmaların bir bölümü ekipler arası koordinasyonda ve bilgi aktarımında yaşanılan problemlere dikkat çekmiştir. Fimaların standart bir bilgi yönetim stratejilerinin mevcut olmadığı, her projedeki çalışanlar ve kişisel ilişkilerine göre bilgi paylaşım ve yönetim şeklinin değiştiği öğrenilmiştir. Görüşülen firmaların %35'i mevcut kullandıkları yazılımların bu aşamada farklı iş programı senaryolarını denemek için uygun olmamasını bir başka sorun olarak belirtmişlerdir.

**Süreç Katılımcılarına İlişkin Problemler**

Görüşülen yüklenici firmalara teklif hazırlama sürecine katılan paydaşlar sorulduğunda teknik ofis, planlama ve satın alma ekiplerinin süreçte etkin rol aldığı, ancak uygulama ve koordinasyon ekiplerinin sürece dâhil olmadığı öğrenilmiştir. İşverenden gelen projeleri ana yüklenici firma uygulama ve koordinasyon ekibi inceleyip değerlendirmeden diğer ekiplerin projeyi anlama ve metraj çalışması sürecine girdikleri öğrenilmiştir. Bazı firmalar bu aşamada yoğunluklarına göre metraj çalışmalarını dışarı ihale etmek zorunda kaldıklarını ve sürecin daha da karmaşık hale geldiğini belirtmiştir. Uygulama ekiplerinin sürece dâhil edilmemesinin nedeni olarak, teklif hazırlama süresinin projeleri ayrıntılı incelemek için yeterli olmaması gösterilmiştir. Sonuç olarak teklif hazırlama sürecinde şirketlerde çalışan tasarımcı ve uygulamacı mimarlar çoğunlukla projeleri önceden inceleme fırsatı bulamamakta, sürece dâhil olan diğer ekipler ise aynı zamanda projeyi anlama çabasına girmektedir. Her ekibin projeyi algılama düzeyi de birbirinden farklı olmaktadır. Mevcut planlama ekiplerinde planlamacıların hepsinin inşaat mühendisi kökenli olmaları, hiç mimar planlamacının olmayışının da bu süreci olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir.

Teklif hazırlama sürecinin sonunda, yüklenici firmalar kritik iş paket tarihlerini belirleyerek ana iş programını tamamlarlar. Ana iş programından hareketle, çok kısa bir sürede işverenin onayına sunulacak proje teslim tarihleri, malzeme temin zamanları ve lojistik stratejisi belirlenmiş olur. Ancak bu tarihler için ilgili ekiplerin inceleme ve

onayı gerekse de kısıtlı zaman nedeni ile onay süreci atlanmaktadır. Bu aşamadan sonra sahada planlama ekibi oluşturulmuş ise, iş programının detaylandırılması genellikle saha ekibine devredilmektedir. Bu aşamaya kadar saha planlama ekiplerinin, diğer proje paydaşların, uzun terminli işler için alt yüklenici, tedarikçilerin ve proje müdürünün sürece dâhil edilmemesi önemli bir problem kaynağıdır.

#### 4.6.1.2 İnşaat aşamasına ilişkin bulgu ve değerlendirmeler

**Proje ve Belge Eksikliği Problemi**

Merkez ofis ana iş programının sahaya devredilmesiyle birlikte inşaat aşaması boyunca yapılan planlama çalışmaları da başlamış olur. Alan araştırmasında yapılan karşılıklı görüşmelerden elde edilen bulgulara göre inşaat aşaması boyunca planlama süreçlerinde karşılaşılan problemler Şekil 4.3'de görülmektedir.




**Şekil 4.3 :** Proje yapım evresi boyunca karşılaşılan problemler.

Mevcut uygulamalarda, saha ekiplerinin bilgi erişimi, proje detaylarına hâkimiyet ve koordinasyon konularında problem yaşadıkları öğrenilmiştir. Bunun en önemli nedeni olarak teklif aşamasında olduğu gibi uygulama amaçlı incelenen ve takip edilen projelerin de çoğunlukla iki boyutlu eksik çizimler olması gösterilmiştir. Mevcut iş akışlarında, uygulama projelerinin tamamlanma sürecinin sahada imalatların başladığı süreç ile çakıştığı belirtilmiştir.

Yapılan görüşmelerde, saha ekiplerinin uygulama sırasında iş programında öngörülmemiş birçok imalat gereksinimi ile karşılaştığı öğrenilmiştir. Bu sorunun kaynağı olarak uygulama projelerinin sahaya geç iletilmesi ve saha ekiplerinin proje detaylarına hâkim olmakta gecikmesi gösterilmiştir. Bir diğer önemli nedeni ise,

birçok yapım alanında imalatlar başlamadan hazırlanan 4 ve 8 haftalık iş programlarının detay düzeyinin yetersiz oluşu, kısa süreli iş programlarının ekip ve malzeme koordinasyonunda etkin kullanılmamasıdır. Bu durumu bir planlama müdürü şu şekilde ifade etmiştir: " Sahada hazırlanan 4-8 haftalık iş programları üzerinden ekipler iş akışlarını, öncüllük ardıllık ilişkilerini inceleyememekte, süreçte kısıtlayıcı faktörleri önceden tespit edememektedir. Bu durumda, ya yapılan işler yıkılarak yeniden yapılmakta ya da alternatif uygulama yöntemleri geliştirilmektedir. Bu sorun sahada üretkenlik kaybında sebep olmaktadır."

Yapım aşamasında karşılaşılan bir başka önemli problem ise, sahada iş programında öngörülene göre mekânik ve elektrik proje metrajlarında büyük oranda artış ortaya çıkması, altyapı ve takip eden çalışmaların terminlerinde zincirleme gecikmelerin oluşmasıdır.

**Süreç Katılımcılarına İlişkin Problemler**

Genellikle bu sürece kadar proje müdürü ve saha planlama ekipleri sürece dâhil olmadıkları için ana iş programını ve projeyi önceden inceleme fırsatına sahip olamazlar. Merkez ofis planlama yöneticileri iş programının sahaya aktarılmasından sonra proje müdürlerinin ana iş programında öngörülen süreleri zamanında ayrıntılı incelemediği, mevcut saha koşullarına uygun olmayan öngörüler konusunda merkez ofisi uyarmadığı konusunda yaşanılan problemleri aktarmıştır. Alınan bilgilere göre, proje müdürleri mevcut saha koşullarına ve aylık iş yapabilme potansiyelini arttırmaya yönelik sahada alternatif bir iş programı hazırlatmakta ve genel proje stratejisi odak noktadan çıkartılıp kısa süreli faydalar ön plana alınmaktadır. Sahada alternatif iş programları oluşturulurken sürece katılması gereken tüm paydaşların fikirlerinin alınmadığı ve bu durumun çoğunlukla koordinasyon kopukluğuna neden olduğu belirtilmiştir. Sahada değiştirilen iş programı tarihlerine göre merkez ofis uygulama projeleri teslim tarihleri, malzeme satın alma ve lojistik ekipman temin tarihleri de değişmektedir. Bu durumda yeni iş programına göre işin durmaması için ilgili tüm ekiplerin değişen tarihlere hızla uyum sağlayarak harekete geçmesi beklenmektedir. Bu yaklaşımın sürecin verimliliğini ve kalitesini düşürdüğü öğrenilmiştir.

Ana iş programından ayrıntılı iş programına geçiş aşamasında kritik iş paketleri için yapılması gereken alt yüklenici görüşmelerinin zamanında yapılmaması, imalat süreci uzun olan işlerin teslim tarihlerinin hatalı planlaması ve detaylarının geç belirlenmesi

sahanın yapım aşamasında karşılaştığı önemli problemler olarak gösterilmiştir. Saha ekipleri çözüm olarak alternatif yapım metodolojisi geliştirmek zorunda kalmakta ve işveren onayını bekleyerek zaman kaybetmektedir. Yapım aşaması öncesi, planlama aşamasında uzun terminli işlerin ilgili alt yüklenicilerle görüşülüp adam saat ve gerekli malzemeler konusunda teyitleşilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

Görüşmeler sırasında işverenin projenin her aşamasında revizyon talep ettiği öğrenilmiştir. Bunun nedeni olarak işverenin projeye az hâkim olması ve uygulama projeleri üretildikçe projeyi algılayabilmesi gösterilmiştir. Yüklenicinin revizyonlar için talep ettiği ek maliyet ve süre genellikle uyuşmazlığa neden olsa da karşılıklı ilişkilerinin bozulmaması için yüklenicinin revizyonları makul ölçülerde yerine getirmeye çalıştığı, ancak bu durumun iş programında gecikmelere neden olduğu öğrenilmiştir.

Mevcut uygulamalarda, merkez ofis saha imalat takibini genellikle saha ekibinin paylaştığı günlük, haftalık ve aylık raporlar üzerinden yapmaktadır. Planlama yöneticilerinden alınan bilgiye göre, sahadaki ilerlemeler iş programına düzenli bir şekilde yansıtılmamaktadır. Bu durumun nedeni olarak hem personel eksikliği hem de şeffaf olmayan bilgi paylaşımı gösterilmiştir. Hangi aşamalarda, kimden hengi bilginin temin edileceği tanımlı olmayıp, teklif aşamasında olduğu gibi bu aşamada da ekipler arası ilişkiler bilginin doğruluğunu ve paylaşım kanallarını etkilemektedir. Ayrıca, iş programına göre sahaya gönderilen malzemelerin sahada farklı yerlerde kullanılması ve bu durumun iş programına yansıtılmaması da önemli bir başka problem olarak gösterilmiştir. Bu ve benzeri durumlarda sahada malzeme metrajlarında önemli problemler yaşanmaktadır. Yüklenici firmalar özellikle yurt dışı projelerinde önceden satın alması planlanmayan malzemeleri kısa sürede sahaya ulaştırmakta ciddi problemlerle karşılaştıklarını, telafisi için ek maliyetlere katlanmak zorunda kaldıklarını belirtmişlerdir.

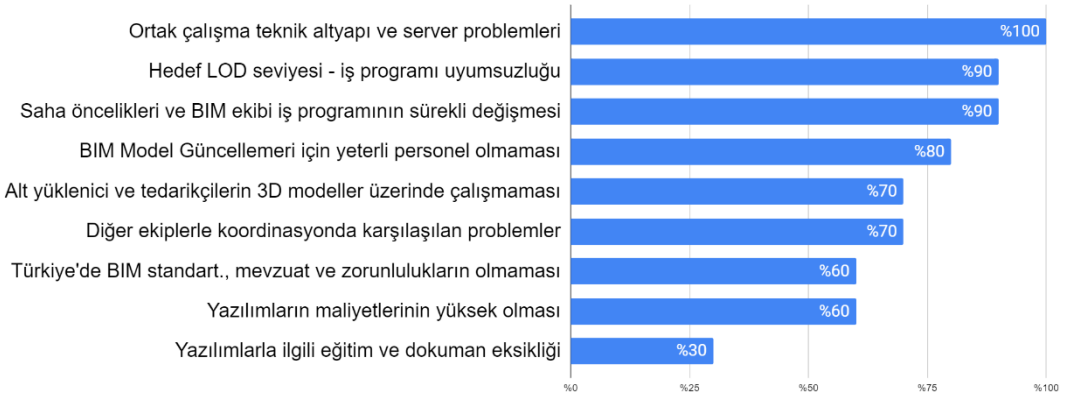
### 4.6.2 BIM süreçlerine ilişkin bulgu ve değerlendirmeler

Alan araştırmasından elde edilen bulgular kapsamında BIM süreçlerine ilişkin bulgu ve değerlendirmeler, proje ve belge eksikliği, süreç katılımcılarına ilişkin ve teknik problemler olmak üzere üç başlık altında aşağıda verilmektedir.

### 4.6.2.1 Proje ve belge eksikliği problemi

Görüşülen BIM yöneticilerinden alınan bilgilere göre, firmaların çoğunun BIM Uygulama Planı bulunmamakla birlikte takip ettikleri BIM standartları da mevcut değildir. Firmaların BIM algısı bir bütün olarak süreç yönetiminden çok, üç boyutlu araçların kullanımı şeklindedir. Bu yaklaşım firmaların BIM'den yeterince faydalanmasını ve süreçlerin geliştirmesini engellemektedir.

Şekil 4.4'de alan araştırması bulgularına göre proje BIM modellerinin hazırlanması aşamasında karşılaşılan problemler görülmektedir.




**Şekil 4.4 :** Proje BIM modellerinin hazırlanması aşamasında karşılaşılan problemler.

BIM Yöneticileri, BIM standartları ve yapım süreçlerinde BIM adaptasyonu konusunda Türk inşaat mevzuatında da tanımlanmış bir süreç akışının ve zorunluluğunun olmayışını, üç boyutlu yazılımlarla ilgili eğitimlerin maliyetlerinin yüksek oluşunu karşılaşılan problemler olarak belirtmiştir. Türk inşaat sektöründe alt yüklenici ve tedarikçi firmaların üç boyutlu model kullanımın düşük olmasının nedeni olarak da bu durumu göstermişlerdir. Bu durumda BIM süreçlerine adaptasyon çalışmaları her projede işveren talebine göre değişiklik göstermekle birlikte, işverenin üç boyutlu model talep etmediği durumlarda firmaların BIM kullanımı konusunda isteksiz oldukları belirtilmiştir. Bu isteksizlikte BIM araçlarının yazılım maliyetlerinin de yüksek oluşu da bir neden olarak gösterilmiştir

### 4.6.2.2 Süreç katılımcılarına ilişkin problemler

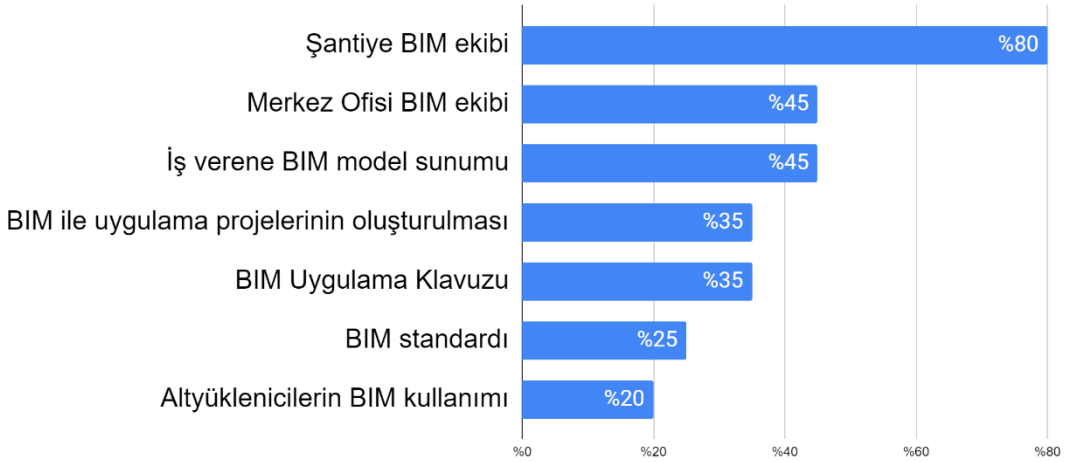
Görüşülen yüklenici firmaların %80'inin yapım sahalarında %40'ının ise merkez ofislerinde BIM ekibi kurdukları öğrenilmiştir. Şekil 4.5'de yüklenici firmaların BIM ekibi yapılanmasına ilişkin bulgular görülmektedir. Yüklenici firmaların büyük çoğunluğu belli aralıklarla iş sahibine BIM model üzerinde sunumlar hazırlamaktadır.

Ancak saha ekipleri ile paylaşılan uygulama projeleri büyük oranda iki boyutlu çizimler üzerindedir. Bu durumun önemli bir nedeni olarak alt yüklenici ve tedarikçilerin çoğunluğunun üç boyutlu modeller ile çalışmaması gösterilmiştir. Yüklenici şirketlerde iki boyutlu gelen çizimleri üç boyutlu modele aktarabilecek yeterli personel mevcut değildir.

Genellikle saha BIM ekibin görevinin, merkez ofis BIM ekibi tarafından oluşturulan ve işverene onay için gönderilen koordinasyon ve uygulama projelerinin saha koşullarına göre güncellenmesi ve işin sonunda yapıldı (as-built) projelerinin oluşturulması olduğu öğrenilmiştir. Saha BIM ekiplerinin, diğer ekiplere bilgi aktarımı konusunda tanımlanmış bir görevleri mevcut değildir. Bu durumda sahada BIM ekibi olmasına karşın, bilgi aktarımı ve bilginin doğruluğu konusunda yaşanan problemlerin devam ettiği görülmektedir.

Görüşülen yüklenici şirketlerde, BIM ekipleri yapım sürecinin başlamasıyla birlikte sürece geç dâhil olmaktadır. Dâhil olmasının akabinde ise iş programında öngörülen sıkışık tarihlere göre proje uygulama ve koordinasyon çizimlerini oluşturup sunmaları gerekmektedir. BIM yöneticileri bu süreçte, BIM modeli oluşum aşaması için gerekli altyapı hazırlığı sürecinin iş programında tanımlanmadığı ve yeterli sürenin ayrılmadığını belirtmiştir. İşveren talebi doğrultusunda proje LOD düzeyi belirlense de genellikle iş programı yoğunluğu nedeniyle ekiplerin uygulama projeleri için hedefledikleri LOD düzeyini yakalayamadıkları öğrenilmiştir. Birçok BIM yöneticisi projenin başında LOD 400 düzeyini hedeflemelerine karşın, sürelerin sıkışıklığı nedeniyle projenin tamamında olmasa da belli model elemanları için LOD 250-300 düzeyini yakalayabildiklerini belirtmiştir.

Saha BIM ekiplerinin saha ilerlemelerine göre projeyi güncellemeleri gerekmekte olup, görüşmelerde alınan bilgilere göre sahada yeterli personel bulunmaması nedeniyle model saha ilerlemelerine ve sahada uygulanan detaylara göre düzenli güncellenmemektedir. Bu durumda modeller sahada uygulanan detayları kapsamamakta, yapılan uyuşmazlık testlerinden de tam olarak faydalanılamamaktadır.




**Şekil 4.2 :** Yüklenici firmaların BIM ekibi yapılanması ve BIM süreci algısı.

BIM yöneticileri, bina yaşam döngüsü boyunca kullanılabilir bir BIM modeli geliştirmek için kapsamlı bir çalışma gerektiği, işveren talebi olmadığı sürece böyle bir yaklaşımın olmadığını belirtmiştir. BIM araçları kullanılarak oluşturulan modellerin doğru bilgilerle, doğru iş sıralamasıyla, gerekli standart dosya altyapısı ve kullanım amacına uygun gerekli filtreleme parametreleri belirleyip oluşturulması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu altyapı çalışmaları gerçekleştirilmediğinde, projenin ilerleyen aşamalarında BIM modelden metraj, koordinasyon, iş programı takibi gibi konularda faydalanılmasınının oldukça güç olduğuna dikkat çekmişlerdir.

#### 4.6.2.3 Teknik problemler

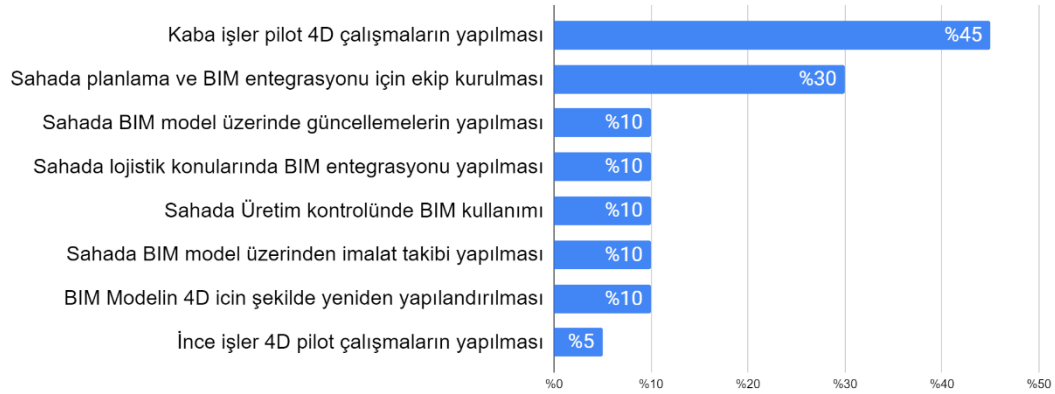
Görüşülen firmaların hepsinde ekiplerin üç boyutlu modeller üzerinde ortak çalışmalar yaparken teknik altyapı yetersizliği nedeniyle problem yaşadığı öğrenilmiştir. Teknik altyapı problemlerinin, ortak çalışmaların kaydedilmesinde ve projelerin paylaşılmasında çoğunlukla zaman kayıplarına neden olduğu öğrenilmiştir. Ayrıca, yüklenici ve tedarikçilerin paylaştığı 3D imalat detaylarının, ana projeye bütünleşmesinde de sıklıkla problem yaşadıklarını, gelen dosya içeriğinin bozulmasının süreci olumsuz etkilediğini öğrenilmiştir.

### 4.6.3 İş programı ve BIM bütünleşmesine ilişkin bulgu ve değerlendirmeler

Alan araştırmasından elde edilen bulgular kapsamında, iş programı ve BIM bütünleşmesine ilişkin bulgu ve değerlendirmeler proje ve belge eksikliği, süreç katılımcılarına ilişkin problemler olmak üzere iki başlık altında aşağıda verilmektedir.

#### 4.6.3.1 Proje ve belge eksikliği problemi

Görüşmeler sırasında hem BIM hem de planlama departmanı yöneticilerine iş programı ve BIM bütünleşme süreçlerine yönelik sorular sorulmuştur. Şekil 4.6'da bütünleşme için yapılan çalışmalara ilişkin bulgular görülmektedir.




**Şekil 4.3 :** İş Programı ve BIM bütünleşmesine ilişkin değerlendirmeler.

4D BIM çalışmaları konusunda yaşanan problemler sorulduğunda özellikle BIM modellerin projenin en başından iş programı ile entegre edilecek bir yapıda oluşturulmaması, bunun için tanımlı standart bir prosedür ve gerekli belgelerin olmayışı en önemli problem olarak gösterilmiştir. Firmalar, projeye başlarken proje yaşam döngüsü boyunca kullanılabilir bir BIM iş programı bütünleşmesi için nasıl bir altyapı hazırlanması gerektiğini bilmemektedir. Bu nedenle de gerekli detay düzeyinde modeller oluşturulmamaktadır. Bu problemi anlatmak için şöyle bir örnek verilmiştir: İş programında bir alçı panel duvarın taşıyıcısı, içerisindeki mekânik ve elektrik tesisatların geçirilmesi ve üzerine alçı panel vidalama işleri ayrı ayrı ele alınırken, 3D modelde duvarlar tek parça modellenmektedir. Bu durumda bu iş kalemi için 3D model ve iş programı eşleştirmesi oldukça zor olmaktadır. Sahada birçok farklı alanda aynı anda birçok farklı ekip farklı detay düzeylerinde imalat gerçekleştirirken, 3D modeller süreçte lojistik kararlar, iş akışlarının kontrolü, iş sıralamasının oluşturulması, ekiplerin ve malzemelerin koordinasyonu ve imalat takibi açısından etkin kullanılmamaktadır. Bu durum BIM sürecine yatırım yapan firmaların da süreçten tam olarak faydalanmadığını göstermektedir.

Görüşülen yüklenici firmaların büyük çoğunluğu betonarme işler için özellikle proje başlangıç aşamasında işverene sunum yapmak amacıyla 4D BIM çalışması yaptıklarını belirtmiştir. Ancak alınan bilgiye göre bu ilk pilot çalışmalar sonrasında güncellenmemekte sahada uygulama amaçlı kullanılmamaktadır. 4D BIM yapım

sahalarında etkin kullanılmamasına rağmen bir proje müdürü 4D'in yaşadıkları problemlere getireceği çözüm olarak şunları söylemiştir: "Özellikle yurtdışı projelerimizde büyük tesis yapılarında sahaki elektrik ve mekanik altyapıları çok yoğun olmakta, güzergahları kazık başlıkları, istinat perde temelleri gibi elemanlarla çakışmaktadır. Sahada bu çakışmaları yaşamak birçok altyapı projesinin revize edilmesine, yapılan işlerin yeniden yapılmasına ve sonuç olarak projelerde verimsizliğe sebebiyet vermektedir. Projelerde 4D model üzerinde önceden altyapı ve betonarme işler çakışması yapıldığında bu problemler imalat başlamadan aylar önce tespit edilebilir ve gerekli önlemler hem iş programında hem de projede alınabilir. Bu çözümlerle mevcut durumda yaşadığımız maliyet ve süre kayıplarının çoğunu yaşamayız."

Özellikle bazı yükleniciler kaba işler, cephe işleri ve peyzaj işlerinde BIM model üzerinde güncellemeleri gerçekleştirmeyi hedeflediklerini belirtseler de ince işler konusunda henüz böyle bir çalışmayı hiç denemediklerini belirtmiştir. Kaba işler haricinde ince işler aşamasında 4D modellerin kullanılmamasının nedeni olarak, hem BIM modelin uygun altyapıda olmayışı, hem de ayrıntılı bir 4D model için gerekli adam-saat artışının proje maliyetini arttıracağı belirtilmiştir. Ayrıca çoğu firmada üst yönetimin 4D BIM kullanılması konusunda bir stratejilerinin olmayışı, 4D BIM uygulamasının adapte edildikleri projelerde performansa sağlayacağı faydalar konusunda ortak bir kanaat olmaması adaptasyon sürecini olumsuz yönde etkilemektedir.

#### 4.6.3.2 Süreç katılımcılarına ilişkin problemler

Yüklenici firmaların çok azı BIM ve planlama bütünleşmesi konusunda uzman personel çalıştırmaktadır. Birçok firmanın ne merkez ne de saha ofislerinde 4D konusunda uzman mevcut değildir. Bir önceki bölümde söz edildiği gibi, personel eksikliği nedeniyle saha ilerleyişi ve uygulanan detaylar 3D model üzerinde düzenli bir şekilde takip edilememektedir.

