

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL TESİS PROJELERİ KAPSAMINDA DİSİPLİNLER ARASI  
TASARIM SÜRECİNİN GELİŞTİRİLMESİ: AKTÖRLER, ARAÇLAR VE  
AKIŞLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hülya YASAK**

**Bilişim Anabilim Dalı**

**Mimari Tasarımda Bilişim Programı**

**ARALIK 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL TESİS PROJELERİ KAPSAMINDA DİSİPLİNLER ARASI  
TASARIM SÜRECİNİN GELİŞTİRİLMESİ: AKTÖRLER, ARAÇLAR VE  
AKIŞLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hülya YASAK  
(523151009)**

**Bilişim Anabilim Dalı**

**Mimari Tasarımda Bilişim Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sema ALAÇAM**

**ARALIK 2019**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 523151009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hülya YASAK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ENDÜSTRİYEL TESİS PROJELERİ KAPSAMINDA DİSİPLİNLER ARASI TASARIM SÜRECİNİN GELİŞTİRİLMESİ: AKTÖRLER, ARAÇLAR VE AKIŞLAR” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Sema ALAÇAM** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Sinan Mert ŞENER** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Neşe ÇAKICI ALP** .....  
Kocaeli Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : 12 Kasım 2019  
**Savunma Tarihi** : 09 Aralık 2019





*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Başta akademik birikimi ve ilham veren yönüyle tez sürecinde desteğini hissettiğim, pozitif yaklaşımlarıyla beni her adımda motive eden tez danışmanım Doç. Dr. Üyesi Sema Alaçam'a ve İstanbul Teknik Üniversitesi Mimari Tasarımda Bilişim Programı öğretim üyelerine,

Her zaman bana destek olan ve her koşulda bana güvenen aileme,

Tez süreci boyunca fikirlerini benimle paylaşan ve desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarıma,

Uzun süren tez sürecinde araştırmamı devam ettirmeme olanak sağlayan farklı disiplinlerde bulunan iş arkadaşlarıma,

Sonsuz teşekkürler.

Aralık 2019

Hülya Yasak  
(Mimar)



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ.....                                                                                                | vii       |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                         | ix        |
| KISALTMALAR .....                                                                                         | xi        |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                                        | xiii      |
| ÖZET.....                                                                                                 | xv        |
| SUMMARY .....                                                                                             | xvii      |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                                                      | <b>1</b>  |
| 1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı .....                                                                          | 2         |
| 1.2 Tezin Yöntemi.....                                                                                    | 4         |
| <b>2. PROJE YAŞAM DÖNGÜSÜNDE BÜTÜNLEŞİK SİSTEMLER.....</b>                                                | <b>7</b>  |
| 2.1 Yapı Bilgi Modelleme (YBM) .....                                                                      | 7         |
| 2.1.1 YBM temsil düzeyleri .....                                                                          | 9         |
| 2.1.1.1 Projenin detay seviyesi.....                                                                      | 9         |
| 2.1.1.2 Modelleme boyutu.....                                                                             | 11        |
| 2.1.1.3 YBM olgunluk seviyeleri.....                                                                      | 13        |
| 2.1.2 YBM'nin yapı sektöründeki yeri .....                                                                | 15        |
| 2.1.2.1 Ön proje sürecinde YBM.....                                                                       | 15        |
| 2.1.2.2 Tasarım sürecinde YBM.....                                                                        | 16        |
| 2.1.2.3 Yapım sürecinde YBM.....                                                                          | 17        |
| 2.1.2.4 Yapının kullanımı ve işletilmesi aşamasında YBM.....                                              | 18        |
| 2.2 Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat Sektöründe YBM Kullanımı.....                                         | 18        |
| 2.2.1 YBM ortamında işbirliği .....                                                                       | 18        |
| 2.2.2 IFC veri modeli ve çakışma analizleri .....                                                         | 20        |
| 2.3 Tesis Tasarım Sistemleri .....                                                                        | 20        |
| 2.3.1 Tesis tasarım yönetim yazılımları .....                                                             | 21        |
| <b>3. ENDÜSTRİYEL TESİS PROJELERİ.....</b>                                                                | <b>27</b> |
| 3.1 Proje Süreci Evreleri .....                                                                           | 27        |
| 3.2 Proje Yürütme Stratejileri ve Organizasyonel Oluşumlar.....                                           | 28        |
| 3.3 Büyük Ölçekli EPC Projelerindeki Bilgi Türleri .....                                                  | 30        |
| 3.3.1 Görsel veri biçimleri, 2D, 3D, eskizler, çizimler .....                                             | 30        |
| 3.3.2 Metinsel veri biçimleri: yazılı, sözlü, şartname ve yönetmelikler .....                             | 31        |
| 3.4 Araştırma Metodu .....                                                                                | 31        |
| <b>4. ENDÜSTRİYEL TESİS PROJE SÜREÇLERİNİN ÇÖZÜMLENMESİ, KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b> | <b>35</b> |
| 4.1 Amaç ve Kapsam .....                                                                                  | 35        |
| 4.2 Veri Toplama Yöntemleri .....                                                                         | 38        |
| 4.3 Vaka Çalışması Kapsamında İncelenen Projeler.....                                                     | 38        |
| 4.3.1 Proje A .....                                                                                       | 38        |
| 4.3.2 Proje B.....                                                                                        | 42        |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4 Proje A ve Proje B'nin EPC Evreleri .....                                     | 44        |
| 4.4.1 Ön proje süreci .....                                                       | 45        |
| 4.4.2 Detay tasarım süreci .....                                                  | 46        |
| 4.4.3 Uygulama projelerinin hazırlanması süreci.....                              | 47        |
| 4.4.4 Yapım süreci .....                                                          | 48        |
| 4.5 Proje Sürecinde Rol Alan Aktörler.....                                        | 49        |
| 4.5.1 Yönetim.....                                                                | 50        |
| 4.5.2 Proje yönetim .....                                                         | 50        |
| 4.5.3 Proses işleri .....                                                         | 50        |
| 4.5.4 Yapı işleri .....                                                           | 51        |
| 4.5.5 Satın alma.....                                                             | 51        |
| 4.5.6 Kalite & kontrol .....                                                      | 51        |
| 4.6 Disiplin Bazlı Tasarım Araçları ve Veri Biçimleri.....                        | 51        |
| 4.6.1 YBM yazılımı.....                                                           | 51        |
| 4.6.2 Tekla yazılımı.....                                                         | 52        |
| 4.6.3 2D/3D, CAD yazılımları .....                                                | 53        |
| 4.7 Proje Süreçlerinin Çözümlemeleri .....                                        | 54        |
| 4.7.1 Proje A organizasyon şeması incelemesi .....                                | 54        |
| 4.7.2 Proje A'ya ait proje süreci çözümlemeleri .....                             | 56        |
| 4.7.3 Proje B organizasyon şeması incelemesi .....                                | 61        |
| 4.7.4 Proje B'ye ait proje süreci çözümlemeleri .....                             | 63        |
| 4.8 Proje Süreçlerinin Karşılaştırılması ve Değerlendirmesi .....                 | 67        |
| 4.8.1 Organizasyon oluşumların değerlendirilmesi.....                             | 68        |
| 4.8.2 Disiplin bazlı tasarım araçları ve veri biçimlerinin değerlendirilmesi..... | 69        |
| 4.8.3 Projelendirme süreci çözümlemelerinin değerlendirilmesi.....                | 70        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                                  | <b>73</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                             | <b>77</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                                 | <b>79</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                              | <b>81</b> |

## KISALTMALAR

|            |                                                                                         |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AEC</b> | : Mimarlık Mühendislik İnşaat sektörü (İng: AEC: Architecture, Engineering, Civil Eng.) |
| <b>YBM</b> | : Yapı Bilgi Modelleme (İng.: BIM; Building Information Modelling)                      |
| <b>EPC</b> | : Mühendislik Tedarik İnşaat Sektörü (İng.: EPC: Engineering Procurement Construction)  |
| <b>CAD</b> | : Bilgisayar Destekli Tasarım (İng.: CAD: Computer Aided Design)                        |
| <b>BDM</b> | : Bilgisayar Destekli Mühendislik (İng.: Computer Aided Engineering)                    |
| <b>LOD</b> | : Detay Seviyesi (İng.: Level Of Detail)                                                |
| <b>LOI</b> | : Bilgi Seviyesi (İng.: Level Of Information)                                           |
| <b>IFC</b> | : Industry Foundation Class                                                             |
| <b>2D</b>  | : 2 Boyutlu                                                                             |
| <b>3D</b>  | : 3 Boyutlu                                                                             |
| <b>4D</b>  | : 4 Boyutlu                                                                             |
| <b>5D</b>  | : 5 Boyutlu                                                                             |
| <b>6D</b>  | : 6 Boyutlu                                                                             |
| <b>7D</b>  | : 7 Boyutlu                                                                             |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : Nesnelerin LOD seviyeleri (McPhee, 2013).....                                            | 11 |
| Şekil 2.2 : YBM'nin boyutları (Url-2).....                                                           | 12 |
| Şekil 2.3 : YBM olgunluk düzeyleri (Bew ve Richards, 2008).....                                      | 14 |
| Şekil 2.4 : YBM olgunluk düzeyleri kapsamaları (Url-3).....                                          | 14 |
| Şekil 2.5 : Navisworks çakışma analizleri (Url-4). ....                                              | 20 |
| Şekil 2.6 : PDMS veri tabanı strüktürü (Aveva Getting Started with PDMS, 2005).22                    |    |
| Şekil 2.7 : Proje ölçeklerine göre tercih edilen yazılımlar (Moran, 2016). ....                      | 25 |
| Şekil 3.1 : Proje yaşam döngüsü (Moazzami ve Ruwanpura, 2011). ....                                  | 25 |
| Şekil 3.2 : EPC genel organizasyon şeması (Moazzami ve Ruwanpura, 2011). ....                        | 25 |
| Şekil 3.3 : EPC proje yürütme stratejileri (Moazzami ve Ruwanpura, 2011). ....                       | 25 |
| Şekil 3.4 : EPC organizasyon şeması (Clark ve Diğ., 2005). ....                                      | 25 |
| Şekil 3.5 : Araştırma metotunda izlenen adımlar. ....                                                | 25 |
| Şekil 4.1 : Kompresör istasyonu'nun birleştirilmiş Navisworks modeli.....                            | 39 |
| Şekil 4.2 : Yönetim ve kontrol binası, genel. ....                                                   | 40 |
| Şekil 4.3 : Yönetim ve kontrol binası, YBM modeli.....                                               | 41 |
| Şekil 4.4 : Yönetim ve kontrol binası, betonarme modeli. ....                                        | 25 |
| Şekil 4.5 : Yönetim ve kontrol binası, Tekla'dan alınmış IFC modeli.....                             | 25 |
| Şekil 4.6 : EDoğalgaz dolum tesisi birleştirilmiş Navisworks modeli. ....                            | 25 |
| Şekil 4.7 : Yönetim binası, genel.....                                                               | 25 |
| Şekil 4.8 : Yönetim binası, YBM modeli. ....                                                         | 44 |
| Şekil 4.9 : Mevcut yapı/EPC süreci çakışma diyagramı.....                                            | 49 |
| Şekil 4.10 : Proje sürecinde rol alan aktörler.....                                                  | 25 |
| Şekil 4.11 : Yazılımlar ve veri biçimleri. ....                                                      | 25 |
| Şekil 4.12 : Proje A, organizasyon şeması. ....                                                      | 25 |
| Şekil 4.13 : Proje A için önerilen/kurgulanan organizasyon şeması. ....                              | 25 |
| Şekil 4.14 : İdeal EPC ön proje diyagramı. ....                                                      | 25 |
| Şekil 4.15 : Müşteri, ortak firma ve EPC firma arasında, ön proje evresindeki bilgi akışı. ....      | 25 |
| Şekil 4.16 : Mimar-mühendisler arasındaki bilgi akışı.....                                           | 25 |
| Şekil 4.17 : Detay tasarım süreci revizyon diyagramı.....                                            | 59 |
| Şekil 4.18 : Uygulama projelerinin hazırlanma evresindeki kritik revizyon diyagramı.....             | 25 |
| Şekil 4.19 : Detay tasarım evresi-uygulama projelerinin hazırlanması evresi ara kesit diyagramı..... | 61 |
| Şekil 4.20 : Proje B, organizasyon şeması.....                                                       | 25 |
| Şekil 4.21 : Proje B için önerilen/kurgulanan organizasyon şeması. ....                              | 25 |
| Şekil 4.22 : Ön proje evresi diyagramı. ....                                                         | 64 |
| Şekil 4.23 : Detay tasarım evresi diyagramı.....                                                     | 25 |
| Şekil 4.24 : Detay tasarım evresi-EPC firma içi revizyon diyagramı.....                              | 25 |
| Şekil 4.25 : Detay tasarım evresi-uygulama projelerinin hazırlanması evresi ara kesit diyagramı..... | 25 |

**Şekil 4.26 :** Uygulama projelerinin hazırlandığı evre ( satın alma için gerekli proje bilgileri)..... 25



## **ENDÜSTRİYEL TESİS PROJELERİ BAĞLAMINDA DİSİPLİNLER ARASI TASARIM SÜRECİNİN GELİŞTİRİLMESİ: AKTÖRLER, ARAÇLAR VE BİLGİ AKIŞLARI**

### **ÖZET**

Her bir paydaş için, tasarımdan yapım aşamasına kadarki süreçte, tasarım girdilerinin sentezi konusu gün geçtikçe daha önemli hale gelmektedir. Özellikle Mimarlık, Mühendislik, İnşaat sektörü (AEC), başta disiplinler arası bilgi akışını yönetmekle birlikte, tasarım ürününü, tasarıma ait temsillerinin dönüşümlerini ve koordinasyonunu sağlayabilmek için olması gerekenden fazla zaman harcarlar. Flager ve diğ.(2009), mimarlar ve mühendislerin birlikte çalıştığı bir projeye ait, üretim ve analiz süreçlerinden oluşan bir tasarım döngüsünün tamamlanmasının bir aydan fazla sürdüğünden bahsetmektedirler. Temel sebeplerin başında, tasarım sürecinde kısıtlamalara neden olan farklı disiplinlerdeki paydaşların kullandıkları yazılım araçları yer almaktadır. Mimarlar ve mühendisler arasında şekillenen tasarım sürecinin, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)/Yapı Bilgisi Modelleme (YBM) aracılığıyla oluşturulan tasarım çıktılarının etkin bir şekilde paylaşılmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Parthenios'a (2005) göre, kavramsal tasarım 'doğrusal olmayan' olarak tanımlanır ve birbiriyle etkileşime giren alt süreçlerden oluşur. Buna bağlı olarak; tasarım adımları arasındaki ilişkilerin anlaşılması, kısıtların farkındalığı, tasarımcı/karar verme değişkenlerinin irdelenmesi gibi tasarım süreci parametrelerinin anlaşılmasının, benzer projelerin süreçlerinin yönetilmesini iyileştireceği ve analiz edilmesini kolaylaştıracağı öngörülmektedir. Bunun da, belirli bir tasarımın disiplinler arası parametrik ilişkilerinin çözülmesiyle mümkün olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda, yapılan disiplinler arası ilişkisel çözümlemelerin; tasarımcıların tasarım dışında harcadıkları zamanı asgari seviyeye düşürerek tasarım alternatiflerine daha fazla zaman ayırmalarına imkan sağlayacağı hedeflenmektedir.

Bununla birlikte, AEC sektörünün, YBM araçlarını kullanma eğilimi gün geçtikçe artmaktadır. Endüstriyel tesis projelerinde de benzer eğilim görülmektedir. Ek olarak, endüstriyel tesis projeleri, disiplinler arası tasarım pratiği olan ve erken tasarım sürecinden inşaat sürecine kadarki süreyi kapsayan Mühendislik, Satın alma ve Yapım olarak tercih edilmektedir. Bu bağlamda, tasarım süreci aşamalarında mimari, inşaat, mekanik, elektrik, enstrüman, otomasyon vb. disiplinler yer almaktadır. Mühendislik, Satın alma ve Yapım olarak yapılması istenen projelerin, tasarım çıktılarının verimli bir şekilde yönetilmesinin ve projenin başından sonuna takibinin mümkün olmasının önemi görülmektedir. YBM araçlarının son yıllardaki hızlı ve ivmeli gelişimi, paydaşların tasarım parametrelerini kontrol etmelerine ve eşgüdümlü olarak dijital ortamda çalışmalarını sağlamaktadır. Ancak, YBM araçlarının her disiplin için kullanılabilirliği göz önüne alındığında, disiplinlerin farklı tasarım araçlarını tercih ettiği gözlemlenmiştir. AEC sektöründe kullanılan tasarım aracı sayısının, tasarım girdi/çıktısı ve bilgi akışı için gereken zamanı önemli ölçüde arttırdığı düşünülmektedir. 2 boyutlu (2D) temsillerden, 3 boyutlu (3D) temsillere ve yazılı olandan simülasyona veri tiplerinin/dönüşümünün önemi, bilgi akış yönü için kritiktir.

Bütün bunlara ek olarak, tasarım değişkenleri tasarım sürecinde mesleki deneyime, insan-bilgisayar etkileşimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Tez kapsamında, CAD araçlarından YBM araçlarına geçişin tasarım sürecine olan etkilerinin gözlemlenmesi amacıyla, tasarım sürecinde farklı CAD/YBM araçlarını kullanan mimarlar-mühendisler arasındaki tasarım çıktılarının disiplinler arası aktarımı analiz edilerek, tasarımcıların ana tasarım kararlarını almak için tüm tasarım girdilerinin sentezlendiği, kavramsal tasarım evresinden inşaat evresine kadar olan süre incelenmiştir. Sürenin incelenmesi sonucu, endüstriyel tesis projelerinde kullanılmak üzere bir süreç analizi oluşturmak hedeflenmektedir. Bu bağlamda, iki büyük işlevsel olarak benzer olup farklı tasarım araçları kullanılarak yapılan iki endüstriyel tesis projeleri kapsamında uygulanan iki büyük yapı seçilmiştir. Projelerden ikisi de 2D/3D CAD ve YBM araçlarının senteziyle tasarlanmıştır. Tasarım araçlarındaki 2D/3D CAD araçlarından YBM araçlarına geçişin tasarım sürecine etkisi incelenmiştir. YBM araçlarına geçiş, mimari, inşaat, elektrik, mekanik disiplinlerini kapsamakta olup, borulama, enstrüman, proses disiplinlerini kapsamamaktadır. Projeler; mimari, inşaat, elektrik, mekanik olarak 2D CAD ve YBM araçları kullanılarak oluşturulurken, borulama, enstrüman, proses disiplinlerinde 2D/3D CAD araçları kullanılarak oluşturulmuştur. Çözümlemeler için, projelerin başlangıcından sonuna kadar projelerde çalışmış olan mimarın/mimarların ve mühendislerin retrospektif gözlemleri, proje dökümanları, kullanılan yazılım geçmişi verileri, toplantı notları, proje ilerleme raporları, proje planlama raporları kullanılmıştır. Bu veriler baz alınarak, çözümlenen tasarım adımlarını ve ek olarak veri tipini/dönüşümündeki değişkenliği gösteren süreç çözümlemeleri oluşturulmuştur. Tasarım süreçlerinin segmentlere ayrılması sonucu; tasarım kararlarının alınmasında rol alan pasif ve aktif aktörlerin karar almak üzere bir araya gelme sıklığının, kritik ya da kritik olmayan kararların ve aralarındaki ilişkilerin belirlenmesi, bu nedenle oluşan düğümlerin ve yönlü bağlantıların kurulmasıyla sürecin ağ modelleri oluşturularak karmaşık projelerin çizelgelerine bağlı olarak çıkarımlar üretmek amaçlanmaktadır.

## **ENHANCING MULTIDISCIPLINARY DESIGN PROCESS IN THE CONTEXT OF INDUSTRIAL PLANT PROJECTS: ACTORS, TOOLS, FLOWS**

### **SUMMARY**

With increasing concerns about combining data inputs for design from conceptual phase to construction phase is essential to each and every related stakeholders. Especially Architecture, Engineering, Construction industry's (AEC) users generally spend their time to manage information throughout disciplines, containing digital data transformation and management. transforming and coordinating data and representations of design. Flager, Welle, Bansal, Soremekun and Haymaker states that it is taking more than a month to finalize a design cycle for architects and engineers, including generate and analyze a single design alternative. One of the main reason is tools used by different disciplines which cause limitations in the process. Design process of architects to engineers depend on linking systems and design outputs effectively. According to Parthenios (2005), conceptual design is defined as non-linear and comprises of sub-processes that interacts each other. Understanding the relations, constraints, human/decision variables, parameters throughout whole process of design will provide better understanding for further work/studies. This could be possible by decoding parametric relationship between disciplines for specific design outputs. Decoding the design process could be used as a framework for further works by optimizing design process to allow designers to spend their time for create more design alternatives rather than spend their time for non-design tasks.

On the other hand, AEC industry is currently executing projects as Engineering, Procurement and Construction (EPC) projects by using integrated digital systems such as Building Information Modelling (BIM). As a project execution method, EPC's practice area is Industrial Plant Projects. Industrial plant projects are well-defined yet complex projects in terms of plurality of stakeholders and scale factor. From the conceptual design phase to construction phase, it is tangled. To manage all of the phases of the project and verifying constant design parameters throughout disciplines requires integrated, dynamic digital softwares. Mainly this phases acquire efficient data management throughout architectural, structural, mechanical, electrical, instrumentation and automation disciplines. The improvement of BIM tools enable designers to control and work collaboratively with design parameters virtually. Yet, considering a variety of design tools used during design process are differentiate between disciplines. The number of tools used in the industry can significantly enhance the time required for flow of information. The importance of data types/transformation from 2D to 3D or from text to simulation is critical for direction of information flow. Additionally, design variables often change during design process based on professional expertise, human-computer interaction, etc.

Moreover, number of disciplines expand regarding project scales. It is clearly observed that multidisciplinary projects depend on several parameters which are stakeholders, project execution strategy, information flow and scale, function, location, softwares. Throughout these parameters, it is better to evaluate project at many points. Basis of this research are all these variables and issues construction industry facing and adaptation of companies to executing large-scaled EPC projects. This execution strategy is common application in industrial plant projects industry, customers expect EPC contractors to provide sustainable models and informations in the lifecycle of plant itself. This is a imperative term, which make companies to adapt new softwares and evolve its own way of design and project process methods. According to studies for industrial plant projects, it is accepted that process and related disciplines are main actors. Yet, it is multidisciplinary projects which have pre-defined informations provided by customer or Front-End-Engineering-Design (FEED) companies. There are pre-defined, ill-defined informations at the beginning. During project process it is obliged to collaborate with stakeholders to manage design problems effectively.

Within the scope of the this research, multidisciplinary, large scaled EPC projects are investigated in the perspective of design outputs, data types, role of designers, stakeholders and data flows thorough disciplines during design process. In order to do that, case studies are selected according to author's personal experiences and observations. This was the main reason of research motivation. Selected projects for case studies were the ones author participated from the beginning of the projects until construction phase. Even if there are similar projects author's company are doing, company does not have any standarts, optimization methods or know-how. Similarity between the projects author's company is doing, made it possible to collect huge amount of data. For data collection, meetings with different disciplines' leads, managers, customers, company data base, documentation, softwares' logs, BIM models, 2D / 3D CAD drawings, integrated facility management models, interviewing with collaborated stakeholders, local standarts and regulations. With these data enabled to examine project process in many perspective.

As a result of the project process decoding, it is aimed to create a framework to be used for similar projects processes. In this context, the two large scaled, functionally and project execution method similar industrial plant projects are decoded within the scope of using different design tools. Both of the projects were designed with the synthesis of 2D / 3D CAD and BIM tools. For data collection, retrospective observations of the author who worked in the projects from the beginning to the end of the projects, the project documents, the data of the BIM tool and other integrated design tools' history, the meeting notes, the project progress reports and the project planning reports were used. Based on these datas and decodings project process' are comprehensively evaluated. Several outcomes are the gathering frequency of passive and active actors to make design decisions, determination of the critical, non-critical decisions and the relationships between disciplines, transformation of data types.

In conclusion, with this master thesis study, it is aimed to ensure framework for the companies which are executing industrial plant projects as EPC. New approaches could be provided by investigating existing situation, comprehensive evaluation of the efficiency of design and information workflows, project organizations, stakeholders and their part for making decisions. To optimizing project process by examining completed projects by evaluating meta data will describe new approaches for design management.

For this purpose, it is aimed to compare case studies and accordingly provide qualitative information to creating a project management / execution plan to contribute new relational analyses that is developing the industry in order to minimize the time and man power for projects.



## 1. GİRİŞ

Tarihsel olarak tasarım, her dönemin çizim tekniklerinden ve teknolojisinden etkilenen, dinamik ve sürekli yenilenen bir süreçtir. Geleneksel çizim ortamı tasarım, yerini 20. Yüzyılın ikinci yarısında Bilgisayar Destekli Tasarım'a (CAD) bırakarak , tasarım sürecini düzenlemeye ve revizyonuna olanak sağlamıştır (Schoonmaker, 2002). Bununla birlikte, CAD araçları, karmaşık çözümlerin keşfini sınırlandırarak değişimi desteklememekte ve değişikliklerin sürecini uzatmaya neden olmaktadır. Ek olarak, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) araçları, tasarım ürününün parametrik modelinin temsili konusunda yetersiz kalmaktadır (Flager, Welle, Bansal, Soremekun, 2009). Tasarım ürünü özelinde yapılan geometrik ve geometrik olmayan parametrelerini değiştirmenin, Bilgisayar Destekli Tasarım araçlarıyla mümkün olmadığını yapılan incelemeler göstermektedir (Shah ve Mantyla, 1995; Shea, Aish, 2005).

21. Yüzyılın başlarında Yapı Bilgi Modelleme (BIM) paradigmasının ortaya atılmasıyla, tasarım süreci değişmiş ve tüm tasarım bilgilerinin üretimine ve entegrasyonuna imkan sağlayan bir dönem başlamıştır. Önceleri iki boyutla sınırları belirlenmiş olan tasarım ürünü, BIM'in varlığıyla bina ve bileşenlerinin tüm gerekli bilgilerini içeren üç boyutlu temsiline dönüşmüştür (Eastman, 2008). Avantajlarının yanı sıra, Yapı Bilgi Modelleme (BIM) yaklaşımı karmaşık geometrileri oluşturma ve karmaşık tasarım değişikliklerini desteklememe gibi birtakım dezavantajlara sahiptir. Bunlara rağmen, Yapı Bilgi Modelleme araçları günümüzde Mimarlık, Mühendislik, Satın alma kapsamında yapılan büyük ölçekli projelerde, mimari, inşaat, mekanik, elektrik disiplinlerinin işbirlikçi ve eşzamanlı çalışmalarını sağladığı için tercih edilmektedirler.

Tasarımdan inşaat sürecine ilerleyen projelerde, disiplinler arası birden fazla tasarım araçları kullanılmaktadır. Kullanılan araçlar arasındaki çeşitlilik arttıkça veri alışverişleri için harcanan zaman ve emek, projelerin süre kısıtı nedeniyle alınması gerekli kritik kararların alınma süresinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, tasarım problemlerine sunulması gereken çözümlerin minimuma indirgenmesine ve tasarımda rol alan aktörlerin zamanlarının çoğunu koordinasyona harcamalarına neden

olmaktadır. Flager ve Haymaker'a göre (2007), mimar ve mühendislerin bir tasarım alternatifi oluşturmaları bir aydan fazla sürmektedir. Yapı Bilgi Modelleme ve Bilgisayar Destekli Tasarım araçlarının kombinasyonunun gerekli olduğu durumlarda, zaman kaybının kaçınılmaz olduğu sonucuna varılabilir. Özellikle disiplin bazlı arayüz tercihleri, veri tiplerinde artışı ve tasarım girdi-çıktılarının sürekli dönüşümünü zorunlu kılmaktadır. Disiplinler arası tasarım kararlarının senkronize ve asenkronize olarak alındığı göz önünde bulundurulduğunda, tasarım araçları arasındaki bilgi akışını en uygun seviyede gerçekleştirmek tasarım kararlarını almada rolü büyüktür.