### 4.7 Bölüm Sonu

Türk inşaat sektöründe gecikme problemleri yaşanmakta olduğu, iş akışları takibinde, bilgi akışında, ekipler arası iletişimde, finansal akışta ve gerekli durumlarda iş programı üzerinde değişiklik yapılması konularında ana yüklenici firmaların problem

yaşamakta olduğu literatürde çoğu araştırmacı tarafından ortaya konmuştur (Arditi, 1985; Uğur ve Baykan, 2008; Kazaz ve diğ., 2012; Gokyigit, 2014). Alan araştırmasından elde edilen bulguların değerlendirilmesi sonucunda yüklenici firmalarda planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde yaşanan problemlere aşağıdaki eklemeler de yapılabilir:

- İş programı oluşturulurken, şeffaflığın ve iş birliğininin sağlanamaması,
- Süreçte planlama ekibi haricinde diğer ekiplerin aktif görev alamaması,
- Ayrıntılı bir şekilde iş programlarının projenin en başında oluşturulmaya çalışılması,
- Saha gerçeklerinden kopuk planlama yapılması ve saha ekiplerinin sürece geç dâhil olması,
- İşi yapan ekiplerin (saha ekipleri) sürece dâhil edilmemesi,
- İş programı kontrol parametrelerinin zamanında oluşturulmaması,
- Verimsiz ve etkisiz kontrol sistemi,
- Planlama sürecinin başında proje müdürleriyle koordinasyon sağlanamaması,
- Uzun ve kısa vadeli iş programları arasında yaşanan kopukluklardır.

Türk inşaat sektöründe BIM kullanımı önündeki engelleri ve destekleyici etmenleri araştıran Aladağ ve diğerlerinin (2016) çalışmasına göre BIM kullanımının destekleyicileri, bina yaşam döngüsü boyunca proje yönetimi desteği sağlanması, iş programı oluşturulması sürecini iyileştirilmesi ve proje değişikliklerini azaltmasıdır. BIM kullanımı önündeki engeller arasında öne çıkanlar ise, BIM'in sektöre katacağı değerin göz ardı edilmesi, BIM kullanımı konusundaki standart ve yasalardaki eksiklerdir (Aladağ ve diğ., 2016). Görüşülen yüklenici firmaların çoğunda tasarım aşamasında BIM araçları kullanılmasına karşın, BIM'den proje yaşam döngüsü boyunca etkili bir şekilde faydalanılmadığı tespit edilmiştir. Görüşmeler sırasında bu durumun nedenleri olarak aşağıdaki maddeler belirlenmiştir:

- Bilgi dağıtım kanalının merkezi olmayışı, BIM ekibinin projenin başında sürece dâhil olup, koordinasyon görevini üstlenmemesi,
- BIM modelinin geliştirilmesi aşamasında takip edilecek standart ve belgelerin eksik oluşu,
- BIM sürecinin bir bütün olarak göz ardı edilmesi ve BIM modelleme araçlarına odaklanılması,

- BIM modelin projede koordinasyon için gerekli olgunluk düzeyinde olmayışı, buna bağlı olarak metraj çalışmalarının, malzeme takiplerinin BIM modelden yapılmayışı,
- Modelleri düzenli güncelleyen ve takibini yapan personel eksikliği,
- Sürecin görsel takibinin proje performansına etkisi konusunda ölçüm yönteminin net olmayışıdır.

2011 yılında Işıkdağ ve diğ., Türk ve İngiliz inşaat sektöründe enformasyon ve iletişim teknolojilerinin stratejik önemi konusunda yaptıkları karşılaştırma çalışmasında, Türk inşaat sektöründe enformasyon ve iletişim teknolojilerinin değeri arttırdığı ve maliyetleri düşürdüğüne yönelik bir kabul olsa da süreçlerde enformasyon ve iletişim teknolojilerinin adaptasyonunun departman ve proje odaklı olduğu, genel bir adaptasyon stratejisi konusunda problem yaşandığını belirtmişlerdir. Bu çerçevede literatür ve alan araştırmasının bulguları göstermektedir ki genel olarak dünyada ve Türk inşaat sektöründe planlama ve kontrol süreçleri enformasyon teknolojilerinden yeterince faydalanmamakta, geleneksel yöntemlerden beslenmektedir (Aredah ve diğ., 2019; Aziz ve Hafez, 2013; Cha ve Lee, 2018; Kim ve diğ., 2013, Kubicki ve Boton, 2014; Li ve diğ., 2017; Maskurity ve diğ., 2019; Matthews ve diğ, 2015; Nielsen ve Erdogan, 2007; Shang ve Pheng, 2014; Sigalov ve Konig, 2017; Tezel ve Nielsen, 2013; Tserng ve diğ. 2014, Ulubeyli, 2012; Zhang ve diğ., 2016).

Karşılıklı görüşmelerde tespit edilen planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde enformasyon teknolojilerinden yeterince faydalanılamamasının nedenleri olarak aşağıdaki konular belirlenmiştir:

- İşverenlerin sözleşmelerde planlama ve kontrol süreçlerinde enformasyon teknolojileri kullanımı konusunda ısrarcı olmayışı,
- Yeni teknolojilere yatırım konusunda üst yönetimlerin isteksiz oluşu,
- Mevcut planlama profesyonellerinin yeni teknolojileri deneme konusundaki isteksizlikleri,
- Enformasyon teknolojilerinin proje performansına etkisi konusunda sektörde oluşmuş bir algının olmayışı,
- Enformasyon teknolojilerinin planlama süreçlerine adaptasyonu konusunda yeterli bilgi ve deneyimin olmayışı,
- Süreçte rol tanımlarının ve dağılımının geliştirilmesi gerekliliği,

- Yeni çalışma kültürüne adaptasyon konusunda mevcut çalışanların isteksizlikleri,
- Yeniliklere adaptasyon ve proje performansına etkisi konusunda hızlı geri dönüş beklenmesi gösterilmektedir.

Mevcut durumda, planlama ve kontrol süreçlerinde BIM bütünleşmesinin sağlanması için, yalnızca hangi süreçlerde BIM araçlarının kullanılabileceğini göstermek yeterli değildir. Sistem tüm gereksinimleriyle anlatılmalıdır. Bu bağlamda BIM süreci dışında, sistemdeki gerekli yeni rol ve sorumluluklar, bilgi dağılım kanalı şekli, mevcut rollerin üstleneceği yeni görevler, teknik altyapı gereksinimi ve sistemin kısıtlayıcı faktörleri kavramsal model önerisinde anlatılacaktır.

# 5. KAVRAMSAL MODEL ÖNERİSİ

Bu doktora tezinin 2. bölümünde inşaat sektöründe planlama ve kontrol iş akış süreçleri anlatılmış, 4. bölümünde de planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin verimsiz süreçleri iyileştirmek için kilit öneme sahip olduğu ancak etkisiz yönetildikleri ortaya koyulmuştur. Mevcut durumda inşaat sektörünün temel katılımcılarından biri olan genel yüklenici firmaların planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde geleneksel yöntemlerden beslendikleri (Aredah ve diğ., 2019; Aziz ve Hafez, 2013; Kim ve diğ., 2013; Kubicki ve Boton, 2014; Maskurity ve diğ., 2019; Matthews ve diğ, 2015; Shang ve Pheng, 2014; Sigalov ve Konig, 2017; Tserng ve diğ., 2014; Zhang ve diğ., 2016) süreç boyunca, proje ve kapsamın anlaşılması, iş akışlarının görselleştirip takibinin yapılması, şeffaflık, enformasyon yönetimi ve aktarımı, ekipler arası iletişim, koordinasyon ve kontrol aşamalarında problem yaşadıkları belirtilmiştir. Bu sürecin başarısının çoğunlukla iş programını geliştiren kişilerin öngörü ve deneyimine dayandığı, ana iş programlarının genellikle eksik ve hatalı proje bilgileri üzerine geliştirildiği, planlama ekibi dışında diğer ekiplerin sürecin dışında tutulduğu anlatılmıştır. Bu durumda proje başında oluşturulan ana iş programları ve inşaat süreci boyunca geliştirilen ayrıntılı iş programlarının birbirinden kopuk olduğu, inşaat sahalarında iş programlarının sıklıkla güncellendiği, güvenilirliğinin sorgulandığı ve proje performansını olumuz yönde etkilediği belirtilmiştir. Bu bulgular iş programı oluşturulma ve yönetilme sürecinin iyileştirilmesi gerekliliğini çok net ortaya koymuştur.

Bu doktora tezinin 3. bölümünde planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilmeleri için enformasyon teknolojileri adaptasyonun önemi ortaya koyulmuştur. Bu bulgularda, 4D modellerin kullanıldığı projelerde, projenin erken aşamaları itibariyle oluşturulan proje dokumanlarının doğruluk ve kalitesinin arttığı, ekipler arası koordinasyon ve bilgi akışını iyileştirdiği belirtilmiştir. Buna karşın, 4D BIM'in sektörde yaygın kullanılmadığı, bunun önemli bir sebebinin süreçlere nasıl entegre edileceğinin bilinmemesi olduğu belirtilmiştir. Bu problem örneklem bazında yapılan alan araştırması bulgularında da doğrulanmıştır. Ayrıca alan araştırması

bulgularında, enformasyon teknolojilerinin planlama süreçlerine adaptasyonu konusunda yeterli bilgi ve deneyimin olmayışı, 4D BIM'in proje performansa etkisi konusunda kabul edilmiş bir görüş olmaması, süreçte yeni rol tanımlarını ve dağılımı geliştirilmesi gerekliliği, yeni teknolojilere yatırım konusunda üst yönetimlerin isteksiz oluşu ve hangi planlama detay düzeyinde hangi LOD düzeyinin gerektirdiğinin bilinmemesi önemli engeller olarak tespit edilmiştir. Bu doktora tezinin 3.3. bölümünde yurt içi ve yurt dışında planlama ve kontrol iş akış süreçleri, 4D uygulamaları için yapılan çalışmalar ayrıntılı bir sekilde incelenmiştir. İş programı ve BIM bütünleşmesi için gerekli olan teknik, organizasyonel, finansal altyapı ihtiyaçları konusunda araştırmalar yapılmıştır.

Ayrıca, alan araştırması bulguları genel yüklenici firmalarda BIM model kavramının BIM süreci yerine 3D araçlar olarak kabul edildiği ve bu yaklaşımın modellerin gelişimini kısıtlayıp, proje yaşam dönemi boyunca kullanılmasını engellediğini ortaya çıkarmıştır. Öte yandan, BIM model oluşturulma sürecinde, takip edilen standart ve belgelerdeki eksiklikler, modellerin imalat modellerine ve sahadan gelen verilere göre düzenli güncellenmeyişi, uygulama sürecinin gerektirdiği LOD düzeyine uygun geliştirilmemesi diğer önemli problemler olarak ön plana çıkmıştır. Bu bulgular dikkate alındığında, problemin yalnızca 4D BIM'in süreçlere nasıl adapte edileceğinin bilinmemesi olmadığı, bütüncül bir yaklaşımla BIM model oluşturulma ve geliştirilme sürecinin de iyileştirilmesi gerekliliği çok net ortaya koyulmuştur.

Planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin enformasyon teknolojileri ile entegre edilerek iyileştirilmeleri, projenin verimliliğinin arttırılması açısından kilit önem taşımaktadır. Ancak bütünleşme sürecinin gereklilikleri doğrultusunda BIM model ve iş programlarının nasıl oluşturulması gerektiği, ne şekilde ve hangi süreçlerde bütünleşmenin gerçekleştirilebileceği, farklı planlama düzeyleri için ihtiyaç duyulan LOD düzeyleri bilgisinin hem literatürde hem de uygulamada eksik olduğu tespit edilmiştir. Türk inşaat sektöründe çözüme yönelik böyle bir model önerisininin mevcut olmadığı ve yurt dışındaki çalışmaların da çoğunlukla pilot çalışmalar kapsamında üretildiği görülmüştür. Bu durum iş programı ve BIM model bütünleşmesini tanımlayan bir modele olan gereksinimi ortaya koymaktadır. Bu sebeple bu doktora tezinde planlama ve kontrol iş akış süreçlerini BIM ile entegre ederek iyileştirebilmek için gereksinim duyulan iş akış süreçleri belirlenerek, gerekli girdiler, kısıtlayıcılar, sistemin mekanizmaları ve çıktıları tanımlanarak kavramsal bir

model önerisi sunulmuştur. Ayrıca bütünleşme çalışmasının bir başka önemli amacı farklı planlama düzeyleri için gerekli LOD düzeyleri ve gereksinimleri tanımlanarak literatürdeki bu boşluğu gidermektir.

### 5.1 Modelin Amacı

Planlama ve kontrol iş akış süreçleri inşaat projesi başlamadan önce başlayıp, proje yaşam döngüsü boyunca devam eden, projedeki diğer tüm akış kanallarından doğrudan etkilenen, karmaşık parçalanmış süreçlerdir. Bu nedenle iyileştirilmelerinin önemli ve gerekli olduğu, dünyada bu amaçla yapılan çalışmalar arasında 4D BIM uygulamalarının ön plana çıktığı görülmüştür. Ancak bu çerçevede BIM tabanlı planlama ve kontrol iş akış süreçleri için yapılan çalışmaların çoğunlukla proje bazlı, süreçlerde daha çok BIM araçlarının kullanımına yönelik kısa süreli fayda elde etme odaklı pilot uygulamalar olduğu, bütüncül bir sistem ve strateji olarak kurgulanmadığı görülmüştür. Böyle bir modelin bu zamana kadar geliştirilmemiş olmasının bir nedeni, BIM ve iş programı bütünleşmesinde yaşanılan birlikte çalışabilirlik problemleri gösterilebilir. Bir başka nedeni de geliştirilen araçların daha çok 3D model odaklı olması, iş programı süreci ihtiyaçlarının görece göz ardı edilmesidir. Ancak, günümüzde bu açığı kapatmaya yönelik güçlü BIM araçları geliştirilmiştir

Literatür taraması sonucunda tespit edilen bu boşluğa ek olarak, alan araştırması da uygulamada incelenmiş olan yüklenici firmalar bazında söz konusu bütünleşme probleminin çözül(e)mediğini göstermiş ve bu durum doktora tezinde önerilen kavramsal model için büyük bir motivasyon oluşturmuştur. Model kurgulanırken, planlama ve kontrol iş akış süreçlerini BIM tabanlı hale getirebilmek için yüklenici firmanın organizasyon yapısı, bilgi akış kanalı, doküman yönetimi ve paydaş yönetimi gibi konular yeniden değerlendirilmiştir. Bütünleşme için gerekli her bir detay düzeyi, girdisi, mekânizmaları, kısıtlayıcıları ve çıktıları belirlenmiş, BIM bütünleşmesinin hangi aşamalarda, nasıl yapılabileceği konusunda öneri bir süreç akışı geliştirilmiştir. Model kurgulanırken firmaların mevcutta uyguladıkları planlama ve kontrol iş akış yöntemlerini tamamen değiştirmeleri değil, aksayan ve problemli yanlarını iyileştirmeleri amaçlanmıştır. Bu nedenle, özellikle mevcut süreç akışında bulunmayan ve yeni tanıtılacak "öneri" aşamalar ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Kurgulanan model sayesinde yüklenici firmaların proje bazlı değil, firma genelinde tüm projelerinde söz konusu bütünleşmeyi başarabilecekleri bir strateji modeli

oluşturmak istenmiştir. Böylece, inşaat sektöründe faaliyet gösteren yüklenici bir firmanın, planlama ve kontrol iş akış süreçlerini başarıyla yönetebilmesi için yol gösterici bir model önerisinin ortaya konması amaçlanmıştır.

Kurgulanan kavramsal modelin amaçları şunlardır:

Stratejik Amaçlar:

- **Geliştirilen modelin inşaat sektöründe kolay ve hızlı uygulanabilir olması.** İnşaat sektöründe, üst yönetimin, sadece planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde değil, diğer tüm iş akış süreçlerinde de enformasyon teknolojileri adaptasyonu konusunda yüksek yatırım maliyeti ve yeni süreçlerin gerektireceği değişiklikler nedeniyle isteksiz davrandıkları bilinmektedir. Aynı zamanda, yatırım yaptıkları teknolojilerden kısa sürede fayda elde etmek istemektedirler. Bu engelleri aşabilmek ve modelin sektörde kabul edilebilirliğini arttırmak için önerilen süreçlerin işleyişteki problemlere çözüm sunabilmesi ve uygulanabilir olmasına dikkat edilmiştir. Diğer önemli bir konu, modeller oluşturulurken uygulama için gerekli detay düzeyine kadar inilmiş, bu sayede modelin genel üst ölçekte kalması engellenmiştir. Modelin tasarımında kullanılan yöntem ve teknikler de akış süreçlerindeki karmaşık ilişkilerin ve gerekliliklerin yalın bir şekilde gösterilmesine yardımcı olmuştur. Bu sayede yüklenici firmaların akış sürecini görece daha kolay takip edip benimseyebilecekleri düşünülmüştür.
- **İnşaat sektöründe proje yönetiminde "öncelikli gereksinim duyulan unsurların" kavramsal modele mümkün olabildiğince dâhil edilmesi.** Öncelikli gereksinim duyulan unsurlar, proje yönetiminde genel olarak iyi uygulama olarak kabul görmüş, çoğu zaman projeye entegre edildiklerinde çeşitli projelerin performansını arttıracağı konusunda ortak fikir birliği olan bilgi, araç ve teknikleri ifade etmektedir. Bu amaçla modelde gerekli görülen bütünleşme yönetimi, kapsam yönetimi, zaman yönetimi ve iletişim yönetimi girdileri, kısıtlayıcıları, mekanizmaları ve çıktıları yeniden değerlendirilmiştir.
- **Kurumsal yapının hızlı ve etkin geri bildirim almaya uygun biçimde örgütlenmesi.** Model geliştirilirken önerilen yeni süreçlerin gerektireceği yeni rol ve sorumlulukların kurumsal yapıda uzun yıllardır kabul edilmiş bazı görev tanımlarının, sorumluluk ve temas ettikleri alanların değişmesini

gerektirmektedir. Örneğin mevcut durumda BIM ekibinin planlama sürecinin başında etkin rol almaması, iş programları oluşturulurken proje dokumanlarının incelenmesi sürecini olumsuz etkilemektedir. Öte yandan, BIM ekibinin satın alma ekibi ile koordine olmadan çalışması malzeme seçim ve uygulama detayları konusunda projenin eksik ya da hatalı olmasına neden olmaktadır. Bu merkez ofis ekipler arası koordinasyon problemi saha ekipleri devreye girdiğinde iyice karmaşık bir hal almakta, inşaat sırasında karşılaşılan problemlerin çözüm süresini uzatmaktadır. Mevcut durumda hangi ekipten hangi süreçte nasıl bir içerikle destek alınması gerektiği konusunda bir karmaşıklık olduğu ve bazı durumlarda aynı işi farklı ekiplerin farklı süreçlerde tekrar tekrar yaptığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, model önerisinde süreçlerde aktif rol alacak ekiplerin üretkenlik ve verimliliklerini arttırmak için hangi süreçlere katkı sağlayacaklarının tanımlanması amaçlanmıştır

Taktiksel Amaçlar:

- **Kavramsal model önerisinin bütüncül bir sistem olarak kurgulanması ve model bileşenlerinin bu sistemi oluşturan temel unsurlar olarak yapılandırılması,**
- **Tespit edilen süreçlerin ve önerilen yapılanmanın öncelikle ele alınan kapsamda, sonrasında ise geliştirilerek küresel ölçekte çalışabilir olması.** Bu amaçla iyileştirilmesi gerekli görülen süreçler olarak belirlenen, Proje Modeli Oluşturulması: LOD 200-300, Aşama 1- Ana İş Programı Oluşturulması, LOD 350-400 Proje Modeli Oluşturulması ve Aşama 2 Faz Planı Oluşturulması süreçleri proje tipi ve ölçeğinden bağımsız olarak tüm projelerde standart uygulanabilir süreçlerdir. Bu çerçevede örneğin, LOD 200-300 proje modeli oluşturulması sürecinin alt süreçleri olarak önerilen, Bilgi Kırılım Yapısı'nın Oluşturulması ve Model Kırılım Yapısı'nın Oluşturulması süreçlerinin gereklilikleri firmaların hepsinde sağlanabilecek, projeye özel durumlar ve takip edilecek standartlara göre işleyişlerinde değişiklikler yapılabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Ayrıca, modeli çalıştıran mekanizmalar, girdi olarak kullanılan standartlar ve dokumanlar belirlenirken uzun yıllardır inşaat sektöründe süreçlere faydalarıyla ön plana çıkan unsurlar olmalarına dikkat edilmiştir. Böylece önerilen akış süreçlerinin küresel ölçekte kabul görmesi amaçlanmıştır.

- **Çeşitli ülkelerde yüklenici inşaat firmaları tarafından uzun yıllardır uygulanmakta olan ve geri bildirimleri alınmış standart uygulamaların ve süreç bileşenlerinin modelde yer alması.** Modelin amacı tamamen süreçlerin değiştirilmesi olmadığı için bu konuya özellikle dikkat edilmiş, uzun yıllardır "iyi uygulama" olarak kabul görmüş süreçlerin modelde korunması amaçlanmıştır. Proje Yönetim Planı'nın Oluşturulması, İş Kırılım Yapısı'nın Oluşturulması, her sürecin sonunda standart eklenilen "izleme ve kontrol" aşaması buna örnek olarak gösterilebilir.
- **Modele dâhil edilen süreç bileşenlerinin sürekli yenilenebilir karaktere sahip olması, öneri modelin zaman içerisinde verimli olması ve gelişimi için, enformasyon teknolojileri ve iş yapış metotlarındaki değişimlere göre geri besleme ve güncellemeler ile yenilenmesi.** Bu çerçevede modelde önerilen tüm süreçlerin girdileri, kısıtlayıcı faktörleri, çalıştıran mekanizmaları (yazılımlar, ekip sayıları gibi) ve bunlara bağlı olarak çıktıları yenilenebilir şekilde tasarlanmıştır.
- **Süreçlerin entegre bir biçimde kurgulanması ve sürekliliğinin sağlanması.**

Operasyonel Amaçlar:

- **Sonuç olarak bu modeli benimsediklerinde yüklenici inşaat firmalarının iş programı değişkenliklerinin azaltılması ve güvenirliğinin sağlanması, yapım süreçlerinde üretkenlik ve verimliliğinin arttırılması ve nihayetinde de proje performansının arttırılması.** İnşaat sektörünün doğası gereği iş akışlarında değişkenliklerin olması beklenen bir durumdur, ancak yönetimsel problemler ve gerekli durumlarda etkili önlemlerin alınmayışı bu değişkenlikleri arttırmaktadır. Mevcut proje yönetimi uygulamaları iş akışları yönetimi yerine aktivite yönetimine odaklanması nedeniyle eleştirilmektedir. Bu durumun iş programındaki değişkenliği arttırdığı belirtilmiştir (Garcia - Lopez ve Fischer, 2018). Öncelikle önerilen modelin iş akışı yönetimi odaklı olmasının temeldeki bu yönetim problemini gidereceği düşünülmüştür. Öte yandan, literatürde iş programlarındaki değişkenliğin doğrudan iş gücü ve maliyeti etkilediği ve bu durumun proje performansı üzerinde olumsuz etkisi olduğu raporlanmıştır (Sacks, 2016). Bu değişiklikleri başarılı yönetmek için esnek kaynak kapasitesi stratejilerinin uygulanması tavsiye edilmektedir

(Gonzalez ve diğ., 2010). Bunu başarabilmek için model önerisinde "işbirlikçi planlama" süreci sunulmuştur, böylece ekipler hep birlikte ana işprogramında belirlenen kaynak (iş gücü, malzeme, ekipman) gereksinimlerini gözden geçirmekte, olası değişiklikler konusunda önceden bilgi sahibi olup gerekli önlemleri almaları sağlanmaktadır. Böylece, iş programlarında iş gücü ve diğer kaynakların değişkenliği azaltılarak, iş programı güvenilirliği ve proje performansın arrtırılması amaçlanmıştır.

## 5.2 Modelin Kapsamı

Kavramsal model önerisi ile, ulusal ve uluslararası alanda faaliyet gösteren, Türkiye Müteahhitler Birliği'ne üye, inşaat sektöründe belli büyüklükte projelerde lider konumunda bulunan genel yüklenici inşaat firmalarının mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik olarak BIM bütünleşmesinin sağlanması amaçlanmıştır.

Model önerisi kapsamında özellikle genel yüklenici firmalara odaklanılmasının nedeni, planlama ve kontrol çalışmalarının çoğunlukla yüklenici firmalar tarafından gerçekleştirilmesi ve sözleşmesel anlamda geciken teslimler ve verimsiz süreçlerde en çok yüklenicilerin riske maruz kalmasıdır. Öte yandan literatürde lider Türk yüklenici firmaların küresel ölçekte rekabetçi firmalar olmasına karşın, yoğun bir şekilde zaman ve malzeme israfı ile mücadele ettikleri, iş akışları takibinde, ekipler arası koordinasyon ve iletişimde problem yaşadıkları belirtilmiştir (Arditi ve diğ., 1985; Uğur ve Baykan, 2008; Kazaz ve diğ., 2012; Kuruoğlu, 2014). Bu duruma çözüm olarak, firma-tabanlı devlet destekli iyileştirmelerin gerekliliği vurgulanmıştır (Polat ve Ballard, 2004; Tezel ve Nielsen, 2013). Bu doktora tezinde önerilen modelin yüklenici firmalarda firma tabanlı proje performansının arttırılması için bir potansiyel olacağı düşünülmektedir. Ek olarak, Türk inşaat sektörünün geleneksel yöntemlerden beslenmesi verimsiz süreçler ile mücadele etmesine neden olmaktadır. İnşaat sektörünün temel katılımcılarından biri olan yüklenici firmalarda gerçekleştirilen enformasyon teknolojileri adaptasyonun tüm sektör için bu konuda yönlendirici olacağı ve sektöre ivme kazandıracağı düşünülmektedir.

Model önerisi geliştirilirken mevcut durum verileri, örneklem bazında yapılan alan araştırmasına dayanmaktadır. Buradan elde edilen bulgularla tüm sektör için genelleme yapılması amacı olmamasına karşın, verilerin lider konumdaki genel

yüklenici firmalardan alınması ve örneklem bazında tutarlı olmaları bazı sonuçlarda genelleme yapılmasına olanak sunmuştur. Bu nedenle model kapsamında önerilen süreçlerden gelişmiş ve gelişmekte olan diğer ülkelerde de benzer cirolara ve organizasyon yapısına sahip yüklenici firmaların faydalanabileceği düşünülmüştür.

Tasarım ofisleri, proje yönetim ve danışmanlık hizmeti veren firmalar model çalışması kapsamında değerlendirilmeyecektir.

Bu doktora tezi kapsamında, proje başlangıç aşaması itibariyle oluşturulan "ana iş programı" ve "iş birlikçi iş programı" evrelerindeki planlama ve kontrol iş akış süreçleri BIM bütünleşmesine odaklanılmaktadır. (Kavramsal model önerisinde bu süreç A1 süreci olarak tanımlanmış, bölüm, 5.3 Model Önerisi Aşamasında anlatılmıştır) Kapsamın bu şekilde belirlenmesinin bir nedeni, literatürde, projenin ilk evrelerinde bütünleşme çalışması yapılmadığında sonraki aşamalarda yapılan 4D çalışmalarının bir sisteme oturtulmasının oldukça maliyetli ve karmaşık olmasıdır (Ahmed ve diğ., 2014; Büchmann-Slorup ve Andersson, 2010; Kassem ve diğ., 2012; Koo ve Fischer, 2000; Saad ve diğ., 2015; Tallgren ve diğ., 2020). Bir başka nedeni, proje başlangıcında ana iş programı ve faz planlarının çeşitli nedenlerle hatalı ve eksik oluşturulması, BIM modellerin planlama süreci ihtiyaçları doğrultusunda ve gerekli LOD düzeyinde oluşturulmamasının, ilerleyen aşamalardaki süreçlerin verimliliğini ve BIM bütünleşmesini olumsuz yönde etkileyecek olmasıdır. Proje başlangıcında BIM ve planlama bütünleşmesine engel olan kök problemler giderilerek, ilerleyen proje yapım evrelerindeki bütünleşme çalışmalarının devamı için iyi bir zemin oluşturulmak istenmiştir. Alan araştırması bulgularına göre de projenin ilk evrelerindeki bütünleşme çalışması aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı proje yaşam dönemi boyunca kilit öneme sahiptir,

- Projenin başlangıcı itibariyle, planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin doğru proje bilgilerine dayandırılarak geliştirilmesi,
- Proje bilgi yönetim sisteminin oluşturulması,
- Aktivitelerin inşa edilebilirliği konusunun erken evrelerde analiz edilebilmesi olanağı,
- Ekipler arası etkin koordinasyon sürecinin başlatılması,

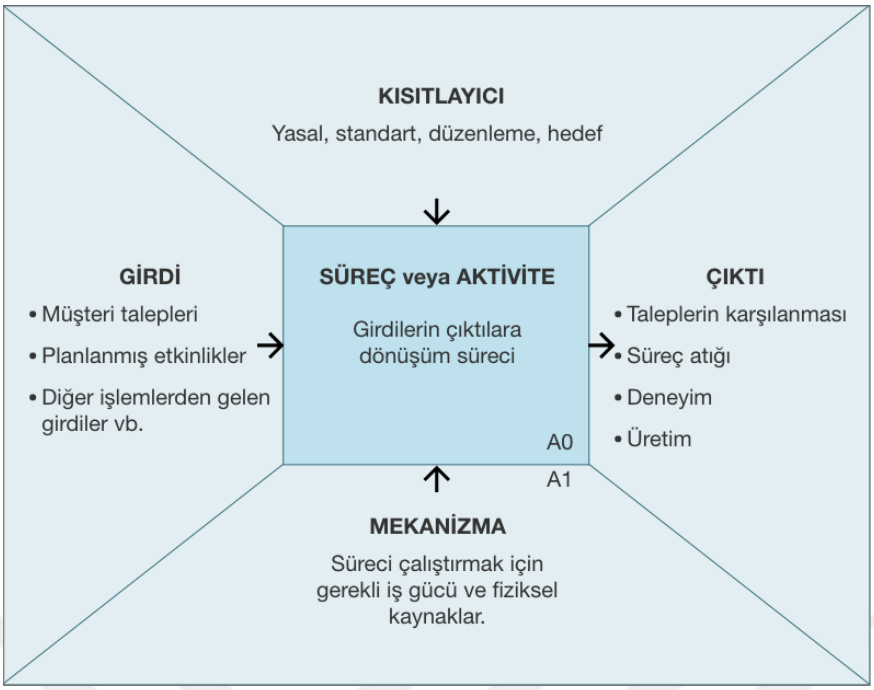
- Gereksinim duyulan yeni rol ve sorumluklara göre organizyonel yapının düzenlenmesi,
- Teknik altyapı gereksinimlerinin proje başında bütçeye eklenerek düzenlenmesi,
- Kaynak gereksinimlerinin daha doğru belirlenmesi,
- Sadece süre odaklı kısıtlayıcılara değil, mekân odaklı kısıtlayıcı faktörlere de odaklanılmasına olanak tanımasıdır.

Projenin ilerleyen aşamaları imalat modelleri ve saha uygulama iş akış süreçlerinde BIM ve planlama bütünleşmesi için gerekli çalışmalar model kapsamında ele alınmayacaktır. Ancak bu tez çalışmasında önerilen model dönüştürülebilir ve geliştirilebilir bir sistemde kurgulandığı için mevcut aşamaların sonraki aşamalarla her zaman bütünleştirilebileceği düşünülmektedir.

### 5.3 Model Oluşturulurken Kullanılan Yöntem ve Teknikler

BIM tabanlı planlama ve kontrol iş akış süreçleri model önerisi kurgulanırken, bütünleşme aşamalarını ve nasıl yapılacağını tüm gerekliliklerleriyle gösterebilecek, bunu yaparken modelin takibini zorlaştırmayacak bir yöntem arayışına girilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, iş akış süreçlerinin genelden özele yalın bir ifade biçimiyle gösterilmesinin yararlı olacağı düşünülmüştür. Böylece, geliştirilen modelin inşaat sektöründe kolay benimseneceği ve hızlı uygulanabileceği düşünülmüştür.

IDEF-0 yöntemi, literatürde bir süreç modeli oluşturulurken iş akışlarını daha mantıklı ve basitleştirilmiş bir şekilde düzenlemek için kullanılmakta, fonsiyonel modellerin oluşmasını sağlamaktadır (Hirao ve diğ., 2008; Imran ve diğ., 2010). Özellikle net bir konusu, amacı ve bakış açısı olan modellerde, bir süreci ve sistemi temsil etmek için tercih edilmektedir (Karhu, 2000). Şekil 5.1'de tipik bir IDEF-0 süreci yapısı görülmektedir. IDEF-0 yönteminde, süreçteki gerekli girdiler, öngörülmesi gereken kısıtlayıcılar, sistemi çalıştıran mekanizmaları ve sürecin sonunda hedeflenen çıktılar çok net tanımlanabilmektedir. Süreçler arasında akış ilişkileri tasarlanarak iş akış sürecinin bütünü oluşturulur. IDEF-0 yönteminde en üst hiyerarşi A0 süreci ile temsil edilmektedir, A0 sürecinin altındaki sayı (Şekil 5.1'de A1 olarak görülmektedir) sürecin açıldığını ve alt süreci olduğunu ifade eder.




**Şekil 5.1 :** IDEF-0 Aktivitesi (Soung-Hie ve Ki-Jin, 2000'den uyarlanmıştır).

IDEF-0 yönteminde, süreç modelleri zamandan bağımsız olup, belli bir zaman dilimi için tasarlanmamaktadır. Bir başka özelliği de tüm süreçlerin hiyerarşik olarak gösterilmesine, gerek görüldüğü kadar alt süreç ayrıntısına ve yapılacak aktivitelere kadar inilmesine olanak sağlamasıdır (Veis ve diğ., 2009).

Tüm bu nedenler göz önüne alındığında, bu doktora tezi için geliştirilen kavramsal model önerisi için IDEF-0 yönteminin uygun olduğu düşünülmüştür. Böylece, model önerisi geliştirilirken uygulama için gerekli detay düzeyine kadar inilmiş, her aşamanın gereklilikleri ayrıntılı tanımlanmış, bu sayede modelin genel üst ölçekte kalması engellenmiştir.

Süreç diyagramlarını oluşturmak için ise MS Office Visio programı kullanılmıştır.

## 5.4 Kavramsal Model Önerisi Aşamaları

Kavramsal model önerisine başlarken, öncelikle örnekleme dahil olan yüklenici firmaların planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin mevcut durum analizi yapılmıştır. Bu çerçevede analiz için incelenen konular, mevcut iş akışlarında tanımlanabilir takip edilen süreçlerin neler olduğu (ana iş programı oluşturulması, uygulama projelerinin geliştirilme evresi vb. gibi), tasarım firmasından projenin hangi detay düzeyinde teslim alındığı, iş programı ve BIM model geliştirilirken süreç boyunca rol alan ekiplerin rol ve sorumlulukları, raporlama yaptıkları yöneticilerin kimler olduğu, bilgi paylaşım

kanalının nasıl oluştuğu ve işlevselliği, merkez ofis ve saha ofisi (proje müdürü) rol ve sorumlulukları, süreçte kullanılan teknik altyapı, yazılımlar ve takip edilen standartlardır. Bütün bu bilgilerle mevcut durum iş akış analizi departmanlar arası bilgi ve dokuman paylaşım kanallarını gösterir şekilde ayrıntılı A3 formatında çıkartılmıştır. Bu çalışma üzerinde iyileştirilmesi gereken süreçler tespit edilerek mevcut süreçler ile nasıl bütünleştirilebileceği tasarlanmıştır. Mevcut durum iş akışları oldukça karmaşık olup, elde edilen verilerin kavramsal model önerisinde kullanılabilmesi için süzgeçten geçirilmesi gerekmiştir.

Şekil 5.2'de IDEF-0 yöntemi üzerinde kavramsal model önerisinde en üst hiyerarşide gerçekleştirilmesi amaçlanan "A0 Planlama ve BIM Bütünleşmesi" gösterilmektedir. A0 ana süreci proje yaşam dönemi boyunca yapılan planlama ve BIM bütünleşme çalışmalarının hepsini kapsamaktadır.

A0 ana sürecinde, tasarım ofisinden ihale dokumanları teslim alındığında planlama ve BIM bütünleşme süreci başlatılır. Sürecin en başında kısıtlayıcıların belirlenmiş olması ve buna göre gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Önerilen modelde, iş veren onayı, BIM Uygulama Planı (BUP), takip edilecek BIM Standartları, malzeme şartnameleri, lojistik stratejisi, ekipman varlığı bilgisi, alt yüklenici bilgileri ve sahadan gelen verilere göre saha koşulları kısıtlayıcılar ve süreçte gerekli dokümanlar olarak belirlenmiştir. Bütün süreç boyunca, BIM ekibi, planlama ekibi, satın alma ekibi, alt yüklenici, tedarikçiler, saha uygulama ekibi ve yazılımlar süreci çalıştıran mekanizmalar olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak A0 ana süreci çıktısının sahada uygulama amaçlı kullanılacak 4D BIM iş programı olması amaçlanmaktadır.

"A0-Planlama ve BIM Bütünleşmesi" sürecinin bir alt detay süreci oluşturulurken, örneklem grubunda BIM kullanan yüklenici firmaların, mevcut durumda projelerini geliştirirken takip ettikleri üç aşamalı bir süreç kullanılmıştır. Bu süreçler bu doktora tezi kapsamında aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

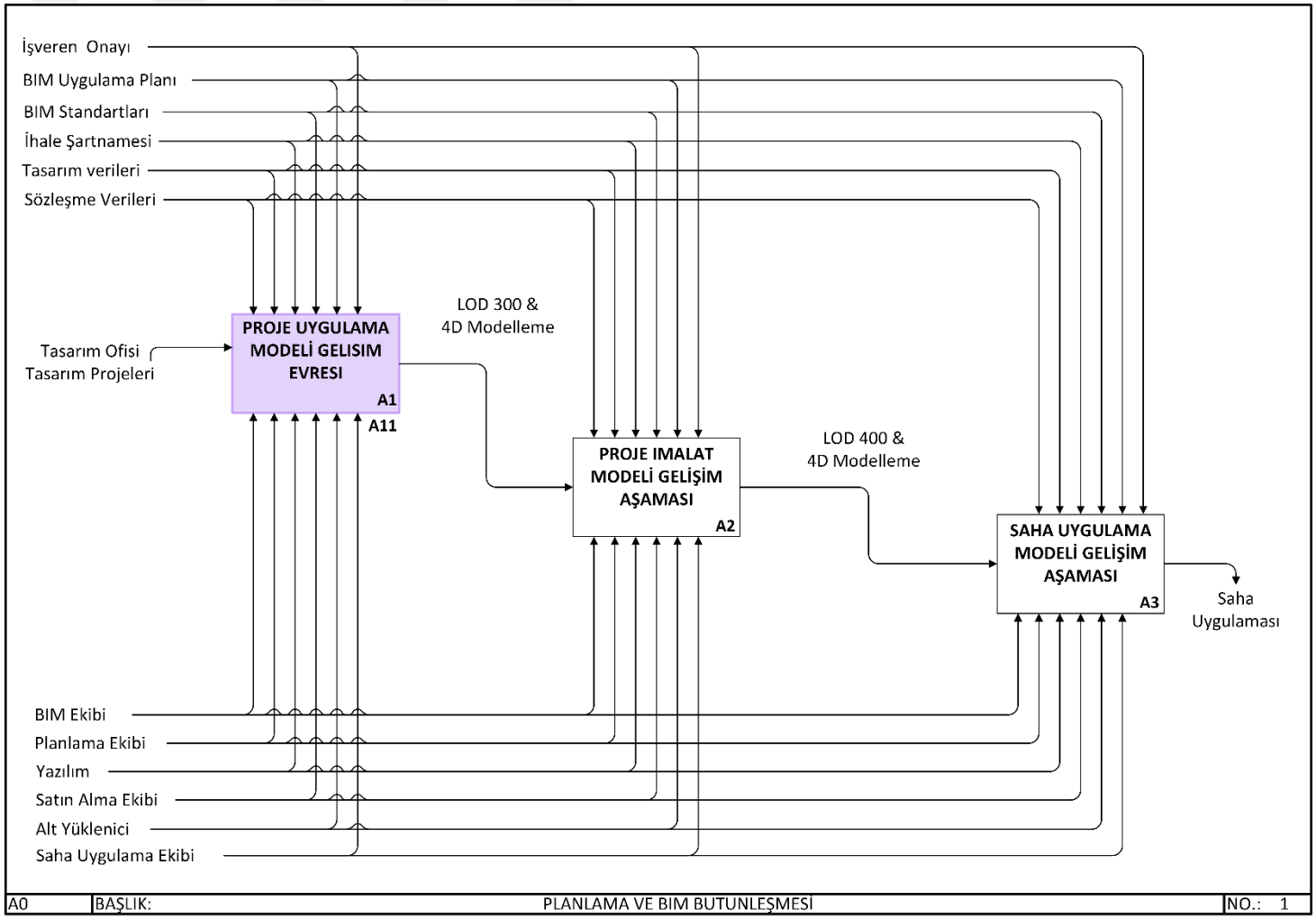
- A1: Proje Uygulama Modeli Gelişim Evresi Planlama ve BIM Bütünleşmesi
- A2: Proje İmalat Modelleri Aşaması: Planlama ve BIM Bütünleşmesi
- A3: Saha Uygulama Evresi: Planlama ve BIM Bütünleşmesi

A1 süreci projenin başlangıcı, ilk ana iş programı oluşturulması, faz planı ve uygulama projelerinin geliştirilmesi sürecini, A2 süreci yapım sahalarında kurulan BIM ekiplerinin ürettiği imalat modellerinin oluşturulması ve 6-8 haftalık iş programlarının

ve haftalık iş programlarının oluşturulması sürecini; A3 süreci ise, sahadaki uygulamalara göre projenin güncellendiği (as-built) süreci temsil etmektedir.

Şekil 5.2'de, A0 ana süreci ve A1, A2, A3 alt süreçleri görülmektedir. Burada üst ölçekte A1-A2-A3 alt süreç akışlarının birbirleriyle olan ilişkisi, her bir sürecin girdisi ve çıktısı en genel hatlarıyla görülebilmektedir. Bu doktora tezi kapsamında bir alt detay sürecine inilirken A1 süreci alt ve alt süreçlerine odaklanılmıştır. A1 sürecinin gerekli olan girdileri, mekânizmalar, kısıtlayıcılar ve çıktılar tanımlanacak, mevcut A1 ana süreç akışında olmayan ya da değiştirilmesi gereken aşamalar alt süreçleriyle açıklanacaktır.

Model önerisinde süreç akışı diyagramları oluşturulurken, tüm adımların tek tek anlatılmasından öte, özellikle mevcut uygulamalara yeni getirilen önerilerin ve bütünleşme çalışması için önemli olduğu düşünülen süreçlerin alt başlıklarına odaklanılmaya çalışılmıştır. Hangi süreçlerin alt süreçlerine inildiğini takip etmek için, süreç kutularının altında sayı yazıp yazmadığına bakılabilir. Çünkü sürecin altındaki sayı o sürecin açıldığını ve alt süreçleri olduğunu ifade etmektedir. Süreç akışlarının tümü, birbirleriyle ilişkisi EK A'dan incelenebilir.

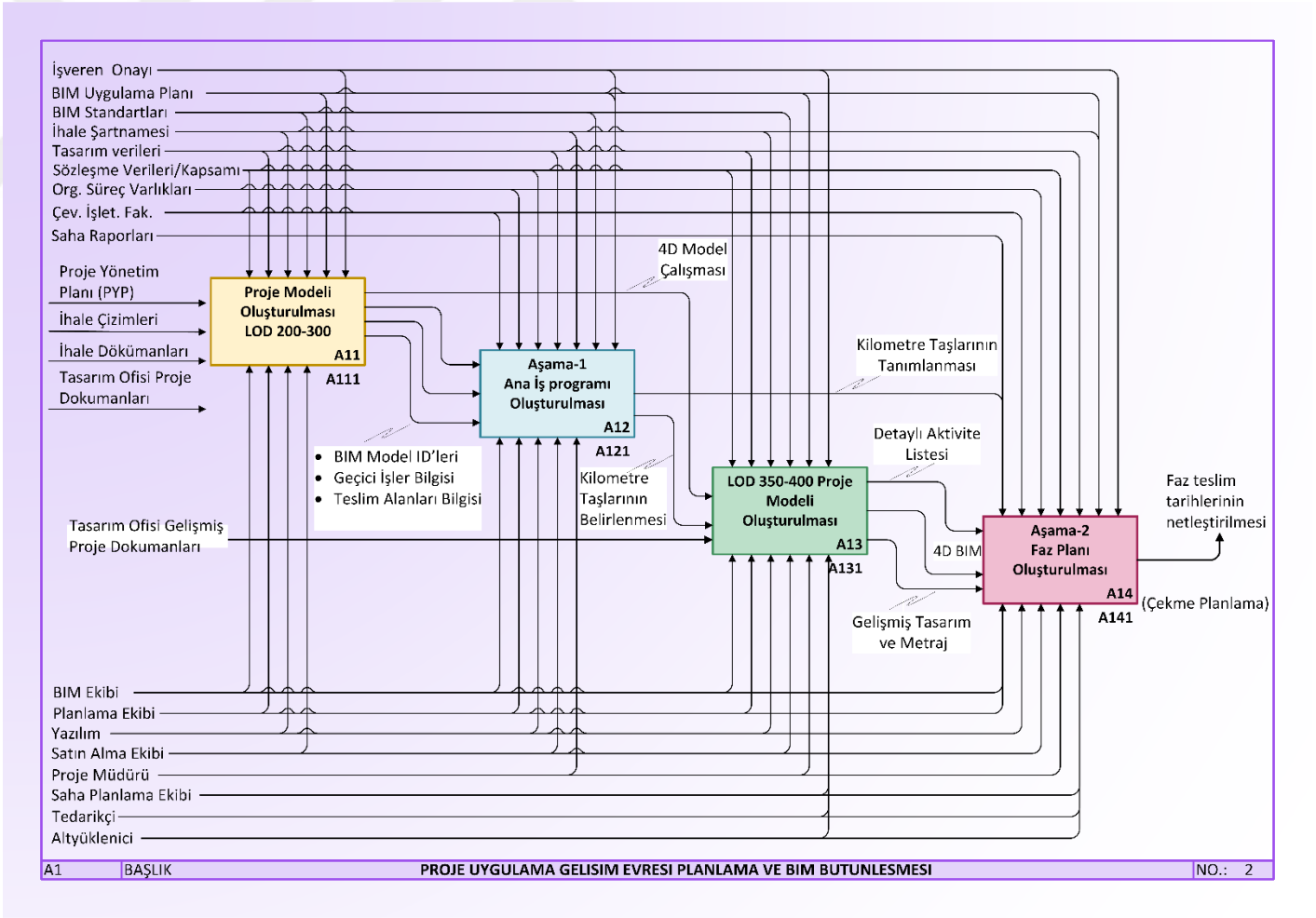



**Şekil 5.2 :** A0 Süreci.

### 5.4.1 Proje uygulama modeli öneri gelişim evresi: planlama ve BIM bütünleşmesi

A1 ana süreci, A11 Proje Modeli Oluşturulması LOD 250-300 alt süreci, A12 Aşama 1 Ana İş Programı Oluşturulması alt süreci, A13 LOD 350-400 Modeli Oluşturulması alt süreci ve A14 Aşama 2 Faz Planı Oluşturulması alt süreçlerinden oluşmaktadır. A1 ana süreci alt süreçleri belirlenirken literatür araştırmaları ve karşılıklı görüşmelerde ana yüklenici firmaların özellikle iyileşmesini talep ettikleri süreçler göz önüne alınmıştır. Bu sürecin tüm alt süreç akışları ilerleyen bölümlerde ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

Şekil 5.3'te A1 süreci iş akışları için önerilen girdileri, süreci çalıştıran mekanizmaları (iş akışlarındaki aktif ekipler, yazılım gereksinimi gibi), kısıtlayıcıları (gerekli dokümanlar, onaylar ve standartlar gibi) ve çıktıları (her bir süreçte elde edilmesi hedeflenen üretim) görülmektedir. Hangi sürecin çıktısının hangi sürecin girdisi olarak değerlendirildiği ve sürecin genel olarak en yalın nasıl yönetildiğini gösterdiği için A1 süreci kavramsal modelin bütününü anlamak açısından önemlidir.




**Şekil 5.3 :** A1 Süreci.

### 5.4.2 Öneri: proje modeli oluşturulması LOD 200-300

Mevcut uygulamalarda teklif aşamasında BIM ekibi sürece dâhil olmamakta, planlama ekibi ve teknik ofis çalışanları işverenden gelen dokümanları inceleyerek teklif dokümanlarını hazırlamaktadır. Bu aşamada projenin paydaşlar tarafından tam olarak anlaşılmaması sebebiyle hazırlanan tekliflerin risk oranının yüksek olduğu öğrenilmiştir. Öncelikle bu problemi gidermek için ihale dokümanlarının yüklenici firmalara ulaşmasıyla birlikte BIM ekibinin sürece dâhil olması ve ekibin LOD 200-250 düzeyinde ilk model taslaklarını oluşturup diğer proje paydaşlarıyla proje bilgilerini paylaşması önerilmektedir. Bu aşamada BIM ekibi işveren talebi olup olmaksızın öncelikle BIM Uygulama Planı (BUP) oluşturmalı, sürecin tüm aktörlerini, kullanılacak yazılımları, takip edilecek BIM standartlarını ve formatları belirlemelidir.

Mevcut uygulamalarda projenin erken evrelerinde ana yüklenici firmaların tasarım ofislerinden teslim aldığı proje dokümanlarının sözleşmeye bağlı olarak farklı gelişmişlik düzeylerinde, 3D ya da 2D olabildiği öğrenilmiştir. BIM ekibi, BIM modelleri oluştururken işverenin onayladığı, tasarım ofislerinin yaptığı proje değişikliklerini de mutlaka incelemeli ve uygulama projelerine yansıtmalıdır. Proje başlangıcı itibariyle tasarım ofisleriyle de iletişim ve koordinasyon sağlanması, değişikliklerin zamanında tespit edilmesi önemlidir. Bir başka önemli konu, ihale aşamasında genellikle projede kullanılacak imalat kalemlerinin çoğunun malzemeleri netleşmemekle birlikte, teknik şartnameler kullanılabilecek ürünler konusunda detaylı bilgi içermektedir. Mevcut uygulamalarda BIM ekibinin genellikle malzeme şartnamelerini detaylı incelemediği, bu konunun satın alma ekipleri tarafından yönetildiği öğrenilmiştir. Ancak proje modelleri oluşturulmasıyla birlikte BIM ekibi teknik şartnameleri, projede kullanılacak malzeme ve teknik gereklilikleri incelemelidir. Bu sürecin bir başka girdisi de Proje Yönetim Planı (PYP) oluşturulmasıdır. PYP dokümanı proje üst yönetimiyle birlikte oluşturulup, planlama, izleme ve kontrol süreçleri, performans eşik parametrelerini içermektedir. Bu dokümanı mevcut uygulamarda yalnızca planlama ekibi kullanmasına rağmen, önerilen modelde BIM ekibinin de planlama sürecinde aktif olmasıyla sebebiyle bu dokümana hâkim olması önerilmektedir.