Proje paydaşları arasında efektif veri paylaşımının, süreci verimli hale getirmesi öngörülmektedir. Disiplinler arası çalışma pratiğinin tarihi ve günümüzdeki uygulamalar incelendiğinde, proje entegrasyonunun gerekliliği gözlemlenmektedir. Bu bağlamda hazırlanan iş planları doğrusal yapıda kurgulanıp, kırılma noktalarını içermemektedir.

Tez kapsamında, disiplinler arası tasarım kararlarının analizi, tasarım araçlarının farklılıkları ve dönüşümleri incelenerek analiz edilmektedir. Genel olarak bilgi akışlarının çözümlemelerinin, proje sürecinde alınan kararların zamana bağlı segmentlerine ayrılarak oluşturulan çıkarımların benzer nitelikteki projeler için yaklaşım önerisi olarak kullanılabilirliği araştırılmaktadır.

## **1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı**

Projelerin ön, detay tasarım, satın alma ve yapım aşamalarında disiplinler arası etkileşimin yoğunluğu ve tasarımın başından sonuna süreçlerin rasyonalize edilememesinden kaynaklı gereksiz zaman ve emek kayıpları olduğu tespit edilmektedir. Disiplin bazlı farklı tasarım araçlarının tercih edilmesiyle bağlantılı olarak paydaşlar arasındaki veri akışı kontrolüne ve entegrasyonuna ihtiyaç olduğu gözlemlenmektedir. Problem olarak belirlenen, kullanıcıların işgücü yoğunluğu ve tasarım adımlarının şekillenmesinde rol alan pasif ve aktif paydaşlardan gelen bilgilerin, firma içinde sentezlenmesine harcanan zamanı minimize edebilmek, uygulanan projelerden elde edilen bilgi birikimini ileriki projelerde kullanabilmek üzerine bir yaklaşım önerisi hedeflenmektedir. Yöntem olarak, YBM araçları ve CAD araçları kullanıcıları arasındaki bilgi akışlarının analizlerinden ve temsillerinden elde edilecek çözümlemeler sonucu örüntülerin oluşturulması hipotezi üzerinden tez çalışması yürütülmektedir. Bu çalışma sonucunda, projelendirme süreçlerinden inşaat

sürecine devam eden doğrusal olmayan bilgi akışlarının tasarım kararları ve veri tipleri perspektifinden analizlerinin oluşturularak, işlevsel olarak benzer projelerle karşılaşıldığında belirli bir bilgi birikimi oluşturulmaya hedeflenmiştir. Bu bağlamda; disiplinlerin çalışma şekilleri, karar alma mekanizmaları, birbirlerine etkileri, kullandıkları araçlar, projelendirmede etken olan paydaşlardan gelen ön ve süreç içerisinde gelen bilgiler değerlendirilmektedir ve mevcut yaklaşımlar sonucu süreçlerin otomatize edilememiş olmasından kaynaklı, paydaşların harcadığı zaman ve yoğun iş gücü problem olarak tespit edilip, uygulanan projelerden elde edilecek analizler ve çözümlemelerden çıkarımlar değerlendirilmektedir.

Araştırma kapsamında aşağıdaki şu sorulara cevap aranmaktadır (Şekil 1.1).

1. Büyük ölçekli projelerin, projelendirme süreçlerinde, disiplinler arası çalışmanın sürece etkileri nelerdir?
2. Müşteri ve paydaşlar arasında senkronize&asenkronize alınan kararların çözümlemelerinin görsel temsillerini oluşturmak mümkün müdür?
3. Mevcut kullanılan YBM ve CAD araçları tercihlerinin kullanıcılar arasında karar alma süreçlerine etkileri nelerdir?
4. Firma içinde projeler aracılığıyla elde edilen bilgi birikiminin, gelecekteki projeler için kullanılması mümkün müdür?
5. Proje süreçleri adımlarının ve tasarım araçlarının tanımlı hale gelmesi sonucu adapte edilebilir çıkarımlar üretmek söz konusu olabilir mi?

| Araştırma Alt Soruları                                                                                                                       | Veri Kaynakları                                                                                                      | Öngörülen bulgular / Araştırma Amacı                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -Büyük ölçekli projelerin, projelendirme süreçlerinde, disiplinler arası çalışmanın sürece etkileri nelerdir?                                | -Proje planlaması<br>-Organizasyon şemaları<br>-İş tanımı ve kapsamı                                                 | -Mimar ve mühendisler arasındaki bilgi akışlarının belirlenmesi<br>-Harcanan zaman ve iş gücünü minimize etmeye yönelik yaklaşım önerileri                                                                                                                                 |
| -Müşteri ve paydaşlar arasında senkronize&asenkronize alınan kararların çözümlemelerinin görsel temsillerini oluşturmak mümkün müdür?        | -Toplantı notları<br>-Mailler<br>-Proje ilerleme raporları<br>-Proje ekibiyle yapılan görüşmel-                      | -Proje bazlı oluşan diyagramların benzerlik ve farklılıklarının okunur hale gelmesi<br>-Yazılı, sözlü verilerin yalın halini oluşturmak                                                                                                                                    |
| -Mevcut kullanılan YBM ve CAD araçları tercihlerinin kullanıcılar arasında karar alma süreçlerine etkileri nelerdir?                         | -Modeller, çizimler, listeler,metrajlar vb.<br>-Program kullanım geçmiş kayıtları                                    | -Veri oluşturma, düzenleme, değiştirme ve dönüştürme yerlerinin tespit edilmesi sonucu bu dönüşümleri optimize etmek<br>-Farklı arayüzlerde oluşturulan veri biçimlerinin senkronize olmaması nedeniyle karar almanın sektöre uğratmamak için gerekliliklerin belirlenmesi |
| -Şirket içinde projeler aracılığıyla elde edilen bilgi birikiminin, gelecekteki projeler için kullanılması mümkün müdür?                     | -Firmanın bilgi paylaşmak ve depolamak için kullandığı sunucu ve sistem                                              | -Projede alınan kararlar, kritik revizyonlar, satın almadaki gecikme, zaman ve maliyet kayıplarını gidermek amacıyla vaka çalışmalarındaki benzerlikler doğrultusunda yeni stratejiler geliştirmek                                                                         |
| -Proje süreçleri adımlarının ve tasarım araçlarının tanımlı hale gelmesi sonucu adapte edilebilir çıkarımlar üretmek söz konusu olabilir mi? | -Farklı disiplinlerden müdür, grup liderleriyle görüşülerek hazırlanan proje süreci planı<br>-Kullanıcılarla görüşme | -Tasarım araçları, bilgi türleri, bilginin akış yönleri, disiplinler arası ilişkilerin tanımlanması ve süreç tanımları yapılan vaka çalışmalarındaki yaklaşımın başka projelere de uygulanabileceği düşünülmektedir                                                        |

#### Araştırma Sorusu

Çok disiplinli yürütülen büyük ölçekli projelerde, tasarım kararlarının şekillenmesinde rol alan pasif ve aktif paydaşlardan gelen bilgilerin, firma içinde sentezlenmesine harcanan zamanı minimize edebilmek amacıyla uygulanan projelerden elde edilen bilgi birikimini ileriki projelerde kullanabilmek mümkün

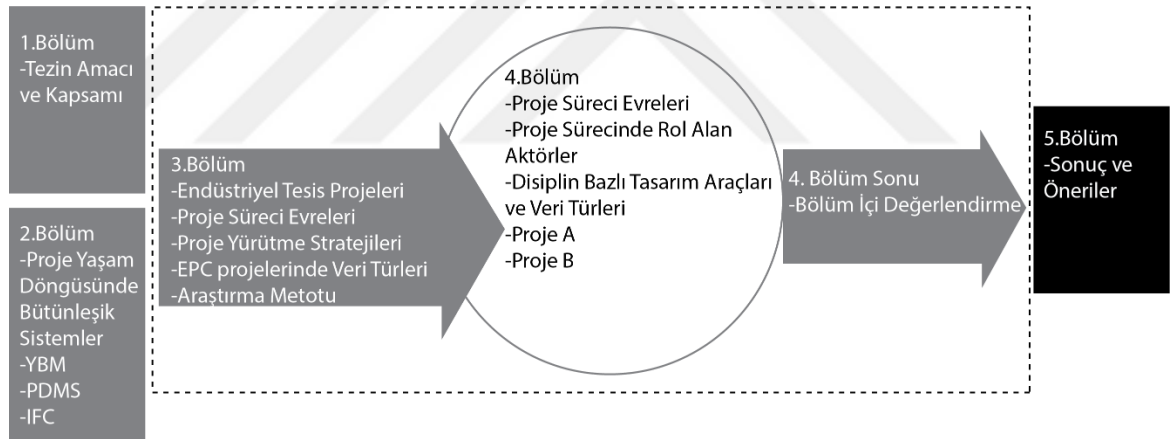
### Şekil 1.1 : Araştırma soruları.

Tez kapsamında, yoğun olarak ele alınan konu; disiplinler arası bütüncül olan projelendirme süreçlerindeki bilgi akışlarının zamana bağlı segmentlere ayrılmasına bağlı olarak, gerekli bilgi birikimlerinden çıkarımlar oluşturmaktır. Mevcut firma içi uygulamaların doğrusal olmaması ve YBM ve CAD araçlarının birlikte kullanımından doğan karmaşıklık göz önünde bulundurularak, EPC kapsamında yapılan spesifik işler için kullanılabilecek ilişkisel analiz çıktıları oluşturmak amacı ile araştırma yapılmaktadır. Analizlerin görsel temsillerinin oluşturulması, benzer nitelikteki vaka çalışmaları sonucu elde edilen verilerin okunabilirliği açısından önem arz etmektedir. Yapılan araştırma sonucu elde edilen verilerle, firma içi uygulamaların daha verimli hale geleceği ve benzer işler yapan firmalar için faydalı olacağı düşünülmektedir.

## 1.2 Tezin Yöntemi

Tez kapsamında, tasarım hareketlerinin araştırılması için önerilen araştırma yöntemlerinden biri olan vaka çalışmaları üzerinden ilerlemektedir. İlk olarak literatür taraması ve güncel uygulamaların sentezlenmesi ile değerlendirilmektedir. Araştırmalardan elde edilen sonuçlar, problem olarak tespit edilen bulgulardan yeni projeler için bilgi birikimi oluşturmak üzere kullanılmaktadır. Mevcut durum analizlerinden oluşan araştırma yöntemi, proje sürecinde gözlenen iç ve dış bilgi

akışları ve yönleri, tasarım araçları arasındaki veri dönüşümleri, tasarım kararlarına dayalı tasarı sürecini düğüm noktalarına ayırma çerçevesinde değerlendirilmektedir. Vaka çalışmaları olarak belirlenen projeler, büyük ölçekli petrol-doğalgaz tesislerinde yapılmış binalardan oluşmaktadır. Mimarlar ve mühendisler arasındaki ilişkinin yoğunluğu, tasarım araçları arasındaki farklılıkların sebebi ve üçüncü tarafların varlığı projelerin seçimindeki ana etmenlerdendir. Projeler kapsamında yapılan işlerin tamamı yerine tekil binaların seçimi ile, projenin ön, detay tasarım, satın alma ve yapım aşamalarının incelenerek paydaşlar arasındaki ilişkisel analizlerin daha detaylı yapılmasının mümkün olduğu düşünülmektedir. Ek olarak, projelerin başından sonuna araştırmacının süreçte yer alması, araştırmacıya retrospektif gözlemlerini paylaşmasını, firma içi dengeleri daha kapsayıcı tanımlamasını sağlamaktadır. Ayrıca, veri toplama yöntemi olarak, proje dökümanları, sayısal modeller, sözlü görüşmeler ve araştırmacının kendi deneyimi vardır. EPC kapsamında alınan işlerin benzerliği gözlemlendiği için, ileride alınacak projeler için yapılan analizlerin kullanılabileceği düşünülmektedir.



**Şekil 1.2 : Tezin bölümleri.**

Bu amaçla tez 5 bölümde ele alınmaktadır (Şekil 1.2.). İlk bölümde araştırmanın nedenleri, amaç ve kapsamı, yöntemi açıklanmaktadır. İkinci bölümde proje yaşam döngüsünde bütünleşik sistemler irdelenerek büyük ölçekli projelerde tercih edilmesi ve işbirlikli tasarıma elverişliliği, bilgi türlerine ve değişimine değinilerek incelenmektedir. Ayrıca, disiplinler arası ilişkisel durumların incelenmesi için, YBM araçları ile birlikte çalışabilirlik üzerinden, bütünleşik sistemler incelenmektedir. YBM tanımlanarak proje süreçlerindeki kullanımı değerlendirilmektedir. Üçüncü bölümde, Endüstriyel Tesis projeleriyle ilgili değişkenlerden bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde vaka çalışmaları ve disiplinler arası interfazlar, çözümlemeler

değerlendirilmektedir. Beşinci bölümde ise elde edilen analizlerin, çözümlemelerin tezin amacına yönelik değerlendirilmesi yapılmaktadır.



## **2. PROJE YAŞAM DÖNGÜSÜNDE BÜTÜNLEŞİK SİSTEMLER**

Son yıllarda iş yapış şeklinde meydana gelen hızlı değişiklikler, bilgi teknolojisinin kullanımı, müşteri beklentilerindeki artış; yenilikçi, verimli ve entegre teknolojilere duyulan ihtiyacı artırmıştır. Bilgisayar kullanımının her sektörde özelleşmiş olmasıyla birlikte, proje süreçleri gitgide tümüyle dijital ortamlar aracılığıyla kurgulanmaktadır. Günümüzde ise 3D tasarım modeli odağında proje bilgi kaynaklarının entegrasyonunu sağlayan tasarım ortamları kullanılmaktadır. Mimarlar ve mühendisler arasında amaca yönelik tercih edilen arayüzler projelerin ön tasarım, şematik tasarım, detaylandırma, satın alma, yapım aşamalarındaki bilgiyi üretme ve etkin bir biçimde paylaşma amacına hizmet ettiği düşünülmektedir. Bu bağlamda incelendiğinde, benzer özelliklerde kurgulanmış nesne tabanlı (object-oriented) veritabanları kullanıldığı gözlemlenmektedir. Söz konusu veritabanları, 3D modellerden üretilen veriler çerçevesinde proje süreçlerini şekillendiren farklı alanlarda kullanılan bütünleşik sistemlerdir. Bu sistemleri anlamak; disiplinler arası ya da disiplin bazlı karşılaşılan problemleri, engelleri, kısıtları değerlendirebilmek ve gelişim yönünü gözlemleyebilmek için fikir vermektedir.

### **2.1 Yapı Bilgi Modelleme (YBM)**

Geleneksel tasarlama yaklaşımının çizgisel olarak temsilinin, tasarım ve proje yönetim bağlamlarında değerlendirildiğinde yeterli olmadığı düşünülmekteydi. 2D çizgisel temsiller sonrası ortaya çıkan 3D katı modelleme programları sonucunda entegre ve işbirlikçi çalışabilen yazılım ihtiyacı başlamıştır. Bunun sonucunda, projeye ait üç boyutlu bileşenlerin bilgi odaklı dinamik bir veritabanına bağlanması söz konusu olmuştur. Eastman (1974), tasarım, inşaat ve inşaat maliyetlerine dikkat çekerek, mevcut yöntemlere yenilikçi bir bakış açısı yaratan ve Yapı Bilgi Modelleme'nin (YBM) temellerini oluşturan bir sistemden bahsetmektedir. Yazılımın gelişimi 1980'lerde başlamış olup, 2000'lerden beridir de tasarımcılar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Eastman (2011), Yapı Bilgi Modelleme'yi modellerin bilgi taşıyan

alt bileşenlerinden ve diğer bileşenlerle ilişkilerini anlayan akıllı nesnelerle temsil edilmesini sağladığından bahsetmektedir.

YBM, konsept tasarım aşamasından bakım aşamasına kadarki süreyi kapsayan proje yaşam döngüsü boyunca kullanılabilen, bilgiyi üretme ve yönetme imkanı sağlayan bir yöntemdir.

Geometrik temsili, verilerle birleştiren bütünleşik temsil üretimini destekleyen bir yöntemdir; fakat bir tasarım felsefesi olarak değerlendirilmemelidir ve yapıyı özelleştirme şekli de değildir (Aish, 2013). Genel olarak YBM, akıllı yapı bileşenlerinin (duvarlar, döşemeler, pencereler, merdivenler, vb.) öznitelik verilerini (özellik, yapı, kullanım, vb.) barındıran ve birbirleriyle ilişkilerini tanıyarak değişikliklere izin veren özelliktedir (Eastman ve diğ., 2008). Bu nedenle, tüm bina objelerindeki özellikler, ilişkiler ve bilgiler, birden fazla katılımcı kullanımına imkan sağlayan sanal modelde kullanıcılar tarafından oluşturulabilmekte ve saklanmaktadır. Bunların yanı sıra, YBM geometri, coğrafi bilgi, mekansal ilişkiler, malzeme bilgileri, maliyet ve analize imkan sağlamaktadır. Tek bir bilgi modeli üzerinden şekillenen proje süreci, ortak bir veri tabanına erişime imkan verip değişikliklerle dinamik, kontrollü ilerleyen bir süreç tanımlamaktadır.

Aynı zamanda, işbirlikçi bir sistem olma özelliği taşıyan YBM metodolojisinin, projenin başlangıcından itibaren tasarım, yapım gibi tüm paydaşlara sağladığı avantajların başında dijital koordine ve tutarlı şekilde temsiller oluşturma gelir. İki boyutlu çizgiler yerine, üç boyutlu parametrik veriler girilerek oluşturulan katı nesneleri barındırmaktadır. Nesne tabanlı (object-oriented) bütünleşik bir sistem olan YBM, bir veri havuzudur. YBM'nin içeriğini Haagenrud ve diğerleri (2008) aşağıdaki gibi sıralamaktadırlar:

1. Fiziksel nesneler (pencere, kolon, döşeme, vb.),
2. Mahaller (tüm iç ve dış),
3. Tasarım, yapım ve bakım süreçleri,
4. Paydaşlar (kullanıcılar, firmalar, organizasyonlar),
5. Nesneler, yapı bileşenler arasındaki ilişkiler.

Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat alanlarında kullanım oranı gün geçtikçe artan YBM yazılımları, proje süreçlerinde kontrolü mümkün kılarak bu süreçte disiplinler arası etkileşime olanak sağlamaktadır. Günümüzde kullanılan yazılımlar; Revit, Allplan,

Archicad, vb. bu etkileşime olanak sağlamakla birlikte başka sistemlerle de entegre olabilme özelliği taşımaktadırlar. Dolayısıyla, mevcut yazılımların, birden fazla ve farklı kullanıcıya hitap ettiği kabul edilmektedir. YBM yazılımlarının başında, özellikle mimarlar tarafından kullanımı yaygın olarak tercih edilen Revit Architecture gelmektedir. Tasarım araçlarının başında Revit Architecture gelmesinin nedeni, mimari tasarımı destekleyen nitelikte olan Revit Structure ve Revit MEP araçlarının varlığı ve arayüz kullanımının kolaylığıdır.

Tasarımdan yapım sürecine kadar uzanan proje yaşam döngüsünde YBM araçlarının kullanımının, verimliliği ve optimizasyonu arttırdığı gözlemlenmektedir. Sürecin her aşamasına müdahale etme olanağı sağlayarak, paydaşlar için kontrol edilebilir bir süreç tanımlamaktadır. Projenin işlevinin, ölçeğinin ve tasarımda rol alan aktörlerin sayısı ve rolleri projenin başlangıcında değerlendirilmesi gereken faktörlerdendir. Birden fazla disiplin ve kullanıcıların müdahale edebildiği ve bilgi üretebildiği bir ortamda veri üretim miktarındaki artış, YBM süreçlerinin yönetilmesini güçleştirmektedir. Proje süreçlerini, verimli ve doğru bir şekilde yönetebilmek için belirli standartlara ve proje planı yürütme tariflerine ihtiyaç duyulmaktadır.

### **2.1.1 YBM temsil düzeyleri**

YBM'nin kullanım amacı doğrultusunda, farklı proje aşamalarında modelde kullanılacak nesnelerin detay seviyesi (LOD-Level of Detail), modellemenin boyutu ve sürecin olgunluk seviyesinin tanımlanması gerekmektedir.

#### **2.1.1.1 Projenin detay seviyesi**

Yapı Bilgi Modellemesi kullanılarak oluşturulan projelerin, projeleri yürütme ve teslim aşaması için bilgi yönetimi şartnamesine göre (Public Available Specification-PAS 1192- 2), gerekli iki bileşen “tanım düzeyi” olarak açıklanır:

1. Modellerin grafik içeriği ile ilgili olan model detay düzeyleri: LOD (Level of Detail)
2. Modellerin grafiksel olmayan içeriği ile ilgili model bilgisi düzeyleri: LOI (Level of Information) (Url-1).

AIA (American Institute of Architects) komitesi, 2008 yılında yayınladığı YBM protokolünde, “LOD” kavramını kullanarak seviyelerin tanımlamasını yapmıştır. Dökümanda LOD seviyeleri 5 grupta ele alınmıştır (Şekil 2.1).

Modellerin hangi detayla hazırlanacağına belirli standartlara göre karar vermedeki temel amaç, YBM modelindeki verilerin nasıl ilerleyeceğini açıklayarak karışıklıkları gidermek ve daha kaliteli projeler üretmektir. Amaca hizmet etmek ve gereksiz veri yükünden kurtulabilmek için istenilen LOD seviyelerine göre modelleme yapılması gerekir (Kensek, 2014).

**LOD 100:** Model elemanı, model içerisinde bir sembol veya başka bir genel temsil ile grafiksel olarak gösterilir. Kavramsal bir model oluşturma amacı vardır.

**LOD 200:** Model elemanı, grafiksel olarak genel bir sistem, nesne olarak yaklaşık boyut, geometri, miktar, konum ve yönlendirme ile temsil edilir. Grafik olmayan veri de model elemanlarına eklenebilir.

**LOD 300:** Model elemanı, LOD 200’e ek olarak kesin boyut, geometri, miktar, konum ve yönlendirme bilgileri vardır. Bu seviyede, inşaat için gerekli çizimler, maliyet tahminleri ve birtakım analizler yapmak mümkündür. Detay tasarım aşamasına hizmet eden bir seviyedir.

**LOD 400:** Model elemanları, kesin miktar, boyut, geometri, konum ve yönelime ek olarak eksiksiz imalat, montaj ve üretici firma bilgilerini de içermektedir. İmalat ve montaj aşamalarına hizmet eden bir seviye olma özelliğini göstermektedir.

**LOD 500:** Model elemanları, tesisin bakımı ve işletimi için düzenlenmiş olup, kesin bilgiler içermektedir. Modeldeki nesneler inşaat için finalize edilmiştir.

Projenin ilerleyen evrelerinde detay seviyeleri artmaktadır, konsept tasarım aşamasında tanımlanan bilgiler yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle işverenin, modelin geliştirilmesinin her adımında gerekli olan ayrıntı düzeyini tanımlaması ve gerekli şartnamelerle açıklaması gerekmektedir.

## LEVEL of DEVELOPMENT

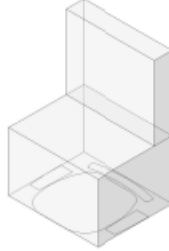
LOD 100

LOD 200

LOD 300

LOD 400

LOD 500



Concept (Presentation)

Design Development

Documentation

Construction

Facilities Management

|                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DESCRIPTION:</b><br><b>Office Chair</b><br>Arms, Wheels<br><b>WIDTH:</b><br><b>DEPTH:</b><br><b>HEIGHT:</b><br><b>MANUFACTURER:</b><br>Herman Miller, Inc.<br><b>MODEL:</b><br>Mirra<br><b>LOD:</b><br><b>100</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DESCRIPTION:</b><br><b>Office Chair</b><br>Arms, Wheels<br><b>WIDTH:</b><br><b>700</b><br><b>DEPTH:</b><br><b>450</b><br><b>HEIGHT:</b><br><b>1100</b><br><b>MANUFACTURER:</b><br>Herman Miller, Inc.<br><b>MODEL:</b><br>Mirra<br><b>LOD:</b><br><b>200</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DESCRIPTION:</b><br><b>Office Chair</b><br>Arms, Wheels<br><b>WIDTH:</b><br><b>700</b><br><b>DEPTH:</b><br><b>450</b><br><b>HEIGHT:</b><br><b>1100</b><br><b>MANUFACTURER:</b><br>Herman Miller, Inc.<br><b>MODEL:</b><br>Mirra<br><b>LOD:</b><br><b>300</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DESCRIPTION:</b><br><b>Office Chair</b><br>Arms, Wheels<br><b>WIDTH:</b><br><b>685</b><br><b>DEPTH:</b><br><b>430</b><br><b>HEIGHT:</b><br><b>1085</b><br><b>MANUFACTURER:</b><br>Herman Miller, Inc.<br><b>MODEL:</b><br>Mirra<br><b>LOD:</b><br><b>400</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DESCRIPTION:</b><br><b>Office Chair</b><br>Arms, Wheels<br><b>WIDTH:</b><br><b>685</b><br><b>DEPTH:</b><br><b>430</b><br><b>HEIGHT:</b><br><b>1085</b><br><b>MANUFACTURER:</b><br>Herman Miller, Inc.<br><b>MODEL:</b><br>Mirra<br><b>PURCHASE DATE:</b><br><b>01/02/2013</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

(Only data in red is useable)

practicalBIM.net © 2013

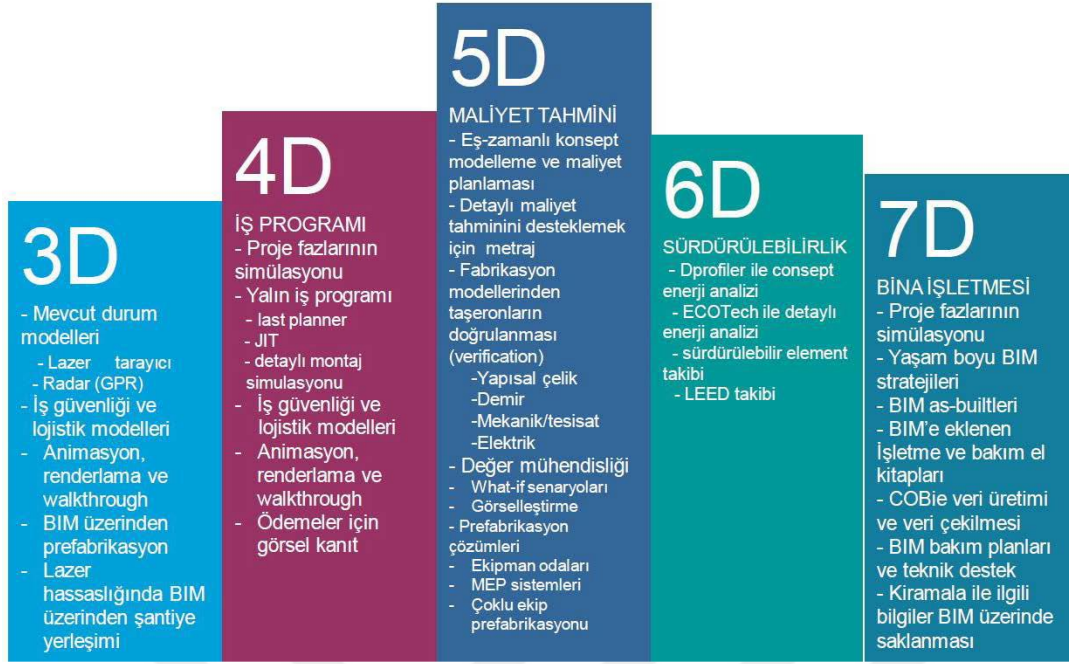
Şekil 2.1 : Nesnelerin LOD seviyeleri (McPhee, 2013).