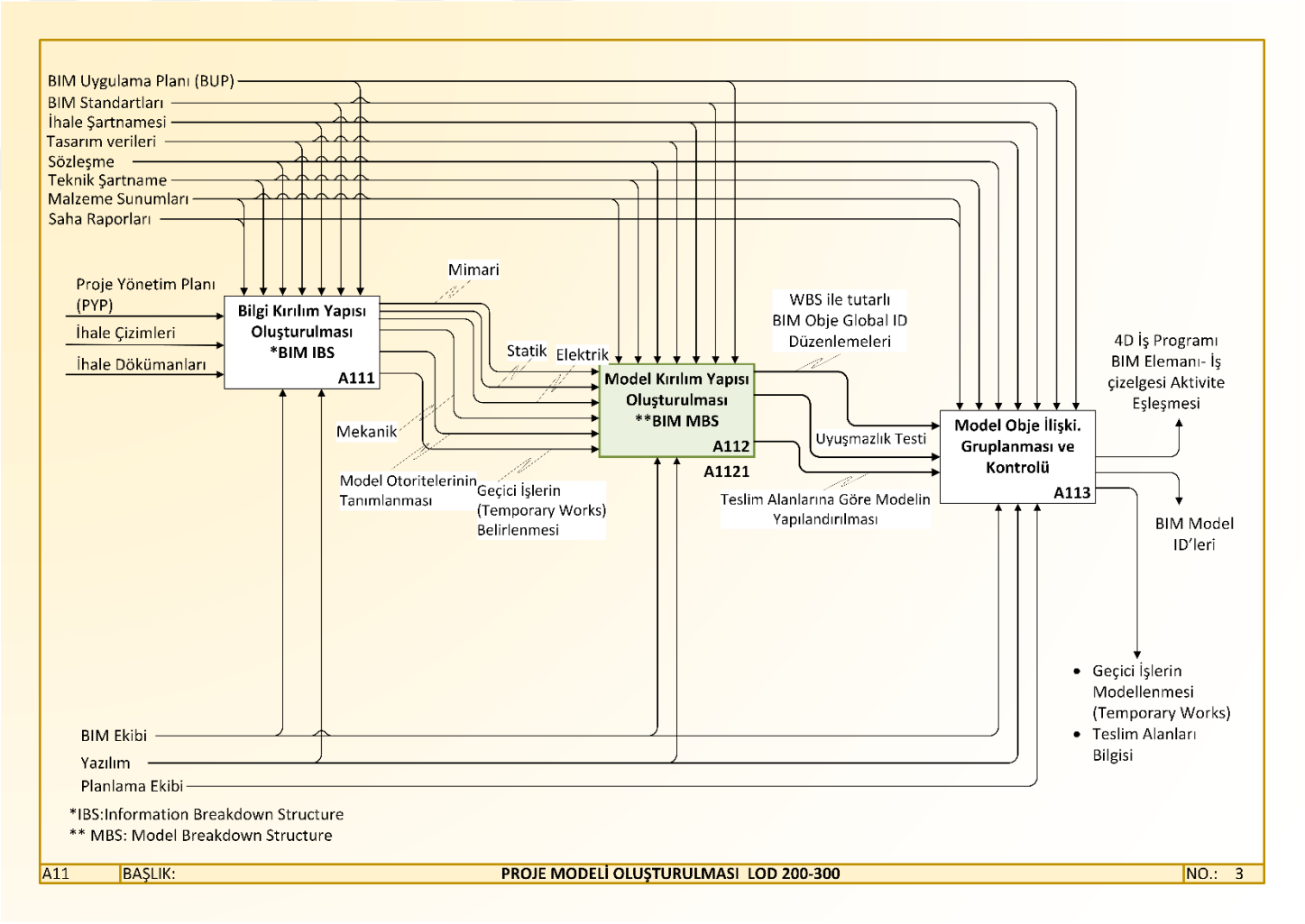
Şekil 5.4'te A11 süreç akışında belirtildiği gibi, önerilen modelde LOD 200-250 düzeyi proje çalışmalarının başlamasıyla birlikte BIM ekibi planlama ekibiyle paralel bir şekilde sürece dâhil olup, öncelikle Bilgi Kırılım Yapısı (IBS)'nı oluşturur. Yapım

süreçlerinde projelerin ölçeği ve karmaşıklığı arttıkça gerekli bilgi boyutu da artmaktadır. Projeyle ilgili bu bilgilerin %80'i de yapısal olmayan (unstructured documents) dokümanlar içerisinde saklanmaktadır (Caldas ve Soibelman, 2003). Bu dokümanlar, günlük rapor, teknik şartname, malzeme sunumları, değişim talepleri, bilgi talebi, saha değişiklik bildirimi gibi olup, genellikle etkisiz yönetilip, inşaat sektöründeki üretkenlik probleminin önemli bir sebebi olmaktadırlar (Eastman ve diğ., 2010; USDOC, 2008). Bu durumun oluşmasında inşaat sektöründeki parçalanmış bilgi paylaşım kültürü de etkili olmaktadır (Nepal ve Staub-French, 2016). Bu nedenle yapım sürecinin başarısı için bilgi yönetimi (information management) sisteminin oluşturulması çok önemli olup, literatür araştırmalarında yapım projelerinde sistemli ve sürdürülebilir bir bilgi yönetim sisteminin oluşturulmadığı belirtilmektedir (Cha ve Lee, 2018).

Bu nedenle kavramsal model önerisinde, sistemli bir bilgi yönetim yaklaşımı oluşturmak istenmiştir. Bilgi Kırılım Yapısı'nda, hangi bilgilerin hangi ekiplerden hangi aşamalarda geleceği, tasarım grubu ile sürecin nasıl yönetileceği ve paylaşılacak dokümanlar, işverenden alınması gerekli proje onayları listesi, mekanik, elektrik, statik projelerinin kapsamı ve bu projelerin kimler tarafından çalışılacağı, projelerin ne şekilde birleştirileceği ve bilgi aktarım yolları tanımlanır. Mevcut uygulamalarda, karşılıklı görüşmelerde elde edilen bilgilere göre Bilgi Kırılım Yapısı çalışması yapılmamakla birlikte bilgi paylaşım kanallarında, proje dokümanlarının (sözleşme, çizimler, toplantı notları, iş programı, işveren teslimleri, değişiklik bildirimleri) arşivlenmesi ve bir sonraki projede kullanılması konularında karmaşıklık yaşanmaktadır. Bu amaçla önerilen IBS sistemiyle birlikte proje hafızasının silinmeden ekipler arasında bilgi akışının sağlanması, arşivlenmesi ve farklı projelerde de faydalanılacak şekilde ulaşılabilir olması amaçlanmıştır.

Şekil 5.4'te, A11 sürecinde IBS oluturulduktan sonra yine firmaların mevcut süreç akışında bulunmayan Model Kırılım Yapısı (MBS) oluşturulması önerilmektedir. Bu öneri, ileriki aşamalarda 3D modelin iş akışlarını iyileştirmesi için önemli biraltyapı sağlamaktadır. MBS oluşumunun detayı bir sonraki bölümde ayrıntılı anlatılacak olup, bu sürecin çıktısı olarak, BIM ekibi planlama ekibiyle birlikte İş Kırılım Yapısı'na (WBS) göre BIM model objelerinin ID'lerini belirleyerek iş programındaki aktiviteler ile otomatik ilişkilendirmenin altyapısını hazırlamış olur. Bu aşamadan sonra BIM model obje ilişkilerinin kontrolü için her disiplinin kendi içinde ve disiplinler arası

uyuşmazlık testleri yapılmalı, iş programında öngörülen süreleri de etkileyecek çakışmalar bu aşamada tespit edilmeye başlanmalıdır. İlişkisel anlamda problemli alanlar çözülmeli, bu aşamada belirlenen iş paketlerinin öncüllük ardıllık ilişkileri kontrol edilmeli ve ilgili model objeleri iş programı ile ilişkilendirilebilecek şekilde gruplanmalıdır.



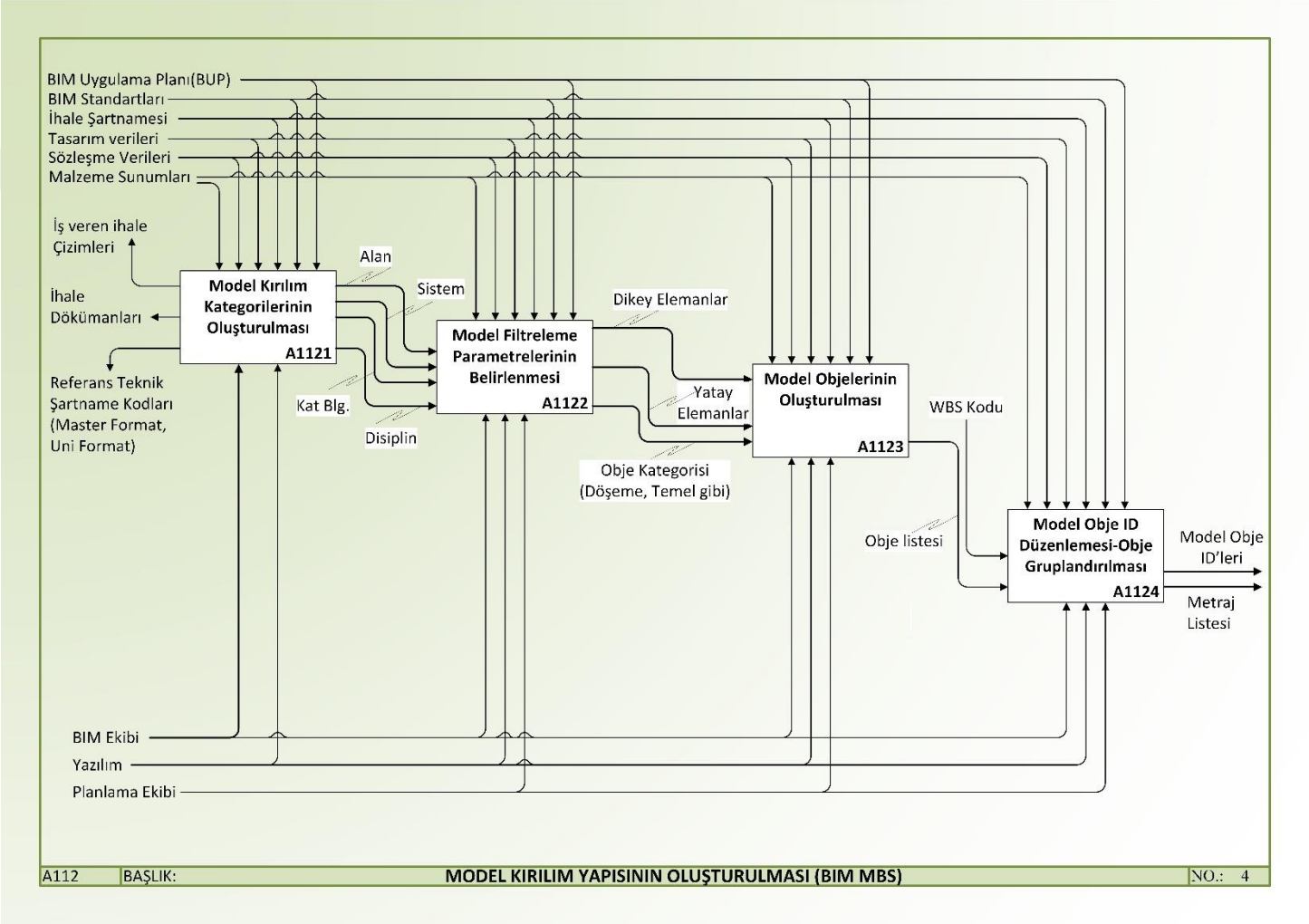

**Şekil 5.4 :** Proje Modeli Oluşturulması LOD 200-300.

#### 5.4.2.1 Öneri: Model Kırılım Yapısı (MBS) oluşturulması

Model önerisinde A112 Model Kırılım Yapısı (MBS)'nin alt süreçlerinin detaylandırılmasının nedeni, görüşülen şirketlerde bu ve benzeri bir süreç çalışmasının gerekliliklerleriyle yerine getirilmediğinin ve bu eksikliğin iş akışlarının yönetiminde 3D modelden faydalanılmasını engellediğinin tespit edilmesidir. Şekil 5.5'de A112 sürecinin alt başlıkları, kısıtlayıcıları, mekânizması, girdileri ve çıktıları gösterilmiştir.

MBS'de BIM objelerinin oluşturulmasına geçmeden önce her bir obje için standart olarak bulunduğu alan, kat, sistem ve disiplin bilgilerinin tanımlanması ilk çalışmayı oluşturmaktadır. Bu çalışma yapılmadan evvel mutlaka satın alma ekiplerinden belirlenmiş teknik şartname kodları temin edilmeli, BIM objelerinin ilgili olduğu teknik şartname kodları model objesi parametrelerinde tanımlanmalıdır. Bir sonraki aşamada BIM modelinin iş programı ile ilişkilendirilebilmesi ve daha iyi analiz edilebilmesi için hangi filtreleme özelliklerinin kullanılacağı belirlenmeli ve ilgili parametreler obje aile sistemi oluşturulurken tanımlanmaya başlanmalıdır. Örneğin, 4D bir modelde pratik bir çalışma için herhangi bir katta bulunan, tüm dikey ya da yatay elemanların seçilip beton dokum tarihlerinin kontrol edilmesi bu sayede çok hızlı olmaktadır. Bu kararların alınmasının ardından model objeleri oluşturulmaya başlanabilir ve sürecin sonunda obje listesi çıktısı alınabilir. Burada İş kırılım yapısındaki aktivite kodları ile eşleşebilir ID'lere sahip model objeleri oluşturulmuş olur.

MBS süreci aynı zamanda Obje ID'leriyle birlikte iş programında kullanılan metrajların otomatik 3D modelden alınmasına olanak sağlamaktadır. Mevcut uygulamada, yapılan görüşmelerde edinilen bilgilere göre bu aşamda 3D model objeleri filtereleme parametreleri tam oluşmadığı ve aktivite kodlarına göre modelleme çalışmaları yapılmadığı için satın alma ekipleri de metraj çalışmasını 2D çizimler üzerinden yapmaktadır. Yine mevcut uygulamalarda 3D model objeleri ilgili teknik şartname kodları ile ilişkilendirilmediği için, satın alma ekiplerinin malzeme alımları yaparken 3D modelden faydalanamadıkları bazı kalemlerin projede farkedilmediği için malzemelerinin de alınmadığı öğrenilmiştir.




**Şekil 5.5 :** A112 Model Kırılım Yapısının oluşturulması (BIM MBS).

### 5.4.3 Öneri: Aşama 1- Ana iş programının oluşturulması

Bu model kapsamında iş programlarının farklı detay düzeylerini ifade etmesi amacıyla "aşama" (level) ifadesi ve numaralandırma kullanılmıştır. Literatürde, iş programlarının farklı gelişmişlik düzeylerini göstermesi için numaralandırma veya tanımlama yolunu tercih eden çok çeşitli protokoller mevcuttur (AACEI, 2010; Humphreys, 1991). Bu çalışmada ise numaralandırılmanın tercih edilmesinin nedeni, karşılıklı görüşmelerde firmaların çoğunlukla iş programlarını numaralandırma yöntemiyle tanımladıklarının öğrenilmesidir. Bu çerçevede, model kapsamına giren "Aşama 1" (Level 1) en genel bütün projeyi gösterir ana iş programını, "Aşama 2" (Level 2) ise faz planlamayı temsil etmektedir.

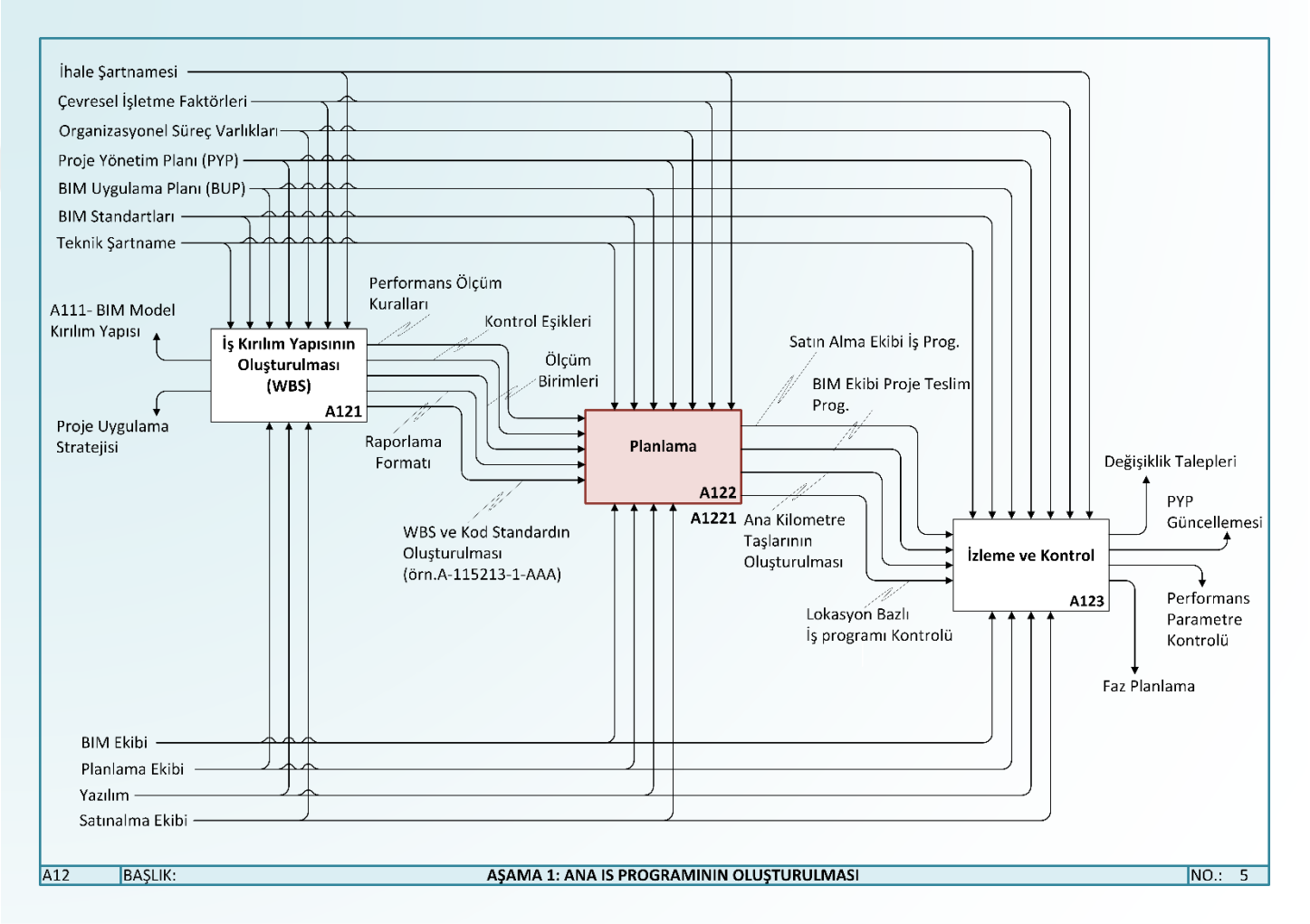
Şekil 5.6'da, A12 Aşama 1- Ana iş programının oluşturulması öneri süreç iş akışı, alt süreçleri, kısıtlayıcıları, mekânizması, girdileri ve çıktıları ayrıntılı gösterilmektedir. Ayrıca, A122 "planlama sürecinin" akış diyagramı alt detaylarına ise bir sonraki bölümde yer verilecektir.

Planlama ekibi mevcut iş yapış metotlarında olduğu gibi sürece iş kırılım yapısını (WBS) oluşturarak başlar, ancak öneri süreç akışında bu aşamada MBS'nin kullanılması süreci yeniden şekillendirmektedir. Bu süreçte MBS ve WBS eşleşmesi için, BIM araçları arasında Syncro gibi, eş zamanlı model ve iş programı hazırlama arayüzüne sahip bir araç tercih edilmesi sürecin verimliliğini arttıracaktır. 3D modelden obje bilgileri alınarak, ilgili aktiviteler ile eşleştirilir. Bu süreçte mutlaka WBS kod oluşturma standardı belirlenmiş olmalı ve bu format BIM obje ID'leri ile eşleştirilmelidir.

WBS oluşturulması sürecinde aynı zamanda ilk 4D model çalışmaları da başlamış olur. Bu süreçte iş programında verimlilik analizlerinin nasıl yapılacağı, takip edilecek performans ölçüm kuralları, sunum raporlama formatı gibi projenin yapım aşamasında kullanılması gereken formatlar belirlenmelidir. Her detay düzeyindeki iş programı oluşturma sürecinde mutlaka izleme ve kontrol aşaması bir standart olarak sürece dâhil edilmelidir. Bu aşamada tüm paydaşların öngörülen tarihler konusunda fikirleri alınmalı, gerekli düzeltmeler yapılmalıdır.

Yapılan görüşmelerde önceki bölümlerde söz edildiği gibi, bu aşamada karşılaşılan önemli bir sorun ana iş programından ayrıntılı iş programına geçişte yaşanılan koordinasyon kopukluğu olduğu öğrenilmiştir. Bu kopukluğu ortadan kaldırmak için,

planlama ekibi WBS oluşturulurken mutlaka mevcut proje müdürleriyle karşılıklı görüşmeler yapıp, saha analiz raporu sonuçları dikkate almalıdır. Yapım metodolojilerini proje müdürleri ve BIM ekibi ile birlikte kararlaştırmalıdır. Bunun yanı sıra uzun terminli işleri alabilecek potansiyel firmalarla görüşüp malzeme ve proje temin süreleri bu aşamada belirlenmeye başlamalıdır. Ana iş programı hazırlanması aşamalarında bu çalışmaların tam yerine getirilmediği durumlarda sahada detaylandırılan iş programlarında önemli koordinasyon problemleri yaşandığı belirtilmiştir.



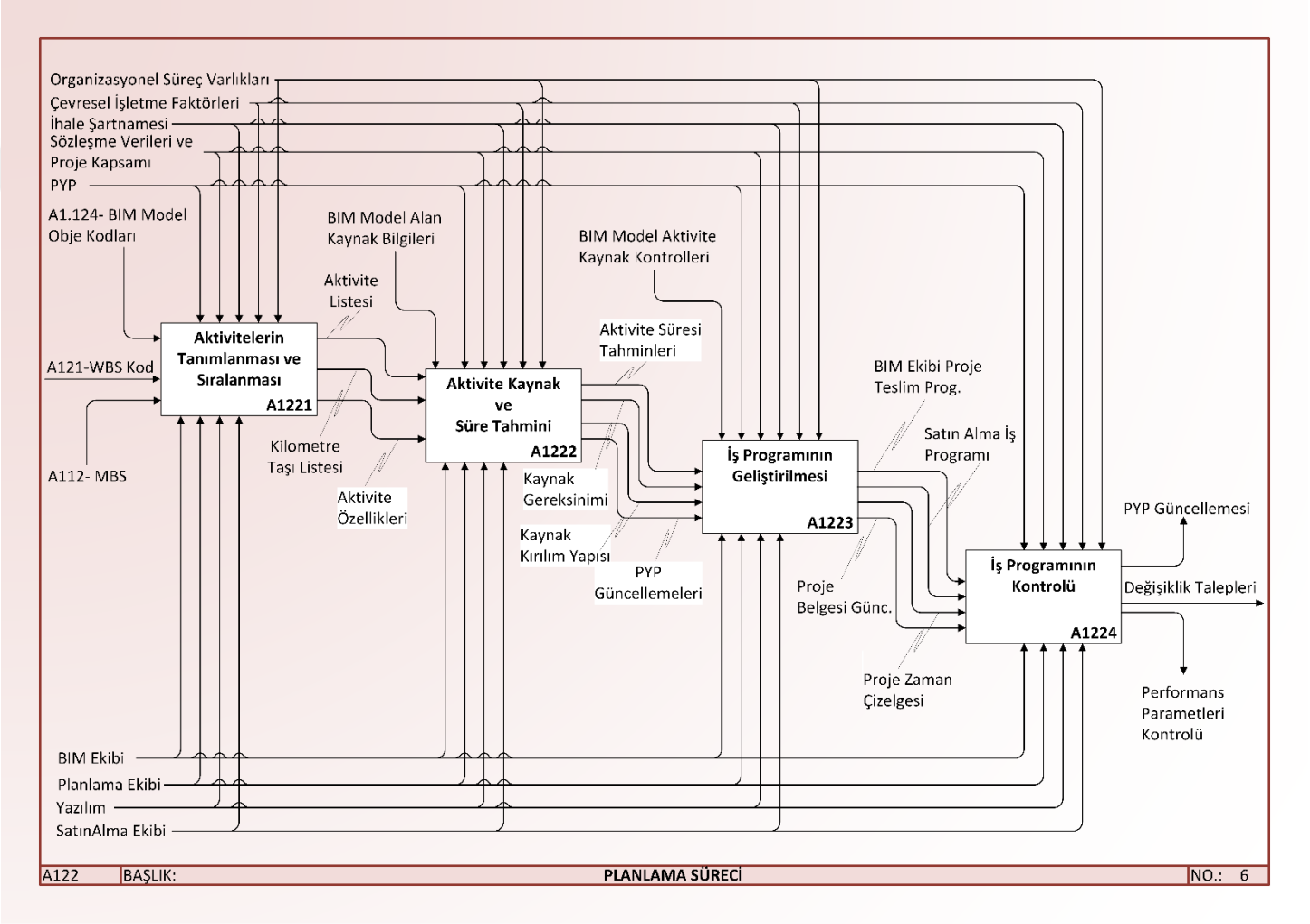

**Şekil 5.5 :** Aşama 1: Ana iş programının oluşturulması.

#### 5.4.3.2 Öneri: Planlama Aşaması

Model önerisinde Aşama 1 planlama sürecinin alt süreçlerinin gösterilmesinin nedeni, bu aşamada hangi adımlarda 3D model verilerinin ne şekilde kullanılacağının gösterilmesi gerekliliğidir. Şekil 5.7'de A122 sürecinin alt başlıkları, kısıtlayıcıları, mekânizması, girdileri ve çıktıları gösterilmiştir.

Model önerisinde MBS objelerinin otomatik aktivite kodları ile eşleşmesiyle, iş programındaki aktiviteler de otomatik tanımlanmış olur. Bu süreçte planlama ekibi mevcut süreçte olduğu gibi aktiviteleri ilişkilerine göre sıralar, ancak bu sıralamayı yaparken mevcut uygulamadan farklı olarak aynı zamanda 3D model üzerinde ilişkileri kontrol etme olanağına sahip olur. Yine mevcut süreç akışında olduğu gibi planlama ekibi aktivitelerin sürelerini iş programı üzerinde belirler ancak model önerisinde bu aşamada tüm disiplinler için gerekli metraj listesi 3D model üzerinden alınır. Metraj listesinin doğru proje enformasyonuna dayalı otomatik elde edilmesi, teknik ofisde adam-sa maliyeti açısından önemli olup, hem satın alma süreçlerinde hem de inşaat sırasında mevcut uygulamalarda karşılaşılan yanlış hesaplanmış malzeme metrajlarını önleyecektir. Ayrıca, mevcut uygulamadan farklı olarak öneri modelde iş programı üzerinde adam-saat hesapları yapılırken 3D model üzerinden alınan alan bilgileri kullanılır. Bu noktada firmaların mevcut adam-saat verimlilik analizleri ve karşılaştırma verileri önemli rol oynamaktadır.

Şekil 5.7'de gösterilen öneri iş programı geliştirme sürecinde, BIM ekibinin proje teslim programı ve satın alma ekibinin ihale takvimi uygunluğunun kontrolleri yapılır. Uygulama çizimleri ve malzeme satın alma süreçlerinin mantıksal tutarlılığı inşaat sırasında gecikmenin olmaması için önemlidir. Uygun olmayan tarihlerin ve mantık hatalarının bu süreçte düzeltilmesi önerilmektedir. İş programı kontrolü sürecinde, ana iş programı geliştirme sürecinde üst yönetim talepleri ve ekiplerin geri beslemeleriyle gelen değişiklik taleplerinin iş programına etkilerinin kontrolleri yapılır. Böylece, ekipler arası koordinasyon ile ana iş programı gerektirdiği proje ayrıntı düzeyine dayandırılarak doğru proje enformasyonu ile oluşturulmuş olur.




**Şekil 5.6 :** Planlama Süreci.

### 5.4.4 Öneri: proje modeli oluşturulması LOD 350-400

BIM modelde objelerin LOD 350-400 düzeyine ulaşabilmesi için, gerçek imalat ve montaj detaylarının da modellenmesi gerekmektedir. Bu düzeydeki model objeleri sayesinde imalatlar arasındaki ilişki irdelenebilir, imalat için bırakılması gereken boşluklar tespit edilebilir, mekânda aynı anda çalışabilecek ekip sayısı ve sıralaması, gerekli kaynak ve ekipman geçiş yolları proje üzerinde belirlenebilir. Böylece sahada uygulama başlamadan proje üzerinde iş akışı yönetimi yapılmış olur.

Karşılıklı görüşmeler sırasında 3D model üzerinde çalışan firmaların, genellikle projelerinde tüm model elemanlarında LOD 400 düzeyini yakalamayı hedeflediklerini, ancak bunu projenin genelinde başaramadıklarını belirtmişlerdir. Bu nedenle de çoğunlukla sahaya iletilen imalat ve uygulama projelerinin 2D olduğu öğrenilmiştir. Bu durumun nedenleri aşağıdaki gibi belirtilmiştir;

- Hedeflenen LOD düzeyine ulaşmak için yeterli sürenin olmayışı,
- Çoğu alt yüklenici ve tedarikçi firmaların çizimlerini 2D oluşturması,
- 3D çalışan alt yüklenici ve tedarikçiler ile birlikte çalışabilirlik ve dosya paylaşım formatı ve standardında yaşanılan problemler.

İmalat çizimlerinin model ile bütünleştirilmediği durumlarda, yapılan uyuşmazlık testleri de gerçeği yansıtmamaktadır. Bu durumda gerçekte yaşanabilecek birtakım çakışmaların proje üzerinde önceden tespit edilmesi oldukça zor olmaktadır.

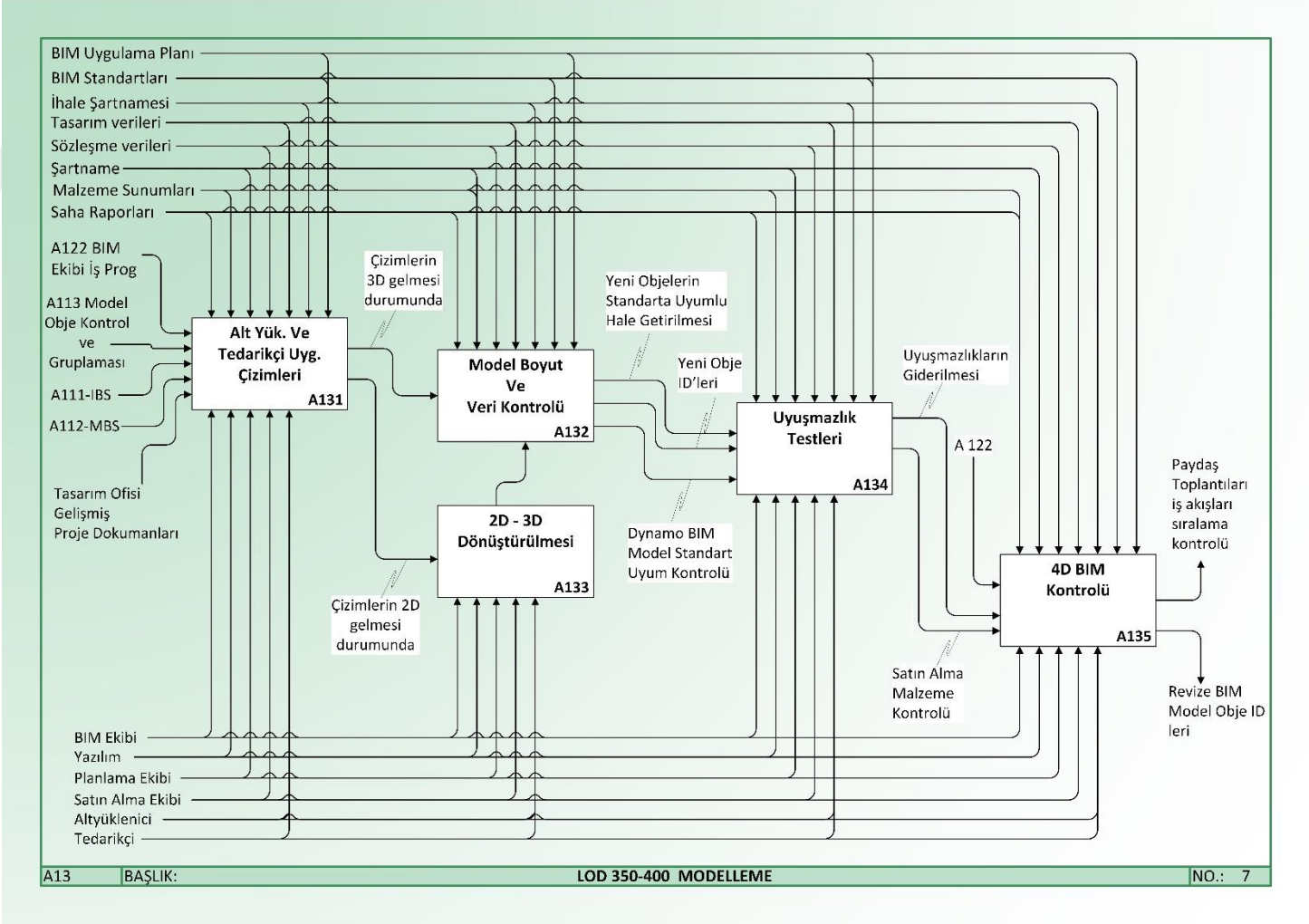
Belirtilen problemler de dikkate alınarak aşağıda Şekil 5.8'de öneri LOD 350-400 model oluşturulması A13 süreci gösterilmiştir. Öncelikle projenin başında BIM model oluşturulurken belirlenen standart ve kararların bu aşamada da devam ettirilmesi gerekmektedir. Model önerisi geliştirilirken alt yüklenici ve tedarikçilerden gelen çizimlerin 2D ve 3D olması durumuna göre iki farklı senaryo önerilmektedir. Birinci senaryo alt yüklenici ve tedarikçilerden uygulama çizimlerinin 3D gelmesi olup, gelen 3D çizim ana modele yerleştirilirken öncelikle model geometri ve veri kontrolü yapılmalıdır. Objenin çevresiyle ilişkisi, teknik şartnameye uyumu gözden geçirilmelidir. Projede iş programı ile bütünleşme süreci de göz önünde bulundurularak, yeni objeler belirlenen standartlara uyumlu hale getirilmelidir. 3D dosyalarına eksik proje parametreleri eklenmeli, bilgileri teknik şartnamelerle kontrol edilerek doldurulmalıdır. Eksik ve hatalı bilgi kontrolü için Dynamo gibi araçlar yardımıyla standart uyum kontrollerinin yapılması önerilmektedir. Yeni objelerin iş

programı ile bütünleştirilebilmesi için obje ID'leri standartlara uygun oluşturulmalıdır. Bu aşamada planlama ve satın alma ekipleriyle proje üzerinde görüşmeler yapılması önerilmektedir. Projeye yeni eklenen her kalem için bu işlemler tekrarlanıp, her seferinde mimari disiplin içerisinde ve disiplinlerarası uyuşmazlık testleri yapılmalıdır. Özellikle statik projelerde açılması gereken rezervasyon yerleri kontrol edilmeli, bilgiler saha ekipleriyle incelenerek modellerin uygulanabilirliği konusunda geri dönüş alınmalıdır.

Uyuşmazlık testi sonucu ortaya çıkan çakışmaların giderilmesinden sonra, 4D BIM çalışmalarının yapılması önerilmektedir. 4D BIM model üzerinde saha ekibinin katıldığı koordinasyon toplantılarında yeni uygulama kalemleri için imalat sıralaması ve gereken kaynakların kontrolü yapılmalıdır. Bu çalışmanın her hafta düzenli yapılması önerilmektedir. Böylece ekipler arasında bilgi paylaşımı ve koordinasyon problemleri büyük ölçüde giderilebilir. Proje üzerinde inşaat için imalat öncelik sıralaması çalışması yapılabilir.

Şekil 5.8'de gösterilen ikinci senaryo, alt yüklenici ve tedarikçilerden çizimlerin 2D gelmesi durumunu göstermektedir. Bu durumda BIM ekibinin, imalat çizimlerini imalat modellerine dönüştürmeleri ve mutlaka projeye entegre etmeleri önerilmektedir. Bu dönüştürme için doğrudan 2D - 3D dönüşümünü gerçekleştirebilen yazılımlar da kullanılabilir. Sonrasındaki adımlar birinci senaryo ile aynı devam etmektedir.

Bu aşamada gerçekleştirilen model ve iş programı bütünleşmesinin, mevcut uygulamalarda karşılaşılan ana iş programı ve ayrıntılı iş programı arasındaki kopukluğu giderebileceği düşünülmektedir. Çünkü iş programları model geliştikçe ayrıtılandırılıp, aktivite kaynak ve sıralamaları düzenlenerek eş zamanlı güncellenmektedir. Mevcut uygulamalarda olduğu gibi önerilen modelde, ana iş programı ve ayrıntılı iş programı gibi iki farklı iş programı oluşturulmamaktadır. Öte yandan, bu sayede mevcut uygulamalardaki gibi inşaat sırasında ekipler işe başladıktan sonra uygulama projelerinin tamamlanması problemi de büyük ölçüde çözülmektedir. Çünkü iş programı ekip koordinasyonu ve imalat sıralaması BIM ekibinin de dahil olduğu koordinasyon toplantılarında 4D BIM modeller üzerinde oluşturulmaktadır.




**Şekil 5.7 :** LOD 350-400 Modelleme.

### 5.4.5 Öneri: Aşama 2 – Faz planı oluşturulması

Karşılıklı görüşmelerde alınan bilgiye göre mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde faz planlama aşaması mevcut değildir. Faz planlamasıyla birlikte 4D BIM model üzerinde işi yapacak ekiplerin taahütleri alınarak, ekiplerin süreçten beklentileri imalata başlamaları için yapılması gereken hazırlıklar, gerekli kaynak ve ekipmanların teyidi yapılmaktadır (Tallgren ve diğ., 2020). Böylece, 4D modeller sürecin görselleştirmenin yanı sıra ekipler arasında iş birliği ve ileşimi güçlendirerek aktif bir şekilde kullanılmış olur.

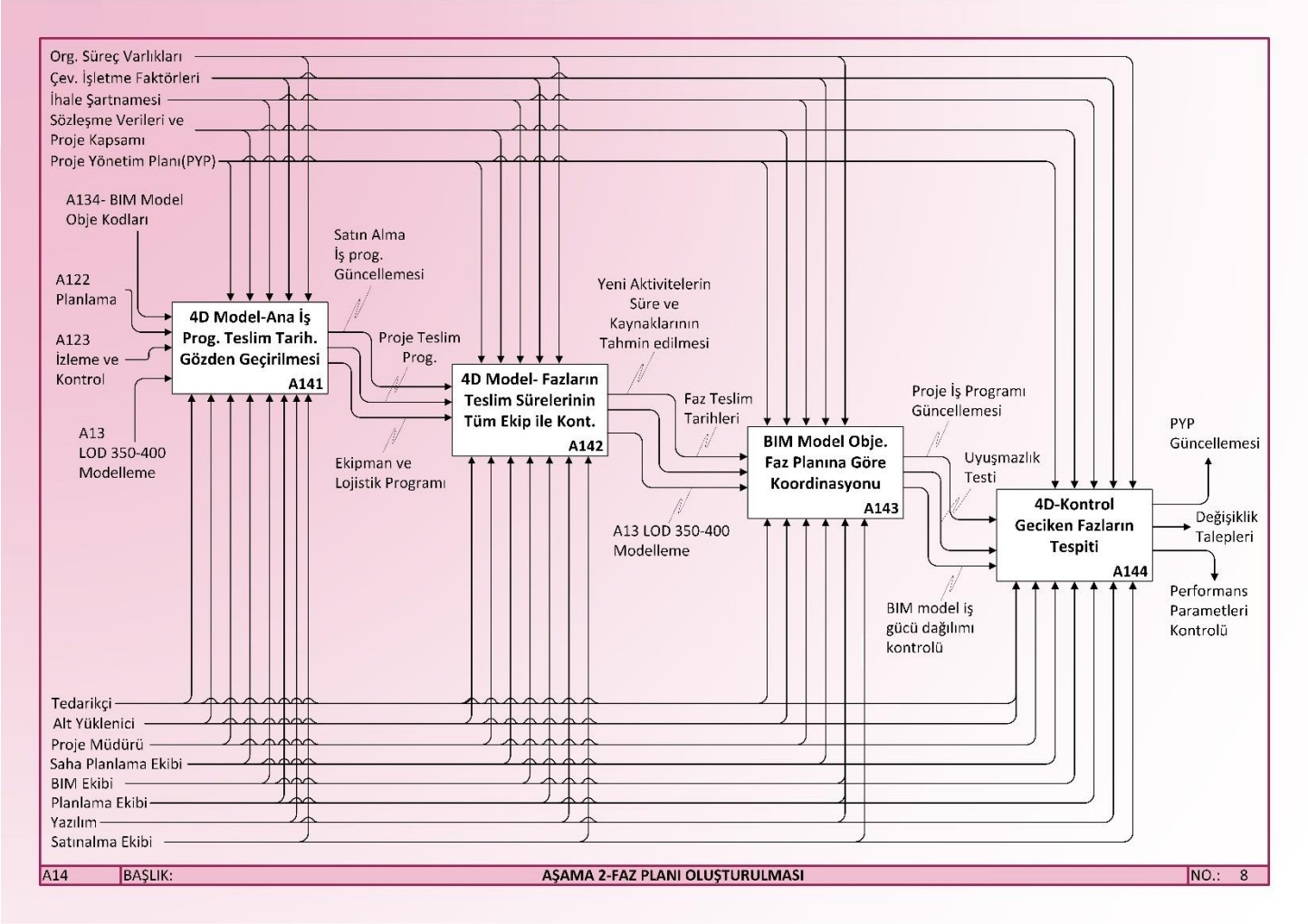
Şekil 5.8'de A14 süreci öneri faz planlaması iş akışları görülmektedir. Öncelikle tüm paydaşlar birlikteyken, iş programındaki faz teslim tarihlerinin sondan başa gidilerek kontrol edilmesi önerilmektedir. Böylece hedeflenen teslim tarihi ötelenmeden her bir fazın teslim tarihi ve kısıtlayıcı faktörleri belirlenebilir. Bu süreçle birlikte proje başında belirlenen satın alma, sözleşme takvimi, proje teslim tarihleri, ekipman ve lojistik programı netleştirilir. Faz planlama süreci boyunca, faz teslimlerinde unutulmuş, eksik veya hatalı olduğu tespit edilen aktiviteler kaldırılır, yeni aktiviteler eklenir. Her aktivite gereksinimi için BIM modelde ilgili güncellemeler yapılır ve uyuşmazlık testleriyle eklenen aktivitenin projede çevresine olan etkisi irdelenir. BIM modelde yapılması gereken güncellemeler için LOD 350-400 modelleme sürecindeki akışın takip edilmesi önerilmektedir.

Karşılıklı görüşmelerde alınan bilgiye göre, mevcut uygulamalarda proje müdürleri iş programında belirlenmiş aktiviteler başlamadan işi yapacak ekiplerle sahada görüşmeler yapmakta, bu görüşmelerden aldıkları bilgiye göre kısıtlayıcı faktörleri belirleyip, diğer ekiplere öncelik sıralamasını aktarmaktadır. İşi yapacak ekipler sürece geç dahil olup kısıtlı zamanda saha ihtiyaçları doğrultusunda hızlı çözüm üretmek durumunda kalmaktadır. Bu durumda ya proje kalitesinden ödün verildiği ya da yüksek maliyetlerle çözüm üretildiği belirtilmiştir.

Faz planlama sürecinin çıktısı olarak, proje yönetim planının (PYP) değişen önceliklere göre revize edilmesi bu kapsamda belirlenen proje performans parametrelerinin teyidinin yapılması önerilmektedir. Projenin başarısı bu performans parametrelerine göre değerlendirilecektir. Ayrıca, bu sürecin bir başka çıktısı olarak ana iş programı değişiklik taleplerinin yapılması önerilmektedir. Bu aşamada yapılan

revizyonlar sayesinde ana iş programı ve ayrıntılı iş programları arasındaki büyük farklılık önlenmiş olur.

Faz planlaması, inşaat sektörünün doğası gereği oluşan parçalanmış bilgi akışının toparlanması için model önerisinde kilit öneme sahiptir. Bu aşamadan sonra, faz planlamada planlanan aktivite sıralamasına göre saha ekipleri 4D BIM çalışmalarından 6-8 haftalık ileriye yönelik iş programı çıktıları alarak, imalat başlamadan kontrolleri yapmakta, sahayı imalata hazırlamaktadır.




**Şekil 5.8 :** Aşama-2 Faz Planı Oluşturulması.

## 5.5 Öneri Organizasyon Yapısı

Kavramsal model önerisinin firmalar için uygulanabilir bir strateji modeline dönüşebilmesi için organizasyonel yapıda yeni rol ve sorumluluklara göre düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Şekil 5.9'da organizasyonel yapıya ilişkin öneriler geliştirilirken mevcut durumda alan araştırmasında tespit edilen problemler göz önüne alınmıştır. Öneri organizasyon yapısının ayrıntıları EK B'de verilmiştir.

Alan araştırması bulgularına göre mevcut organizasyonel yapıda tespit edilen problemler şu şekildedir:

- Enformasyonun uygulamayla bütünleşmiş hali olarak nitelendirebileceğimiz "bilgi" dağılımı konusunda karışıklık yaşanmaktadır. Birtakım konularda hangi ekibin hangi bilgiyi ne zaman kime nasıl ileteceği konusu belirsiz kalmaktadır. Bu durumda farklı bir konuyu aynı ekipler tekrar tekrar çalışabilmektedir. Örneğin, mevcut uygulamalarda çoğunlukla rezervasyon yerleri statik ekip tarafından saha ile paylaşılmaktadır. Oysaki rezervasyon yerlerinin mimari ekibin koordinasyon onay sürecinden geçip kontrol edilip, uygulama için sahaya iletilmesi gerekmektedir. Bu durumda saha ekipleri ile paylaşılan projelerde hangilerinin doğru ve güncel olduğu konusunda problem yaşanmaktadır.
- BIM modelleri üreten mimari grup, projelerin ihalesi tamamlandıktan ve tasarım firmasından çizimler teslim alındıktan sonra devreye girmektedir. Bu durumda mimari ekip, diğer ekiplerden önce projeyi inceleme ve yorum yapma fırsatı bulamamaktadır. Diğer ekiplere proje hakkında problemli gördükleri alanları aktaramamaktadır. Mevcut uygulamalarda, projeleri ilk inceleme fırsatı bulan ekip teklifi hazırlayan planlama ekibi olmaktadır.
- Bazı durumlarda ekiplerin iş yoğunluğuna göre iş paketlerinin sorumluluğu değişebilmektedir. Yeni görev atama işleri konunun detayına hakim olmayan COO tarafından doğrudan yapılabilmektedir. Örneğin, cephede taşıyıcı sistem mimari grup tarafından statik ekip ile koordine edilerek cephe firmasına çalıştırılması gerekirken, mevcut uygulamada bazı durumlarda mimari grubun farklı bir iş paketi üzerinde çalışması nedeniyle, cephe taşıyıcı sistem projeleri statik ekipler ve cephe firması ile birlikte hazırlanmaktadır. Bu durumda cephe

detaylarına hakim olmayan statik ekip taşıyıcı sistemin tasarımında hatalar yapabilmektedir. Bu durum iş programında yanlış öngörülen proje adam saatleri şeklinde ortaya çıkmaktadır.

- Sahada oluşturulan BIM ekibi, sahadaki tasarım müdürüne bağlı çalışmaktadır. Bu durumda saha BIM ekibi ve merkez ofis BIM ekibi aynı proje üzerinde çalışmalarına karşın iş bölümü ve bilgi alışverişi konusunda problem yaşamaktadır.
- Elektrik, mekanik ve statik ekiplerinin birebir ilişkilerine göre projede çalışılan öncelik sıralaması değişebilmektedir. Bu durumda iş programında olmayan öncelik verilen işleri yetiştirebilmek için, gerekli kontroller ve uyuşmazlık konularının giderilmesinde gecikmeler yaşanmaktadır.
- Mevcut uygulamalarda, satın alma ekibi teknik şartname ve malzeme detayları konusunda daha etkin olduğu için, genellikle mimari grup ile alt yüklenici ve tedarikçiler arasında bilgi alış verişinde aracı durumunda kalmaktadır. Bu durumda BIM ekibi, alt yüklenici ve tedarikçi koordinasyonu konusunda problem yaşamaktadır.
- Satın alma ekipleri, belli durumlarda BIM ekibin işvereni gibi çalışmakta, BIM ekibi proje teslim programını kendi malzeme satın alma programlarına göre yönlendirmektedir. Bu durumda BIM ekibi süreci koordine etmek ve doğru detayları geliştirmek konusunda yeterli zaman bulamamaktadır. Sahada ilgili imalat başladığında saha ekipleri birçok öngörülmemiş ve proje üzerinde atlanmış konu ile mücadele etmek durumunda kalmaktadırlar.
- Sahada proje müdürleri, merkez ofis proje ekibi onayı olmadan uygulama detaylarına alternatif uygulama çizimleri hazırlatabilmektedir. Bu durumda projenin bütünlüğü ve koordinasyonunda problemler olmaktadır.

Tespit edilen problemlerin giderilmesine yönelik öneri organizasyon yapısı geliştirilmiştir. Öneri organizasyon yapısı Şekil 5.9'de görülmektedir. Yapılanma, aşağıda açıklanmakta olan stratejik, taktiksel ve operasyonel kararlarda etkin olması düşünülen ekipler bazında oluşturulmuştur.

Önerilen Stratejik Ekip Yapısı:

- Öneri Organizasyon yapısında, firmanın stratejik kararlarında doğrudan etkili COO, teknik ofis müdürlüğü, sözleşme yönetimi, inşaat işleri müdürlüğü, satın alma departmanları bu grubu oluşturmaktadır. Özellikle bu grup firmanın finansal kaynakları ile yakın ilişkidedir; firmanın risk yönetimi, kalite yönetimi, atık yönetimi, alt yüklenici ve tedarik yönetimi stratejilerini belirlerler. İş veren ile hak talepleri, değişik talepleri gibi konularda toplantılar yaparlar.

Önerilen Taktiksel Ekip Yapısı:

- Firmaların bilgi dağıtım kanallarını merkezileştirmek ve mevcut durumda yaşanılan karışıklıkları engellemek için BIM Proje ve Koordinasyon departmanı oluşturulup, firmanın taktiksel kararlarında etkin ekipler; mimari, elektrik, mekanik, statik (bazı firmalarda hem statik projeleri kontrol etmek hem de satınalmalarını yapmak için statik ekibin olması gerektiği tespit edilmiştir) proje ekibi ve saha BIM ekibi bu merkezin altında birleştirilmiştir. Bu departmanın yöneticisinin mimar kökenli olmasının, projelerin daha iyi koordine edilmesinin yanı sıra uygulama projesi kararlarında inşaa edilebilirlik konusunun dışında proje bütünlüğünün ve dil birliğinin korunmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Projelerin uygulama ve koordinasyon sürecinin gelişmesi ve tamamlanmasından BIM proje ve koordinasyon ekibi sorumlu olacaktır.

- Öneri yapılanmayla birlikte, BIM Proje ve Koordinasyon ekibi doğrudan COO'ya bağlı olup, projenin erken evreleri itibariyle sürece dahil olup, ana iş program oluşturulması aşamasında etkili olması önerilmektedir. Bu yapılanma ekipler arası koordinasyonu iyileşmesini destekleyecek ve sürecin şeffaflaşmasına katkı sağlayacaktır.