### 2.1.1.2 Modelleme boyutu

Bir YBM modelinde gerekli olabilecek yapı bilgisi türleri “boyutlar” olarak tanımlanmaktadır. Başlangıçta bu, 3 boyutlu YBM modelleriyle 2 boyutlu bilgisayar destekli tasarım (CAD-Computer Aided Design) bilgisini ayırmak için kullanılmaktaydı. Daha sonra yapının tasarımı, yapımı ve işletilmesi için gerekli bilgileri içerecek şekilde genişletilmiştir. 3 boyutlu modelin yanına ekstra boyutlar eklemek, YBM’nin potansiyellerini ortaya çıkarmıştır. Modelde yer alan boyutlar özetle aşağıda sıralanmıştır:

1. 3D: 3 boyutlu grafiksel bilgiler
2. 4D: Zaman ve proje planlama bilgilerinin eklenmesi
3. 5D: Maliyet bilgisi
4. 6D: Sürdürülebilirlik kapsamında yapılan analiz ve simülasyonlar
5. 7D: Tesis yönetimi ve bakımı

Proje yaşam döngüsü ilerledikçe, YBM, tasarım verilerinin oluşturulup tamamlanmasından, teslim edildiği noktaya kadar, daha detaylı bir hal almaktadır. Yapı bilgi modellemesi boyutları Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



**Şekil 2.2 : YBM'nin boyutları (Url-2).**

**3D Model:** 3 boyutlu dijital temsile ek olarak grafiksel olmayan model bilgilerinin ortak bir model üzerinden yürütülmesidir. Etkileşime izin veren ve işbirlikçi bir boyut olan 3D model, ortak veri paylaşma süreci, en sık rastlanan yapı bilgi modelleme boyutudur.

**4D Model:** YBM platformlarında tanımlanan dördüncü boyut zamandır. YBM modeline inşaat planlama bilgileri bağlanarak, inşaat sürecinin simüle edilmesini sağlar. Doğru ve kesin bilgileri içeren bir 3D YBM modelle entegre çalışabilen proje planlama programının varlığı gereklidir. 4D YBM boyutu, tasarımı analiz etme, çakışmaları kontrol etme; teslim süresini, ardışık inşaat aktivitelerinin ilerleyişini, projenin yapılabilişliğini gözlemlene olanağı sağlar (Hartmann ve diğ., 2008). Yapım öncesi projenin sanal ortamda görselleştirilmesi, yapım sırasında karşılaşılabilecek problemlerin önceden tespit edilerek çözülmesine izin vererek, zaman ve para kaybını minimuma indirmektedir. Program görselleştirmesi ile proje üyeleri, doğru ve gerçek zamanlı bilginin çoklu kaynaklarına bağlı olarak sağlam kararlar alabilmektedir. Projelerin görsel olarak nasıl inşa edileceğini görmek, paydaşlarla işbirliği yapılırken her bir disipline ait yapılması gereken iş kalemleri hakkında net bir görsel anlayış sağlamaktadır.

**5D Model:** Beşinci boyut, 3D modele maliyet verilerinin entegre edilmesidir. Bu bilgiler, satın alma aşamasında metraj listeleri oluşturmak ve buna bağlı olarak bütçeyi

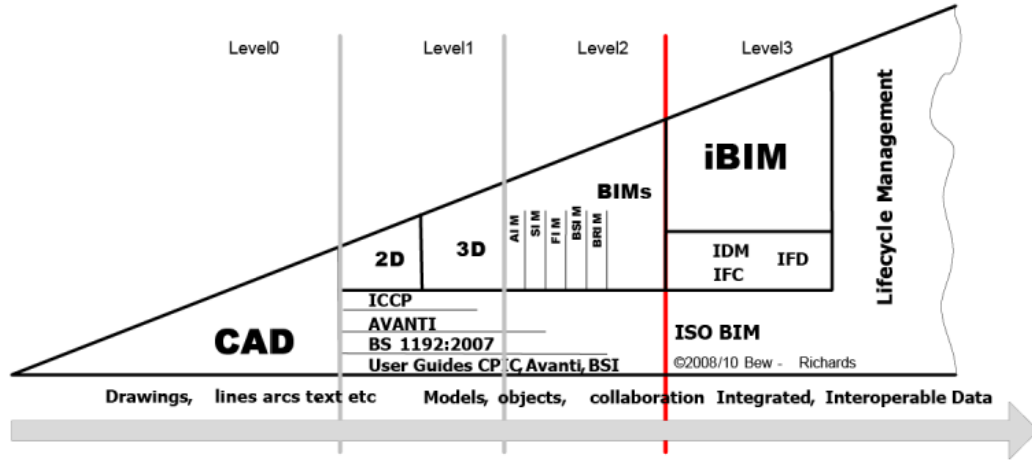
belirlemektir. Sağladığı avantajların başında, proje sürecinde oluşan revizyonlarla oluşturulmuş bilgilerin güncellenmesi ve finansal sapmalarının yapım başlangıcından önce belirlenmesi gelir. Uygulamacının perspektifinden bakıldığında 5D modelleme, tasarıma uygun yapımın maliyet kesinliği sunarak daha iyi ilerlemesine yardımcı olmaktadır. 5D YBM modeli, tüm bu bilgileri, miktar, zaman çizelgesi ve fiyatlar gibi maliyet verileriyle bütünleştirir (Smith, 2014).

**6D Model:** Altıncı boyut, enerji hesaplarını ve analizlerini içermektedir. Sürdürülebilirlik bileşenlerinin YBM modeline dahil edilmesi, tasarımcıların projenin belirli unsurları için karbon hedeflerine ulaşmasını ve kararları buna göre almasını veya farklı seçenekleri test ederek karşılaştırmasını sağlar (Hardin, 2009). Tasarım sürecinin erken evresinde yapılan kapsamlı enerji analizleri, bina yapımı sonrası düzenli bakım, enerji tüketimini optimize etmeyi amaçlayan bir strateji tanımlamayı da sağlamaktadır.

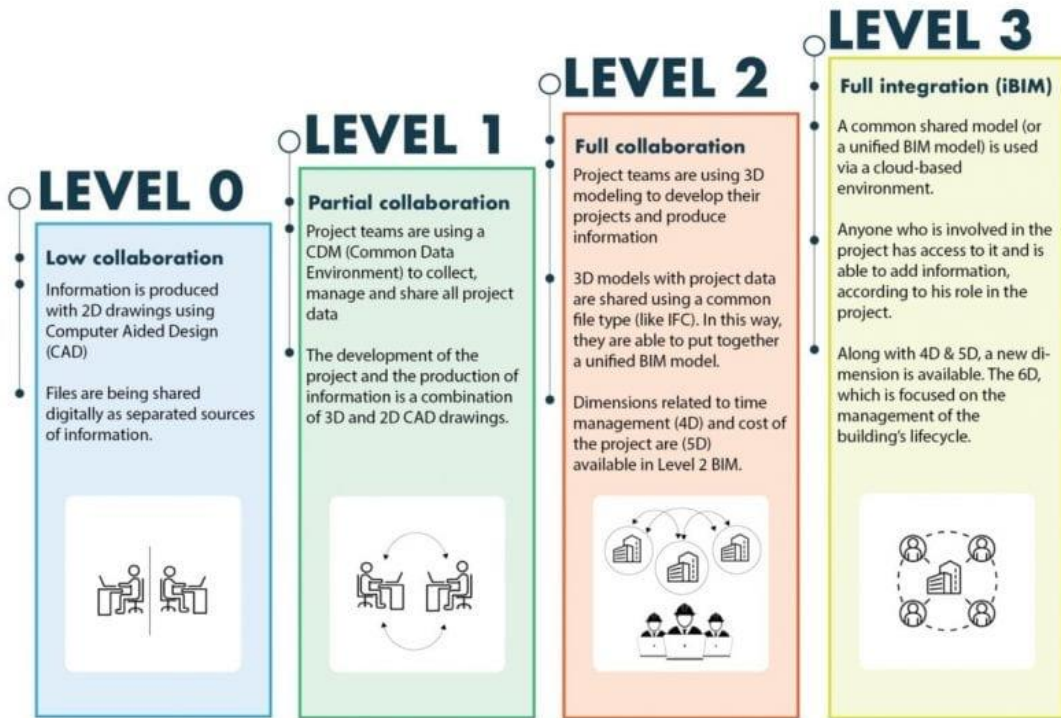
**7D Model:** YBM'nin 7. Boyutu modele dayalı mekan tanımlı, tesis yönetimidir. Tesis bakım işlemleri modelde simule edilebilir ve böylece operasyonel süreçler optimize edilebilmektedir. YBM'nin veri depolama niteliği sayesinde; geçmiş projelerden deneyim kazanarak ve tasarım aşamasında tesis işlemleri ile ilgili bilgi sahibi olunarak, işletme ve bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesini engelleyen birtakım tasarım yanlışları giderilebilir.

#### **2.1.1.3 YBM olgunluk seviyeleri**

YBM olgunluk seviyeleri YBM öncesi durum, nesne-tabanlı modelleme, model tabanlı işbirliği ve ağ-tabanlı entegrasyon olmak üzere dört seviyede tanımlanabilir (Özorhon, 2018). Olgunluk seviyelerinin, geleneksel CAD yaklaşımı, yazılımlarından günümüze değişimi Şekil 2.3'te, olgunluk seviyelerinin kapsadıkları ise Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : YBM olgunluk düzeyleri (Bew ve Richards, 2008).



Şekil 2.4 : YBM olgunluk düzeyleri kapsamı (Url-3).

Barnes ve Davies (2015) tarafından YBM olgunluk seviyeleri dört aşamaya ayrılarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

**Seviye 0 (Düşük İşbirliği):** Bu seviyede YBM yer almamaktadır. Bilgisayar destekli çizim (CAD) olarak da bilinen 2D çizimlerin bilgisinin, kâğıt ortamında veya elektronik ortamda herhangi bir standart gözetmeden paylaşımının yapıldığı seviyedir.

Diğer disiplinler veya kullanıcılar ile işbirliği halinde olmadan üretilen dijital çizimlerdir.

**Seviye 1 (Kısmi İşbirliği):** Bu seviye gerçek anlamda YBM için atılan ilk adımdır; 2 boyutlu ve 3 boyutlu proje dosyalarını kapsamaktadır. Tasarımcılar bu seviyede 3 boyutlu tasarım programını projenin ilk aşamasından itibaren kullanmaktadır. Seviye 1 YBM, 3 boyutlu modellemenin tasarım aşamasında kullanıldığı ve 2 boyutlu dokümantasyon ve bilgi üretiminin çeşitli zorunluluklardan dolayı başka araçlar aracılığıyla üretildiği karışımından oluşmaktadır. Ek olarak, oluşturulan modeller diğer paydaşlarla paylaşılmaz. Proje ile ilgili metraj ve iş programı, sayısal ortamda elde edilen çizimler üzerinden ayrıca üretilmek durumundadır (Özorhon, 2018).

**Seviye 2 (Tam İşbirliği):** Bu seviye, işbirliği içinde bir çalışma metodu izleyerek, 3 boyutlu modellerin farklı disiplinler tarafından oluşturulup, tek bir paylaşım modeli yerine farklı formatlardaki dosyaların birleştirilmesinden oluşmaktadır. Tüm proje üyeleri bütünsel olarak üç boyutlu modelin üretim aşamasında bulunmaktadır. Bu seviye birlikte çalışmanın olduğunu, farklı süreç ve disiplinlerdeki tasarımcıların aynı modelde olmasa bile zaman içerisinde birbirleriyle bağlantılarının kurulmuş olmasını gerektirmektedir. Bu seviyede, 4D iş programı ve 5D maliyet tahminleri çalışmaları yer alabilir.

**Seviye 3 (Tam Entegrasyon):** Bu seviye, tüm proje paydaşlarının web üzerinden veya bulut tabanlı bir ortamda bilginin tam entegrasyonunun elde edilmesidir. Tüm katılımcılar bu modele eşzamanlı ulaşarak gerekli değişiklikleri yapabilmektedirler. Proje yaşam döngüsünde, 4D iş programı, 5D maliyet, 6D sürdürülebilirlik ve 7D tesis yönetimi bilgileri kullanılmaktadır.

## **2.1.2 YBM'nin yapı sektöründeki yeri**

### **2.1.2.1 Ön proje sürecinde YBM**

Bir yapının tasarım aşamasından projenin finaline kadar olan zaman süresince verilecek olan kararlar için sağlam bir altyapı oluşturan ve paylaşılan veri kaynağı YBM, hem projenin 3 boyutlu modelini, hem de inşaat öncesi projenin dijital bilgilerini saklayan, model analizlerini veren, diğer disiplinlerle ilişkilerdeki çakışmaları saptayan ve tüm paydaşların faydalanabildiği ve paylaşabildiği bir veri kaynağıdır. YBM modeli ile katların tüm alanları, hacimler, metrajla ilgili tüm veriler

ve alan kullanımları ile ilgili hesaplar, yapısal analizler, enerji performansı, akustik, aydınlatma ve termal analizler, yangın, ısıtma-soğutma-iklimlendirme analizleri elde edilebilmektedir.

Planlama aşamasında yapılması düşünülen proje için, arazi içerisinde en uygun alanın belirlenmesi YBM ve Coğrafi Enformasyon Sistemi (GIS) araçlarının özellikleri kullanılarak mümkün olabilmektedir. Sahadan alınan bilgilerle, birden fazla seçenek olması durumunda en uygun proje alanı seçilerek, yapının en doğru şekilde konumlandırılması sağlanır. Saha analizi sürecinde YBM kullanımının yararlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

1. Proje için düşünülen yerleşim alanları arasında, işverenin ihtiyaçları, teknik ve finansal durumu doğrultusunda oluşan şartlara göre analiz yapan karar verme mekanizması kullanılarak en doğru sonuç elde edilir.
2. Doğru arsa seçimi sayesinde projenin tasarımı öncesi muhtemel kazı veya yıkım işlemleri ile ilgili maliyetleri azaltarak daha fazla enerji verimliliği sağlanır.
3. Projenin tasarımı öncesi elde edilen analizler sayesinde tehlikeli madde riski minimuma indirgenir.
4. Yerleşim yerinin doğru belirlenmesi, projeye yapılacak yatırımın en kısa sürede geri dönüşü sağlanır.

İhtiyaç programının oluşturulması, projenin mekânsal gereksinimleri doğrultusunda en uygun ve doğru tasarımın çıkarılması amacıyla geçen süreçtir. YBM modeli, proje ekibinin ihtiyaç programında yer alan alanları en doğru şekilde analiz ederek, yapının karmaşıklık düzeyine hâkim olmasına imkan verir. Projenin ihtiyaçları ile ilgili önemli kararların alındığı bu süreçte proje ekibi, yapının katma değerini arttıracak çözümleri, YBM modelinden sağladığı bilgilerle işverenle yaptığı toplantılar sonucunda edindiği geri bildirimleri yorumlayarak kullanabilmektedir.

Sonuç olarak, planlama sürecinin, yapının yaşamsal döngüsü boyunca aktif bir rol oynadığı görülmektedir. Planlama sürecinde alınan kararlar ise yapının yaşamsal döngüsünü ve performansını doğrudan etkilemektedir.

#### **2.1.2.2 Tasarım sürecinde YBM**

Bir yapının tasarım aşamasında modeli yapıldıktan sonra, modeldeki grafik ve grafik olmayan bilgiler genişletilmektedir. Model, 2 boyutlu çizimleri eklemek yerine

doğrudan 3 boyutlu verisinden alınmaktadır. Modelde yapılan değişikliklerin, 2 boyutlu çizimlere ve 3 boyutlu modellere aktarılmasıyla, projenin tamamen analiz edilmesi ve yapılan revizyonların her bir modele teker teker uygulanması için harcanan süre doğrudan azalmaktadır. YBM sisteminde hedef, üretim ve inşaat gibi projenin ileriki safhaları için tüm verilerin elde edilebileceği bir 3 boyutlu modelini sağlamaktır. Proje süresince elde edilmesi gereken 2 boyutlu çizimler de dahil tüm bilgiler 3 boyutlu modelden aktarılmaktadır. Bu sayede, teslim dökümanlarını oluşturma aşamasında harcanan süre azalır ve proje ekibinin tasarım sorunlarıyla daha fazla ilgilenmelerine olanak sağlar. Projede var olan farklı disiplinler arasındaki işbirliği bu süreçte elde edilmektedir. Bu aşama, farklı disiplinlerin tüm verilerini kapsamakta ve projede karşılaşılan çakışmaları azaltmaktadır.

Bu süreçte aktarılan yapı bilgi modelinin tüm verilerinin elde edilmesi sayesinde maliyet hesaplamaları ve zaman analizleri yapılabilmektedir.

#### **2.1.2.3 Yapım sürecinde YBM**

Yapım aşamasında saha alanlarının daha doğru planlanması ve bu alanların güvenlik sorunu değerlendirilmektedir. Bu sebeple YBM, saha güvenliği analizi için kullanılacak bir araç haline gelebilmektedir. Bunun yanında, 3 boyutlu görselleştirme, birtakım maliyet hesaplamaları senaryolarını analiz eder ve tüm modeller veya modellerin birbirinden farklı bölümleri için analiz ya da nakit bütçesini hakkında bir tahminde bulunmak için kullanılabilir. Dolayısıyla iş bitiminde ortaya çıkabilecek durumlara dayanarak karar verme aşamasında faydalı olmaktadır.

İnşaat süresince, karar mekanizmalarının devamlı değişmesi sebebiyle, eş zamanı çalışmada aksamalar ve problemler ortaya çıkmaktadır ve bu nedenle bir işin yeniden yapılması veya sistemlerin birbiriyle çakışması gibi sorunlarla karşılaşılabilir. YBM modeliyle birlikte, tüm paydaşlar bilgiler devamlı güncellendiğinden, imalat ve yapım sürecini doğru iletişimle en uygun şekilde yönetmektedir. Bu sayede daha iyi saha görselleştirmesi yapılarak doğabilecek tüm riskler azaltılmaktadır.

Bir proje yapım aşamasına ginceye kadar gelen verilerle, danışmanlar ve yükleniciler projeler hakkında daha doğru kararlar alabilirler. Daha doğru tahminler, çakışma saptanması, kalite ve zaman kontrolleri daha doğru tanımlanabilmektedir. Boon (2009), nicelik araştırmacılarının zengin veri tabanından dolayı tasarım ekibine daha etkin bir şekilde bilgi verebildiklerini belirtmektedir. Alternatif yapım şekilleri ve daha doğru

tahmini analiz gibi çözümler, bir yüklenicinin ve tasarım ekibinin diğer tahminleri elde etmesini ve bir problemin çözüm seçeneklerine kolayca ulaşabilmesini sağlamaktadır.

JBIM (2007), YBM ile, sanal tasarımın kesinliğinden dolayı sahada daha az malzeme ve imalat sebebiyle daha güvenli olduğunu ifade etmektedir. Prefabrikasyon sahada yapılmaktadır ve gerekli her şey yerinde minimum düzeyde tutularak zamanında teslim edilmektedir. Bu süreçteki diğer bir fayda ise, YBM'nin, yapılı ve doğal alanın her boyutunda mükemmel hizalama ve eş zamanlı ve devamlı geliştirme ile tasarım, yapım, kullanım, bakım, kurtarma ve geri dönüşüm gibi alanlarda sade inşaat sunmaktadır. Sonuç olarak, bu aşamaların gelişmiş idaresi fazla üretim, nakliye, atık ve gereksiz malzeme israfını düşürmektedir.

#### **2.1.2.4 Yapının kullanımı ve işletilmesi aşamasında YBM**

Projenin teslim aşamasında ilgili disiplinlerce, mimarlık, yapı, tesisat, ekipman gibi konularla ilgili proje ekibine veya işletmeyi üstlenecek olan şahıslara çok fazla verinin verilmesi gerekmektedir. İhtiyaç duyulan tesis yönetim bilgileri, 3 boyutlu modele de dahil edilebilmektedir. YBM'nin kullanılması, projenin yaşamsal döngüsü süreçlerinde ihtiyaç duyulan inşaat, işletme ve bakım ile ilgili disiplinler arasındaki veri transferini çok daha hızlı şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Projenin tesliminden sonra, yapı bilgi modelinde toplanan veriler, yönetim ve bakım amaçlı kullanılabilir. YBM ve işletme yönetimi arasında bir kurgu oluşturabilmek gereklidir. Bu sebeple YBM, halihazırda kullanılan tesis idare sistemlerine veri sağlayan bilgi formatları ve alternatifleri sunmaktadır. Yönetim ve bakım süreci, projeye ait en uzun aşamadır ve en yüksek maliyetin gerçekleştiği kısımdır. Bir projede YBM'nin uygulanmasının esas amacı, maliyetin düşürülmesi, verimliliğin ve sürdürülebilirliğin elde edilmesi açısından bir katma değer yaratılması ve bunun kullanılmasıdır. Sonuç olarak, projenin kullanım sürecinde YBM'nin geliştirilmeye açık bir potansiyelinin var olduğu görülmektedir.

### **2.2 Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat Sektöründe YBM Kullanımı**

#### **2.2.1 YBM ortamında işbirliği**

Disiplinler arası farklı yazılımların kullanılması, bilgi aktarımı, veri değişimi için nesne tabanlı değişim formatının (IFC– Industry Foundation Classes) ortaya çıkmasını sağlamıştır. Nesne tabanlı bir yapı veri modeli olan IFC, tek seferde modellenmesi mümkün olmayacak kadar karmaşık bir yapıya sahip olduğundan, katmanlı bir yapıya sahiptir (Pazlar ve diğ., 2008). Bilgi paylaşımı ve değişimi konusuna temel

teknik özellikler açısından bakıldığında, IFC'nin etkili ve kullanılabilir bir birlikte işlerlik yöntemi olduğunu söylemek mümkündür. IFC veri dosyaları, tasarım ve strüktür, vb. disiplinlerle ilgili modelde tanımlı geometrik ve yapı verilerini taşımaktadır. IFC formatının varlığı, koordinasyonu ve projedeki tutarlılığı sağlayabilmek amacıyla, farklı yazılımları kullanan disiplinlerin modellerinin ortak bir arayüzde görselleştirmelerine izin vermektedir. Bu amaçla, Autodesk Navisworks yazılımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı disiplinler tarafından oluşturulan modeller, özellikle çakışma analizleri amacıyla Autodesk Navisworks'te görselleştirilmektedir.

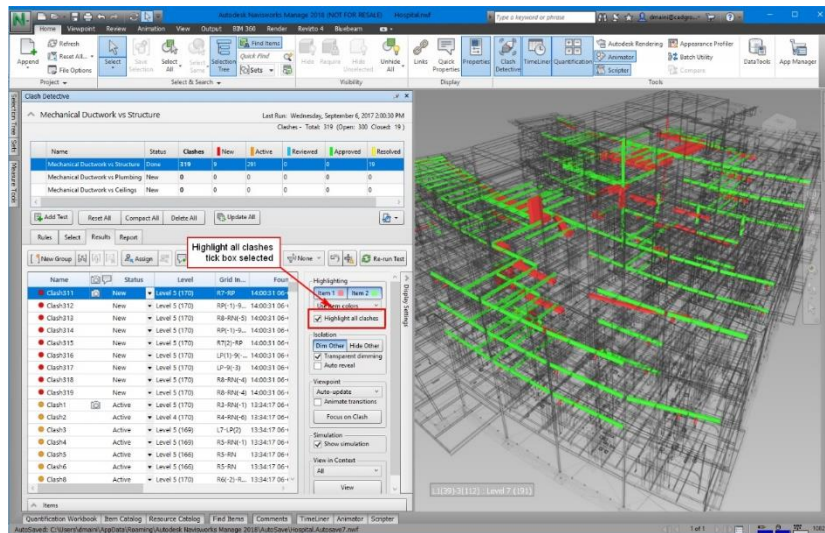
Yapı sektörünün dağınık strüktürü, girift hali ve proje süreçlerinin evreleri, çok disiplinli paydaşların (müşteri, tedarikçi, alt yüklenici, yüklenici, mimar, mühendis, vb.) varlığı süreç içerisindeki işbirliğinin önemini göstermektedir. Paydaşlar arası doğru veri değişimi / aktarımı ve sürdürülebilir etkileşim gerekmektedir. YBM platformlarının işbirlikçi bir şekilde kullanıldığı bütünleşik proje yürütme uygulamalarında, disiplinler arasında karışıklık önlenmiş olup, doğru veri paylaşımı mümkündür. Paydaşların iki yönlü veri alışverişine birlikte çalışabilirlik (interoperability) adı verilmektedir (Ofloğlu, 2008). Froese (2003), birlikte işlerliği “bir uygulamadan diğerine proje döngüsü içinde bilgi akışının gerçekleştirilmesi” şeklinde tanımlamaktadır. Nour (2007) ise birlikte işlerliği “iki veya daha çok sistemin veya bileşenin bilgi değiştirme ve değiştirilen bilgileri kullanma yeteneği” olarak tanımlamaktadır. Nour'a göre birlikte işlerlik kavramı, veri paylaşımı, bilgi değişimi ve bağımsız çalışma proje verilerini kendiliğinden paylaşmaları anlamına gelmektedir. Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat sektörleri proje bilgilerini bir araçtan diğerine konvansiyonel yöntemlerle aktarırken, kullanılan yazılımların veri paylaşımını desteklememesi nedeniyle, bilgiler yeniden tanımlanmasına veya düzenlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sonucunda, karışıklıklar, hatalar, bilgi eksiklikleri meydana gelmektedir. Bu aşamada meydana gelen aksaklıklar planlanan tasarım ve yapım sürecinin uzamasına ve maliyet kayıplarına neden olabilmektedir.

YBM, birlikte işlerliğe ulaşmada kullanılabilecek en ideal çözüm olarak görülmektedir. YBM, bir yapıya ait çeşitli verileri içeren bir sistem olup, veri ve bilgi

paylaşımı için bir zemin oluşturmaktadır. Günümüzde IFC, YBM girişimleri içinde en önemlisi olmuştur.

## 2.2.2 IFC veri modeli ve çakışma analizleri

Disiplinler arası farklı yazılımların kullanılması, bilgi aktarımı, veri değişimi için nesne tabanlı değişim formatının (IFC–Industry Foundation Classes) ortaya çıkmasını sağlamıştır. Nesne tabanlı bir yapı veri modeli olan IFC, tek seferde modellenmesi mümkün olmayacak kadar karmaşık bir yapıya sahip olduğundan, katmanlı bir strüktürü vardır (Pazlar ve diğ., 2008). Bilgi paylaşımı ve değişimi konusuna temel teknik özellikler açısından bakıldığında, IFC’nin etkili ve kullanılabilir bir birlikte işlerlik yöntemi olduğunu söylemek mümkündür. IFC veri dosyaları, tasarım ve strüktür, vb. disiplinlerle ilgili modelde tanımlı geometrik ve yapı verilerini taşımaktadır. IFC formatının varlığı, koordinasyonu ve projedeki tutarlılığı sağlayabilmek amacıyla, farklı yazılımları kullanan disiplinlerin modellerinin ortak bir arayüzde görselleştirmelerine izin vermektedir. Bu amaçla, Autodesk Navisworks yazılımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı disiplinler tarafından oluşturulan modeller, özellikle çakışma analizleri amacıyla Autodesk Navisworks’tte birleştirilerek görselleştirilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Navisworks çakışma analizleri (Url-4).