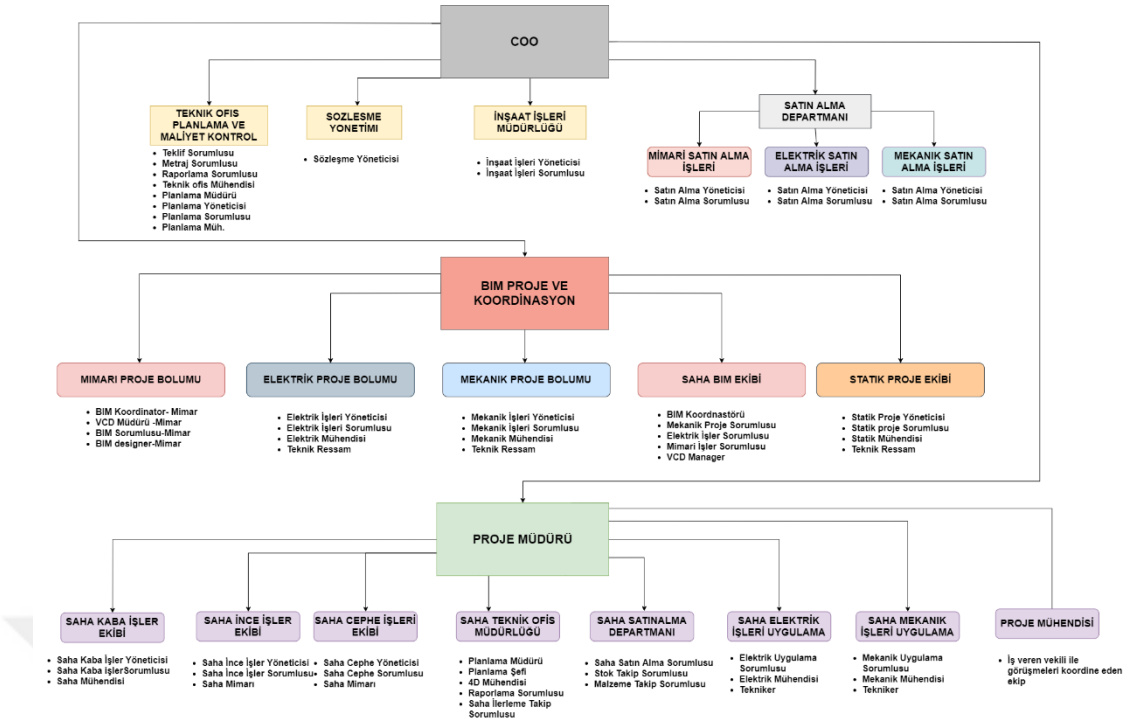
- Bu yapılanma firmada BIM süreci için takip edilmesi gereken standartlar, BIM kullanım klavuzu gibi dokumanların oluşmasına ve takip edilmesine; BIM konusunda alınması gerekli eğitimlerin organize edilmesine katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda BIM süreci için yapılan bu altyapı çalışmasının firmanın BIM adaptasyon sürecini hızlandıracağı, BIM

algısının BIM aracı yerine BIM süreci olarak değişmesine katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

- Bu merkez sayesinde ana iş programı oluşturulması aşamasında, proje ekipleriyle süreç boyunca teslim edilmesi öngörülen proje listesi ve adam saat gereksinimleri oluşturulmalıdır. Bu süreçte mutlaka BIM süreci için gerekli altyapı çalışmaları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sayede proje başında öngörülen LOD düzeyine uygun uygulama çizimleri için gerekli zaman iş programında öngörülmüş olur.
- Bu yapılanma aynı zamanda, iş dağılımı ve öncelik sıralaması konularının ekiplerin birebir ilişkilerine göre oluşmasını engelleyecektir. Değişiklik yapılması gerekli durumlarda, BIM koordinasyon merkezinin ekipler arası koordinasyonla görev atama sürecini yönetmesi gerekmektedir.
- Saha BIM ekibinin merkez ofis BIM koordinasyon merkezine bağlanması önerilmektedir. Böylelikle, saha koşullarına göre BIM modelde revizyon yapılması gerektiğinde saha BIM ekibi, BIM proje ve koordinasyon biriminin onayı ile çalışmalarını yürütebilir. BIM ekipleri arasında iletişim ve tekrar eden iş problemi önlenir.

Önerilen Operasyonel Ekip Yapısı:

- Operasyonel ekip, proje müdürünün yönetiminde, sahada uygulamalardan sorumlu; kaba işler, ince işler, cephe işleri, teknik ofis müdürlüğü, saha satın alma departmanı, saha elektrik projeleri ve mekanik projeleri uygulama ve işveren vekili ile birebir konuları görüşme yetkisine sahip proje mühendisinden oluşması önerilmektedir.
- Proje müdürleri, projenin erken evreleri itibariyle belirlenmeli ve iş programı oluşturulması sürecinde aktif görev almalıdır. Özellikle mevcut saha koşullarına ilişkin analiz ve gözlemleri sürece büyük katkı sağlayacaktır. Bu sayede mevcut iş programını inşaat başlamadan çok önce incelemiş ve yorumlarını iletmiş olurlar; böylece sahada alternatif iş programı hazırlanması süreci önlenir.




**Şekil 5.9 :** Öneri Organizasyon Yapısı.

## 5.6 Bölüm Sonu

Bu bölümde öncelikle bu doktora tezi kapsamında "Kavramsal Model Önerisi"ne kadar yapılan çalışmalar özetlenerek, önerilen modelin gerekliliği çok net bir şekilde ortaya konmuştur. Ardından model önerisinin amaçları stratejik, taktiksel ve operasyonel başlıklar halinde sunulmuştur. Söz konusu amaçlara ulaşmak için yapılması önerilen çalışmalar ve bu amaçla modelde tasarlanan yeni ve mevcutta olup korunan süreçler anlatılmıştır.

Model önerisi kapsamının neden genel yüklenici firmalar olarak belirlendiği ve neden projenin erken evrelerindeki planlama ve kontrol ve BIM bütünleşmesine odaklanıldığı açıklanmıştır. Bu amaçla projenin ilk evrelerindeki bütünleşme süreçlerinin sürecin geneli açısından önemi alan araştırması bulgularıyla desteklenerek anlatılmıştır. Model oluşturulurken kullanılan IDEF-0 yönteminin öneri süreçlerin genelden özele hiyerarşik bir yapıda yalın bir ifade biçimiyle gösterilmesine ve gerekli görülen uygulama ayrıntı düzeyine kadar inilmesine olanak sunması nedenleriyle seçildiği açıklanmıştır. IDEF-0 yönteminin, öneri süreçlerdeki gerekli girdilerin, öngörülmesi gereken kısıtlayıcıların, sistemi çalıştıran mekanizmaların ve sürecin sonunda hedeflenen çıktıların çok net bir şekilde tanımlanmasına olarak tanıyarak, Türk inşaat sektörü için yeni olan birçok kavramın ve sürecin teknik ve teknik olmayan

paydaşlar tarafından kolayca anlaşılır bir sekile kurgulanmasına katkı sağladığı anlatılmıştır. Son olarak kavramsal model önerisinin gerekliliği olarak firmalara önerilen yeni organizasyon yapısı rol ve sorumlulukları anlatılmıştır. Bu amaçla alan araştırmasında tespit edilen mevcut organizasyonel yapıda karşılaşılan sorunlar anlatılarak, önerilen çözümler stratejik, taktiksel ve operasyonel ekip yapılanmasıyla anlatılmıştır.

Böylece, inşaat sektöründe faliyet gösteren yüklenici bir firmanın projenin erken evreleri itibariyle planlama ve kontrol ve BIM bütünleşmesini nasıl gerçekleştireceklerini anlatan yol gösterici bir model önerisinin ortaya konması amaçlanmıştır.

# 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnşaat sektörü diğer sektörlerle karşılaştırıldığında verimliliğinin genel olarak düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun önemli bir nedeni, etkisiz yönetilen "iş akışları" olarak gösterilse de bir başka önemli nedeni düşük enformasyon ve bilgi teknolojileri adaptasyonudur.

Projelerde iş akışları kaynak, bilgi ve mekân akışından oluşmakta olup, değişkenlikleri projelerin öngörülen süre, bütçe ve kalitede teslim edilememesine sebebiyet vermektedir. Mevcut durumda projelerde başlangıçta planlanan iş akışlarının değişkenliği proje sonunda %35-%60 oranında olup, bu durumun doğrudan iş gücü ve maliyeti olumsuz etkilediği, projelerin geç teslim edilmesine neden olduğu raporlanmıştır. Literatürde inşaat sektöründe iş akışlarında değişkenliği azaltıp verimliliği arttırmanın en etkili yollarından birinin planlama ve kontrol iş akış süreçlerininin iyileştirilmesi olduğu belirtilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde etkin yönetilmeyen planlama ve kontrol iş akış süreçleri geciken proje teslimlerinde en önemli neden olarak gösterilmektedir. Öte yandan, planlama ve kontrol iş akış süreçleri çoğunlukla inşaat sektörünün temel katılımcılarından biri olan genel yüklenici firmalar tarafından oluşturulup yönetilmektedir. Bu nedenle bu sürecin başarısı büyük oranda genel yüklenici firmaların planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin etkinliğine bağlıdır.

Günümüzde planlama ve kontrol iş akış süreçleri oluşturulurken ve geliştirilirken yoğun olarak geleneksel yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Geleneksel yöntem ve teknikler özellikle karmaşık ve büyük projelerde, aktivite ilişkilerinin planlanması, görselleştirilmesi ve kontrolünde yetersiz kalmaktadır. Ayrıca iş akışları yönetimi yerine aktivite yönetimine odaklanması nedeniyle sıklıkla eleştirilmektedir. Bu yaklaşım nedeniyle birçok projenin başarısız olduğu raporlanmaktadır. Literatürde planlama süreci enformasyon teknolojileri ile bütünleştirildiğinde proje teslim sürelerinin %10-15 oranında ve iş programı değişkenliklerinin %20 oranında azalacağı belirtilmiştir. Bu sonuç göstermektedir ki proje performansının arttırılması için

planlama ve kontrol sürecinin enformasyon teknolojileri ile bütünleştirilmesi bir gerekliliktir.

Yüklenici firmaların etkili bir planlama ve kontrol iş akış süreci yönetimi yapabilmesi için, proje kapsamını doğru belirlemeleri ve geliştirmeleri, projenin girdilerini, çıktılarını tanımlamaları, proje programını yürütmek ve kontrol etmek için metodolojiler geliştirmeleri gerekmektedir. Tüm bu çalışmalar için projenin erken evreleri itibariyle doğru ve ulaşılabilir proje enformasyonuna ihtiyaçları vardır. Ancak mevcut durumda yüklenici firmalar genellikle metraj çıkarmaya uygun olmayan ve iş programı oluşturulurken faydalanamadıkları tutarlı ve kaliteli bir BIM modelin eksikliği ile mücadele etmektedirler. Bunun sonucu olarak, iş programları çoğunlukla planlama ekiplerinin eksik veya hatalı 2D proje enformasyonu algılama becerisine bağlı olarak geliştirilmekedir. Bu durumda proje enformasyonun doğruluğu kadar planlama ekibinin öngörü ve deneyimi de sürecin başarısında önemli bir kısıtlayıcı olmaktadır. Planlama süreçlerinin iyileştirilmesi için enformasyon teknolojilerinin bütünleştirilmesiyle hem proje enformasyonunun niteliğinin artması hem de koordinasyonla geliştirilmeleri gerekmektedir. Bu çerçevede, BIM tabanlı planlama ve kontrol iş akış süreçleri (4D BIM) problemlerin çözümü için büyük potansiyel içermektedir.

BIM'in planlama ve kontrol iş akış süreçlerine olan etkilerinin incelendiği literatür taraması ve boşluk analizi sırasında, 4D BIM uygulamalarının geleneksel planlama prosedürü ile yürütülen süreçlere göre %40 daha verimli olduğu ancak uygulamada istenilen düzeyde kullanılmadığı tespit edilmiştir. Mevcut 4D çalışmaları çoğunlukla tasarım geliştirilmesi aşamasında koordinasyon projelerinin görselleştirilmesi ve uyuşmazlık testleri için kullanılmaktadır. 4D BIM, projenin erken aşamaları itibariyle iş akışlarının görselleştirmesini sağlayarak, planlama, programlama olasılıklarını ve tasarımın optimize edilmesini sağlarken, planlanan işlerin paydaşlar arasında hızlı ve kolayca anlaşılmasını sağlar, ekipler arası iletişim ve koordinasyonu güçlendirmektedir. Bu nedenle 4D BIM proje yaşam döngüsü boyunca kullanılabilir en iyi planlama tekniği olarak görülmektedir. Ancak planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla proje başlangıcı itibariyle geliştirilen ve proje yaşam dönemi boyunca kullanılabilir bir 4D çalışması mevcut değildir. Bu durumun nedenleri sistemli incelendiğinde, proje başlangıcındaki BIM çalışmalarının planlama ve kontrol iş akış süreci gereklilikleri göz önüne alınarak oluşturulmaması, mevcut

organizasyonel yapının 4D BIM ekipler arası koordinasyon sürecini deteklememesi, buna bağlı olarak organizasyonel yapıda BIM ekibinin enformasyon üretim ve paylaşım yeri olarak konumlanmaması, BIM ve iş programı bütünleşme çalışmasının tam olarak nasıl yapılacağının bilinmemesi, planlama ve kontrol iş akış sürecinin sadece planlama ekibi bilgi ve yeteneklerine dayalı olarak geliştirilmesi, 4D BIM'in sürece getireceği faydalar konusunda üst yönetimin net bilgi sahibi olmaması, 4D BIM'in süreçlerde kökten değişim gerektireceği algısı, kısa sürede fayda elde etme isteği, yeni teknoloji için gerekli yatırım maliyetleri, personelin eğitilmesi gerekliliği gibi nedenler olduğu görülmektedir. 4D BIM süreç bazlı teknolojik bir yenilik olmasına karşın, aynı zamanda mevcut planlama teknikleriyle bütünleştirilebilir modüler bir yeniliktir. Bu nedenle mevcut algının aksine kökten değişim gerektirmeden mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçleri ile bütünleştirilebilir.

Bu doktora tezinde, literatürde tespit edilen planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde karşılaşılan problemleri doğrulamak ve sektördeki 4D BIM adaptasyon düzeyini tespit edebilmek için Türk inşaat sektöründe yurt içi ve yurt dışında faaliyet gösteren büyük ölçekli yüklenici firmaların planlama ve BIM departmanlarıyla karşılıklı görüşmeler yapılarak, alan araştırması yapılmıştır. Bu firmaları belirlemek için ENR'ın ilk 100'e girmiş yüklenici firmalar listesi kullanılmış ve bu firmalarda çalışan 16 BIM ve planlama yöneticisi ile karşılıklı görüşmeler yapılmıştır. Kapsamın özellikle büyük ölçekli yüklenici firmalar olarak belirlenmesinin nedeni, Türk inşaat sektörü ekonomisinde önemli bir yer oluşturmalarının dışında kurumsal bir yapılanmalarının, oturmuş planlama kültürlerinin olması ve küresel rekabet avantajı nedeniyle enformasyon teknolojileri adaptasyonu konusunda orta ölçekli yüklenici firmalara görece daha ilgili ve istekli olduklarının düşünülmesidir.

Karşılıklı görüşmeler sonucu; örneklem bazında yüklenici firmaların planlama ve kontrol iş akış süreçlerine yaklaşımları, mevcut durumları, süreçte karşılaşılan eksiklik, sorunlar, BIM ve planlama yöntemlerinin bütünleştirilmesi konusundaki yaklaşımları tespit edilmiştir. Bu çalışma aynı zamanda Türk inşaat sektöründe bu kapsamda yapılan ilk çalışma olup, 4D BIM uygulamasının Türk inşaat sektörüne ne kadar nufuz ettiğini göstermesi bakımından önemlidir. Bu çalışma sonucunda örneklem bazında elde edilen bulgular şu şekildedir: Türk inşaat sektöründe planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde yoğun olarak geleneksel yöntemlerden beslenmektedir, iş programları koordinasyonla oluşturulmamaktadır, ana iş programlarının ayrıntı

düzeyi arttıkça sıklıkla güncellenmekte ve değişkenliklere çok açıktır. Ayrıca görüşülen firmaların BIM adaptasyon düzeyleri düşük olup, BIM sürecinin BIM araçları olarak algılandığı, BIM model ve iş programlarının birlikte bütünleştirilebilir bir altyapıda oluşturulmadığı, 4D BIM çalışmalarının ise çok kısıtlı olduğu tespit edilmiştir. Buradan elde edilen bulgularla tüm sektör için genelleme yapılması amacı olmamasına karşın, verilerin lider konumdaki genel yüklenici firmalardan alınması ve örneklem bazında tutarlı olmaları bazı sonuçlarda genelleme yapılmasına olanak sunmuştur. Alan araştırması bulguları Türk inşaat sektöründe planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilmesi gerekliliğini örneklem bazında doğrulayarak bu doktora tezinin mevcut durum verilerinin dayanağını oluşturması açısından önemlidir. Bu sayede model kapsamında önerilen süreçlerden gelişmiş ve gelişmekte olan diğer ülkelerde de benzer cirolara ve organizasyon yapısına sahip yüklenici firmaların faydalanabileceği düşünülmüştür.

Bu doktora tezinde planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin BIM ile bütünleştirilerek iyileştirilmeleri çalışmanın odak noktasına alınmıştır. Söz konusu amaca ulaşmak için, alan araştırması bulguları kullanılarak en temel sorun olan bütünleşme çalışmasının nasıl ve ne şekilde yapılabileceği; gerekli girdiler, süreci çalıştıran mekanizmalar, sürecin kısıtlayıcıları ve çıktıları tanımlanarak gösterilmiştir. Bu amaçla öneri iş akış süreçleri kavramsal bir model önerisi kurgulanarak aktarılmıştır. Böyle bir gereksinimle oluşturulmuş bir model Türk inşaat sektöründe ve de dünyada mevcut değildir. Bu anlamda literatürde önemli bir boşluğu dolduracağı düşülmüştür.

Model geliştirilirken, bir takım zorluklarla karşılaşılmıştır. Öncelikle modelde önerilecek birtakım kavramların ve süreçlerin Türk inşaat sektörü için yeni olması, modelin yalın bir dille üst ölçekten ayrıntılı uygulama düzeyine kadar açıklanması gerekliliğini doğurmuştur. Bu zorluk IDEF-0 yöntemi kullanılarak aşılmıştır. Çünkü IDEF-0 yöntemi karmaşık süreçlerin hiyerarşik bir yapıda genelden özele gösterilmesine ve süreçlerin girdileri, kısıtlayıcıları, mekanizma ve çıktılarının da sistemli birşekilde tanımlanmasına olanak sunmaktadır. Diğer bir zorluk da modelde önerilen iş akış süreçlerinin uygulanabilir nitelikte olması, sektörde hızlı ve kolay kabul görecek şekilde tasarlanması olmuştur. Bunun için mevcut uygulamalarda iyi uygulama olarak kabul görmüş süreçler model önerisinde korunmuş, mevcut süreçlerin de BIM ile hangi aşamalarda nasıl bütünleştirilebileceği gösterilmiştir. Öneri süreçler belirlenirken de, yurtdışında pilot uygulamara katkılarıyla ön plana

çıkan uygulamalar olmalarına dikkat edilmiştir. Modelin kurgulanma biçimininin teknik ve teknik olmayan paydaşlar tarafından kolayca anlaşılmasına uygun olduğu düşünülmektedir.

Model kapsamında özellikle proje başlangıç aşaması itibariyle oluşturulan "ana iş programı" ve "faz planı"( iş birlikçi iş programı) evrelerindeki planlama ve kontrol iş akış süreçleri BIM bütünleşmesine odaklanılmıştır. Kapsamın bu şekilde ele alınmasının en önemli nedeni, BIM tabanlı yaklaşımlarla iş programı üretilme süreci irdelendiğinde en zor aşamanın inşaat sürecinin ilk aşamalarındaki eksik bilgilerle bütünleşme çalışması yapılması olduğunun tespit edilmesidir. Ayrıca projenin erken evrelerinde bütünleşme için gerekli altyapı oluşturulmadığında sonraki aşamalarda planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin BIM tabanlı bir sisteme dönüştürülmesi oldukça karmaşık ve maliyetlidir. Model kapsamında olmayan 6-8 haftalık ileriye dönük iş programları (lookahead schedule) ve haftalık iş programları genellikle proje müdürlerinin kontrolünde sahada çalışan ekiplerle oluşturulmaktadır. Bu nedenle bu aşamalardaki sorunlu alanlar sahadan elde edilen verilerle tespit edilmeli ve bütünleşme çalışması işleyişte belirlenen problemlere çözüm sunabilir ve uygulanabilir nitelikte geliştirilmelidir. İleride böyle bir gereksinimi karşılamaya yönelik model geliştirildiğinde bu doktora tezi kapsamında önerilen modele bütünleşik bir şekilde geliştirilebilir. Mevcut model bu eklemlenmeye uygun tasarlanmıştır.

Model geliştirilirken; planlama ve kontrol iş akış süreçleri ve BIM model gelişim süreci birlikte kurgulanmış, iş programı detay düzeyinin gerektirdiği LOD düzeyleri ve sürecin işlemesini sağlayan diğer gereksinimler tanımlanmıştır. İş programı ve LOD ilişkisi literatürde kısıtlı çalışılan bir konu olup, bu alanda da detaylı bilgi sunulmuştur. Yine modelin işlevsel olabilmesi için planlama ve kontrol iş akış sürecini doğrudan etkileyen enformasyon yönetimi, dokuman yönetimi, paydaş yönetimi, organizasyon yapısı konuları tekrardan değerlendirilmiştir. Ayrıca literatür ve uygulamada proje bütününde oldukça kısıtlı çalışılan otomatik 4D iş programı oluşturma sürecinin gereklilikleri ve süreçleri de tanımlanmıştır. Bu model sayesinde yüklenici firmaların tüm projelerinde söz konusu bütünleşme çalışmasını yapabilecekleri bir strateji modeli oluşturulmak istenmiştir. Öneri modelin zaman içerisinde verimli olması ve gelişimi için enformasyon teknolojileri ve iş yapış metodundaki değişime göre geri besleme ve güncellemeler ile yenilenmesi gerekmektedir. Böylece, inşaat sektöründe faaliyet gösteren yüklenici bir firmanın,

planlama ve kontrol iş akış süreçlerini başarıyla yönetebilmesi için yol gösterici sürdürülebilir bir model önerisinin ortaya konması amaçlanmıştır.

Bu doktora tezi kapsamında kavramsal model önerisinin sınanması gerçekleştirilmemiştir. Öncelikle modelin pilot bir uygulama ile proje başlangıcı itibariyle üst yönetim ve projeye dahil tüm paydaşların desteği alınıp, gereken teknik altyapı oluşturulduktan sonra sınanması gerekmektedir. Bu uygulama sırasında ekipler yeni rol ve sorumlukları, sürecin gerektirdiği eğitimleri almak konusunda istekli olmalıdır. Modelin adaptasyon sürecinde gerekli durumlarda öneri süreç iş akışları projeye özel gereksinimler ile güncellenmeli ve her sürecin çıktısı proje performansına katkısına yönelik incelenmeli, mevcut uygulamalar ile karşılaştırılmalıdır. Model önerisi, proje başlangıç aşaması itibariyle ekipler arası yoğun koordinasyon sürecini gerektirmektedir. Günümüz pandemi koşulları projelere ara verilmesine, ekiplerin üretkenliklerinin düşmesine, malzeme ve ekipmanların satın alınması ve sahaya iletilmesinde gecikmelere neden olmuştur. Böyle bir fiziksel ortamda model önerisinin pilot bir uygulama ile gerçekliğinin sınanması ve çıktılarının mevcut uygulamalar ile karşılaştırılması sağlıklı değildir. Bu nedenle bir sonraki aşamada, koşullar düzeldiğinde modelin bir araç ile bütünleştirilerek gerçek bir projede geçerliliğinin sınanması ve mevcut planlama ve kontrol iş akış süreçlerine katkılarının sunulması gerekmektedir.

Bu doktora tezinde önerilen model genel yüklenici firmalara özel hazırlanmıştır. Tasarım firmaları, proje yönetim ve danışmanlık firmaları benzer bir bütünleşme çalışması gereksiniminde modelde kullanılan yaklaşımdan faydalanabilse de, süreçleri tüm gerekliliklerıyle yeniden tasarlamaları gerekecektir.

Model önerisinde yer alan her bir sürecin planlama ve kontrol iş akış süreçlerinin iyileştirilmesi için son derece önemli olduğu göz önüne alındığında; bu süreçlerin her biri hatta alt süreçleri takip eden araştırmalarda bağımsız birer çalışma konusu olarak değerlendirilebilir. Süreçlerle ilgili farklı ölçeklerdeki projelerde yapılacak adaptasyon çalışmaları ve farklı zamanlarda firmalardan temin edilecek verilerle bu çalışma kapsamında yapılan önerileri geliştirmek mümkün olacaktır.

Kavramsal model önerisinin, Türk inşaat sektöründe enformasyon teknolojileri adaptasyonu sürecine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Yüklenici firmalar planlama ve kontrol iş akış süreçlerinde BIM adaptasyonu ve BIM kullanım ve algı sürecinin iyileşmesi, küresel anlamda rekabet güçlerini arttıracaktır. Ancak yalnızca yüklenici

firmaların bu adaptasyon konusunda istekli olması tüm sektördeki enformasyon teknolojileri adaptasyon düzeyinin artması için yeterli değildir. Bu konuda mutlaka devlet destekli projeler olması gerekmektedir. Dünya'da diğer ülkelerde inşaat süreçleri ve enformasyon teknolojileri bütünleşme süreci için geliştirilen standartlar ve yasaların, adaptasyon sürecini hızlandırdığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle Türk inşaat sektörü için de benzer yasal düzenlemeler ile BIM tabanlı planlama ve kontrol iş akış süreçleri desteklenmelidir.

## KAYNAKLAR


**AACE International.** (2010). AACE International recommended practice No. 37R-06 Schedule levels of detail, As applied in engineering, procurement and construction. Retrieved from http://www.aacei.org/resources/rp/.

**Ahmed, Sherif & Emam, Hassan & Farrell, Peter.** (2014). Barriers to BIM/4D Implementation in Qatar10.13140. /RG.2.1.4990.4164.

**Ahuja, V., & Thiruvengadam, V.** (2004). Project scheduling and monitoring: current research status. *Construction Innovation: Information, Process, Management, 4*, 19-31.

**American Institute of Architects.** (2013). AIA Document E203, Washington, D.C.

**Anderson, S., Shane, J. S. ve Schexnayder, C.** (2010). Strategies for planned project acceleration. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(5), 372-381.

**Aladag, H., Demirdogen, G. ve Isık, Z.** (2016). Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry, *World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium* 2016.

**Allen, C. ve Smallwood, J.** (2008). Improving construction planning through 4D planning, *Journal of Engineering, Design and Technology*, *Vol. 6,* No. 1, pp. 7-20. doi: 10.1108/17260530810863307.

**Al Nasseri, H., Widen, K., Aulin, R.** (2016). A taxonomy of planning and scheduling methods to support their more efficient use in construction project management, *Journal of Engineering, Design and Technology*, *14*, No. 3, pg. 580–601. doi:10.1108/JEDT-11-2013-0078.

**AlSehaimi, A., Koskela, L. ve Tzortzopoulos, P.** (2013). The need for alternative research approaches in construction management: the case of delay studies, *Journal of Management in Engineering*, *Vol. 29* No. 4, pp. 407-413.

**AlSehaimi, A. O., Tzortzopoulos Fazenda, P. ve Koskela, L. J.** (2014). Improving construction management practice with the Last Planner System: A case study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *21* (1), 51-64.

**Alves, T., Alves, C., Tommelein, I., Ballard, G.** (2005). *Value Stream Mapping for Make-to-Order Products in a Job Shop Environment*. 10.1061/40754(183)2.