## 2.3 Tesis Tasarım Sistemleri

Günümüzde hızlandırılmış prosedürlü Mühendislik, Tedarik ve İnşaat (EPC) projeleri paydaşları, proje planlanması ve bütçe hesaplamalarına ek olarak eş zamanlı çalışmaya

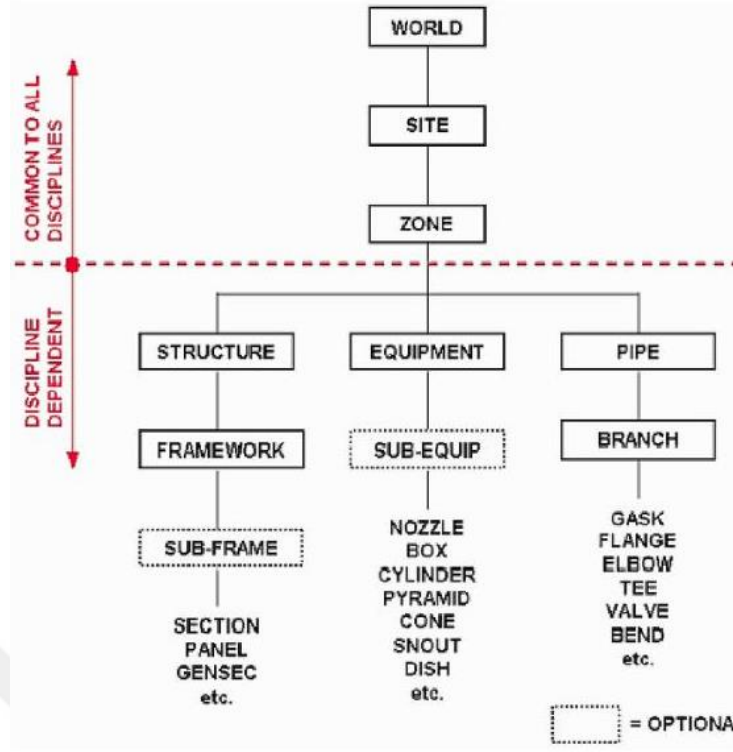
ve proje yönetimine olanak sağlayan dijital ortamlara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu tip yaklaşımın sebepleri arasında, gelecekteki projelerde kullanılmak üzere bilgi birikimi sağlamak, üretkenliği arttırmak ve kurumsal bilgileri oluşturmak, korumak yer almaktadır. Ayrıca, tesis sahibi / işletmecilerinin, tesis bakım, onarım ve yenileme çalışmalarında bu bilgileri kullanma amaçları vardır.

Geçmişte, iki boyutlu tasarım araçlarının kullanımının, büyük ölçekli projelerde hata yapma olasılığını arttırdığı görülmektedir. Zaman içinde, rafineriler, petrokimya ve enerji santrallerinin kullanım ömrü boyunca yararlanılabilecek, dijital bir 3D model ihtiyacı duyuldu. Bugün, düzenlenebilir dijital 3D model, endüstriyel tesislerin temel ihtiyaçlarındandır. 3D model oluşturmak amacıyla tercih edilen sistemlerin başında, Tesis Tasarım Yönetim Sistemi (PDMS: Plant Design Management System) ve SmartPlant 3D gelmektedir.

### **2.3.1 Tesis tasarım yönetim yazılımları**

#### **Tesis Tasarım Yönetim Sistemi (PDMS: Plant Design Management System)**

Tesis Tasarım Yönetim Sistemi (PDMS: Plant Design Management System) yazılımı, AVEVA tarafından geliştirilen üç boyutlu (3D) model tasarımında kullanılmaktadır. PDMS, kullanıcının proses tesislerinin tasarım ve tasarım yönetimi amacıyla, kullanıcılara tüm tesisi 3D modelleme imkanı sağlayan bir araçtır (Fabritius, 2009). Bununla birlikte, raporlar, çizimler ve listeler sistemden çıkarılabilir. PDMS modeli, model içerisindeki bileşenlere ait doğru konum, yön bilgilerine sahiptir. Geleneksel mekanik 3D CAD yazılımlarının aksine, PDMS hiyerarşik veritabanlarında düzenlenmiş bütünleşik bir sistemdir. Tesis tasarımında rol alan disiplinlerin her biri ayrı veri tabanlarında çalışmaktadırlar. Tek bir veritabanı aynı zamanda hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Şekil 2.6, tasarım veritabanının sadeleştirilmiş hiyerarşik yapısını göstermektedir. (Aveva: PDMS 2005). Aynı zamanda, tasarımcıların, eşzamanlı çalışmalarına imkan veren ve bileşenlere ait bilgileri veri tabanında depoladığı için kontrol edilebilir veri oluşturmaktadır. Disiplinler arası ve disiplin bazında hiyerarşik yapılanması doğrultusunda kullanıcılara farklı yetkiler vererek değişikliklere ve yeniden model ve bilgi oluşumlarına izin vermektedir.



**Şekil 2.6 :** PDMS veri tabanı strüktürü (Aveva Getting Started with PDMS, 2005).

Veri stürktüründe aşağıda gösterilen bölüm, tesis projeleri tasarımında disiplinlerine bölünmektedir. Bu disiplinler sonra daha küçük bileşenlere ayrılmaktadır. PDMS modelinin en düşük seviyesi primitif seviyedir. Primitif olarak tanımlanan seviye, temel şekiller, silindirler, koniler, kutular vb.'dir. Tüm üst seviye modeller, çeşitli boyut ve şekillerdeki primitif geometrilerin kombinasyonundan oluşur.

Bir PDMS modelinin her bir bileşeni, kullanıcı tarafından verilen veya sistem tarafından atanan bir isme sahiptir. Her bileşenin bir de sahibi vardır. Bileşenin sahibi, söz konusu bileşenin belirli bir seviyesinin üzerindeki elementtir. Bu sebeple yazılımın, disiplin modülleri mevcuttur. Modüller ve kullanım amaçları aşağıda listelenmiştir (Url-5):

**AVEVA Diagrams:** AVEVA Diyagramları, AVEVA Everything 3D <sup>TM</sup> (AVEVA E3D <sup>TM</sup>), AVEVA Outfitting <sup>TM</sup> ve AVEVA'nın mühendislik ürünleri ile aynı proje ortamını kullanan P & ID'ler, HVAC şemaları ve benzer şemalar için veri odaklı bir tasarım sistemidir. Ortak çalışma, raporlar ve veri yönetimi dahil olmak üzere olağanüstü entegrasyon yetenekleri sunmaktadır.

**AVEVA Electrical:** AVEVA Electrical, elektrik mühendisliği ve tasarımı için zengin özelliklere sahip bir yazılım paketidir. Gelişmiş grafiksel kullanıcı arayüzleri, tasarım

kuralları ve katalogların kullanımı ve maksimum iş akışı esnekliği ile AVEVA Electrical, tüm proje boyutları için tercih edilmektedir. Elektrik analiz aracı ETAP ile tamamen entegre olabilen AVEVA Electrical, her iki yazılım arasında da verilerin dönüştürülerek açılmasını desteklemektedir. Projeler AVEVA Electrical veya ETAP'ta başlatılabilir ve yazılımlar arasındaki verilerin bütünlüğü sağlanabilir. AVEVA Everything3D™ ile birleştirildiğinde entegrasyon, elektrik tasarımının analizden işlevsel tasarıma ve fiziksel düzene kadar tüm yaşam döngüsünün gerçekleşmesini sağlar.

**AVEVA Instrumentation:** Tüm gemi ve sanayi tesislerinde Enstrüman ve Kontrol mühendisliği kapsamında, tasarım ve kullanım ömrü boyunca bakım için özelliklerin tanımlandığı, bir enstrümantasyon ve kontrol mühendisliği yazılımıdır. AVEVA Instrumentation'ın dört entegre program modülü vardır, mühendislik ve tasarımdan kurulum, bakım ve modifikasyona kadar tüm enstrümantasyon ve kontrol sistemi yaşam döngüsünü destekler.

**AVEVA P & ID:** AVEVA P&ID, 2D olan AutoCAD taslak hazırlama sistemini kullanarak, kullanıcıların P&ID olarak tasarlandıkları gibi akıllı nesneler olarak, proje çapında veri oluşturmalarını sağlayan bir P&ID taslak hazırlama programıdır. Akıllı nesne oluşturduğu için, çeşitli belgelerin (çizimler, izolasyonlar, raporlar, liste...) oluşturulmasını da sağlar. Aslında genel olarak, ISO 15926 Dosya Alma / Dosya Verme özellikleri, basit CAD dosya entegrasyonunu veya alt mühendislik ve tasarım faaliyetleriyle entegrasyon için şematik model veritabanı ile değiştirilebilecek çizim ve verilerin oluşturulmasını sağlar.

**AVEVA Everything 3D (AVEVA E3D):** Piyasadaki en kapsamlı, üretken ve entegre 3D tesis tasarım çözümü imkanı sağlayan yazılımı olarak tanımlanan Everything 3D, en yeni 3 boyutlu grafikleri ve kullanıcı arayüzü teknolojilerini en gelişmiş veri yönetimi ile birleştirir.

1. Kendi tescilli veritabanını kullanmaktadır,
2. Sistemi aşamalı olarak proje, bölüm, takım veya şahıslar tarafından adapte ederek, bu, canlı projelere özellikler ve işlevler eklenebileceği anlamına gelmektedir.
3. Diğer tüm AVEVA Mühendislik, Tasarım ve Yönetim ürünleri ile birlikte çalışabilir.

**AVEVA Engineering:** Düzenlenebilir bir veri modeli, çok çeşitli proje, müşteri ve endüstri gereksinimlerini karşılamasını ve neredeyse her türlü mühendislik verisini kapsamaktadır. Yararlanabileceğiniz tipik yollar, disiplinler arasında bilgi alışverişini kolaylaştırmayı, bileşenlere ait etiket (tag) kayıtlarını yönetmeyi ve diğer veri kaynaklarıyla kontrollü entegrasyon elde etmeyi içermektedir. Her disiplin, herhangi bir ürettiği bileşen veya modelle ilgili bilgilerinin tam kontrolünü sağlamaktadır. Model tutarlılık kontrolleri, veri kalitesini kontrol etmek için herhangi bir zamanda veritabanına uygulanabilirken, diğer kullanıcılar tarafından görülebilir olmasını sağlar. Ana etiket kayıtları, satır listeleri, ekipman listeleri veya vana listeleri ve her türlü özel veya disiplin raporu gibi çok çeşitli tam biçimlendirilmiş raporlar yazılım aracılığıyla üretilebilir.

Disiplin içinde çalışma biçimi bu şekilde, olan PDMS modeller arasında veri aktarımlarıyla disiplinler arası da kullanılmaktadır. PDMS, tasarım sonuçlarının doğruluğunu sağlamak ve çakışmaları etkili bir şekilde önlemek için sistem içinde otomatik olarak kontrol eder (Ye, 2012). Bu nedenle, mühendisler tarafından YBM araçları yerine PDMS'in tercih edildiğini söyleyebiliriz. Aynı zamanda, Endüstriyel tesislerinin tasarımı, yapımı ve işletilmesi ve bakımıyla ilgilenen çeşitli paydaşlar, doğal olarak entegre 3D sistemlerini talep etmektedirler. Bu bağlamda, Mühendislik, Tedarik ve İnşaat (EPC) firmalarının, tesis tasarımını, sözleşmede belirtildiği gibi tesis 3D modeli biçiminde müşteriye sunmaları gerekmektedir.

### **Intergraph SmartPlant 3D**

Tesis tasarım yazılımı olan SmartPlant 3D, kural tabanlı çalışan, mühendislik tasarım süreçlerini içeren, proje yaşam döngüsü boyunca kullanılabilir. PDMS ile benzer özellikleri taşıyan SmartPlant 3D, kullanıcı odaklı bir arayüze sahiptir.

Sağladığı avantajlar aşağıda listelenmiştir:

1. Paydaşlar arasında eş zamanlı tasarım olanağı sağlaması,
2. Özelleştirilebilir kurallar ve model bileşenleri arasında ilişkiler tanımlanabilmesi,
3. Tasarım çıktılarının oluşturulmasının otomatik hale getirilmesi,
4. Birlikte çalışabilirlik imkanları.

Moran'a göre (2016), endüstriyel tesis projelerinde firmaların yazılım tercihleri projenin ölçeğine, firmanın boyutuna, dijital arayüz kolaylığına, tesis boyutuna, bütçe ve zaman hesaplamalarına, tesisin konumuna (kıyıya yakın, karada, deniz üzerinde platformda, vb.) bağlıdır. Proje ölçeklerine göre tercih edilen yazılımları Şekil 2.7'deki gibi sınıflandırmıştır.

| Project Size           |                                 |                             |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Small/Medium           | Medium/Large                    | Large                       |
| Autodesk Plant 3D      | AVEVA PDMS or Everything3D      | Intergraph SmartPlant 3D    |
| Intergraph CADWorx/PDS | Autodesk Plant 3D               | AVEVA PDMS and Everything3D |
|                        | Bentley OpenPlant and AutoPLANT | Cadmatic                    |
|                        | Intergraph CADWorx/PDS          | TriCAD MS                   |

**Şekil 2.7 :** Proje ölçeklerine göre tercih edilen yazılımlar (Moran, 2016).

Intergraph SmartPlant 3D ve AVEVA PDMS yazılımları, tesis tasarım yönetim yazılımlarının başında gelmektedirler. Disiplinler arası bütünleşik veri alışverişine izin veren sistemler olan bu yazılımlar, projelendirme sürecinde paydaşların birlikte çalışmalarını destekleyerek, endüstriyel tesis tasarımlarında müşteri beklentilerine cevap vermektedirler. Endüstriyel tesis tasarımı, bina ve yapı tasarımından özellikle bu bağlamda farklılaşmaktadır. Sürdürülebilir ve dinamik projelendirme süreci ardından, yaşayan bir yapıda olduğu için tesis çalışanları ve müşteri tarafından sürekli kontrolü ve bakımı gereklidir. Yazılımların ortak veri tabanı yaklaşımına uygun olma nedenlerinin başında bu gelmektedir. Çok disiplinli proje paydaşlarının, dijital modele erişimlerine izin veren yazılımlar, YBM araçlarından farklı olarak hiyerarşik bir yapıdadır. Disiplinler arası ve disiplin özelinde oluşturulması gereken bu hiyerarşik düzen, dijital ortamda kullanıcıların kullanım alanlarını sınırlayan ve aynı zamanda tanımlayan bir durumdur. Modele her kullanıcının müdahale edememesi, dijital modelde normal kullanıcı ve yönetici şeklinde iki ayrı kullanıcı olmasıdır. Bununla birlikte, yazılım modülleri arasında tasarım ve çizim, diyagram modüllerinin varlığı da kullanıcıları ayırtmaktadır. Bu yazılımlar, ortak veri tabanı olmasına rağmen, YBM araçları gibi kullanıcılara sınırsız birlikte çalışabilirlik sağlamamaktadırlar. Benzer metotla çalışan tesis tasarım yönetim yazılımları ve YBM araçları arasındaki en büyük farklılığın bu olduğu söylenebilir. Sonuç olarak tesis tasarım yönetimi yazılımları için, mimar-mühendis birlikteliği yerine mühendisler, teknik ressamlar arasındaki birliktelik ve ayrılıktan bahsetmek daha doğru olur. Belirgin olan bu farklılığa ek olarak, aşağıda farklılıklar detaylandırılmıştır.

Ortak veri tabanı oluşturan PDMS ve SmartPlant gibi yazılımlarının YBM ortamından farkları:

1. İşbirlikçi tasarıma kısmi olarak izin vermesi
2. Mühendislik analiz yazılımlarıyla entegre olabilmesi,
3. Tesis tasarımı sonrası bakım süreci için gerekli olan modelleme boyutu ve seviyesini tüm disiplinleri kapsayan şekilde sağlaması,
4. Çizim ve mühendislik modülleriyle, grafik veri bilgilerine izin vermekle birlikte, hesaplamaları da izin vermesi sayılabilir.



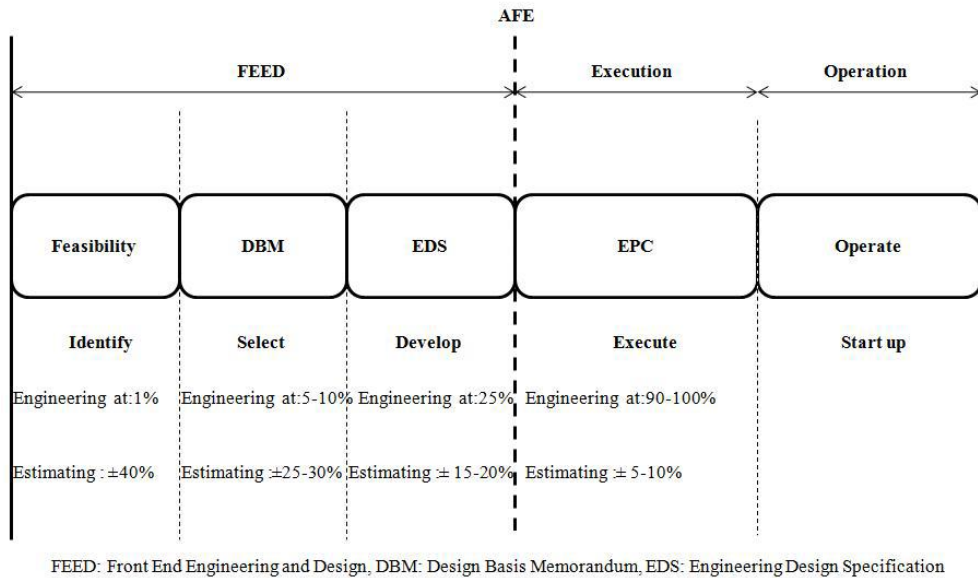
### 3. ENDÜSTRİYEL TESİS PROJELERİ

Endüstriyel tesis projelerindeki teknik karmaşıklık, ölçek ve örtüşen proje aşamaları, projelerin planlama ve yönetim süreçlerinin açık ve öngörülebilir olmasında önemli faktörlerdir. Disiplinler arası çalışma gerekliliği olan ve birden fazla aşamadan oluşan Endüstriyel tesis projeleri genellikle EPC olarak yürütülmektedir.

EPC projelerini daha iyi anlayabilmek için, proje yaşam döngüsü, proje yürütme stratejisi ve genel sözleşme bazında strüktürlere değinmek gerekmektedir (Moazzami ve Ruwanpura, 2011).

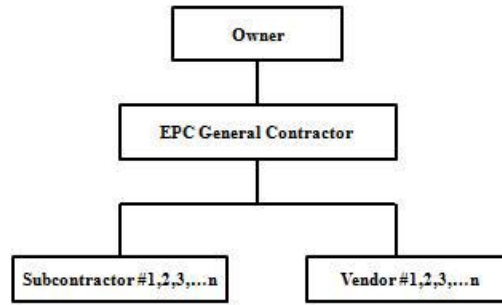
#### 3.1 Proje Süreci Evreleri

EPC aşamasına gelmeden önceki adım Ön Uç Mühendislik Tasarımı (FEED: Front End Engineering&Design) olarak tanımlanmış, konsept ve projeye ilgili fizibilite çalışmalarını içermektedir. Üçüncü aşamanın sonunda tasarım çıktıları olarak şartname ve yönetmelikler, konsept tasarım çizimleri, sonraki aşamayı yönlendirmek amacıyla üretilmektedir. Dördüncü aşama olan EPC, bir proje yürütme stratejisidir. Bu aşamada, EPC yüklenicisi kapsamındaki sorumluluklarını yerine getirme görevine ek olarak alt yüklenicilerden de sorumludur. Her koşulda, EPC yüklenicisi projeyi en iyi performansla müşteriye sunmakla yükümlüdür (Musselli ve Zarrilli, 2005). Bu aşamaları içeren süreç, proje yaşam döngüsü olarak Şekil 3.1’deki gibidir.



Şekil 3.1 : Proje yaşam döngüsü (Moazzami ve Ruwanpura, 2011).

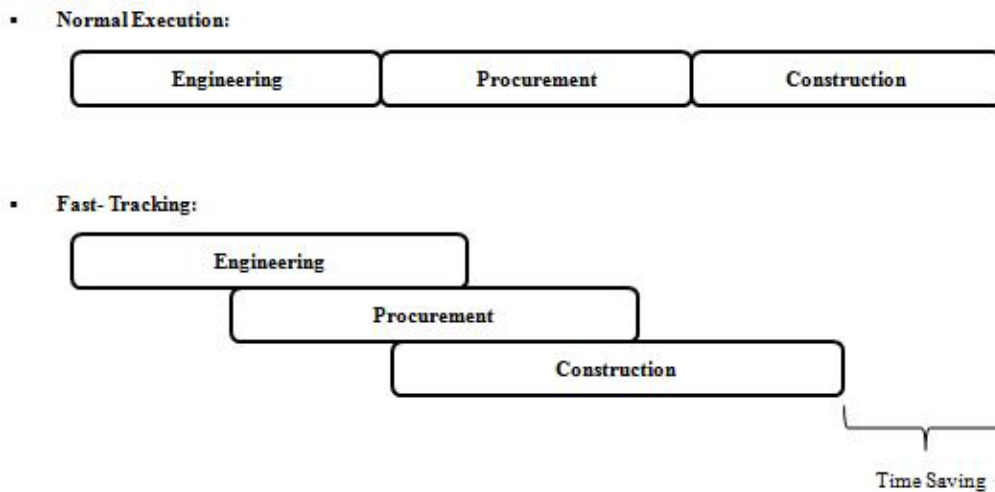
Bu bağlamda bakıldığında, müşteriyle EPC yüklenicisi arasında direk bağlantı vardır. Aynı zamanda aradaki bağlantı doğrudan ya da dolaylı da olabilmektedir. Doğrudan bağlantı Şekil 3.2’de olduğu gibi tariflenebilir. Dolaylı organizasyon şemaları, firma ve proje özelliklerinde hazırlanmakta olup standart bir strüktürü bulunmamaktadır. Projenin kapsamı, konumu, paydaşların sayısı ve proje ölçeği, organizasyonel bağlantının yapısını oluşturmaktadır. Bu nedenle, organizasyon şemasının proje özelinde güncellenmesi gerekmektedir.



**Şekil 3.2 :** EPC genel organizasyon şeması (Moazzami ve Ruwanpura, 2011).

### 3.2 Proje Yürütme Stratejileri ve Organizasyonel Oluşumlar

Günümüzde uygulanan EPC projelerine bakıldığında, EPC süreçleri ardışık olarak ele alınmaktadır. Fakat bu yöntem, planlanan proje takvimine uygun ilerlemeye ve erken tedarige izin vermediği gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, Şekil 3.3’te görüldüğü gibi EPC projelerinde geleneksel olarak uygulanan yürütme şekli evrilerek hızlandırılmış prosedürler (fast-track mode) ortaya çıkmıştır. Bu şekilde, zamandan tasarruf etme amaçlanmaktadır.



**Şekil 3.3 :** EPC proje yürütme stratejileri (Moazzami ve Ruwanpura, 2011).

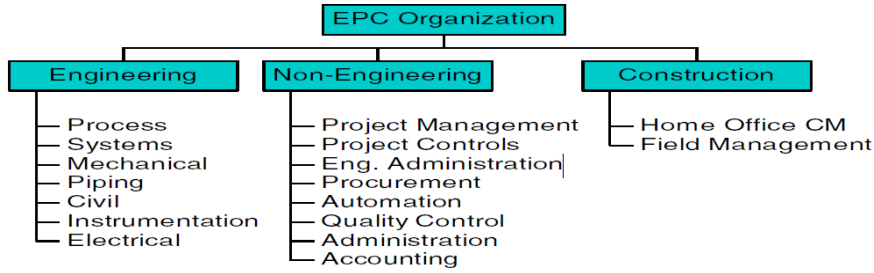
EPC süreçlerinde aktif ve pasif rol alan paydaşlar arasında güçlü bağlantılar söz konusudur. Organizasyonel olarak kategorize edilmiş disiplinler arasındaki ilişkisel potansiyelleri analiz etmenin, proje sürecini ve proje performansını etkileyeceği öngörülmektedir. EPC yüklenicisi bünyesinde olan disiplinler, tasarım çıktılarını belirleyen, birbirine belirli noktalarda bağımlı, EPC sürecine yön veren esas değişkenlerdir. Literatürde bu organizasyonel oluşumlar birden fazla şekilde kategorize edilmektedir. Bu oluşumlar, yönetsel süreçlerin tanımlanması ve disiplinlerin kategorize edilmesi şeklindedir. Yi'ye göre (2019), EPC süreçlerinde rol alan aktörler aşağıdaki 6 adımdan sorumlulardır:

1. Hakediş Yönetimi ve Sorumluları (Milestone Management),
2. Çizim Durumu Yönetimi ve Sorumluları (Drawing Status Management),
3. Üretim/ Üretkenlik ve Sorumluları (Productivity Management),
4. İnterfaz Yönetimi ve Sorumluları (Interface Management),
5. Satın alma Yönetimi ve Sorumluları (Management of Major Vendor Documents),
6. Ön Proje Yönetimi ve Sorumluları (Work Front Management).

Öte yandan, EPC organizasyon şeması görev dağılımı olarak da ele alınmaktadır. Clark ve diğerlerine göre (2005), yapılan işin niteliği disiplinlerin kategorisini oluşturmaktadır, disiplinler aşağıda sıralanmıştır:

1. Yapım Yönetim (Construction Management),
2. Maliyet Kontrol (Cost Control),
3. Maliyet Keşfi (Estimating),
4. Saha (Field Construction),
5. Saha Yönetimi (Field Construction Management),
6. Proje Planlama (Planning and Scheduling),
7. Proje Kontrol Yönetimi (Project Controls Management),
8. Proje Yönetimi (Project Management),
9. Proje Mühendisliği (Project Engineering).

Yukarıda sıralanan disiplinler sonucunda Clark ve diğerlerinin oluşturduğu EPC organizasyon şeması Şekil 3.4'te gösterildiği gibi alt kümelerden oluşan kategorilerdir.



**Şekil 3.4 : EPC organizasyon şeması (Clark ve Diğ., 2005).**

### 3.3 Büyük Ölçekli EPC Projelerindeki Bilgi Türleri

EPC projeleri kapsamında işlenen, kullanılan, analiz edilen veriler, disiplinler arası kullanılan yazılımların farklılıklarından meydana gelmektedir. Proje süreçlerinde tasarım kararlarının alınmasına olanak sağlayan temsil şekilleri düşünülerek sınıflandırılmıştır. Veri türleri, iletildikleri ve erişildikleri ortam açısından değerlendirilerek, disiplinler arası bilgi akışları gözlemlenerek oluşturulmuştur. Aşağıdaki bölümlerde, temsil yöntemlerine göre sınıflandırılan veri türlerine tasarımda rol alan aktörler odağında genel bir bakış sunulmaktadır.

#### 3.3.1 Görsel veri biçimleri, 2D, 3D, eskizler, çizimler

Tasarımcıların, bilginin işlenmesi ve iletişim amacıyla görsel temsilleri tercih ettikleri genel olarak bilinmektedir. Görsel temsillerin kullanımının birçok avantajı vardır: bilgi paylaşımını kolaylaştırır (Neumann, Badke-Schaub, Lauche, 2009), içeriğe bağlı olarak görsel temsilden bilgi edinmek, bilgiyi muhafaza etmek ve iletmek metinlerden daha az bilişsel çaba gerektirdiğinden, görsel temsiller bilgi aktarımı açısından metinlerden daha verimlidir (Ware, 2008; Sarkar ve Chakrabarti, 2008). Görsel temsillerin bu etkinliği, disiplinler arası bilgi aktarımında öncelikli tercih edilme nedenlerinin başındadır. Mimarlar, mühendisler perspektifinden değerlendirildiğinde, tasarım çıktılarının 2D ya da 3D oluşmasında etkin olarak kullanılan tasarım araçları rol almaktadır. Mimarlar, eskiz ve 3D olarak bilgi aktarımı sağlarken mühendisler 2D veri ve çizimlerle bilgi aktarımı sağlamaktadırlar.

### **3.3.2 Metinsel veri biçimleri: yazılı, sözlü, şartname ve yönetmelikler**

Dil'in düşünme sürecimizdeki önemli rolü, tasarım faaliyetini doğrudan etkilemektedir (Dong, 2006; Ware, 2008). Tasarım pratiğini geliştirmek, bilgi iletişimini sağlamak, fikir ayrılıklarını oluşturmak ve çözmek, en önemlisi tasarım sürecinde rol alan paydaşlar arasında etkileşimi sağlamak için metinsel veri biçimleri kullanılabilir. Metinsel temsiller, tasarım sürecini başlatan problem belirlemede tercih edilen yöntem olma özelliğini taşır. Spesifik olarak, işveren, kontrol mekanizmasında yer alan uzmanlar, danışmanlar tarafından tercih edilmektedir. Taleplerin, gerekliliklerin belirlenmesinde yazılı ve sözlü bilgi aktarımı söz konusudur. Aynı zamanda, önceden tanımlanmış tasarım gereklilikleri de yazılı metinler olarak şekillenmiş şartname ve yönetmeliklerdir. Şartname ve yönetmelikler, genellikle yerel otoriteler ve alanında tecrübeli uzmanlar tarafından hazırlanmaktadır.

Öte yandan, proje süreçlerinde de paydaşlar arasında sıklıkla tercih edilen metinsel temsiller iletişimi ve etkileşimi güçlendirmek amacıyla hizmet etmektedir.

### **3.4 Araştırma Metodu**

Sözleşme tipi aynı olan, benzer işlevlerdeki projelerin ön proje, detay tasarım, satın alma ve yapım aşamaları sonlanmış süreçlerinin, tasarım kararlarında rol alan aktörler, veri türleri, bilgi akış yönleri ve öngörülen organizasyon / koordinasyon şeması sorgulanarak incelemeleri yapılmaktadır. Araştırma yöntemi kapsamında ilk olarak, mevcut düzende tekrarlanarak uygulanan, tasarla-yap yaklaşımının EPC evrelerine adapte edilmiş proje süreci evreleri, firma içinde farklı disiplinlerin yöneticilerinin bilgi birikimleri esas alınarak onlardan elde edilen bilgiler doğrultusunda hazırlanmıştır. Proje evreleri tanımlanarak, süreçlerde rol alan paydaşlar ve yapılması gereken tasarım aktiviteleriyle, tasarım çıktıları belirlenmiştir. Varolan yapılaşmanın, büyük ölçekli ve günümüzde yaygın olarak tercih edilen EPC süreçlerine evrilmesi, çözümlenerek, mevcut durumun tasarımda rol alan aktörler, tasarım araçları ve bilgi akış yönleri açılarından karşılaştırılarak ve değerlendirilerek, çıkarımlar yapılması amaçlanmaktadır.

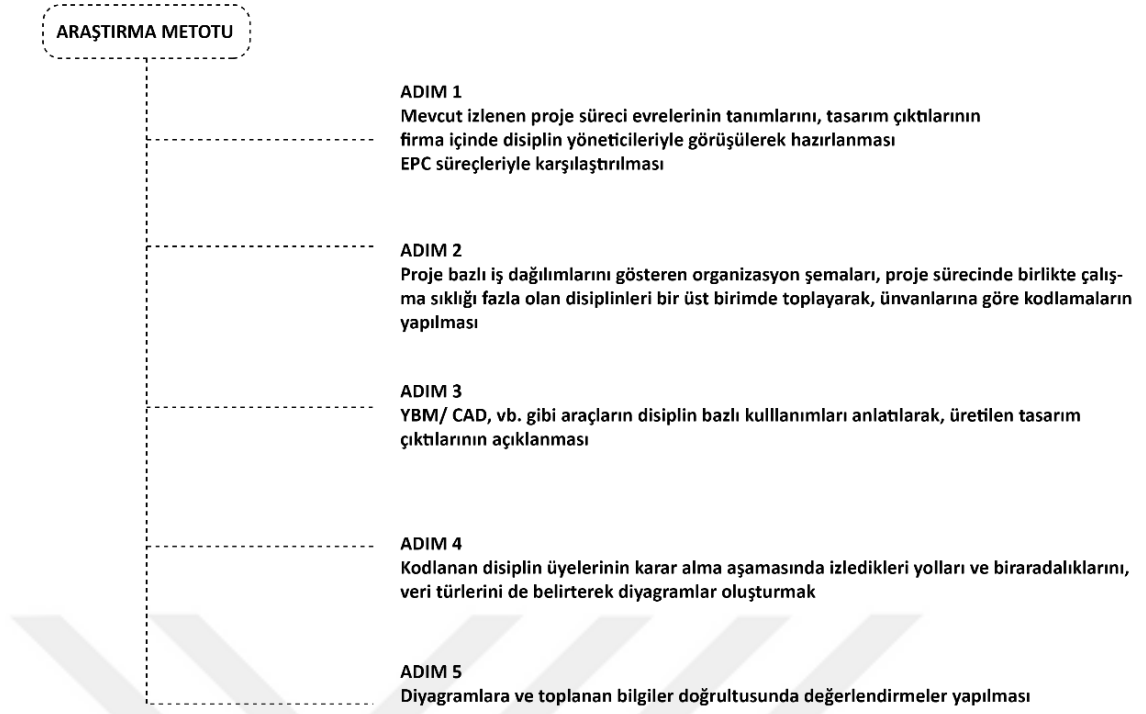
İkinci adımda, proje özelinde hazırlanan organizasyon şemaları incelenmiştir. İnceleme aşamalarında karşılaşılan proje paydaşlarına yöneltilen yarı strüktüre edilmiş sorulardan elde edilen sonuçlara göre alternatif bir organizasyonel gruplama

önerilmektedir. Özetle, proje bazlı iş dağılımları oluşturulan organizasyon şemaları aracılığıyla, yapılan iş doğrultusunda, birden fazla paydaşın birlikte ne sıklıkta çalıştığı ve etkileşimleri irdelenerek, birlikte çalışma düzeni artan disiplinlere göre bir üst birimden oluşan kategorizasyonlar gösterilmektedir. Buna bağlı olarak, asıl amaç tasarım kararlarının alınmasında firma veya müşteri ayırımına gidilmeden disiplinlerin birlikte rol aldığına göstermek ve bilgi akışında meydana gelecek sektelere engel olmak vardır. Bilgi akışlarının en yoğun olduğu dönemde meydana gelecek herhangi bir eksikliğin yol açacağı zaman ve emek kaybı düşünülerek, böyle bir çözüm önerilmektedir. Bu şekilde, karar alma adımlarında biraraya gelmeleri gerekli olan disiplinler organizasyon şeması referansı ile belirlenebilecektir.

Son adımda, YBM / CAD, vb. gibi araçlar aracılığıyla oluşturulan veri türlerinin disiplinler arasındaki akışları Yapısal İşler perspektifinden gösterilmektedir. Bunun için, veri türleri kategorilere ayrılarak, disiplinler tarafından kullanılan araçlar ve onlara bağlı olarak üretilen tasarım çıktıları incelenmektedir. Aynı zamanda, metinsel verilerden de bahsedilmektedir. Bu inceleme, disiplinlerde yer alan kullanıcılarla görüşmeler ve yazarın kendi gözlemleri aracılığıyla hazırlanmaktadır.

EPC, YBM ve büyük ölçekli projelere adapte olmaya çalışan mevcut yapılanma, tasarım araçları, veri türleri, tasarımda rol alan aktörler irdelenerek, ileriki projelerde kullanılmak üzere bilgi birikimi oluşturmak amaçlanmaktadır. Bununla birlikte, disiplin bazlı zorunlu veya özel tercihlerden kaynaklı bütünleşik sistemler arasındaki veri akışlarının kontrolsüz ve doğru yönetilmemesinden kaynaklanan proje süresine uymama ve maliyet kayıplarını önlemek de bir diğer amaçtır. Endüstriyel tesis projelerindeki karmaşık yapı ve teknik verilerin çokluğu, yönetsel ve finansal sıkıntılara yol açmaktadır. Buna rağmen, firmanın bilgi birikimi, çıkarımları ve bir sonraki süreci nasıl yönlendireceğine dair bir yol haritası bulunmamaktadır. Analizlerin, çözümlemelerin sağlayacağı geri besleme ile, standartları, şartnameleri ve gereklilikleri tanımlı olan endüstriyel tesis projelerinin proje sürecini iyileştireceği ön görülmektedir.

Birden fazla adımdan oluşan araştırma metodunun amacı proje süreçlerini birden fazla açıdan incelemektir. Yukarıda açıklanan adımlara ait diyagram 5 adımdan oluşmaktadır (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5 :** Araştırma metotundan izlenen adımlar.

Araştırma kapsamında ele alınan endüstriyel projeler, yaklaşık iki sene boyunca devam etmektedir. Firma içi EPC evrelerine adapte olmaya çalışan disiplinlerin süreci ele alış biçimleri ve süreçlerde oluşturdukları tasarım girdi ve çıktıları irdelenerek ilişkisel bağlantılar sorgulanmıştır. Proje sürecini birden fazla açıdan inceleme amaçlandığı için, araştırma metodu vakalara özel olarak kurgulanarak, erişim saplanabilecek her kanaldan veriler toplanmıştır. Toplanan bilgiler ışığında aşamalı adımlardan oluşan araştırma metodu, projeyi kapsamlı ele almaya olanak sağlamıştır. İzlenen adımlar aşağıda detaylı açıklanmıştır:

**Adım 1:** Her firmanın iş yapma şeklinin varlığı göz önünde bulundurularak, vaka çalışması için seçilen projelerde izlenen yol sorgulanmıştır. Mevcut yöntemlerle alakalı herhangi standart açıklamaların, tanımlamaların bulunduğu bir dökümana rastlanmamıştır. Bu nedenle, disiplin yöneticileriyle periyodik görüşmeler, firmada uzun süredir çalışmış olan danışmanlarla birebir görüşmeler sonucu, EPC evreleri de irdelenerek projelerde gelenekselden EPC evlerine dönüşüm tanımlanmıştır. Proje süreci evreleri oluşturularak, disiplinler arası iletişim, veri alışverişleri, bilgi akışları ortaya çıkmıştır.

**Adım 2:** Proje başlamadan önce, proje yönetim tarafından hazırlanması gereken dökümanlar saptanmıştır. Bunlar proje planlama programı, yaklaşık maliyet analizleri,

proje organizasyon şeması, işin kapsamı, döküman oluşturma standartları, proje özelinde kullanılacak dökümanların hazırlanması vardır. Bu bağlamda hazırlanan organizasyon şemaları, proje yönetimdeki projeyle ilgilenen proje yöneticisi tarafından hazırlandığı için bu organizasyon şemaları çalışanın tecrübesine bağlı olarak değişmekte olduğu ve herhangi bir standarta ya da algoritmalara bağlı olarak oluşturulmadığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple, yazarın dahil olduğu projelerde birlikte çalışma sıklığı fazla olan disiplinler, biraraya gelme frekansları referans alınarak hazırlanmıştır. Disiplinlerin biraraya gelme oranı, yapılan işlerdeki interfazları ortaya koyarak, araştırmanın ileriki aşamasında bilgi akış yönlerinin belirlenmesi amacıyla disiplin yöneticilerine kodlar verilmiştir. Aynı zamanda, organizasyon oluşumlarına alternatif kurgulanan üst birimlerden oluşan organizasyon şemaları önerilmiştir. Üst birim oluşturulmasındaki amaç, bilgi aktarımı esnasında gözlemlenen eksikliklerdir.

**Adım 3:** YBM modelleri, 2D / 3D CAD çizimleri, tesis tasarım yönetim yazılımları incelenerek, hangi türde veri oluşturdukları ve bilgileri hangi formatlarda aktardıkları saptanmıştır. Kullanıcılarla birebir görüşmeler ve yazılım geçmişleriyle saptanan bu veri biçimleri, proje süreç çözümlemelerinde kullanılacağı öngörülerek kodlanmıştır.

**Adım 4:** Vaka çalışması kapsamında ele alınan projelerin süreçleri tanımlandıktan sonra, kodlanan disiplin yöneticileri ve veri türleriyle, projenin hangi evresinde ne tür bir verinin veya bilginin hangi disiplinden hangi/hangilerine nasıl aktarıldığını gösteren diyagramlar hazırlanmıştır.

**Adım 5:** Yukarıdaki değerlendirmeler, çözümlemeler sonucu elde edilen çıkarımlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ölçek, proje yürütme biçimi, projelerin işlevi bakımından benzerlikler taşıyan vaka çalışması kapsamındaki projelerden elde edilen sonuçlardan çıkarımlar, geri-bildirimler oluşturulmuştur.

#### **4. ENDÜSTRİYEL TESİS PROJE SÜREÇLERİNİN ÇÖZÜMLENMESİ, KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Bu bölümde, endüstriyel tesis projelerinde disiplinlerarası çalışma sürecinin analiz edilmesi amacıyla 2D/3D, CAD, YBM ve AVEVA araçları kullanılarak hazırlanan iki endüstriyel tesis proje süreci değerlendirilmektedir. Çalışma sınırlarında, CAD ve YBM süreçlerine tam ya da kısmi adaptasyon sağlamış firmaların endüstriyel tesis projeleri kapsamında sorumlu olduğu yapıların tasarımı için önceden tanımlı (pre-defined) gereklilikleri, senkronize ve asenkronize alınan kararların çözümlemeleri, paydaşlar arasındaki bilgi akış yönleri, firma içi koordinasyon projelerin ön, detay tasarım, satın alma ve yapım aşamaları üzerinden irdelenmektedir. İncelenen endüstriyel tesis projeleri, tezin hazırlandığı dönemden önce yapımı tamamlanmış olan, ölçek, proje süreci, proje yürütme biçimi ve fonksiyon bakımından benzer yapıdaki Proje A ve yapım süreci devam eden Proje B'den oluşmaktadır. Yapılan çözümlemeler sonucu, firma içi tasarım alternatifleri hazırlamak için gereken zamanı arttırmak, gelecekte karşılaşılabilecek benzer özelliklerdeki projeler için kavramsal altlık oluşturmak ve süreç yönetimini iyileştirmeye yönelik öneriler geliştirmek hedeflenmektedir. Sırayla çalışmanın amaç ve kapsamı, çalışmanın veri toplama yöntemleri, vaka çalışması kapsamında ele alınan projeler, proje süreçleri ve kodlamaları, disiplinler bazlı tasarım araçları, disiplinler ve disiplinler arası interfazlar ve buna bağlı olarak proje süreç çözümlemeleri, son olarak ise proje süreçlerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi yer almaktadır.

##### **4.1 Amaç ve Kapsam**

Endüstriyel tesislerde belirli fonksiyonlara hizmet eden yapılar/binalar, belirli yerel uygulamalar, norm ve standartlar doğrultusunda tasarlanırlar. Tasarım süreci, disiplinlerarası bilgi akışı ve kontrolüyle şekillenmektedir. Mimarlık, Mühendislik, İnşaat (AEC) sektörü; tasarım, tasarımı geliştirme, detay tasarım, dökümantasyon, satın alma ve inşaat süreci adımlarını daha iyi yönetme ve kontrollü ilerleme sağlayabilmek amacıyla son yıllarda yapı bilgi modelleme araçlarını tercih etmektedirler. Öte yandan, disiplinler arasında amaca veya müşteri talebine yönelik tercih edilen programlar farklılaşmaktadır. Bu durum birden fazla disiplinden kaynaklanan farklı tasarım araçlarını ortaya çıkarmaktadır. 2D/3D CAD kullanıcıları, YBM kullanıcıları ve AVEVA kullanıcıları arasındaki bilgi akışını geliştirmek, veri

türleri arasındaki farklılıklara rağmen proje sürecinde optimizasyon sağlamak üzere özellikle Endüstriyel Tesis projelerini EPC olarak yapan firmalar için, bir yaklaşım önerisi oluşturmak hedeflenmektedir. Bu bağlamda oluşturulan süreç çözümlemeleriyle, tasarımda rol alan aktörler ve tasarım araçları nedeniyle farklı veri biçimleri ve dönüşümlerine rağmen, benzer işlerle karşılaşıldığında kullanılmak üzere bilgi akışlarını, veri alışveriş düzenini tarifleyen çözümlemelerle kavramsal bir altlık oluşturarak proje süreçlerinde yer alan paydaşların daha kolay adapte olmasını sağlamaktır.

YBM araçları eşzamanlı çalışmaya izin vermesi ve çalışma prensibi sayesinde veri tabanı oluşturmasıyla proje süreçlerinde tasarımcının tasarıma dahil olmasında sürekliliği sağlamaktadır. Öte yandan, disiplinlerin tercih ettikleri tasarım araçları arasındaki farklılıklar süreci uzatmaya sebep olabilmektedir. 3D CAD ve YBM araçları arasında tasarım çıktılarının/verilerinin entegrasyonu sağlamak için gerekliliklerin öngörülememesi, tasarım kararlarını alma aşamasında sektelere neden olduğu gözlemlenmiştir. Tasarımın başından sonuna kadar olan sürede, proje başında müşteriden gelen talepler, yerel yönetmelikler ve standartlar, paydaşlardan süreç içinde alınan kararlar değerlendirilerek, proje süreç yönetiminin daha tanımlı hale getirmek ve buna bağlı olarak tasarımcıların tasarım dışındaki işler için emek ve zamanlarını harcamalarını azaltmak amaçlanmaktadır.

Vaka çalışması kapsamında incelenen endüstriyel tesis projelerinin, benzerlikleri ve farklılıkları değerlendirilerek firma içi mevcut iş yapış şekli iyileştirilerek, ileriki projelerde kullanılabilirliği irdelenmektedir. Bu amaçla aşağıdaki sorulara vaka çalışması ile cevap aranmaktadır.

1. Disiplinler arası alınan senkronize ve asenkronize tasarım kararlarının ve bilgi akışının çözümlenmesi, proje süreçlerinin daha verimli ve kontrollü hale getirmesi söz konusu olabilir mi?
2. 2D/3D, CAD ve YBM ortamlarının endüstriyel tesis projeleri tasarımı için proje evrelerinde kullanılmasının veri aktarımına etkileri nelerdir?
3. Proje paydaşlarının bölüm ikide açıklanan bütünleşik sistemlere adaptasyonu sonucu projelendirme sürecini zamana bağlı segmentlere ayırmak mümkün müdür?

4. Segmentasyonu yapılan proje süreçlerinden elde edilen verilerin gelecekteki benzer projeler için kullanılabilirliği söz konusu olabilir mi?

Firma için yapılan çalışmalar sonucu, endüstriyel tesis projelerindeki yapılar ve binaların tasarımları için, mimari, inşaat, elektrik, mekanik disiplinlerinin YBM veya CAD araçları kullandıkları gözlemlenirken; borulama, enstrüman, proses disiplinlerinin 2D/3D CAD araçları kullandıkları saptanmıştır. Proje başlangıcında tanımlanmış parametrelerin varlığı, proje sürecinde disiplinler arası çalışmayla ortaya çıkan gereklilikler doğrultusunda şekillenen projelerde, farklı tasarım araçlarının kullanılması nedeniyle paydaşların zamanlarının çoğunu veri yönetimine, disiplin bazlı koordinasyon ve entegrasyona harcadıkları ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, disiplinlerin karar alma mekanizmalarını incelemek üzere bir yurtiçinde ve bir yurtdışında olmak üzere benzer tasarım araçlarının tercih edilerek kullanıldığı doğalgaz dolum tesisindeki yapılardan disiplinler arası interfazların yoğun olduğu yönetim binaları seçilmiştir. Proje A, 1850 km uzunluğundaki gaz boru hattı projesi kapsamında yapılan 7 adet kompresör istasyonu ve 4 adet ölçüm istasyonundan oluşmaktadır. Kapsamda mevcut istasyonlardan kompresör istasyonunda bulunan Yönetim ve Kontrol binaları seçilmiştir. Proje B ise, Türkiye'nin doğusunda bulunan bir ülkede uygulanmış doğalgaz dolum tesisi kapsamında yer alan yapılardan Yönetim binası olarak belirlenmiştir. Yapısal işler kapsamında olan bu yapılardaki izlenen yol, genel olarak Endüstriyel tesis projelerinde prosesin olmadığı yerlerde benzerlik göstermektedir. Tezin yazıldığı dönemde her iki projenin de ön, detay tasarım, uygulama projeleri, satın alma süreçleri sonlanmış olup, sadece Proje A'nın yapım süreci ölçeği nedeniyle devam etmektedir. Proje A ve B'nin tercih edilme sebebi, EPC projeleri olmaları, disiplinler arası çalışma gerekliliği, benzer tasarım araçlarının kullanılmasıyla tekrar eden süreçlerin, hareketlerin gözlemlenmesidir.

Sonuç olarak, vaka çalışması ile YBM ve 2D/3D CAD süreçlerinin EPC projelerine etkisi sonucu karşılaşılan zorlukları, zaman kayıplarını proje bazlı gidermek yeterli değildir. Süreçte yeralan aktörlerin projelerde izledikleri adımlar arasındaki benzerlik/farklılıkların incelenerek ileride karşılaşılabilecek işler için firma içi uygulanabilmesi amacıyla standartlar oluşturularak, bu standartların kurumsal dökümanlar arasında yer alması gerekmektedir. Bu amaçla, EPC süreçlerinde karşılaşılan düğüm noktaları, alınan tasarım kararları, bilgi akışı yönü ve yönetimi, bilgi akışlarının ve veri türleri arasındaki ilişkilerin analizleri ve görselleştirmeleri

vaka çalışmalarında incelenmektedir. Bölümler, ön, detay tasarım, uygulama projelerinin hazırlanması, satın alma ve yapım süreçleri perspektifi göz önünde bulundurularak değerlendirilmektedir.

## **4.2 Veri Toplama Yöntemleri**

Vaka çalışması kapsamında ele alınan projelerin incelenmesi için çeşitli veri toplama yöntemlerinden yararlanılmıştır. Projelerin başından sonuna proje sürecinin aktif katılımcısı olarak yazarın kendi deneyimleri ve gözlemleri, Proje A ve proje B'ye ait toplantı notları, disiplin yöneticileri ve departman müdürleriyle ucu açık görüşmeler, firma içi yazışmalar ve projelere ait dökümantasyonlar, yazılımlara ait kullanıcı müdahalelerini içeren geçmiş kayıtlar kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, projelere ait yapı bilgi modelleri, CAD çizimleri, IFC modelleri, tesis modelleri de incelenmiştir.

## **4.3 Vaka Çalışması Kapsamında İncelenen Projeler**

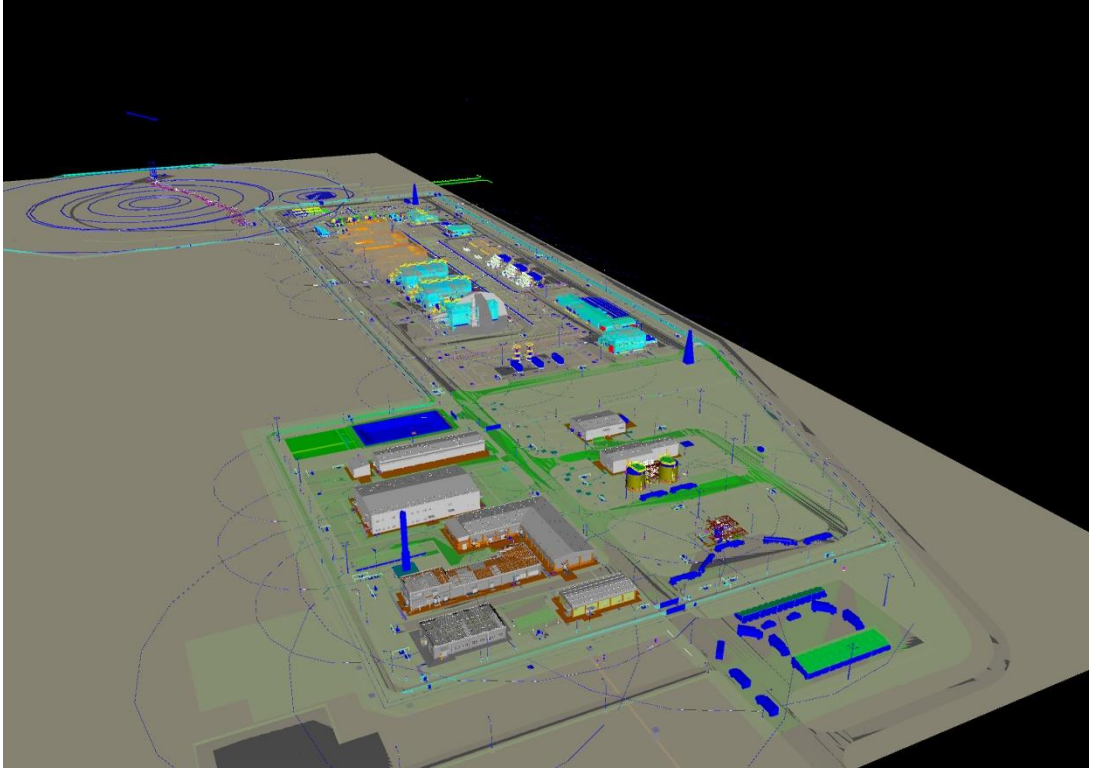
### **4.3.1 Proje A**

Vaka çalışması kapsamında incelenen projelerden ilki, Azerbaycan-Türkiye-Avrupa doğrultusunda devam eden 1850 km uzunluğundaki gaz boru hattı projesi kapsamında yapılan 7 adet kompresör istasyonu ve 4 adet ölçüm istasyonundan oluşan projedir. Kapsamda yer alan istasyonlardan kompresör istasyonunda bulunan Yönetim ve Kontrol binası seçilmiştir. Proje ölçeği dolayısıyla müşteri, müşavir ve bir başka firmanın iş birliğiyle yürütülmektedir. Proje müşteri tarafından, proses ve proses dışı işler olarak ikiye ayrılarak, EPC olarak ilerlemektedir. Projede, istasyon binalarının, proses ağırlıklı işleri birlikte çalışılan firma tarafından tasarlanmakta olup, geri kalan işlemlere hizmet eden proses dışı yapılar ve binalar firmanın kapsamındadır. Kompresör istasyonu, EPC firmanın iş kapsamını detay tasarım, satın alma ve yapım olarak talep etmesi, disiplinler arası ve iş birliği içinde olunan ortak firmanın varlığı, satın alma ve inşaat süreçlerinin sonuna yaklaşmakta olduğu göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir. Kompresör İstasyonu binaları:

1. Misafirhane,
2. Kantin ve Personel Binası,
3. Yönetim ve Kontrol Binası,

4. Güvenlik Binası,
5. Atölye ve Depo Binası,
6. Bakım Binası'dır.

Proje kapsamında tasarlanan binaların ve tesisle ilgili yapıların yer aldığı model Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Projedenin birden fazla fazda aşamalı olarak yürütülmesi söz konusudur. Bu durum, teknik konuların fazlalığına sebep olmaktadır. Projenin katmanlı yapısı, proses ve proses dışı olan yapıların ayrı firmalar tarafından tasarlanıyor olmasına ek olarak interfazların kontrol eden ayrı bir firmanın varlığı nedenleriyle, müşteri proje süreci takibi yapabilmek ve bütüncül bir yaklaşım amaçladığı için, yapılan sözleşmede projenin YBM araçlarıyla LOD 300 detay seviyesinde hazırlanması talep etmektedir.