**An, B. ve Zhou, X.** (2014) BIM application in Tianjin 117 project: a general contractor's perspective, *Journal of Construction Quality*. *12*.

**Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., O'reilly, K.** (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice, *Automation in Construction*, *20* (2):189-195.

**Aredah, A., Baraka, M. ve Elkhafif, M.** (2019). Project Scheduling Techniques Within a Building Information Modeling (BIM) Environment: A Survey Study, *IEEE Engineering Management Review, Vol. 47*, No. 2. doi:10.1109/EMR.2019.2916365.

**Arditi, D., Akan G. T. ve Gurdamar, S.** (1985**).** Reasons for delays in public projects in Turkey, *Construction Management and Economics*, *Vol. 3*, No. 2, 171-181. doi:10.1080/01446198500000013.

**Azhar, S., Khalfan, M. ve Maqsood, T.** (2012). Building information modelling (BIM): now and beyond. *Constr Econ Build, 12* (4):15–28.

**Aziz, R. ve Hafez M.** (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Eng J, 52* (4):679–695.

**Bankar, R. S., ve Lihitkar, S. R.** (2019). Science Mapping and Visualization Tools Used for Bibliometric and Scientometric Studies: A Comparative Study Science Mapping and Visualization Tools Used for Bibliometric and Scientometric Studies View project. *Journal of Advancements in Library Sciences*, *6* (1), 382s-394s. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/331533266.

**Bakkalbasi, N., Bauer, K., Glover, J., & Wang, L.** (2006). Three options for citation tracking: Google Scholar, Scopus and Web of Science. *Biomedical Digital Libraries, 3* (1), 7. https://doi.org/10.1186/1742-5581-3-7.

**Baldwin, A., ve Bordoli, D.** (2014). Handbook for Construction Planning and Scheduling.

**Ballard, H.** (2000). *The Last Planner System of production control. (Doktora Tezi).* School of Civil Engineering, University of Birmingham, Birmingham.

**Ballard, G. ve Howell, G.** (1994). Implementing lean construction: stabilizing the work flow, *Proceedings of the 2nd IGLC Conference*, Santiago.

**Ballard, G. ve Howell, G.** (1998). Shielding Production: Essential Step in Production Control, *J. Construction Engrg. and Mgmt., ASCE*, Reston, VA, *124* (1) 11-17.

**Ballard, G. ve Howell, G**. (2003). An Update on Last Planner, *Conference of the International Group for Lean Construction*, Blacksburg, Virginia, USA, edited by Julio Martinez 11, 13 pp.

**Ballard, G. ve Tommelein, I.** (1999). *Glossary of Terms*, www.leanconstruction.org, 7pp.

**Ballard, G. ve Tommelein, I.** (2016). Current process benchmark for the Last Planner System, *Lean Construction Journal*, pp. 57-89.

**Ballard, G., Tommelein, I. D., Koskela, L., ve Howell, G.** (2003). *Lean Construction Tools and Techniques (Chapter 15) of Design and Construction: Building in Value*, Butterworth Heinemann, pp. 227-255.

**Ballard, G., Kim, Y.W., Jang, J.W. ve Liu, M.** (2007). *Roadmap for lean implementation at the project level.* The Construction Industry Institute.

**Ballard, G., Hammond, J. ve Nickerson, R.** (2009). Production control principles, *Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Taipei.

**Berg, B.L.** (2004). *Qualitative Research Methods for the Social Sciences*. Pearson Education.

**Bertelsen, S. ve Koskela, L.** (2002). *Managing the three aspects of production in construction. IGLC-10*, Brazil.

**Bertelsen, S., Henrich, G., Koskela, L.J. and Rooke, J.A.** (2007). Construction physics, *Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, MI State University, East Lansing, July, pp. 13-26.

**Berthaut, F., Pellerin, R., Perrier, N. ve Hajji, A.** (2014). Time-cost Trade-offs in Resource-constraint Project Scheduling Problems with Overlapping Modes, *International Journal of Project Organisation and Management, 6* (3): 215–236.

**Butkovic, B., Heesom, D., Oloke, D.** (2019). The Need for Multi-LOD 4D Simulations in Construction Projects, *Journal of Information Technology in Construction, Vol. 24*, pg. 256**.**

**Büchmann-Slorup, R. ve Andersson, N.** (2010). BIM Based Scheduling of Construction: A Comparative Analysis of Prevailing and BIM- Based Scheduling Processes, *In Applications of IT in the AEC Industry: Proceeding of the 27th International Conference - CIB W78 2010 (pp. 113).* Virginia Tech.

**Brady, D. A.** (2014). *Using Visual Management to Improve Transparency in Planning and Control in Construction, (Doktora Tezi)*, School of the Built Environment, University of Salford, Salford, UK.

**Caldas, C. H. ve Soibelman, L.** (2003) Automating Hierarchical Document Classification for Construction Management Information Systems. *Automation in Construction*, *12* (4), 395-406.

**Candelario-Garrido, A. ve García-Sanz-Calcedo, J.** (2017). A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems versus Conventional Systems in building projects, *Sustainable Cities and Society*, *35*, pg. 378–384. doi:10.1016/j.scs.2017.08.024.

**Cegarra, J. ve Wezel, W.** (2011). *A comparison of task analysis methods for planning and scheduling*, Behavioral Operations in Planning and Scheduling, Springer-Verlag, Berlin, pp. 323-338.

**Chan, G., Li, H., Skitmore, M., ve Huang, T.** (2015). A 4D automatic simulation tool for construction resource planning: A case study, *Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 22*, No. 5, pg. 536.

**Cha, H. ve Lee, D.** (2018). Framework Based on Building Information Modelling for Information management by Linking Construction documents to Design Objects, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 17:2*, 329-336, doi: 10.3130/jaabe.17.329.

**Chanas, S. veZielin´ski, P.** (2001). Critical path analysis in the network with fuzzy activity times, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 122 No. 2, pp. 195-204.

**Chau, K. W., Anson, M., ve Zhang, J. P.** (2004). Four-dimensional visualization of construction scheduling and site utilization, *J. Constr. Eng. Manage*., *130* (4), 598–606.

**Chelson, D.E.** (2010). *The effects of building information modelling on construction site productivity*. (Doktora Tezi). University of Maryland, College Park.

**Cherneff J., Logcher R. ve Sriram D.** (1991). Integrating CAD with construction schedule generation, *Journal of Computing in Civil Engineering*, *Vol. 5*, No. 1, 64-84.

**Churchill, G.A.** (2001). *Basic Marketing Research*. South-Western Pub.

**Collier, E., ve Fischer, M.** (1995). *Four-dimensional modeling in design and construction. CIFE Tech. Rep. #101,* Ctr. for Integrated Fac. Engrg., Stanford University, Stanford, Calif.

**Crotty, R.** (2012). *The impact of building information modelling transforming construction*, 1st ed. Taylor and Francis, UK.

**Cwik, K. ve Rosłon, J.** (2017). *Last planner system in construction*. MATEC Web of Conferences. 117. 00032. 10.1051/matecconf/201711700032.

**Dachyar, M. ve Saputra, U.D.** (2009). Comparison between critical chain and critical path method in telecommunication tower construction project management, *Proceedings of the 11th International Conference in Quality in Research*, Depok, pp. 117-123.

**Daniel, E.I.** (2017). *Exploratory into the use of Last Planner System and Collaborative Planning for Construction Process Improvement, (Doktora Tezi),* Nottingham Trent University, UK.

**Daniel, E. I, Pasquire, C ve Dickens, G.** (2015). Assessing the Practice and Impact of Production Planning and Management in UK Construction Based on the Last Planner® System. *In the proc. of 2nd CADBE Doctoral Conference,* Nottingham, UK June 8th & 9th.

**Daniel, E.I., Pasquire, C., Dickens, G. ve Ballard, G.** (2016). The Relationship between the Last Planner® System and Collaborative Planning Practice in UK Construction. *Engineering Construction and Architectural Management Journal, Vol. 24,* 10.1108/ECAM-07-2015-0109.

**Dave, B., Koskela, L., Kagioglou, M. ve Bertelsen, S.** (2008). A critical look at integrating people, process and information technology within the construction industry. Proc., *16th Annual Conf. of the Int. Group for Lean Construction IGLC16,* University of Salford, Manchester, 795–808.

**Dave, B., Boddy, S., ve Koskela, L.** (2013). Challenges and opportunities in implementing lean and BIM on an infrastructure project, in Formoso, *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction,* Fortaleza, Brezilya, pp.31–32. Erişim: 24 Ocak 2021, https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment58377480-00ef-401b-b904-38a4346dfd88.pdf .

**Derbe, G., Li, Y., Wu, D., ve Zhao, Q.** (2020). Scientometric Review of Construction Schedule Studies: Trends, Gaps and Potential Research Areas, *Journal of Civil Engineering and Management*, *Vol. 26*, 343-363. Doi: 10.3846/jcem.2020.12317.

**de Araújo, L. E. D. ve Guerrini, F. M.** (2011). A Research Framework for Operations Management in Large Scale Construction Projects. *POMS 23rd Annual Conference*, Chicago**.**

**Dikmen, I. ve Birgonul, M.T.** (2003). Strategic perspective of Turkish construction companies, *Journal of Management in Engineering*, *Vol. 19* No. 1, pp. 33-40.

**Duncan, W.** (1996). *A guide to the project management body of knowledge*, Project Management Institute, Sylva, NC.

**Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., ve McNiff, M.** (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis, *Automation in Construction*, 145-151. Doi: 10.1016/j.autcon.2013.09.001.

**Easterby-Smith, M., Thorpe, R., Jackson, P.R.** (2008). *Management Research*, Third ed. SAGE Publications London.

**Eastman, C., Jeong, Y., Sacks, R. ve Kaner, I.** (2010). Exchange model and exchange object concepts for implementation of national BIM standards. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *24* (1), pp.25-34.

**Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K.** (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2011 (ISBN: 978-0-470-54137-1). Engineers, and Contractors. 2nd ed., Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Inc., 2011.

**Engineering News Record (ENR).** (2019). *The Top 250 International Contractors.* ENR, New York.

**El-Sabek, L.M. ve McCabe, B.Y.** (2017). Coordination challenges of production planning in the construction of international mega-projects in the Middle East, *International Journal of Construction Education and Research*, pp. 1-23.

**Evinger, J. Mouflard, C. and Seppa¨nen, O.** (2013). Productivity effects of starting as early as possible in hospital construction, in Formoso, C. and Tzortzopoulos, P. (eds) *Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Fortaleza, Brazil, 31 July–2 August, pp. 689–98.

**Egan, J.** (1998). *Rethinking construction*, DETR, London.

**Egan, J.** (2002). *Accelerating change: a report by the strategic forum for construction, Rethinking Construction*, SF f. Construction, London.

**Faghihi, V., Nejat, A., Reinschmidt, K. F.ve Kang, J. H.** (2015). Automation in construction scheduling: a review of the literature, *Int J Adv Manuf Technol, Vol. 81*, pg. 1845–1856. Doi: 10.1007/s00170-015-7339-0.

**Fernandez-Solis, J. L., Porwal, V., Lavy, S., Shafaat, A., Rybkowski, Z. K., Son, K., & Lagoo, N.** (2012). Survey of motivations, benefits, and implementation References challenges of last planner system users. *Journal of Construction Engineering and Management*, *139* (4), 354-360.

**Fireman, M. C. T., Formoso, C. T., ve Isatto, E. L.** (2013). Integrating production and quality control: monitoring making-do and unfinished work, *In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 21, 2013, IGLC*, Fortaleza, 515–524.

**Firat, C.E., Kiiras, J., Kähkönen, K., and Huovinen, P.** (2007). Model based scheduling in building projects; Is it oxymoron, *24th CIB W78 Conference*, Maribor, Slovenia, June.

**Fischer, M. ve Aalami, F.** (1996). Scheduling with computer-interpretable construction method models, *Journal of Construction Engineering and Management*, *122* (4) (1996) 337–347.

**Formoso, C. T., Santos, A. D. ve Powell, J.** (2002). An Exploratory Study on the Applicability of Process Transparency in Construction Sites, *J. Of Constr. Research*, *3* (1) 35-54.

**Forbes, L. H. ve Ahmed, S. M.** (2010). *Modern construction: lean project delivery and integrated practices*. CRC Press.

**Garcia-Lopez, N. P. ve Fischer, M.** (2017). *A critical assessment of the support offered by current construction models for managing workflow in the field*, Center for Integrated for Facility Engineering.

**Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O., Raahemifar, K.** (2017). Building Information Modelling (BIM) Uptake: Clear Benefits, Understanding Its Implementation, Risks and Challenges, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *Vol. 75*, pg. 1046-053. Doi: 10.1016/j.rser.2016.11.083.

**Gledson, B. ve Greenwood, D.** (2016). The Adoption of 4D BIM in the UK Construction Industry: An Innovation Diffusion Approach, *Engineering, Construction, and Architectural Management, Vol. 24* No. 6, pg. 950-967. Doi: 10.1108/ECAM-03-2016-0066.

**Goldratt, E.M.** (1990). *What is the thing called theory of constraint and how should it be implemented*, The North River Press, Great Barrington, MA.

**Gong, P., Zeng, N., Ye, K., ve König, M.** (2019). An Empirical Study on the Acceptance of 4D BIM in EPC Projects in China, *Sustainability (Basel, Switzerland), Vol. 11*, No. 5, pg.13-16. Doi: 10.3390/su11051316.

**Gonzalez, V., Alarcon, L. F., Maturana, S., Mundaca, F., ve Bustamante, J.** (2010). Improving Planning Reliability and Project Performance Using the Reliable Commitment Model, *Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 136*, No.10, pg. 1129-139. Doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000215.

**Gokyigit, E.** (2014). *Applicability of 4D Modeling In Turkish Construction Industry*. (Yüksek Lisans Tezi), Istanbul Technical University, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Green, S. D. ve May, S. C.** (2005). Lean construction: arenas of enactment, models of diffusion and the meaning of 'leanness', *Building research and information: the international journal of research, development and demonstration*, *33* (6), pp.498–511.

**Hajdu, M.** (2015). Continuous Precedence Relations for Better Modelling Overlapping Activities, *Procedia Engineering*, *123*: 216–223.

**Hamzeh, F.R.** (2009). *Improving Construction Workflow - The Role of Production Planning and Control. (Doktora Tezi),* University of California, Berkeley, CA, pp 246.

**Hamzeh, F.R., Ballard, G., Tommelein, I. D.** (2012). Rethinking Lookahead Planning to Optimize Construction Workflow. *Lean Construction Journal*, p 15-34.

**Hamzeh, F. R, Zankoul, E. ve Rouhana, C.** (2015). How can 'tasks made ready' during lookahead planning impact reliable workflow and project duration? *Construction management and economics*, *33* (4), pp.243–258.

**Han, K. K. ve Golparvar-Fard, M.** (2015). Appearance-based Material Classification for Monitoring of Operation-level Construction Progress Using 4D BIM and Site Photologs, *Automation in Construction*, *Vol. 53*, pg. 44-57. Doi: 10.1016/j.autcon.2015.02.007.

**Hardin, B. ve McCool, D.** (2015). *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Indianapolis.

**Harris, F. ve McCaffer, R.** (2013). *Modern Construction Management*, John Wiley & Sons, Oxford.

**Hartmann, T. ve Fischer, M.** (2007). Supporting the Constructability Review with 3D/4D Models, Building Research and Information, *The International Journal of Research, Development and Demonstration*, *Vol. 35*, No. 1, pg. 70-80. Doi: 10.1080/09613210600942218.

**Hartmann, T., Gao, J. ve Fischer, M.** (2008). Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, *Vol. 134*, No.10, pg.776-85. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:10(776).

**Hartmann, T. ve Vossebeld, N.** (2013). A Semiotic Framework to Understand How Signs in Construction Process Simulations Convey Information, *Advanced Engineering Informatics*, *Vol. 27*, No. 3, pg. 378-85. Doi: 10.1016/j.aei.2013.04.001.

**Harvey, M.** (2000). *Privatisation, fragmentation and inflexible flexibilization: The UKconstruction industry from the 1970s*, *Paper presented to the international Conference on structural change in the Building Industry's Labour Market, Working reltions and challenges in the coming years*, Institut Arbeit und Technik, Gelsenkirchen, Germany, 10-20 Oct.

**Hazır, Ö.** (2015). A Review of Analytical Models, Approaches and Decision Support Tools in Project Monitoring and Control, *International Journal of Project Management*, *Vol. 33*, No. 4, pg. 808-15. Doi: 10.1016/j.ijproman.2014.09.005.

**He, Q., Wang, G., Luo, L., Shi, Q., Xie, J., & Meng, X.** (2017). Mapping the managerial areas of Building Information Modeling (BIM) using

scientometric analysis. *International Journal of Project Management, 35*(4), 670–685. https://doi. org/10.1016/j.ijproman.2016.08.001.

**Heesom, D. ve Mahdjoubi, L.** (2004). Trends of 4D CAD Applications for Construction Planning, *Construction Management and Economics, Vol. 22*, No.2, pg. 171-82. Doi: 10.1080/0144619042000201376.

**Hegazy, T. ve Menesi, W.** (2010). Critical path segments scheduling technique, *Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 136*, No. 10, pp. 1078-1085.

**Hekimoglu, Ö.** (2007). *Comparison of the Resource Allocation Capabilities of Project Management Software Packages in Resource Constrained Project Scheduling Problems, (Master thesis)*, Middle East Technical University.

**Henrich, G. ve Koskela, L.** (2005). Production Management in Construction– Requirements and Methods. *In 2nd Scottish Conference for Postgraduate Researchers of the Built & Natural Environment-PRoBE*. Glasgow-Scotland.

**Henrich, G, Abbott, C ve Koskela, L. J.** (2006). Drivers for innovation in production management, *in: 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 25-27 July 2006, Ponteficia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

**Hirao, M., Sugiyama, H., Fischer, U. ve Hungerbühler, K.** (2008). IDEF0 Activity Modeling for Integrated Process Design Considering Environmental, Health and Safety (EHS) Aspect, *In: Joulia, B. B. A. X., ed. 18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE 18*, Lyon Cedex, France.

**HM Government.** (2016). *Construction 2025*. *Governement Construction Strategy 2016-20*, London. Erişim: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/510354/Government_Construction_Strategy_2016-20.pdf.

**Horman, M. J., ve Kenley, R.** (2005). Quantifying Levels of Wasted Time in Construction with Meta-Analysis, *Journal of Construction Engineering and Management, ASCE*, Jan., pg. 52-61.

**Hopp, W.J. ve Spearman, M.L.** (1996). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*, Irwin, Chicago.

**Hopp, W.J., ve Spearman, M.L.** (2008). *Factory Physics*, 3rd Ed., McGraw-Hill, Boston, 720 pp.

**Hosseini, M.R., Chileshe, N., Zuo, J. ve Baroudi, B.** (2015). Adopting global virtual engineering teams in AEC projects: a qualitative metaanalysis of innovation diffusion studies, *Construction Innovation: Information, Process, Management, Vol. 15*, No. 2, pp. 151-179.

**Howell, G.A.** (1999). What is lean construction?*Proceedings of the Seventh Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Berekeley, California.

**Humphreys, K.** (1991). *Jelen's cost and optimization engineering (3rd ed.)*. New York: McGraw-Hill.

**Imran, S., Foping, F., Feehan, J. ve Dokas, I. M.** (2010). Domain Specific Modeling Language for Early Warning System: Using IDEF0 for Domain Analysis. *IJCSI International Journal of Computer Science, 7*, 10-17.

**Jacobs, G. F.** (2010). *Review of lean construction conference proceedings and relationship to the Toyota Production System framework*. Doktora Tezi, Colorado State University.

**Jin, R., Yuan, H., & Chen, Q.** (2019). Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018. *Resources, Conservation and Recycling, 140*, 175–188. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.029.

**Johnston, R.B. ve Brennan, M.** (1996). *Planning or organizing: The implications of theories of activity for management of operations*. Omega (Oxford), *24* (4), pp.367–384.

**Jongeling, R. ve Olofsson, T.** (2007). Method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD, *Automation in Construction, Vol. 16*, No. 2, pg. 189–198. Doi: 10.1016/j.autcon.2006.04.001.

**Kamat, V. R., ve Martinez, J. C.** (2002). Comparison of Simulation-Driven Construction Operations Visualization and 4D CAD, *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE),* Piscataway, NJ, 1765-1770.

**Kataoka, M. (**2008). Automated Generation of Construction Plans from Primitive Geometries, *Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 134*, Issue 8 (August 2008).

**Kähkönen, K., ve Leinonen, J.** (2003). Visual product chronology as a solution for accessing building product model data. *Proceedings of CIB W78*, in Auckland, New Zealand.

**Kalsaas, B. T.** (2010). Work Time Waste in Construction, *Proceedings for the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, July 2010, Technion, Haifa, Israel.

**Kalsaas, B. T.** (2012). Further Work on Measuring Workflow in Construction Site Production, *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 13-15 July 2012, San Diego, USA.

**Kalsaas, B. T. ve Sacks, R.** (2011). Conceptualization of Interdependency and Coordination Between Construction Tasks, *19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Lima, Peru, 13-15 Jul 2011.

**Karhu, V.** (2000). Proposed new method for construction process modelling, *Integrated Journal of Computer Integrated Design and Construction, 2:3*, 166-182.

**Kazaz, A., Manisalı. E., Ulubeyli. S.** (2008). Effect of Basic Motivational Factors on Construction Workforce Productivity in Turkey, *Journal of Civil Engineering and Management*, *Vol.14*(2), pp. 95-106.

**Kazaz, A., Ulubeyli, S., Tuncbilekli, N.**, 2012. Causes of Delays in Construction Projects in Turkey, *Journal of Civil Engineering and Management*, *Vol 18*(3): 426–435.

**Kassem, M., Dawood, N. ve Chavada, R. (**2015). Construction workspace management within an industry foundation class-compliant 4D tool, *Automation in Construction, Vol. 52*, pp. 42-58.doi: 10.1016/j.autcon.2015.02.008.

**Kassem, M., Brogden, T. ve Dawood, N**. (2012). BIM and 4D planning: a holistic study of the barriers and drivers to widespread adoption, *Journal of Construction Engineering and Project Management, Vol. 2*, No. 4, pp.1–10.

**Kazaz, A., Ulubeyli, S. ve Tuncbilekli, N.A.** (2012). Causes of Delays in Construction Projects in Turkey, *Journal of Civil Engineering and Management*, *Vol. 18*, No.3, Pg. 426-435. Doi: 10.3846/13923730.2012.698913.

**Kenley, R. ve Seppanen, O.** (2009). *Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control*, Spon Press, Chicago, IL.

**Kelley, J. E. Jr, & Walker, M. R.** (1959). Critical Path Planning and Scheduling. *Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference*, pp. 160-173.

**Kelley, J. E. Jr, & Walker, M. R.** (1961). Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis. *Operations Research*, *9* (3), pp. 296-320.

**Kerzner, H.** (2013). *Project Management, A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling*, 11th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.

**Kim, C., Kim, B. ve Kim, H.** (2013a). 4D CAD model updating using image processing-based construction progress monitoring, *Automation in Construction*, *Vol. 35*, pp. 44-52.

**Kim, H., Anderson, K., Lee, S., Hildreth, J.** (2013b). Generating Construction Schedules Through Automatic Data Extraction Using Open BIM (Building Information Modeling) Technology, *Journal of Engineering, Design and Technology*, pg. 285–295. Doi: 10.1016/j.autcon.2013.05.020.

**Kim, Y. W. ve Ballard, G.** (2010). Management Thinking in the Earned Value Method System and the Last Planner System, *Journal of management in engineering*, *26* (4), pp.223–228.

**Kim, Y. ve Jang, J.** (2006). Applying Organizational Hierarchical Constraint Analysis to Production Planning. *In:14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Santiago, Chile, 1-. pp 371-382.

**Kim, L.** (1980). *Stages of development of industrial technology in a developing country: a model*. Research policy, 9(3), 254-277.

**Koch, C.** (2005). Failures in combined knowledge and material supply chains, *In Engineering Management Conference, 2005 IEEE International*, *Vol. 2*, pp. 818-821, IEEE.

**Koo, B. ve Fischer, M. (**2000). Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction, *Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 126*, No. 4, pg. 251-60.

**Koskela, L. (**1999). Management of production in construction: a theoretical view. *7th Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-7*. Berkeley, 26 – 28 July 1999. University of California, pp. 241 - 252.

**Koskela, L. (**2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. D.Tech., Helsinki University of Technology, Espoo.

**Koskela, L.** (2002). The theory of project management: Explanation to novel methods. *Proc., Int. Group for Lean Construction 10th Annual Conf. (IGLC-10), IGLC*, Gramado, Brazil.

**Koskela, L. (**2004). Making do-the eighth category of waste. *In Proceedings of the 12th annual conference of the International Group for Lean Construction*.

**Koskela, L.** (2008). Which kind of science is construction management?, *Proceedings of the 16th IGLC Conference, Manchester*, July.

**Koskela, L., & Howell, G.** (2002). The theory of project management: Explanation to novel methods. *In Proceedings 10th Annual Conference on Lean Construction, IGLC*.

**Koskela, L. J., Stratton, R., and Koskenvesa, A. (**2010). Last planner and critical chain in construction management: comparative analysis. *In Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (pp. 538-547).* National Building Research Institute, Technion-Israel Institute of Technology.

**Koskela, L. ve Ballard, G.** (2006) Should project management be based on theories of economics or production? *Building Research and Information*, *Vol. 34*, No. 2, pp. 154-163.

**Koskela, L., ve Kazi, A. S.** (2003). *Information technology in construction: How to realize the benefits?*, Socio-technical and human cognition elements of information systems, E. C. S. Clarke, M. G. Hunter, A. Wenn, eds., Idea Group, Inc. _IGI_, Hershey, Pa., 295.

**Kropp, C., Koch, C., König, M.** (2018). Interior construction state recognition with 4D BIM registered image sequences. *Autom. Constr. 86*, 11–32.

**Kymmell, W.** (2007). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations (McGraw-Hill Construction Series)*, McGraw Hill Professional, USA.

**Latham, M.** (1994). *Constructing the team: final report: joint review of procurement and contractual arrangements in the United Kingdom construction industry*, HMSO Books.

**Laufer, A., Tucker, R. L., Shapira, A., Shenhar, A. J.** (1994). The Multiplicity Concept in Construction Project Planning, *Construction Management and Economics, Vol. 12,* No.1, pg. 53-65. Doi: 10.1080/01446199400000007.