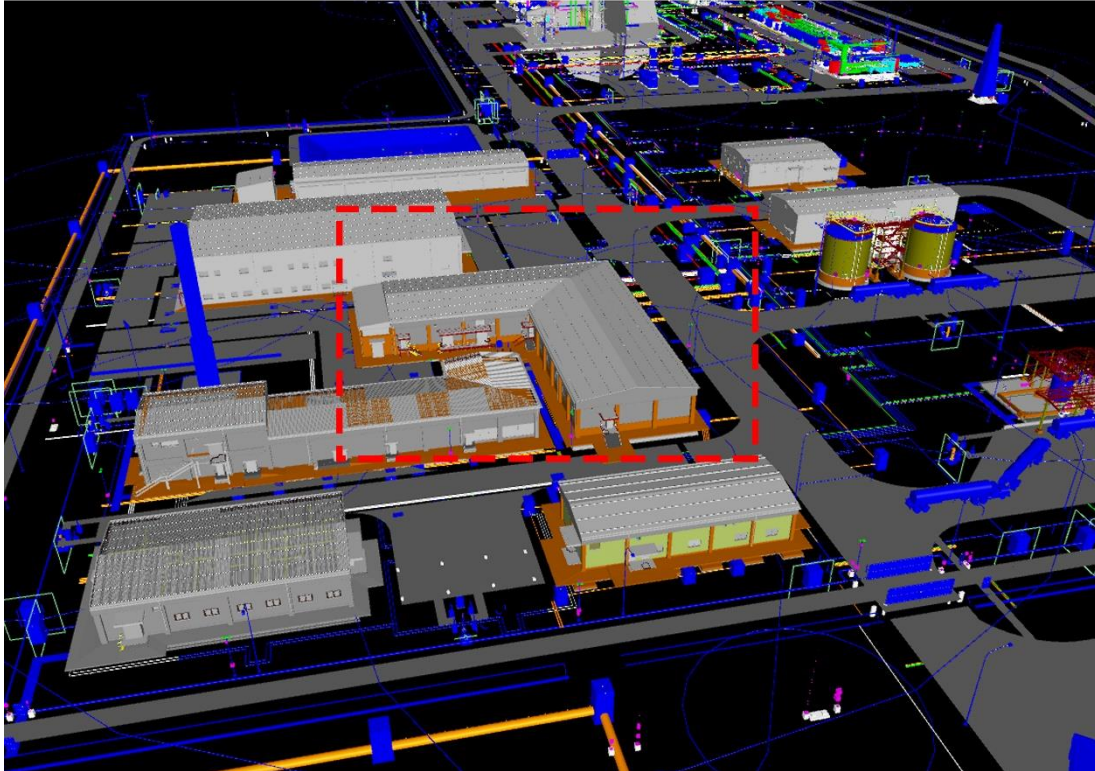


**Şekil 4.1 :** Kompresör istasyonu'nun birleştirilmiş Navisworks modeli.

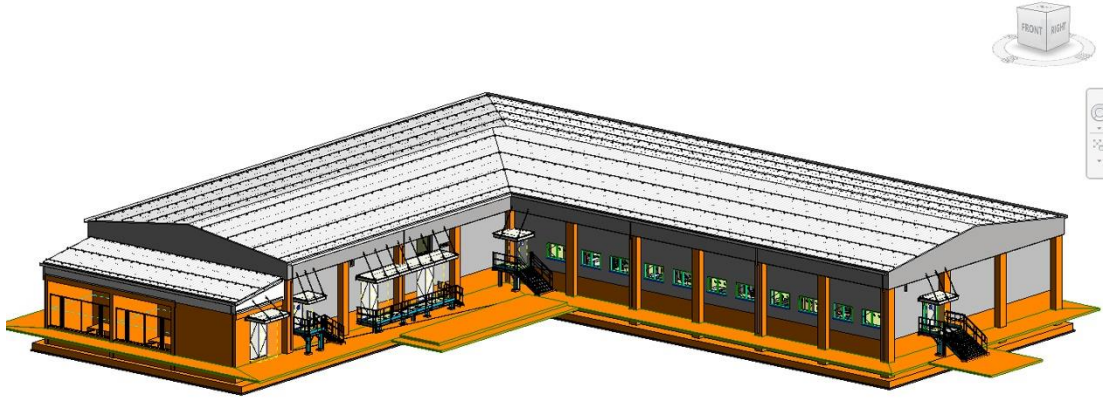
Vaka çalışması için incelenen bina tek katlı, 19500x24000 mm. boyutlarında geometrik ve işlevsel olarak istasyon genelinde karmaşıklığı yüksek bir binadır. 2D, 3D tasarım çıktılarının, disiplinler arası proje prosedüründe tanımlı kontrol mekanizması nedeniyle yapım aşaması için gerekli verilere sahip olacağı öngörülmüştür.

Yönetim ve Kontrol binasının tesis içindeki konumu Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Binanın tasarım sürecinde oluşturulan modeller, sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te gösterilmektedir. YBM, betonarme ve IFC modelleri bina boyut, yükseklik, çelik konstrüksiyon gösterimleri nedenleriyle önemlidir. Yönetim ve Kontrol binasındaki mahaller:

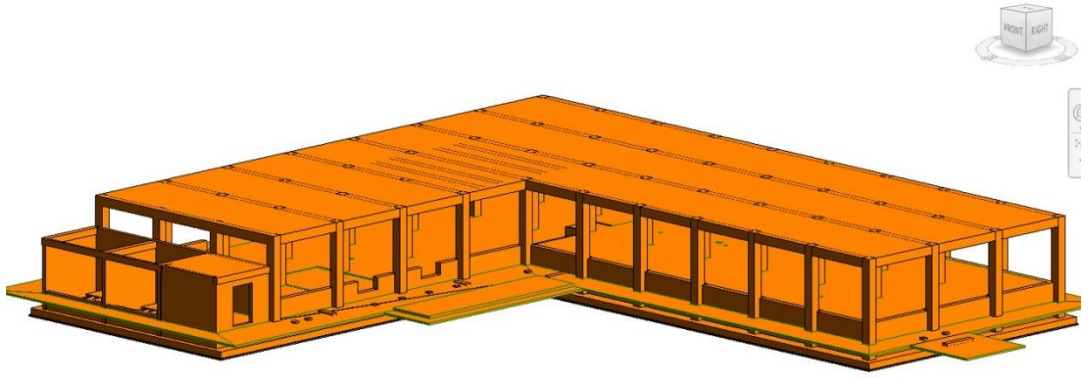
1. HVAC odası
2. Akü Odası
3. Kontrol Odası
4. Trafolar (üç adet) ve Elektrik Panel Odası
5. Scada ve Telekom Odası
6. Yangın Söndürme Odası
7. Ofisler
8. Toplantı odaları ve ıslak hacimlerdir.



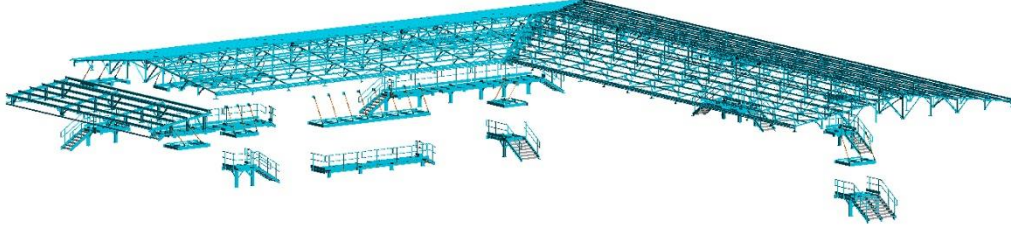
Şekil 4.2 : Yönetim ve kontrol binası, genel.



Şekil 4.3 : Yönetim ve kontrol binası, YBM modeli.



Şekil 4.4 : Yönetim ve kontrol binası, betonarme modeli.



**Şekil 4.5 :** Yönetim ve kontrol binası, Tekla'dan alınmış IFC modeli.

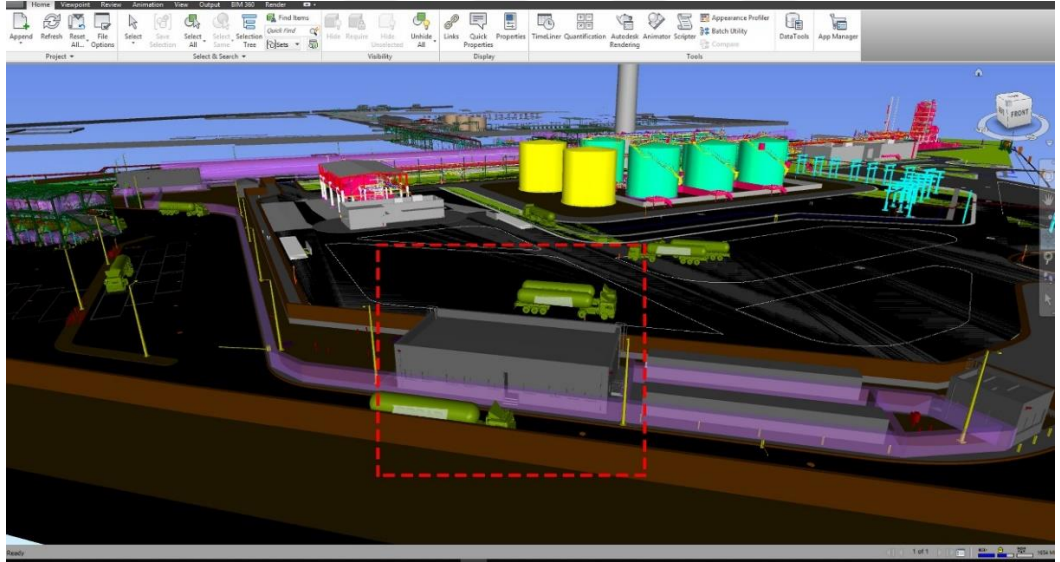
#### **4.3.2 Proje B**

Vaka çalışması kapsamında incelenen projelerden ikincisi, Türkiye'nin doğusunda bulunan bir ülkede uygulanmış doğalgaz dolum tesisinde yer alan yapılardan Yönetim binasıdır. Proses, teknoloji, enstrüman ve otomasyon, elektrik, mekanik, inşaat, mimari disiplinlerinin yer aldığı projede, mimari, inşaat, elektrik, mekanik, enstrüman etkileşim sıklığı karşısında, proses, teknoloji, enstrüman, elektrik, teknoloji disiplinlerinin etkileşim sıklığı gözlemlenmektedir. Proje kapsamında yer alan inşaat işleri ve proses işlerinin ayrımı disiplinler birlikteliği / ayrımı yaratmaktadır. Bu işlerin tanımlanması sonrası hazırlanan Navisworks modeli Şekil 4.6'daki gibidir. Tesis kapsamında yapılan binalar arasında disiplinler arası etkileşimin ve iletişimin fazla olduğu binaların başında Yönetim Binası gelmektedir. Yönetim Binası'nın tesis içindeki konumu Şekil 4.7'de gösterilmektedir. İncelenen Yönetim binası mahalleri:

1. Kontrol odası,
2. Operatörlerin odası,
3. Yangın söndürme odası,
4. Ofisler, Toplantı odası
5. Islak hacimler.

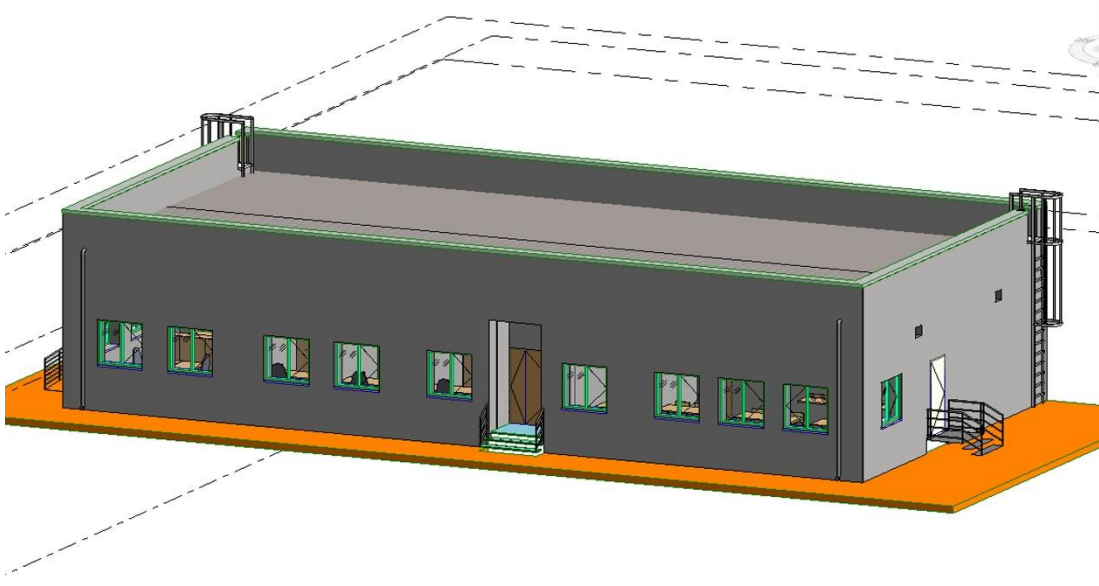


**Şekil 4.6 :** Doğalgaz dolum tesisi birleştirilmiş Navisworks modeli.



**Şekil 4.7 :** Yönetim binası, genel.

Proje kapsamında uygulanan Yönetim Binası, tek katlı betonarme olup, doğalgaz dolum tesisinin girişinde konumlanmıştır ve 12500x25000 mm. boyutlarındadır. Şekil 4.8’deki YBM modeli, binanın betonarme, çelik modellerini de içermektedir.



**Şekil 4.8 : Yönetim binası, YBM modeli.**

#### **4.4 Proje A ve Proje B'nin EPC Evreleri**

Bu bölümde, vaka çalışması kapsamında incelenen endüstriyel tesis projelerinin üçüncü bölümdeki proje evreleri sürecine referansla, projelerin EPC evrelerinin saptanması amacıyla strüktüre olmamış mülakatla, firma içi görüşmelerle veri toplanmıştır. Üç ay boyunca, iki haftada bir inşaat, mekanik, elektrik, enstrüman ve otomasyon disiplin yöneticileriyle yapılan periyodik görüşmeler ve borulama, ekipman, proses, proje yönetimi alanlarında uzman çalışanlarla ucu açık mülakatlar, yazarın kişisel deneyim ve gözlemleri sonucu elde edilen veri, projelerin kaç evreye ayrılabilceği ve EPC evrelerine adaptasyonunun nasıl olduğu konusunda ışık tutmuştur. Niteliksel bir çözümleme yöntemiyle proje evrelerinin dörde ayrılması önerilmektedir.

Bir sonraki aşamada, projelerin karşılaştırılmasında, tüm süreç çözümlemelerinde özellikle proje sürecinde yer alan aktörlerle, evrelerin karşılaştırılması, çakıştırılmasında veri akış yönleri ve karar alma süreçlerinin nasıl ilerlediğini anlama yönünde bu kodlara yani proje süreci evreleri olarak tanımlanan, ön proje süreci, detay tasarım süreci, uygulama projelerinin hazırlanması süreci, yapım süreci şeklinde dörtlü kodlamaya ihtiyaç duyuldu. Araştırma kapsamında EPC evrelerinin çözülmesi ve

sınıflandırılması çalışması daha sonra şirket veri tabanına eklenmiş ve dökümantasyonda kullanılmaya başlanmıştır.

#### **4.4.1 Ön proje süreci**

Konsept tasarımı veya ön tasarım evresi olarak tanımlanan bu süreçte, asıl amaç tam olarak müşteri vizyonunu anlama ve proje temel hedeflerini belirlemektir. Bununla birlikte tasarım diğer disiplinlerin sistem çözümleriyle de koordineli bir şekilde ilerlemektedir. Bu aşamadaki belirli faaliyetler detay tasarım aşaması için gerçekleştirilmektedir.

Genel olarak bu süreçte, müşterinin beklentilerinin ve ilk proje hedeflerinin tasarım konsepti geliştirilmeden önce doğru bir şekilde dikkate alındığından emin olmak için kullanılarak, proje bilgilerinin gelişimi hedeflenmektedir. Bu evrede yapılması amaçlanan hedefler:

1. Proje alternatiflerini proje hedeflerine uygun olarak hazırlamak ve genel proje planlama programını oluşturmak,
2. Müşterinin temel proje gereksinimlerini belirlemek ve müşteri vizyonunu karşılayabilmek amacıyla ortak firma ve danışmanlarla yakın çalışmak,
3. Projenin tasarımını etkileyen hem yerel hem de uluslararası kodları, düzenlemeleri ve diğer parametreleri veya kısıtlamaları belirlemek,
4. Fizibilite çalışmaları yapmak ve saha bilgilerinin gözden geçirilmesi, çevresel faktörleri (güneş, rüzgar, vb.) değerlendirmek,
5. Yerleşim planlarını, kat planlarını, kotları, bölümleri vb. içerecek şekilde konsept tasarımları oluşturmak,
6. Yapısal tasarım ve MEP sistemleri için taslak önerileri içeren tasarım konseptini hazırlamak,
7. Trafik Etki Değerlendirmesi / Çevre Etki Değerlendirme Planlaması ile görüşmek.

Detay tasarım sürecine hazırlık için ön proje çıktılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu evre sonucunda oluşan veya edinilen bilgiler doğrultusunda tasarım bir sonraki evrede geliştirilerek ilerlemektedir. Süreç sonunda öngörülen tasarım çıktıları aşağıda listelenmiştir:

1. Ön proje tasarım projeleri;
  - Mimari (yerleşim planı, kat planları, kesitler, kotlar, vb.),
  - Mühendislik (Yapısal ve MEP Sistemleri için kavramsal tasarım raporları),
2. Dış cephe görselleri (gerekliyse),
3. Yapı malzemeleri şartnameleri,
4. Proje yürütme planı, organizasyon şeması ve iş programı.

#### **4.4.2 Detay tasarım süreci**

Bu aşama, projeyi ön projede uygun olarak geliştirmek için diğer disiplinlerle koordinasyondan oluşmaktadır. Ayrıca, satın alınması gereken iş kalemlerinin tedarikçi firmalar tarafından üstlenilen tasarım çalışmalarının önemini içermektedir. Detay çizimleri ön maliyet belirlemesi ile koordine edilerek ilerlenir.

Detay tasarım geliştirme aşamasında, aşağıdaki adımlar yerine getirilmektedir:

1. Onaylanmış tasarım alternatifinin mimari ve iç çizimlerini yönetmeliklere uygun olarak hazırlamak,
2. Müşteriye, yerel bina şartnama gereklilikleri veya uluslararası standartlar, teknik konular dahil olmak üzere, ilgili tasarım standartları ve bina standartlarını sağlamak ve bunlardan sorumlu olmak,
3. Tüm mimari bileşenlerin şartnamelerini, malzeme seçimlerini, montaj ve yapım işlemlerini ve teklif süresi için ayrıntılı tasarım çizimlerini hazırlamak,
4. Danışmanlarla ve malzeme / ekipman satıcılarıyla iş birliği içinde olmak,
5. Mühendislik sistemleri çözümlerini uygulamak, yani yapısal, MEP ve seçilen tüm yapısal, bina hizmetleri bilgilerini, tedarikçi uzmanların tasarımını incelemek,
6. Tüm disiplinlerle koordineli çalışma ve yerel otorite izinleri alabilmek için çizimlerin hazırlamak,
7. Tasarım programına göre proje stratejileri ile birlikte ön maliyet bilgisini ana hatlarıyla belirlemek.

Detay tasarım süreci, yapım evresinden önceki en önemli evredir. Detay tasarım sürecine hazırlık ve ön proje çıktılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu evre sonucunda oluşan veya edinilen tasarım çıktıları doğrultusunda tasarım bir sonraki evrede satın alma ve yapıma başlanmasına hazır hale gelmektedir. Bu süreçte meydana gelen değişikliklerin kontrolü doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Süreç sonunda öngörülen tasarım çıktıları aşağıda listelenmiştir:

1. Mimari çizimler,
2. Yapısal ve ön MEP mühendislik çizimleri (ön tasarım raporu, sistem şeması, ön şartname ve MEP sistemleri için miktarların metrajları ve teknik föyler, malzeme föyleri),
3. İç mekan çizimleri, asma tavan planları, ince işler (döşeme ve duvar kaplamaları, vb.) ve tefriş ile yerleşim planları, iç duvar ve tavan kotları,
4. Malzeme listeleri,
5. Ruhsat projeleri,
6. Ön maliyet tespiti için gerekli metraj listeleri,
7. İç / dış kaplamalar ve teknik özellikler,
8. Güncellenen proje yürütme planı ve ilerleme raporları,
9. Borulama ve Enstrümantasyon Diyagramları, izometrik çizimler, ekipman gereklilikleri.

#### **4.4.3 Uygulama projelerinin hazırlanması süreci**

Bu süreçte, onaylanan detaylandırılmış tasarım çizimleri yapım aşaması için hazırlanmaktadır. Hazırlanan tasarım çıktıları, teklif verme faaliyetleri, kesin maliyet hesaplamalarını için kullanılmaktadır.

Tasarım çıktıları, yapım evresinde karşılaşılabilecek problemleri önlemek amacıyla hazırlanmaktadır ve en önemli evredir. Aynı zamanda, detay tasarım sürecinde öngörülen malzemelerle ilgili satın alma aktivilerinin yönetildiği bir süreçtir.

Uygulama projelerinin hazırlanması aşamasında, aşağıdaki adımlar yerine getirilmektedir:

1. Yapım aşaması için projenin tamamının dökümantasyonu hazırlamak,

2. Mimari, yapısal, MEP sistemleri, peyzaj, yangın söndürme, montaj çizimlerini hazırlamak,
3. Satın alma için metraj listelerini kesinleştirmek.

Süreç sonunda öngörülen tasarım çıktıları aşağıda listelenmiştir:

1. Mimari çizimler (yerleşim planı, kat planları, kesitler, görünüşler, ıslak hacim ve cephe sistem detayları, tipik detaylar, vb.),
2. İç tasarım çizimleri (asma tavan planları, malzeme ve mobilya listeleri),
3. Mühendislik çizimleri (Tüm yapısal çalışma çizimleri), teknik föyler, metraj listeleri,
4. Kesinleşmiş maliyet listeleri,
5. Kapsamlı şartnameler (ekipman, malzeme özelinde hazırlanmış).

#### **4.4.4 Yapım süreci**

Yapım süreci, satın alma süreçlerine destek vererek ve yapım sırasında karşılaşılan değişiklikler doğrultusunda çizimlerin revizyonunu kapsamaktadır. Uygulama projelerinin hazırlanması ve yapım aşaması bütünleşik bir süreç olarak düşünülebilir. Yapım aşamasına, alt yapı işleriyle başlanıldığı düşünülerek, sürecin uygulama projeleri hazırlanma evresinde yapılması gereken birtakım gereklilikleri de kapsadığı gözlemlenmiştir.

Yapım aşaması öncesi ve süresince, aşağıdaki adımlar yerine getirilmektedir:

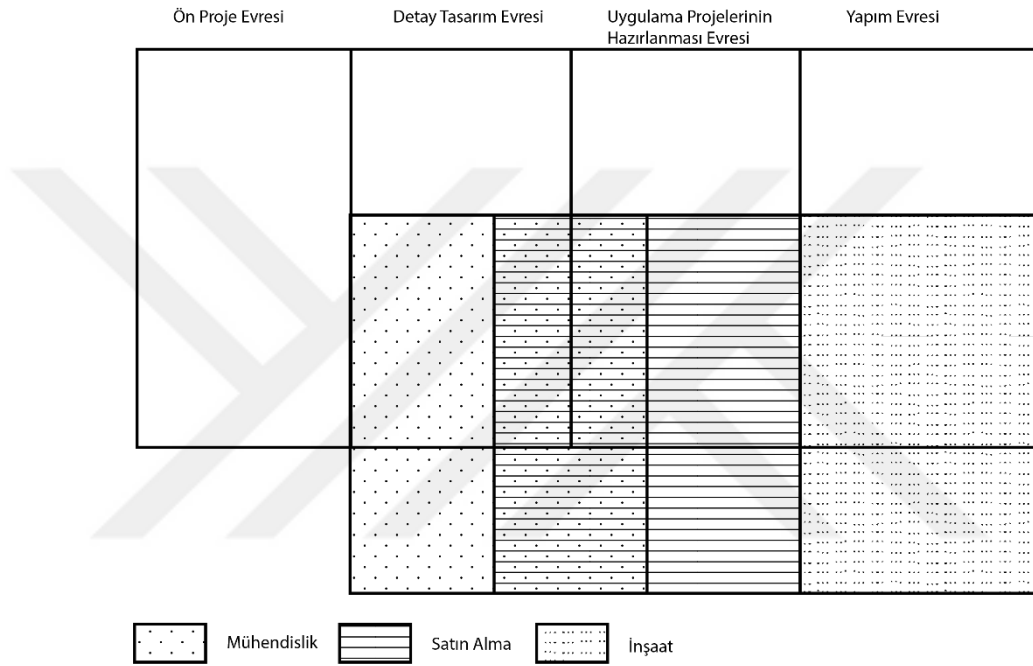
1. Alt yüklenicilerden ve satın alma danışmanlarından kaynaklanan çizimleri, malzeme onay formlarını, sistem tasarım incelemesini / gerekliliklerini gözden geçirmek ve onaylamak,
2. Satın alma tekliflerini değerlendirmek ve ilave çizimler, listeler oluşturularak süreci yönetmek,
3. Teklif veren firmaların önerdiği değer mühendislik önerileri de dahil olmak üzere tekliflerin ve çizimlerin teknik bölümünü değerlendirmek.

Süreç sonunda öngörülen tasarım çıktıları aşağıda listelenmiştir:

1. Revize edilmiş tasarım bilgileri, raporları ve çizimleri,
2. Revizyonlara göre yapılan çizimler,

3. Özellikle mühendislik disiplinlerini kapsayan teknik teklif değerlendirme raporları,
4. Satın alma desteği.

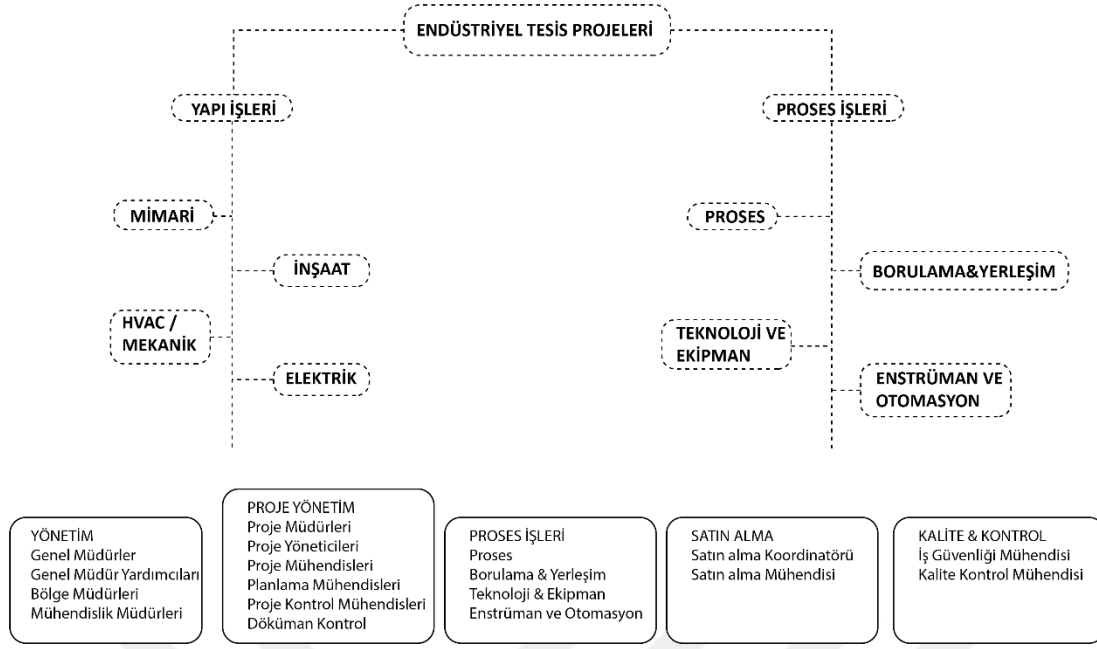
Mevcut proje süreçlerinin amaçları, yapılan işler, evre sonundaki tasarım çıktılarının belirlenmesi, Mühendislik, Tedarik, İnşaat evreleriyle kesişim kümelerini oluşturmayı kolaylaştırmıştır. Kesişimlerin diyagramı Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



**Şekil 4.9 : Mevcut yapı / EPC süreç çakışma diyagramı.**

#### 4.5 Proje Sürecinde Rol Alan Aktörler

Projelerin kapsamı, ölçeği, konumu, karmaşıklık derecesi organizasyonel yapılanmaları özelleştiren faktörlerdir. Yapılan işin kapsamı, işin birden çok faza bölünmesi, ortak firmaya veya kontrol rolünde danışman, uzmanların gerekliliğine neden olmaktadır. EPC yapılanması, mühendislik, mühendislikle ilgili olmayan, satın alma şeklinde olmasına rağmen, endüstriyel tesis projelerinde rol alan aktörleri firmalar disiplin bazlı belirlemektedirler. Bu disiplinlerin birlikteliklerinden, yapılan iş ve sorumluluklar doğrultusunda organizasyon sistemindeki bileşenlerin gruplandırılması yapılmıştır. Bu kategoriler, karar alma aşamasında karar alma sürecini optimize edebilmek amacıyla disiplin özelinden bir üst segmentte birbirini en çok etkileyen disiplinler bütününi tariflemektedir (Şekil 4.10).



**Şekil 4.10 : Proje sürecinde rol alan aktörler.**

#### 4.5.1 Yönetim

Yönetim olarak belirlenen roller, müşavir veya kontrol eden firma, müşteri, EPC yüklenicisi genelinde yönetim ağacında en başta karar alan kişilerden oluşmaktadır. Yönetim birimi; genel müdürleri, genel müdür yardımcılarını, mühendislik müdürlerini, bölge müdürlerini, departman müdürlerini kapsamaktadır.

#### 4.5.2 Proje yönetimi

Proje yönetiminde rol alan aktörler, proje yürütme planlarını, proje planlamalarını ve paydaşlar arasında iletişimi sağlayan kişilerden oluşmaktadırlar. Bunlar, proje yöneticilerini, proje müdürlerini, proje mühendislerini, proje kontrol mühendislerini, doküman kontrol yetkilisini kapsamaktadır.

#### 4.5.3 Proses işleri

Proses, ham maddeden ürün elde etme aşamasına kadar olan süreçleri tasarlayan disiplindir. Endüstriyel tesis projelerinde karşılaşılan bir kavram olduğu için yazar tarafından süreç yerine proses olarak kullanılmıştır. Proses sürecini başlatan disiplinin merkezde olduğu ve proses disiplininin tasarım çıktılarıyla çalışmalara yön veren, borulama & yerleşim, enstrüman & otomasyon, ekipman & teknoloji disiplinlerinden oluşmaktadır.

#### **4.5.4 Yapı işleri**

Yapı veya binalardan sorumlu paydaşlardan oluşan yapı işleri, mimarlar, inşaat mühendisleri, HVAC mühendisleri, elektrik mühendislerinden oluşmaktadır.

#### **4.5.5 Satın alma**

Satın alma birimi, proses ve yapı işleriyle alakalı her türlü satın alma işlerinden sorumlu, satın alma mühendislerinden oluşmaktadır.

#### **4.5.6 Kalite & kontrol**

İş güvenliği, kalite kontrol mühendislerinden oluşan birimdir. Özellikle proses birimiyle yoğun olarak çalışan, buna ek olarak tesisteki her şeyle ilgili çalışmaları yürüten bir birimdir.

### **4.6 Disiplin Bazlı Tasarım Araçları ve Veri Biçimleri**

#### **4.6.1 YBM yazılımı**

Genel olarak firma içi projelerde mimari ve inşaat disiplinlerinin özelinde model uygulamalarının dijital temsilleri için YBM yazılımı, Autodesk Revit kullanılmaktadır. Mekanik ve elektrik disiplinleri; Revit'i, projenin detaylarıyla üç boyutlu olarak görmek için tercih etmektedirler. Projelerin işlevlerine göre bu durum değişkenlik gösterse bile endüstriyel tesis projelerinde Revit'i aktif kullananlar mimari ve inşaat disiplinleridir. İki disiplin arasındaki interfazların yoğunluğu ve tasarım aracının eşzamanlı çalışmaya imkan vermesi programın tercih sebebidir.

EPC projeleri olarak ele alınan endüstriyel tesis projelerinde satın alma ve inşaat süreci önemli olduğu için, projelerin detay seviyesi LOD 300 'dür. Özellikle malzeme metrajlarını oluşturabilmek, satın alma sürecinin yönetiminin önemi, projelerin detay seviyesini belirlemede önemli bir faktördür. Veri tabanı oluşturarak, tasarım sürecinde ve sonrasında veri tabanından istenilen bilginin elde edilmesi planlanmaktadır. Projelerde YBM olgunluk seviyesi ise, 1 ve 2 arasında değişkenlik göstermektedir.

Ayrıca, 2D ve 3D IFC formatında gelen tasarım girdilerinin Revit'te birleştirilmesi ve sonrasında Autodesk Navisworks'e aktarımı süreci kısaltmaktadır. Autodesk Navisworks'ün birden fazla tasarım girdisini birleştirerek çakışma analizi yapabilmesi, 4D planlama simülasyonlarına olanak sağlaması programın büyük ölçekli projelerde

tercih edilme sebebidir. Revit kullanılarak elde edilen tasarım çıktıları aşağıda listelenmiştir:

1. 3D model [3D],
2. IFC Model [IFC],
3. Malzeme listeleri (döşeme, duvar, asma tavan, vb. bilgilerin yer aldığı listeler) [SCH],
4. Kapı ve pencere listeleri (sayı ve tipleri, aksesuarları, aynı zamanda sızdırmazlık, yangın dayanımı, otomasyon özelliklerini barındıran listeler) [SCH],
5. Cephe sistem detayları [2D],
6. Islak hacim detayları [2D].

#### **4.6.2 Tekla yazılımı**

Firmanın, çelik imalatı için birlikte çalıştığı firmanın varlığı çelik tasarım için Autodesk Revit dışında bir programın kullanılmasını gerekli hale getirmektedir. Özellikle çelik yapı tasarımı ve imalat çizimlerini oluşturmaya olanak sağlayan Tekla yazılımı üstyapı disiplini kapsamında olan çelik tasarım için kullanılan programdır. Binaya ait tüm çelik yapı bileşenleri Tekla'dan alınmaktadır. Tekla'da hazırlanan modeller üretim aşamasını destekleyici nitelikte olduğu için, modellerin detay seviyeleri yüksek ve fazladır. Bu durum, Tekla'dan Autodesk Revit'e model aktarımında zaman kayıplarına ve veri tabanı olan sayısal modeli oldukça ağırlaştırarak, çalışmayı zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla, Tekla'dan elde edilen IFC formatındaki tasarım çıktısı, kullanıcılar tarafından sadeleştirildikten sonra, sayısal modele entegre edilmeden önce Solibri IFC Optimizer yardımıyla rafine edilmektedir. Tekla yazılımı aracılığıyla elde edilen tasarım çıktıları aşağıda listelenmiştir:

1. İzometrik çizimler [2D],
2. 3D model [3D],
3. Montaj çizimleri ve birleşim detayları [2D],
4. Montaj elemanlarının ve kullanılacak çelik malzemelerinin listeleri {SCH},
5. IFC Model [IFC].

#### 4.6.3 2D/3D, CAD yazılımları

Kullanıcı odaklı yazılım tercihlerinin etken olduğu projelendirme sürecinde, alışkanlıklardan doğan nedenlerle elektrik ve mekanik disiplinleri genellikle Autodesk Autocad programını kullanmaktadırlar. Buna rağmen, YBM araçlarından tasarım sürecinde entegre edilmiş sayısal modelden verimli sonuçlar alabilmek amacıyla yararlanmaktadırlar.

Endüstriyel tesis projeleri özelinde, proje şartnamelerinde de yer alan ve proses, borulama, enstrüman disiplinleri, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) araçlarından olan AVEVA E3D kullanmaktadırlar. AVEVA E3D de kendi içinde bütünleşik bir veri tabanı olma özelliği gösteren, YBM araçlarından farklı olarak hiyerarşik erişimlerle çalışmaya izin veren bir yazılımdır. En önemli avantajı, disiplinlerin tasarım çıktılarının aynı sistem içerisinde gömülü olması ve gerekli değişikliklere karşı dinamik bir modelle süreç optimizasyonunu sağlamasıdır. Aynı zamanda, tasarım çıktılarının 3D olması büyük ölçekli endüstriyel tesis projelerine ait verilerin entegre edilebilmesi için Autodesk Navisworks'e aktarımında kolaylık sağlamaktadır.

Aveva ve 2D CAD yazılımları aracılığıyla elde edilen tasarım çıktıları aşağıda listelenmiştir:

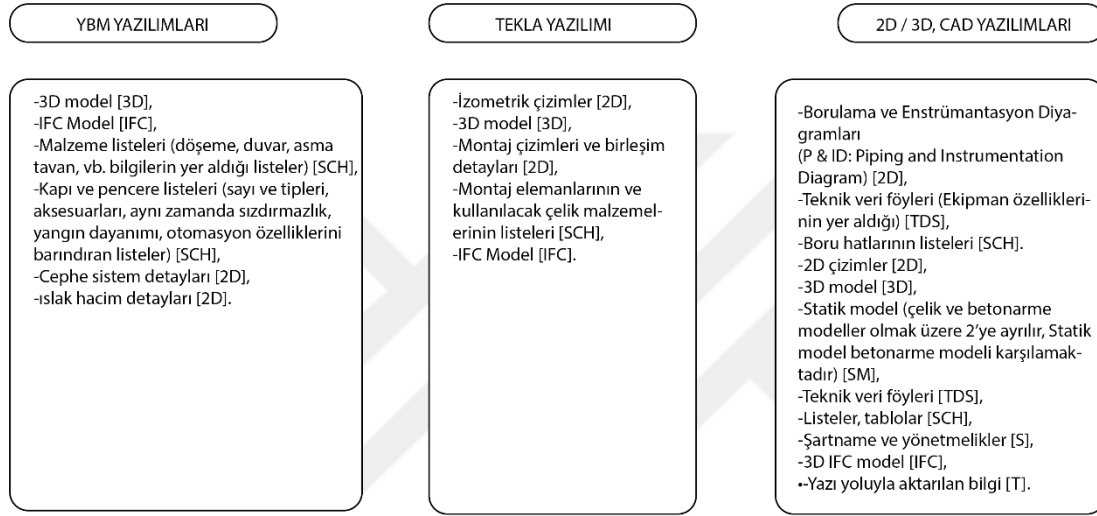
1. Borulama ve Enstrümantasyon Diyagramları (P & ID: Piping and Instrumentation Diagram) [2D],
2. Teknik veri föyleri (Ekipman özelliklerinin yer aldığı) [TDS],
3. Boru hatlarının listeleri [SCH].

Firma içinde aynı projede yer alan paydaşlar arasında kullanılan araçlar ve araçlara bağlı olarak oluşan veri türleri farklılaşmaktadır. Genel anlamda üretilen disiplinler arası veya satın alma için üretilen veri türlerine göre diyagramlarda kullanılan kısaltmalar aşağıda listelenmiştir:

1. 2D çizimler [2D],
2. 3D model [3D],
3. Statik model (çelik ve betonarme modeller olmak üzere 2'ye ayrılır, Statik model betonarme modeli karşılamaktadır) [SM],
4. Teknik veri föyleri [TDS],

5. Listeler, tablolar [SCH],
6. Şartname ve yönetmelikler [S],
7. 3D IFC model [IFC],
8. Yazı yoluyla aktarılan bilgi [T].

Genel olarak yazılımlar ve veri biçimleri incelenerek, aşağıdaki kategoriler oluşturulmuştur (Şekil 4.11).

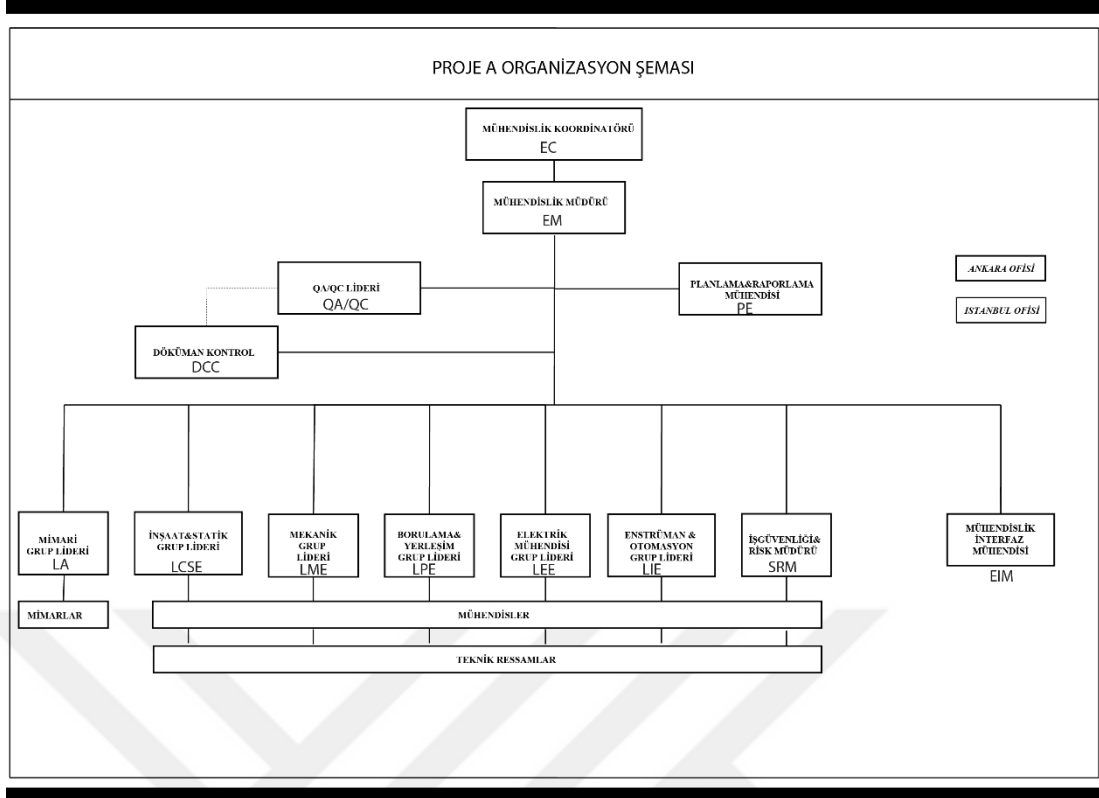


Şekil 4.11 : Yazılımlar ve veri biçimleri.

## 4.7 Proje Süreçlerinin Çözümlemeleri

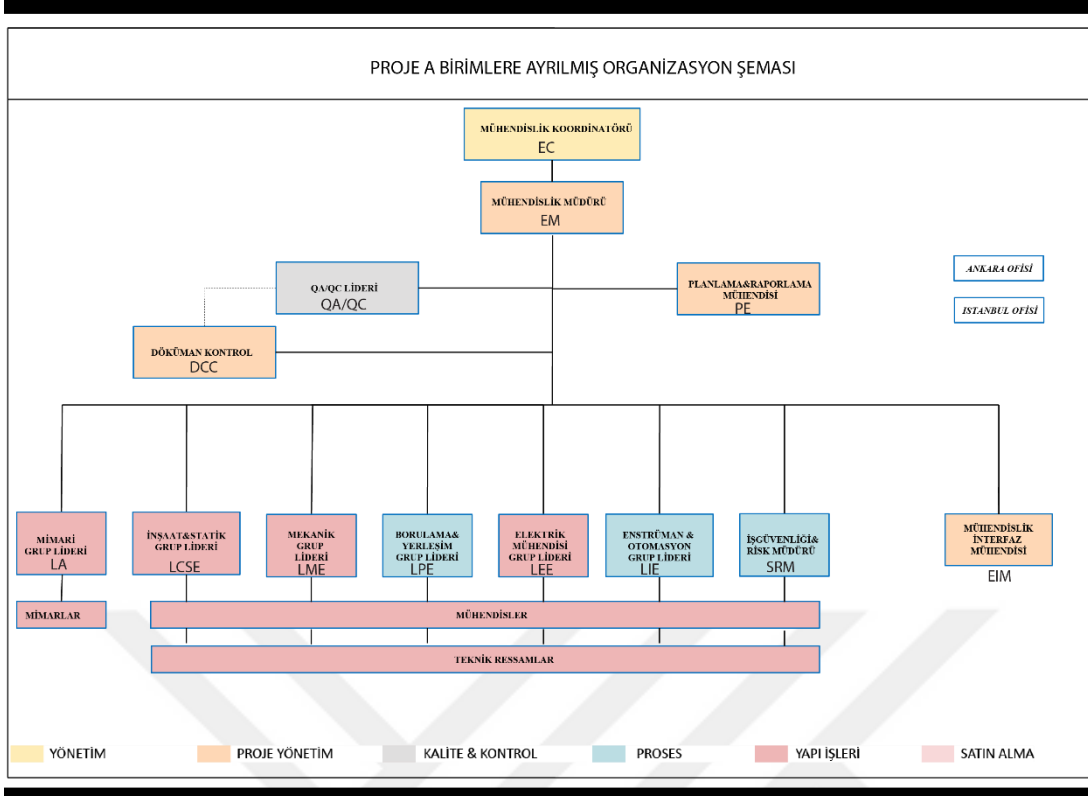
### 4.7.1 Proje A organizasyon şeması incelemesi

Proje ölçeği nedeniyle birden fazla fazda tamamlanması öngörülmektedir. Araştırma kapsamında incelenen istasyon, ilk başlanan istasyonlardandır. EPC rolünde olan firmanın, Şekil 4.12'deki gibi öngördüğü organizasyon şemasının sınırlı olduğu ve süreçte rol alan paydaşları kapsamadığı görülmüştür.



**Şekil 4.12 : Proje A organizasyon şeması.**

Organizasyon şeması, sadece EPC firmasının yapılanmasının bir kısmını göstermektedir. Kendi içinde birimlere ve alt birimlere ayrılan firmanın yapısı, müşteri, müşavir ve ortak firmaya ait herhangi bir bağlantıya yer verilmediği görülmektedir. Buna rağmen, proje sürecinde birlikte çalışma yoğunluğu fazla olan disiplinler belirlenerek, birimler oluşturulmuştur. Öngörülen organizasyon şemasının, projenin ölçeği gereği tüm disiplinleri içermediği ve buna bağlı olarak da müşteri, yüklenici gibi paydaşları da içermediği görülmektedir. Çok fazlı ve birden fazla yapı, bina içeren projenin, organizasyon şemasına alternatif olarak sunulan organizasyon şeması da yetersiz kalacaktır. Ancak, bu yöntemle en azından disiplinlerin birlikte çalışabilirliği gözlemlenebilmektedir. Şekil 4.13'te önerilen organizasyonel birimler, mevcut organizasyon şemasına adapte edilebilir ve minimum çabayla organizasyon şemasının disiplin bazlı okunabilirliğini arttırmak amaçlanmıştır.



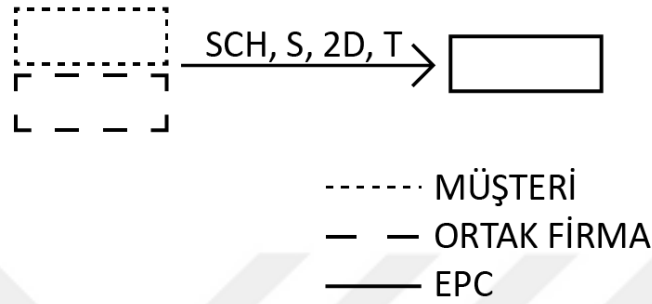
**Şekil 4.13 :** Proje A için önerilen/kurgulanan organizasyon şeması

Proje sözleşmesi gereği, detay tasarım – yapım süresini kapsamakta olup, satın alma ve yapım aşamalarından oluşmaktadır. Buna rağmen, en önemli birimlerden biri olan satın alma disiplinine şemada yer verilmemiştir. Firmanın strüktürü ve EPC sözleşmelerinde daha önce yer almadığı için varolan yapısında satın alma disiplini Proje A başlamadan önce bulunmamaktaydı. Proje A ile satın alma ve onu destekleyici disiplinlere yine de yer verilmediği, proje belgelerine bakıldığında görülmüştür. Doğalgaz tesisi olmasına rağmen, organizasyonda iş güvenliği, yangın söndürme birimleri de yer almamaktadır.

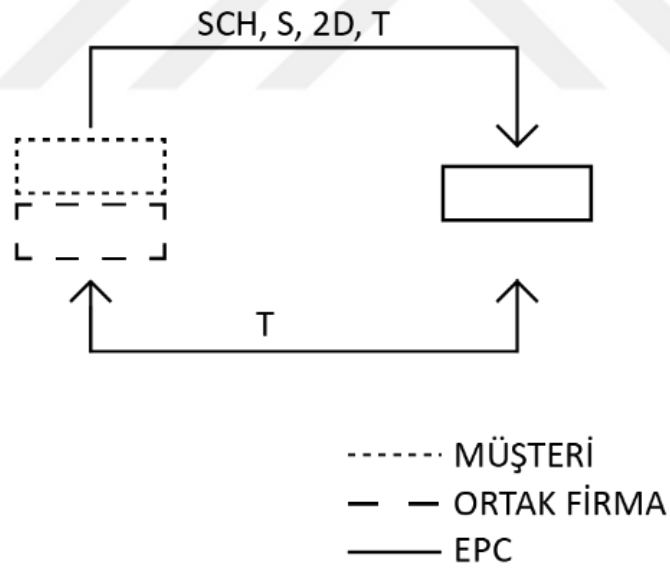
#### 4.7.2 Proje A’ya ait proje süreci çözümleri

FEED çizimleri hazırlanmış olan projeye dair bilgiler, müşteriden ve müşavir firmadan EPC yüklenicisine sağlanmıştır. Bunlar; konsept çizimler, malzeme ve bina işlevlerinin tariflendiği şartnameler, yangın yönetmelikleri, ısıtma-soğutma şartnameleri, boru hatlarının ve ekipmanların izometrik çizimleri, P & ID’ler, hesaplamalar (ekipman, proses, HVAC), yerleşim planlarıdır. Günümüz uygulamalarında, Şekil 4.14’te gösterildiği gibi tek yönlü ilerleyen bilgi paylaşımı, projenin ölçeği nedeniyle iki yönlü olmuştur. Sağlanan bilgi arttıkça, EPC firmanın

soruları artmıştır. Hem iş paylaşımının anlaşılması hem de proje öncesi firma tarafından tanımlanmış birtakım kabullerin tutarlılığı sorgulanmıştır. Bu sebeple, bilgi akışı müşteri ve ortak firmadan gelmesine rağmen, EPC tarafından her disiplinden sorular aktarılmıştır (Şekil 4.15).



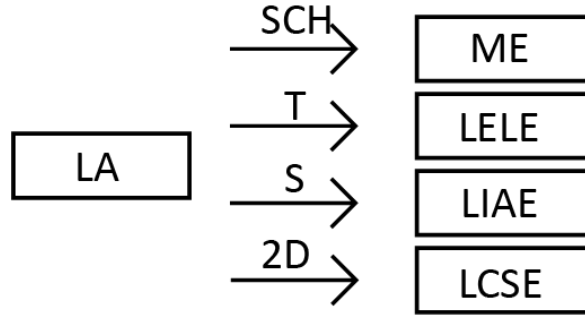
Şekil 4.14 : İdeal EPC ön proje diyagramı.



Şekil 4.15 : Müşteri, ortak firma ve EPC firma arasında, ön proje evresindeki bilgi akışı.

Sağlanan FEED dökümanların sonrası, projenin LOD 300 detay seviyesinde çalışmalarına başlanmıştır. Mimar ve mühendisler arasında sürekliliği sağlamak amacıyla yoğun bilgi alışverişi sonrası, 2D çizimlerin Revit'e aktarımına geçilmiştir.

Mimar – mühendisler arasındaki etkileşim, yazılı olarak ve 2D çizimlere yapılan yorumlar, çizimler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.16).

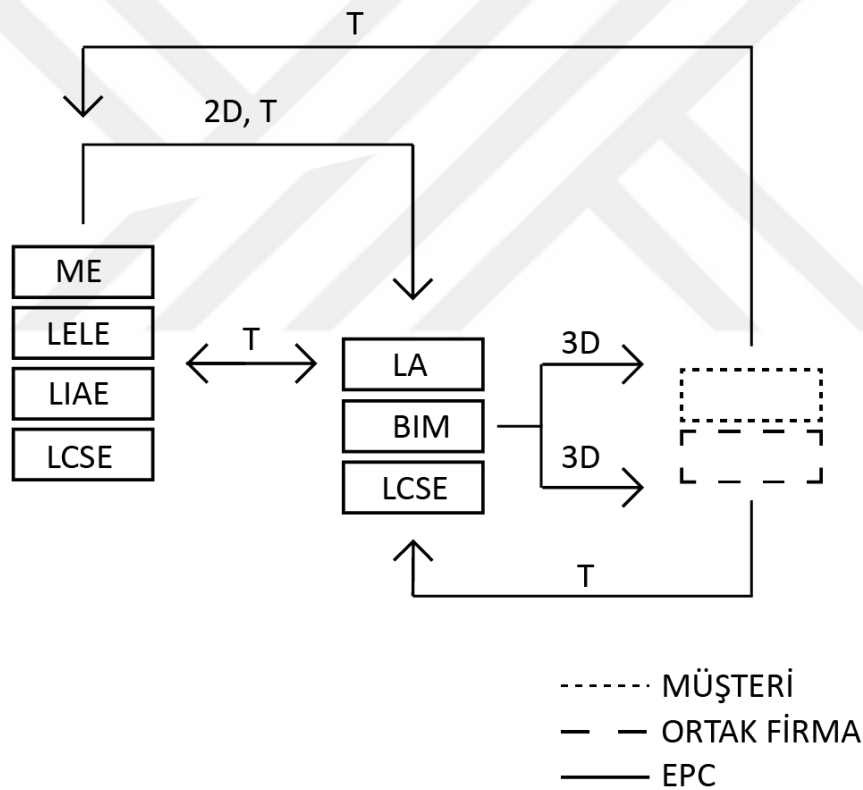


**Şekil 4.16 :** Mimar – Mühendisler arasındaki bilgi akışı.

Müşteri ve ortak firma tarafından sağlanan bilgilerle projenin modellemesi Mimari disiplin tarafından başlatılmıştır. Mekanik, Elektrik, Enstrüman ve Otomasyon disiplinlerinin Revit kullanmaması sebebiyle önerdikleri tasarım sistemlerinin, bilgilerinin Revit'e girilmesi işlemi Mimari disiplin üyeleri ve YBM yöneticisi tarafından yapılmıştır. Yapısal işlerin yoğunlukta olduğu projede, proses işleri de mevcuttur. İş yoğunluğu ve kullanıcı eksikliğinden kaynaklanan bu durumun, tasarım çıktılarının hazırlanmasını sekteye uğrattığı gözlemlenmiştir. Ayda bir veya iki kez, müşavir firma ve EPC yüklenicisi firma biraraya gelerek çözümlesi gereken tasarım problemlerini görüşmüşlerdir. Eşzamanlı yürütülen istasyonlarla ilgili ve tasarım kriterleri amacıyla müşteri ve ortak firma tarafından sağlanan şartnameler, konsept çizimlerin iki yönlü güncellenmeleriyle ilerlenmiştir. Konsept çizimleri olan binalarla ilgili Mekanik, Elektrik, İnşaat ve Enstrüman ve Otomasyon disiplinleri çalışmaya başlamışlardır. İnşaat dışındaki disiplinlerden gelen tasarım girdileri:

1. Isı yalıtımı (cephe, çatı),
2. Elektrik / Panel odası boyutları ve malzeme gereklilikleri,
3. Telekom gereklilikleri (otomasyonun gerekli olduğu mahallerde kapı ve pencere seçimlerinin uygunluğu gerekmektedir.),
4. Yangın söndürme odası gerekliliği ve boyutları,
5. Trafoların sayıları ve konumları,
6. Telekom odası konumunun onaylanmasıdır.