**Lekshmi, S. A. ve Unnikrishnan, V.** (2018). Planning and delay analysis of a residential complex: A case study, *International Journal of Civil Engineering and Technology, Vol. 9*, No. 6, pg. 1191-1201.

**Lee, S.H., Pena-Mora, F. ve Park, M.** (2006). Dynamic planning and control methodology for strategic and operational construction project management, *Automation in Construction, Vol. 15*, No. 1, pp. 84-97.

**Li, S., Wu, X., Zhou, Y., Liu, X.** (2017). A study on the evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms. *Renewable & sustainable energy reviews, 71*, pp.846–851.

**Liu, H., Al-Hussein, M. ve Lu, M.** (2015). BIM-based integrated approach for detailed construction scheduling under resource constraints, *Automation in construction, 53,* pp.29–43.

**Liker, J.K.** (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer.* McGraw-Hill, New York.

**Lu, M., Li, H.** (2003). Resource-activity critical-path method for construction planning, *Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 129*, No. 4, pp. 412-420. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:4(412).

**London, K. ve Kenley R.** (2001). An industrial organization economic supply chain approach for the construction industry: a review, *Journal of Construction Management and Economics, 19* (8): 777-788.

**Macomber, H., Howell, G.A. ve Reed, D.** (2005). Managing promises with the last planner system: closing in on uninterrupted flow, *Proceedings of 13th International Group for Lean Construction Conference*, Sydney, pp. 13-18.

**Mahalingam, A, Kashyap, R., Mahajan, C.** (2010). An Evaluation of the Applicability of 4D CAD on Construction Projects, *Automation in Construction, Vol. 19*, No. 2, pg. 148-59. Doi: 10.1016/j.autcon.2009.11.015.

**Martin-Martin, A., Orduna-Malea, E., Thelwall, M., & Lopez-Cozar, E. D. (**2018). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in subject categories, *Journal of Informetrics, 12* (4), 1160–1177. https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.09.002.

**Matsuzawa, T., Uchiyama, Y., Akimoto, M. ve Suzuki, M.** (1994). A visual simulation system for construction planning/management. Proc., *17th Symp. on Computer Technology of Information, Systems, and Applications*, Architectural Institute of Japan, Tokyo, 37–42.

**Matthews, J., Love, P. E. D., Heinemann, S., Chandler, R., Rumsey, C., Olatunj, O.** (2015). Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction, *Automation in construction, 58,* pp.38–47.

**May, I., Pynn, C., & Hill, P.** (2018). *Arup's digital future: The path to BIM*. In Building Information Modeling (pp. 509–534).

**McKinney, K. ve Fischer, M.** (1998). Generating, evaluating and visualizing construction with 4DCAD, *Automation in Construction, Vol. 7,* 1998, pp. 433-447.

**Moon, H., Dawood, N. ve Kang, L.** (2014). Development of workspace conflict visualization system using 4D object of work schedule, *Advanced Engineering Informatics, Vol. 28,* pg. 50–65. doi: 10.1016/j.aei.2013.12.001.

**Mongalo, M. A. ve Lee, J.** (1990). A comparative study of methods for probabilistic project scheduling, *Computers & Industrial Engineering, Vol. 19,* No. (1–4), pg. 505–509. Doi: 10.1016/0360-8352(90)90169-M.

**Mossman, A.** (2005). *Last Planner: Collaborative production, collaborative programming:* Erişim: http://www.obom.org/DOWNLOADS2/LPSoverview.pdf.

**Mossman, A.** (2014). *Collaborative Planning: 5 + 1crucial and Collaborative Conversations for Predictable Design & Construction Delivery* [online]. Available at. Http://bit.ly/CPS-5cc.

**McGraw Hill Construction Report.** (2012). *The business value of BIM in North America.* Erişim: 31 Ocak 2021,http://images.autodesk.com/adsk/files/mhc_business_value_of_bim_in_north_america_2007-2012_smr.pdf.

**Navon, R. ve Sacks, R.** (2007). Assessing Research Issues in Automated Project Performance Control (APPC), *Automation in Construction, Vol. 16,* No. 4, pg. 474-84. Doi: 10.1016/j.autcon.2006.08.001.

**Nepal, M. P., Staub-French, S.** (2016). Supporting Knowledge-Intensive Construction Management Tasks in BIM, *Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Vol. 21,* pg. 13-38, http://www.itcon.org/2016/2.

**Nicholas, J.M. ve Steyn, H.** (2012a). *Project time planning and networks*. Project Management for Engineering, Business, and Technology, 4th ed., Butterworth-Heinemann, Boston, MA, pp. 197-236.

**Nikhil, M., Shingate, P., ve Hedaoo, M. N.** (2017). Last Planner System-Theory to Implementation. *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development|, 5* (09), 359–399.

**Nowotarski, P., Pasławski, J., ve Matyja, J.** (2016). Improving Construction Processes Using Lean Management Methodologies – Cost Case Study, *Procedia engineering, 161,* pp.1037–1042.

**O'Brien, J. & Plotnick, F.** (1999). *CPM in Construction Management*, USA, McGraw-Hill Professional.

**Ogunbiyi, O.E.** (2014). *Implementation of the lean approach in sustainable construction: a conceptual framework.* (PhD thesis). University of Central Lancashire.

**Olawale, Y. ve Sun, M.** (2015). Construction project control in the UK: current practice, existing problems and recommendations for future improvement. *International journal of project management*, *33*(3), 623-637.

**Olde Scholtenhuis, L. L., Hartmann, T. and Dorée, A. G.** (2016). 4D CAD based method for supporting coordination of Urban subsurface utility projects, *Automation in Construction*, *Vol. 62*, pp. 66-77. Doi: 10.1016/j.autcon.2015.10.013.

**Olsen, D. & Taylor, J. M.** (2017). Quantity Take-Off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors. *Procedia engineering*, *196*, pp.1098–1105.

**Oskouie, P, Gerber, D J, Alves, T, Becerik-Gerberer, B.** (2012). Extending the interactions of building information modeling and lean construction, *Proceedings for the 20th of the International Group for Lean Construction Conference*, July, San Diego, CA.

**Pasquire, C.** (2012). The 8th Flow – Common Understanding" in, Tommelein, I.D. and Pasquire, C.L., *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, San Diego, USA, 18-20 July 2012.

**Pellerin, R. ve Perrier, N.** (2019). A review of methods, techniques and tools for project planning and control, *International Journal of Production Research*, *Vol. 57*, issue 7. Doi: 10.1080/00207543.2018.1524168.

**Perez, A. M. ve Ghosh, S.** (2018). Barriers faced by new-adopter of Last Planner System®: a case study. *Engineering, construction, and architectural management*, *25*(9), pp.1110–1126.

**Parvan, K.** (2012). *Estimating the impact of Building Information Modeling (BIM) utilization on building project performance. (Doctoral Dissertation).* Retrieved from http://drum.lib.umd.edu/handle/1903/13063.

**PMI.** (2008). *A Guide to the Project Management Book of Knowledge (PMBOK).* 4th Edition, Project Management Institute, Newtown Square.

**Polat, G. ve Ballard, G.** (2004). Waste in Turkish Construction: Need for Lean Construction Techniques. *In:, Bertelsen, S. & Formoso, C. T., 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Helsingør, Denmark.

**Porkka, J. ve Kähkönen, K.** (2007). Software Development Approaches and Challenges of 4D Product Models. i*n: W78:2007 - Bringing ITC Knowledge to Work*. 85–90.

**Porwal, V., Fernandez-Solis, J., Lavy, S., & Rybkowski, K.** (2010). Last Planner System Implementation Challenges. *In Proceedings of the 18th annual conference of the International Group for Lean Construction*, Haifa, Israel (pp. 548-556).

**Rapley, T. J.** (2001). The art (fulness) of open-ended interviewing: some considerations on analysing interviews, *Qualitative Research*, *Vol.1*, (3), 303–323. Doi: 10.1177/146879410100100303.

**Riley, D.R. ve Tommelein, I.D.** (1996). Space Planning Tools for Multi-Story Construction, *In the Proceedings of the 3rd ASCE Congress of Computing in Civil Engineering*, Anaheim, California.

**Rolstadås, A.** (1995). Planning and control of concurrent engineering projects, *International Journal of Production Economics*, *Vol. 38*, 3-13.

**Saad, M. & Baba, S. & Amoudi, O.** (2015). A suggested solution to improve the traditional construction planning approach. *Jordan Journal of Civil Engineering. 9*. 185-196.

**Sacks, R. (**2016). What constitutes good production flow in construction? *Construction management and economics, 34* (9), pp.641–656.

**Sacks, R., Radosavljevic, M., ve Barak, R.** (2010a). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction, *Autom. Constr*., *19* (5), pg. 641–655.

**Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., ve Owen, R.** (2010b). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, *Vol. 136*, No.9, pg. 968-80. Doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203.

**Sacks, R., Treckmann, M., ve Rozenfeld, O.** (2009). Visualization of work flow to support lean construction, *J. Constr. Eng. Manage*., *135* (12), pg. 1307–1315.

**Sahu, K. ve Sahu, M.** (2014). Cost & time and also minimum project duration using alternative method, *Int. Rev. Appl. Eng. Res*., *vol. 4*, no. 5, pp. 403–412. Erişim: 24 Ocak 2021, http://ripublication.com/iraer-spl/iraerv4n5spl_03.pdf.

**Seppanen, O., Ballard, G. ve Pesonen, S.** (2010). *The combination of last planner system and location-based management system*. Retrieved 15 October 2012 from http://www.lean.org.

**Samuel, L. B.** (2010). *Critical Path Method (CPM)*. Health Services Policy and Management Courses. University of South Carolina: Columbia, SC.

**Sarhan, S. ve Fox, A.** (2013). Performance Measurement in the UK Construction Industry and Its Role in Supporting the Application of Lean Construction Concepts, *The Australasian Journal of Construction Economics and Building, Vol. 13*, No. 1, pg. 23-35. 10.5130/AJCEB.v13i1.3069.

**Shang, G. ve Pheng, S. L.** (2014). Barriers to lean implementation in the construction industry in China. *Journal of technology management in China, 9* (2), pp.155–173.

**Shah, R.K., Dawood, N., Castro, S.** (2008). Automatic Generation of Progress Profiles for Earthwork Operations using 4D Visualization Model. *International Journal of Information Technology in Construction*, *13*, 491-506.

**Shen, Y., Zygmunt, K. J., Wandahl, S.** (2017). Reducing Variability of Workforce as a Tool to Improve Plan Reliability, *Procedia Engineering*, *172*, pp.969–976.

**Shingo, S.** (1989). *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint*, Productivity Press, Portland, USA.

**Sigalov, K. ve König, M.** (2017). Recognition of process patterns for BIM-based construction schedules, *Advanced engineering informatics*, *33*, pp.456–472.

**Slaughter, E.** (2000). Implementation of construction innovations, *Building Research & Information, Vol. 28* No. 1, pp. 2-17.

**Sloot, R.N.F., Heutink, A., Voordijk, J.T.** (2019). Assessing usefulness of 4D BIM tools in risk mitigation strategies, *Automation in construction*, *106*, p.102881**.**

**Sriprasert, E. ve Dawood, N. N.** (2003). Multi-constraint information management and visualization for collaborative planning and control in construction, *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, *8*, pp.341-366.

**Songer D.A., Diekmann J., Rasheed K. ve Hays, B.** (2001). Construction scheduling using 3-D CAD and walkthru, *Construction Innovation*, *1*, 191-207.

**Soung-hie, K. ve Ki-jin, J.** (2000). Designing performance analysis and IDEF0 for enterprise modelling in BPR, *Int. J. Production Economics*, *7*, 121-133.

**Succar, B.** (2009). Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders, *Automation in Construction*, *Vol. 18*, No.3, pg. 357-75. 10.1016/j.autcon.2008.10.003.

**Stanley, R., Thurnell, D.** (2014). The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand, *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, *14* (1), 105-117.

**Tallgren, M. V., Roupé, M., Johansson, M., Bosch-Sijtsema, P.** (2020). BIM tool development enhancing collaborative scheduling for pre-construction, *Journal of information technology in construction*, *25*, pp.374–397.

**Tauscher, E., Mikulakova, E., Beucke, K. ve König, M.** (2009). Automated Generation of Construction Schedules Based on the IFC Object Model. 346. 666-675. 10.1061/41052(346)66.

**Taylor, J.** (2005). *Three perspectives on innovation in interorganizational networks: Systemic innovation, boundary object change, and the alignment of innovations and networks.* (Doktora Tezi), Stanford Univ., Stanford, Calif.

**Teicholz, P.** (2004). Labor-Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies, AECbytes.

**Tjell, J. ve Bosch-Sijtsema, P.M.** (2015). Visual management in mid-sized construction design projects, *Procedia Economics and Finance*, *Vol. 21*, pp. 193-200. Doi: 10.1016/S2212-5671(15)00167-7.

**Tezel, A., ve Nielsen, Y.** (2013). Lean Construction Conformance among Construction Contractors in Turkey, *Journal of Management in Engineering*, *Vol. 23*, No.3, pg. 236-50. Doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000145.

**Thomas, H. R., Horman, M. J., de Souza, U. E. L., ve Zavrski, I.** (2002). Reducing variability to improve performance as a lean construction principle, *J. Constr. Eng. Manage*., *128* (2), 144–154.

**Thornley, G.** (2013). *Critical Path Analysis in Practice: Collected Papers on Project Control*, Routledge, London.

**Tserng, H., Ho, S. ve Jan, S.** (2014). Developing BIM-assisted as-built schedule management system for general contractors, *Journal of civil engineering and management, 20* (1), pp.47–58.

**Trebbe, M., Hartmann, T., ve Dorée, A.** (2015). 4D CAD Models to Support the Coordination of Construction Activities between Contractors, *Automation in Construction, Vol. 49,* pg.83-91. 10.1016/j.autcon.2014.10.002.

**Tulke, J. ve Hanff, J.** (2007). 4D Construction Sequence Planning—New Process and Data Model, *In Proceedings of the CIB-W78 24th International Conference on Information Technology in Construction*, Maribor, Slovenia, pp. 79–84.

**Türkiye Müteahhitler Birliği (TMB).** (2020). İnşaat Sektörü 2023 Vizyonu, Erişim: https://tmb.org.tr/arastirma_yayinlar/TMB_insaat_sektoru_2023_vizyonu.pdf.

**Ugur L. O. ve Baykan O. N.** (2008). An Area Study About Project Planning Applications of Turkish Construction Firms, *e-Journal of New World Sciences Academy*, *Vol. 3,* No. 3.

**Umar, U. A., Shafiq, N., Malakahmad, A., Nurudin, M. F., Khamidi, M. F., Farhan, S. A. ve Gardezi, S.** (2015). 4D BIM application in AEC industry: impact on integrated project delivery. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 10* (5). pp. 547-552. ISSN 2040-7459.

**U.S. Department of Commerce (USDOC).** (2008). *Construction and Non-farm Productivity Index*, USA.

**URL-1** <*http:// bimforum.org/resources/Documents/BIMforum_LOD_203*>, erişim tarihi 24.06.2020.

**Van Eck, N. J., ve Waltman, L.** (2011). *Text mining and visualization using VOSviewer*. ArXiv.

**Vargas, A., Boza, A., Patel, S., Patel, D., Cuenca, L. ve Ortiz, A.** (2015). Risk management in Hierarchical production planning using inter enterprise architecture, *Proceedings of the 16th IFIP WG5.5 Working Conference on Virtual Enterprises*, Albi.

**Veis, S., Predrag, D., Ratomir, J. ve Dragana, L.** (2009). Functional and Information Modeling of Production Using IDEF Methods, *Journal of Mechanical Engineering, 55*,131-140.

**Vries, D. B. ve Harink, J.** (2007). Generation of a construction planning from a 3D CAD model. *Automation in Construction*, *16*(1), 13–18.

**Vrijhoef, R. ve Koskela, L.** (2000). The Four Roles of Supply Chain Management in Construction. *European Journal of Purchasing and Supply*

*Management*, *6*, 169-178. https://doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00013-7.

**Walesh, S.G.** (2012). Project management: critical path method and scope creep", Engineering Your Future, *The Professional Practice of Engineering, 3rd ed.,* Wiley, pp. 195-230.

**Walker, A.** (2015). *Project Management in Construction*, John Wiley & Sons, Chichester.

**Waly, A. ve Thabet, W.** (2002). A Virtual Construction Environment for Pre-construction Planning, *Automation in Construction*, *Vol. 12*, pp. 139-154.

**Wang, R., Zhong, D., Zhang, Y., Yu, J. ve Li, M.** (2015). A Multidimensional Information Model for Managing Construction Information, *Journal of Industrial and Management Optimization*, *Vol. 11*, No.4, pg.1285-300. Doi: 10.3934/jimo.2015.11.1285.

**Wang, H., Zhang, J., Chau, K. ve Anson, M.** (2004). 4D dynamic management for construction planning and resource utilization, *Automation in Construction*, *Vol. 13*, No. 5, pp. 575-589.

**Williams, T.** (2002). Management of Complexity in Enterprise Integration Projects by the PERA Methodology, *Journal of Intelligent Manufacturing*, *Vol. 13* No. 6, pp. 417-427.

**Willems, L. L., ve Vanhoucke, M.** (2015). Classification of Articles and Journals on Project Control and Earned Value Management, *International Journal of Project Management, 33* (7): 1610–1634.

**Winch, G.M. ve Kelsey, J.** (2005). What do construction project planners do? *International Journal of Project Management*, *Vol. 23*, No. 2, pp. 141-149.

**Yang, J. B.** (2005). Comparison of CPM and CCS tools to construction project, *Proceedings of Third International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC 03)*, pp. 845–851.

**Yin, R.K.** (2009). *Case study research: design and methods,* 4th ed..United States: SagePublications.

**Zhang, X.** (2005). Critical success factors for public-private partnerships in infrastructure development, *Journal of Construction Engineering and Management*, *131*(1), 3-14.

**Zhang, Jinyue & Long, Yating & Lv, Siquan & Xiang, Yunchao.** (2016). BIM-enabled Modular and Industrialized Construction in China. Procedia Engineering. *145*. 1456-1461. 10.1016/j.proeng.2016.04.183.

**Zhou, J., Lovel, P., Teol, K.** (2013). A review of methods and algorithms for optimizing construction scheduling, *The Journal of the Operational Research Society*, *64* (8), pp.1091–1105.

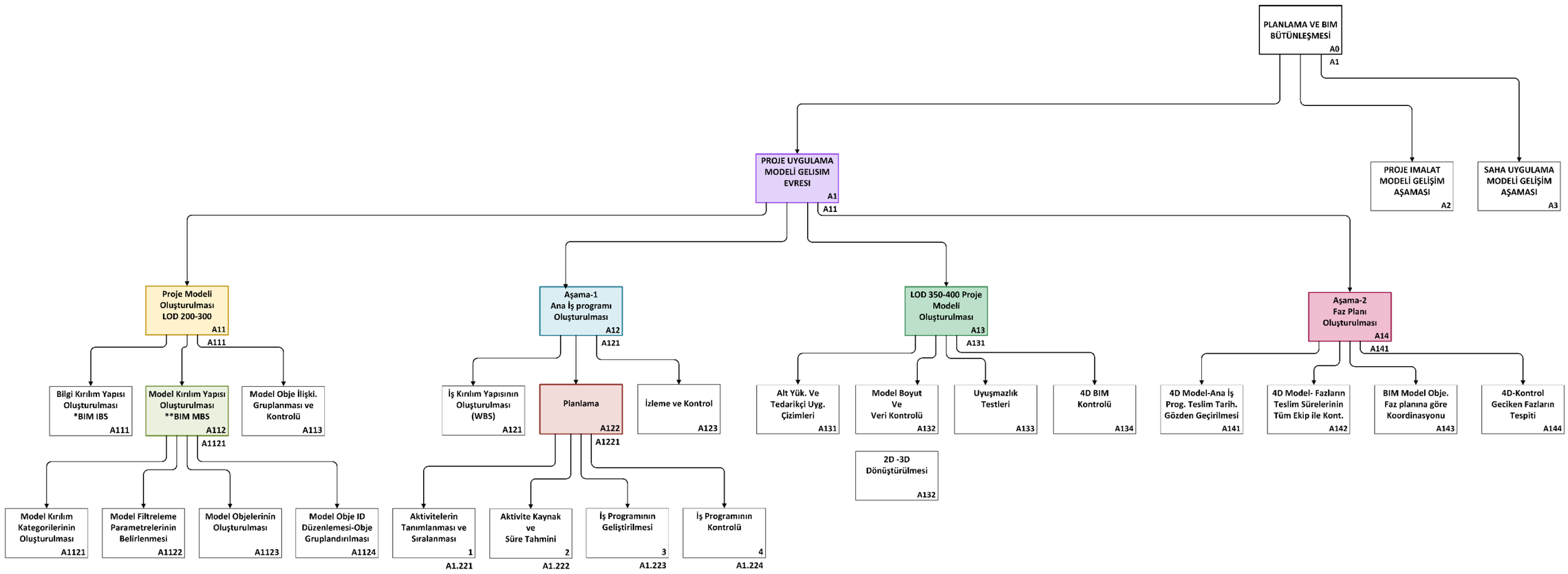
**Zozaya-Gorostiza, C., Hendrickson, R., Lim, P.** (1988). Construction Planex: a knowledge intensive planner for construction projects, *5th International Symposium on Robotics in Construction*, pp. 511–520.

**Isikdag, U., Underwood, J., Kuruoglu, M., & Irtem, E.** (2011). *The Strategic Role of ICT in the Construction Industry: A Comparative Analysis of the UK and Turkish Sectors.*

**EKLER**

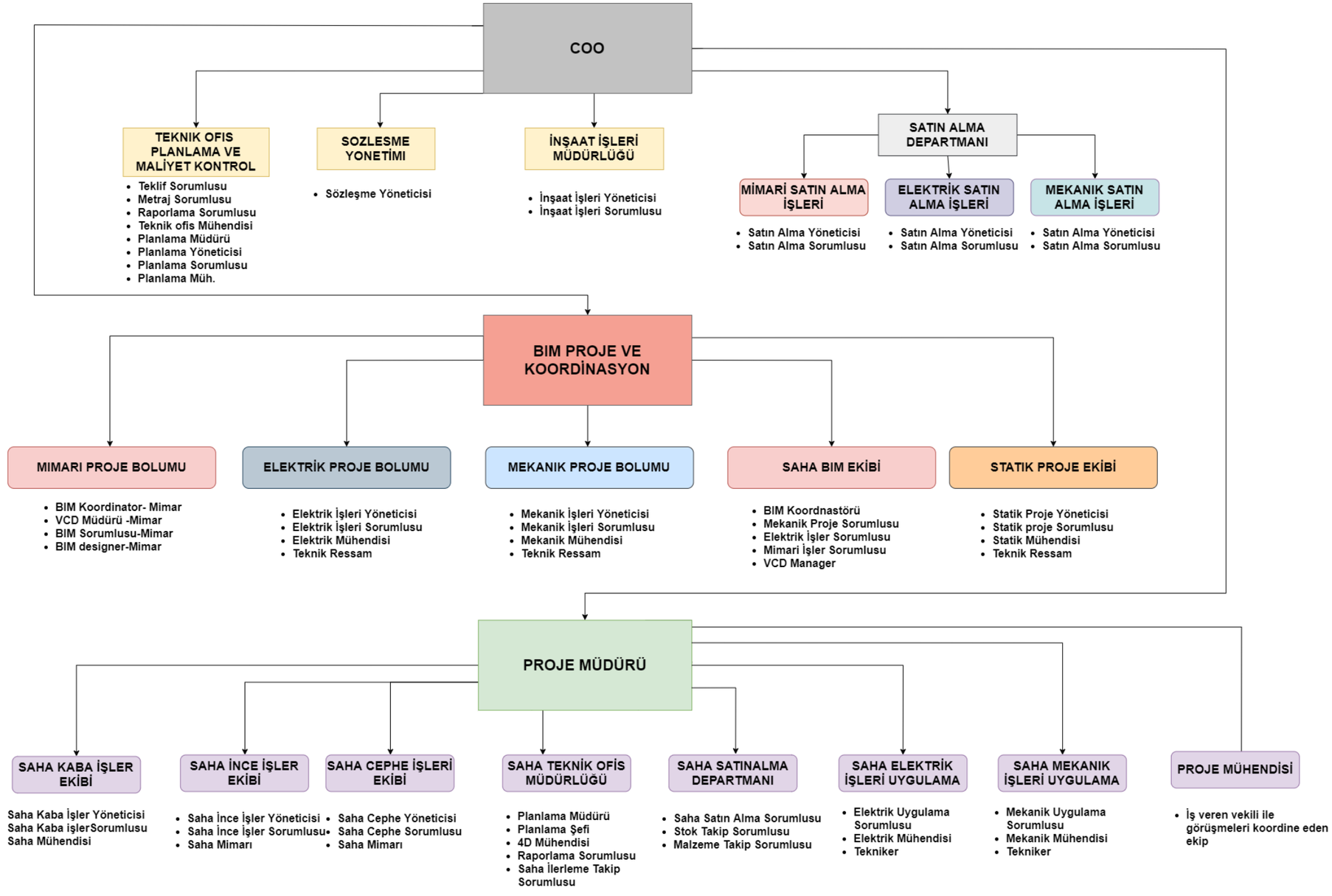
**EK A:** Kavramsal Model Önerisi İş Akışlarının Tümü
**EK B:** Öneri Organizasyon Yapısı

**EK A** Kavramsal Model Önerisi İş Akışlarının Tümü




**Şekil A.1:** Kavramsal model önerisi süreç iş akış diyagramları

**EK B** Öneri Organizasyon Yapısı




**Şekil B.1:** Öneri organizasyon yapısı

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** **:** Ayşen SARAÇ ÇIRACIOĞLU

**ÖĞRENİM DURUMU:**

- **Lisans** **:** 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yükseklisans** **:** 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Proje ve Yapım Yönetimi

**DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:**

- **Sarac Ciracioglu, A.,** Yaman, H. 2020. Construction Schedule Mnagement Based on BIM Technology A Bibliometric Literature Review, *6th International Project and Construction Management Conference (e-IPCMC2020), 12-14* November 2020, Istanbul, Turkey.
- **Sarac Ciracioglu, A.,** Yaman, H. 2021**.** BIM Based Time Management Among Construction Contractors in Turkey: An interview study, *Periodica Polytechnica Architecture, 52* (2).