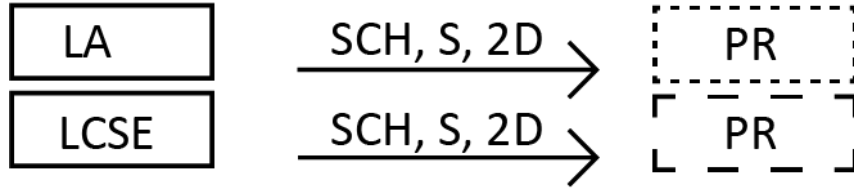
Firma içi çalışmaların sonucunda müşteriyle 3D modeller, 2D çizimler, şartnameler, malzeme, metraj ve tefriş listeleri paylaşılarak ilerlenmiştir. Onlardan gelen talepler doğrultusunda revizyonlar yapılmıştır (Şekil 4.17).



Projenin konsept tasarımları bu petrol ve doğalgaz tesisleri alanında deneyimli, yurtdışından bir firma tarafından gerçekleştirilmiştir. Bilgi birikimi nedeniyle tercih edilen firmanın, projelerin uygulama alanlarıyla alakalı zemin ve altyapı bilgilerinin yanında, kar ve rüzgar yük analizleri için gerekli çevresel bilgilerinde eksiklikler olduğu süreç içerisinde saptanmıştır. Dolayısıyla, müşavir firma kontrolünde

60

Revizyonlar sonucunda tamamlanan uygulama projelerinin çizimleri, metraj listeleri, HVAC, Mekanik ve Elektrik disiplinlerinin hazırladığı Teknik Veri Föyleri, çizimler, satın alma süreci için kesinleştirilmiştir. Netleştirilen bu bilgilerin, satın alma disiplinine aktarımını gösteren çözümleme Şekil 4.19’da gösterilmektedir.



**Şekil 4.19 :** Detay tasarım evresi – uygulama projelerinin hazırlanması evresi ara kesit diyagramı.

Uygulama projelerinin hazırlandığı süreçte, satın alma aktivitelerinin başlayabilmesi amacıyla disiplinlerden beklenen tasarım çıktıları aşağıda listelenmiştir:

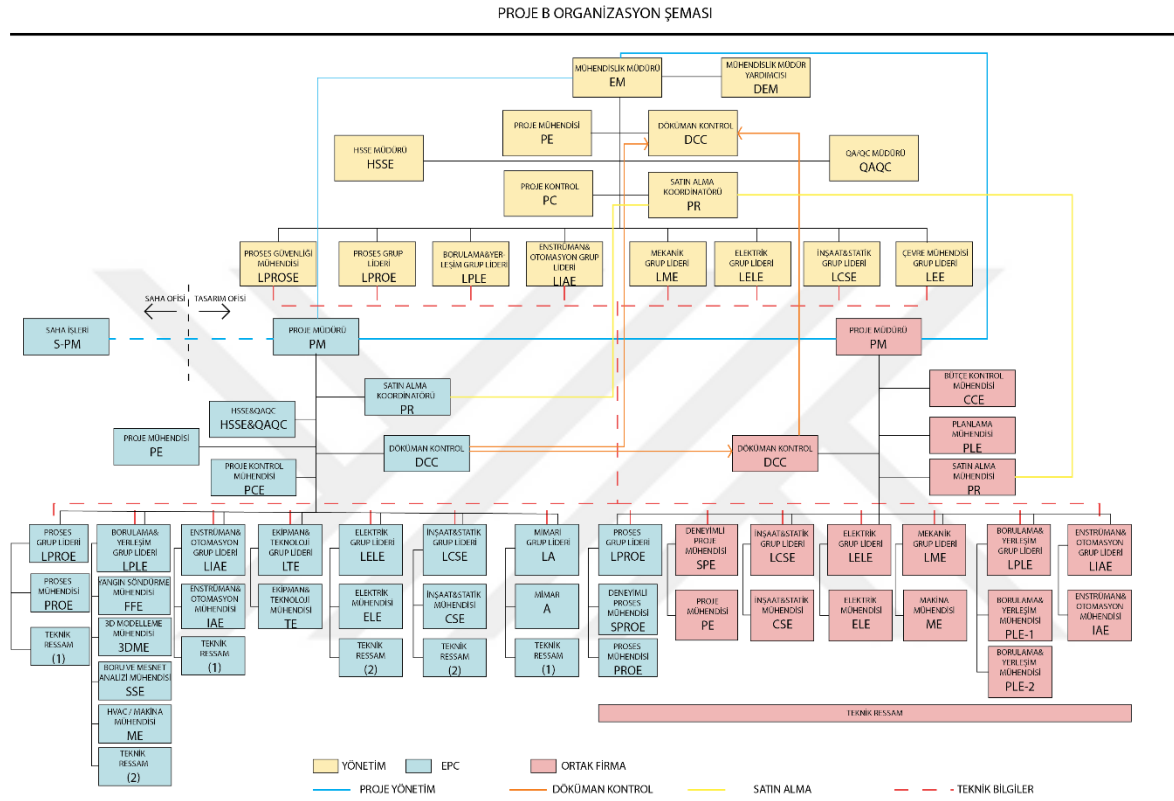
1. Metraj Listeleri [SCH]
2. Şartname ve Yönetmelikler [S]
3. Uygulama Projesi Çizimleri [2D]

Yapım aşaması, satın alma sürecinin devamı şeklinde ilerlemiştir. Tasarım ekibi, satın alma ve inşaatla karşılaşılan problemlere çözüm üretmek veya destek vermekle kalmamış, yapım aşamasında tedarik sorunları nedeniyle, malzeme değişikliklerini değerlendirip, onaylamıştır. Buna bağlı olarak, normalde uygulanmış proje (as-built) hazırlamakla harcanan zamanda artış gözlemlenmiştir.

#### 4.7.3 Proje B organizasyon şeması incelemesi

Bu bölümde disiplinler arası işlevlere göre disiplin bazlı etkileşimler doğrultusunda öngörülen organizasyon şemasının süreç içerisinde çalışmaları gözlemlenerek ve yukarıda anlatıldığı gibi yapılan işlere göre birimlere ayrılması yer almaktadır. Projenin genel organizasyon şemasında, müşteri, ortak firma ve EPC yüklenicisi olarak yer alan firmanın disiplinleri yer almaktadır. Proses, teknoloji, enstrüman, elektrik, mekanik, inşaat, mimari disiplinlerinin yer aldığı görülmektedir. Şemada yer alan paydaşlar, disiplinlerine göre kodlanmıştır. Bu kodlar, proje akış şemalarında da kullanılmak üzere kısaltılmıştır. Proje B, Baku’de uygulanan bir proje olması nedeniyle, firma içinde disiplinler arası ve Baku saha ofisi arasındaki koordinasyon firma içinde kurgulanan organizasyondur. Bununla birlikte, tasarım sürecinde sadece

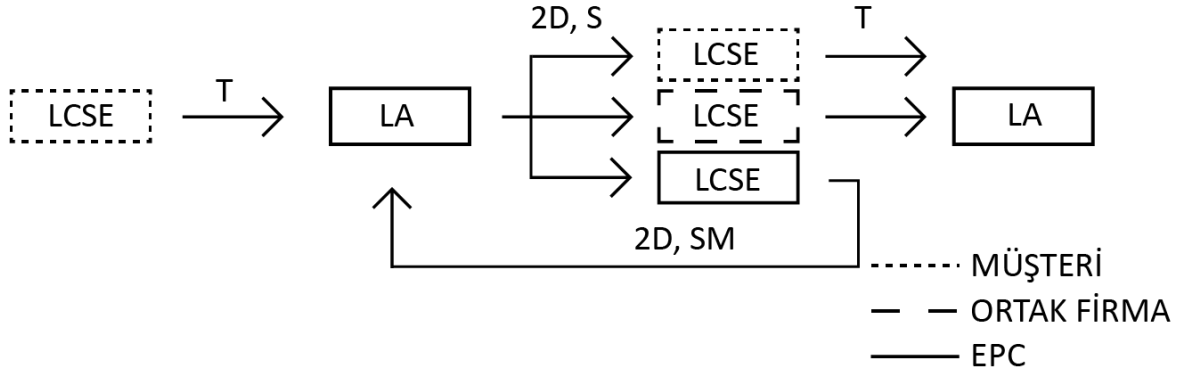
kontrol mekanizması olarak etkisi olmayan, iş birliği yapılan firma ve müşteri arasında da kurgulanan koordinasyon söz konusudur. Şekil 4.20’de gösterilen şemada yer alan renklerden, mavi olanlar firma içi ve Bakü saha ofisini, sarı renkte olanlar müşteri tarafında ilgili aktörleri, pembe renkte olanlar ise entegre proje yönetimi olarak çalışan tasarım sürecine etkisi olan, aynı zamanda ortak firma ve kontrol rolünü üstlenen firmadaki aktörleri belirtmektedir.



**Şekil 4.20 : Proje B, organizasyon şeması.**

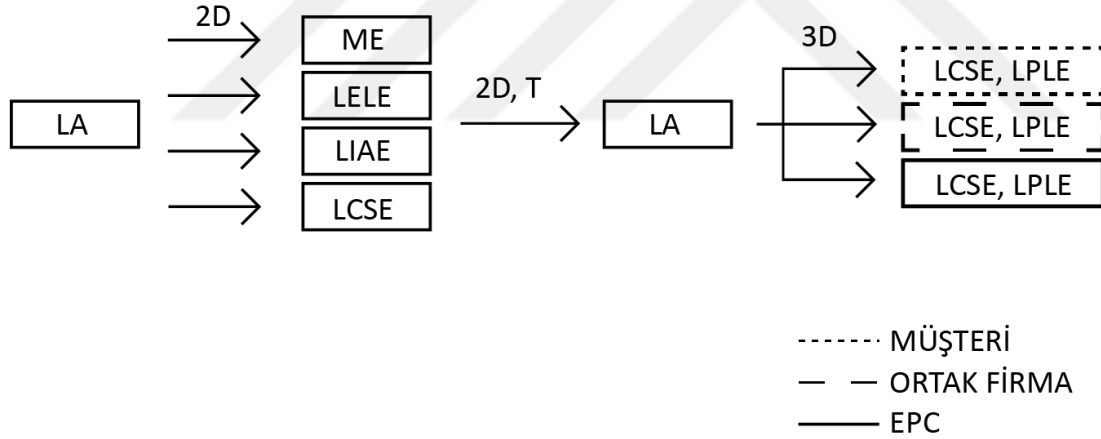
Şema disiplinlerin ayrımını göstermesine rağmen, ayrık yapısı ve renklendirme nedeniyle aynı disiplinde olanları belirlemek açısından yeterli değildir. Yukarıda anlatıldığı gibi yapılan işlere göre birimlere ayrılması yer almaktadır. Ortak firma, EPC yüklenicisi ve müşteri taraflarının görülebildiği şemada, sadece organizasyonu oluşturan paydaşların hangi firmadan olduğu belirlenebilmektedir. İlişkisel çıkarımlar gözlemlenemeyen şemanın alternatifi, süreçte biraraya gelme sıklığı fazla olan ve yapılan iş ve sorumlulukların kesiştiği birimlere göre Şekil 4.21’deki alternatif şema oluşturulmuştur. Bu şemanın oluşturulmasındaki esas amaç, proje sürecinde biraraya gelen paydaşların karar alma aşamalarında hangi firmadan olduklarından çok disiplinlerinin önemli olduğunun görülmüş olmasıdır. Alternatif yapılanma Ek-1’deki paydaşların katılım grafiğini oluşturmada etkili olmuştur.





**Şekil 4.22 :** Ön proje evresi diyagramı.

2D taslak çizimlerin onaylanması müşteri tarafından sonradan eklenen mahal ve çalışma alanı olarak düzenlenmiş olan bir mahalin kullanımındaki değişikliktir. Geri bildirim doğrultusunda revize edilen çizimler, Şekil 4.23'te gösterildiği doğrultuda tek yönlü olarak ilerleyerek, detay tasarım evresinde detaylandırılmak üzere, EPC bünyesindeki ilgili disiplinlere inşaat, elektrik, HVAC, enstrüman ve otomasyon bölümlerine gönderilmektedir.

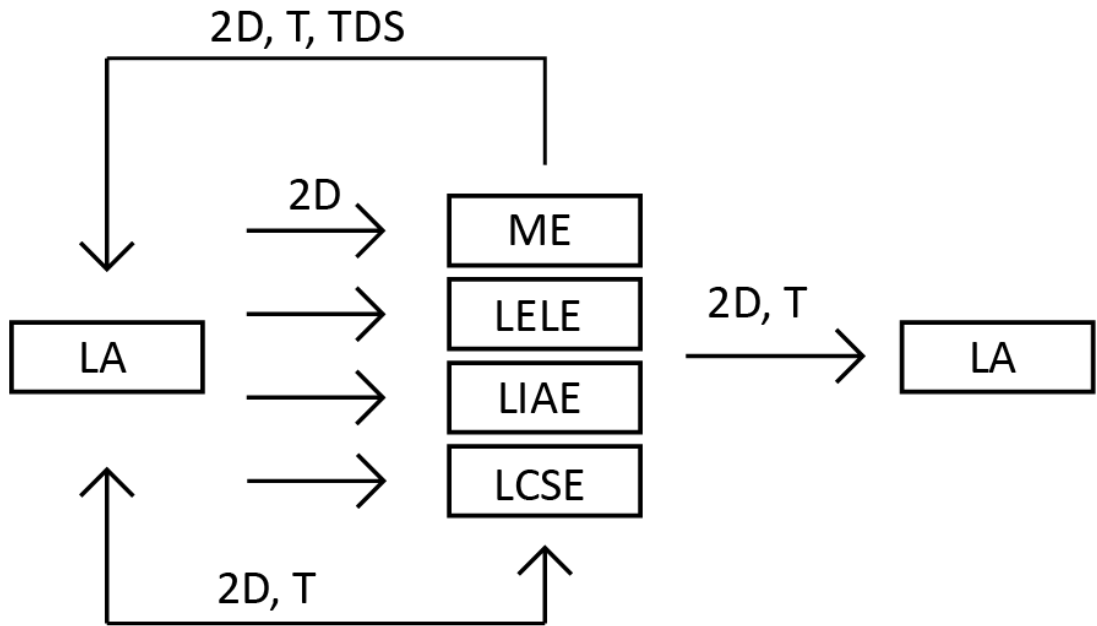


**Şekil 4.23 :** Detay tasarım evresi diyagramı.

2D taslak çizimlerin onaylanması, müşteri tarafından sonradan eklenen mahal ve çalışma alanı olarak düzenlenmiş olan bir mahalin kullanımındaki değişiklik sonucu gerçekleşmiştir. Bu değişikliklerin disiplinler arası akışının tutarlı ve doğru olması önemlidir. Bunu sağlayabilmek için, doğrusal bir yol izlenmeye çalışılsa da, süreçte Şekil 4.24'te görüldüğü gibi iki yönlü bir bilgi alışverişi olduğu gözlemlenmiştir. Geri bildirim doğrultusunda revize edilen çizimler detay tasarım evresinde detaylandırılmak üzere, EPC bünyesindeki ilgili disiplinlere inşaat, elektrik, HVAC, enstrüman ve otomasyon bölümlerine gönderilmektedir.

HVAC, Elektrik, İnşaat, Enstrüman ve Otomasyon disiplinlerinden beklenen bilgiler:

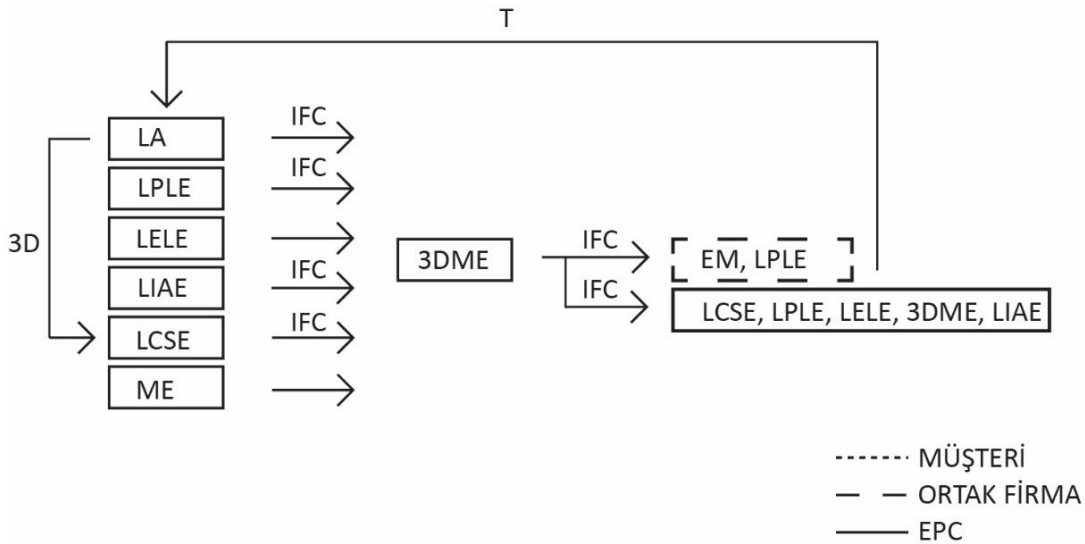
1. Asma tavan boşluklarının yeterliliği [LELE, ME]
2. Asma tavan kotunun panellere engel olmayacağının onayı [LELE, ME]
3. HVAC ısı hesaplarına uygun duvar tipi ve katmanlarının belirlenmesi, çatı katmanlarının belirlenmesi, yalıtım malzemesi değerleri, pencere cam tipi [ME]
4. Patlamaya dayanıklılık, basınç ve yük ağırlıklarına bağlı olarak malzeme onayı [LCSE]
5. Yağmur suyu, drenaj hesapları doğrultusunda yağmur suyu iniş borusu, çatı oluğu ve deresi boyutları [ME]
6. Asma tavan armatür, havalandırma ekipmanlarının yerleşim planı [ME, LELE]
7. Kontrol odası, elektrik odası yükseltilmiş döşeme talebi [LELE, LIAE]
8. Bina otomasyon sistemi gereğince kontrollü girişin gerekli olduğu mahallerin belirlenmesi ve buna bağlı olarak kapı aksesuar ve tiplerinin belirlenmesi [LIAE]
9. Yangın kaçış senaryosuna uygun olarak kapı, pencere, duvar yangın dayanımlarının bilgisi [ME]



Şekil 4.24 : Detay tasarım evresi - EPC firma içi revizyon diyagramı.

Eşzamanlı devam eden proses işleri, doğalgaz dolun tesisine uygun ekipman tasarımı, ona bağılı olarak enstrümanların belirlenmesi (ölçüm, vana, vb.), boru hatlarının bağlantılarıdır.

Sürecin belirli bir noktasında modelin ilerlemesi, disiplinlerin çalışmalarının çakışmalarının gözlemlenmesi amacıyla EPC ve ortak firma arasında model incelemesi yapılmıştır. Disiplinlerin hazırladıkları modeller, IFC formatında Autodesk Navisworks'e aktarılmıştır. Çelik model Tekla'dan, bina modelleri Revit'ten, Enstrüman ve Otomasyon, borulama birimlerinin modelleri AVEVA'dan alınmıştır. Detay tasarım evresinde düğüm noktası olan bu inceleme, modeller arasındaki tutarlılık, disiplinler arası tam paylaşım amaçlı yapılmaktadır. Bütünleşik ve aynı zamanda bağımsız olan arayüzler arasında değişikliklerin takibi doğru bir şekilde yapılamamaktadır. Modellerin, bilgilerin biraraya getirildiği ara kesit diyagramında (Şekil 4.25), geri bildirimlerin sadece metinsel olarak aktarıldığı gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu durum, değişikliklerin aktarım takibini ve doğruluğunu sekteye uğratmaktadır. 3D model birleştirme adımı ise, firma içinde, alt yapı sistemlerinin tasarımları (kablo kanalları, tesisat girişleri, yangın söndürme bağlantıları, vb.) şekillenirken yapılması gerekli bir adım olarak düşünülmektedir.

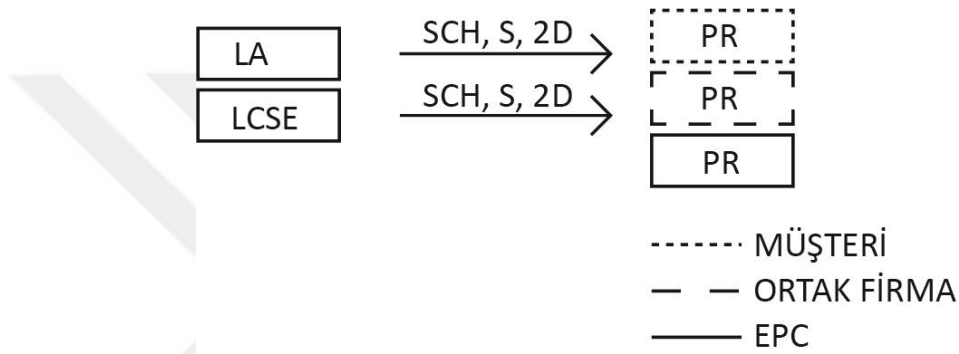


**Şekil 4.25 :** Detay tasarım evresi – uygulama projelerinin hazırlanması evresi ara kesit diyagramı.

Mekanik ve elektrik bölümünün kullandığı yazılımlar nedeniyle modelleri bulunmamaktadır. Projede 2D çizimlerde temsillerinin modele aktarımı, tüm

modellerin bağlantılı olduğu mimari disiplin tarafından yapılmaktadır. 3D model değerlendirilmesi sonucunda, tesis içerisinde bulunan binalara kablo girişlerinin doğru olmadığı fark edilmiştir. Buna bağlı olarak, projede çizimlerde, malzeme listelerinde, yerleşimlerde revizyonlar gerçekleştirilmiştir.

Detay tasarım sonrasında, projede büyük değişiklikler gerçekleşmemiştir. Satın alma için ek dökümanlar talep edilmiştir. Bunlar, malzeme listeleri, tip detay çizimleri, mobilya listeleri, detaylı metraj listeleri, kapı ve pencere detay çizimleriyle listeleri istenmiştir. Aktarılan bilgi türleri ve hangi disiplinler aracılığıyla sağlandığı Şekil 4.26’da gösterilmektedir.



**Şekil 4.26 :** Uygulama projelerinin hazırlandığı evre (satın alma için gerekli proje bilgileri).

Uygulama projelerinin hazırlandığı süreçte, satın alma aktivitlerinin başlayabilmesi amacıyla disiplinlerden beklenen tasarım çıktıları aşağıda listelenmiştir:

1. Metraj Listeleri [SCH]
2. Şartname ve Yönetmelikler [S]
3. Uygulama Projesi Çizimleri [2D]

Yapım aşamasında, tasarım ekibi satın alma ve inşaatla karşılaşılan problemlere çözüm üretme veya destek vermekten sorumludurlar. Yapım sürecinin sonuna yaklaşıldığında tasarım ekibi tarafından hazırlanmak üzere, saha ekibinden çeşitli bilgiler edinilerek uygulanmış proje (as-built) çizimleri hazırlanmıştır.

#### 4.8 Proje Süreçlerinin Karşılaştırılması ve Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında seçilen projeler, işlevsel benzerlikleri, işin kapsamının EPC olması, çok disiplinli çalışma pratiğinin varlığı ve nedenleri düşünülerek seçilmiştir.

Projelerin, proje özelinde kurgulanan organizasyon şemalarının, süreç içerisinde doğruluğu ve yeterliliği değerlendirilerek, birlikte çalışma sıklıklarına, karar alma aşamalarında ilgili olan disiplinler gözlemlenerek organizasyon oluşumuna yeni bir bakış açısıyla yaklaşılmıştır. Proje disiplinleri, birlikte çalışma ve karar almadaki rolleri düşünülerek birimler olarak bir üst grupta oluşturulmuştur. Buna bağlı olarak birimlerle ilgili bilgi verilmektedir.

İkinci adımda, proje süreci evrelerinde disiplinler tarafından kullanılan araçlar ve veri türleri değerlendirilmektedir.

Son adımda, proje süreci evrelerine referanslar verilerek karar alma aşamalarındaki bilgi/veri akışlarıyla ilgili diyagramlar oluşturulmuştur.

#### **4.8.1 Organizasyon oluşumların değerlendirilmesi**

Bu değerlendirme, disiplinlerin oluşturdukları üst birimler kurgulanarak yapılmıştır. Projelerde karşılaşılan sorunların fazlalığı, proje süreçlerinde rol alan aktörlerin aktif / pasif rollerde oluşu gözlemlenmiş, birlikte çalışan ve çalışması gereken disiplinler göz önünde bulundurularak disiplinlerin bir üst grupta birleştirilmeleri düşünülmüştür. Yapılan işin kapsamı gereği, çok bileşenli katılımcılardan oluşan proje ekibinin, kontrol ve koordinasyon mekanizmasının sadece proje yönetimi disiplininden oluşmasının yetersizliği gözlemlenmiştir. Bu durum, proje B için geçerlidir. Müşteri, ortak firma ve EPC firma tarafından yürütülen projede, her disiplinden katılımcıların bulunduğu organizasyon oluşumunda, süreç boyunca interfazlarının olmadığı düşünülen disiplinler ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda, birlikte çalışması gereken disiplinlerin süreç boyunca pasif rolde varlığı söz konusudur.

Öte yandan, proje A, ölçeği nedeniyle yapılacak işlerin İstanbul ve Ankara ofisleri ile koordineli bir biçimde ilerlemesi gerektiği öngörülmüştür. Proje A, EPC olarak alınan, YBM yürütme planına uyulması gereken, birden fazla fazdan oluşan ve proje A ile ölçek olarak kıyaslandığında büyük olan bir çalışmadır. Buna rağmen, tam anlamıyla detay tasarım evresinden başlayan projenin organizasyon şemasında satın alma, yapım, planlama disiplinlerine rastlanmamaktadır. Mevcut yapısı yetersiz olan firma, ilerleyen süreçlerde alt yüklenicilere ihtiyaç duymuştur.

Her iki projede de süreçte yeralan firma içi disiplinler temsil edilmesine rağmen, etkin koordinasyon şeması Proje B’de görülmektedir. İki proje arasındaki ölçek farkının şemalara yansımaları zayıf kalmaktadır. Şemalardan Proje A’ya ait olan sadece firma

içi disiplin sorumlularını içerirken, Proje B'ye ait olan şema kontrol mekanizmalarını, paydaşlar arasındaki veri akışlarını, kontrol mekanizmalarını daha net tanımlamaktadır.

Önerilen organizasyon şemasında, Endüstriyel projeler bağlamında interfazlarının yoğunluğu gözlemlenen disiplinlerin birbiriyle aktif olarak iletişim halinde olmasına dikkat çekilerek, biraraya gelme sıklıklarında disiplinlere yetersiz bilgi akışının önüne geçmek vardır. Birimleri bir üst grupta toplayarak, bilgiyi dağıtmak ve yapılan işlerle ilgilenmesi gerekli disiplinin belirlenmesinin daha kolay olacağı öngörülmektedir. Kişiler bünyesinde toplanan bilgi birikimini, tüm paydaşlar için okunabilir hale getirmek asıl amaçlardan biridir.

#### **4.8.2 Disiplin bazlı tasarım araçları ve veri biçimlerinin değerlendirilmesi**

Proje A, yapısal işlerin detay tasarım ve müşteri tarafından LOD 300 detay seviyesi talep edilmesine rağmen süreç içerisinde YBM araçlarını kullanan disiplinlerin Mimari ve İnşaat disiplinlerini kapsadığı gözlemlenmiştir. Projenin sözleşmesi gereği, YBM zorunluluğu karşısında firma YBM yöneticisi ve mimarlar aracılığıyla hem koordinasyonu hem de Mekanik, Elektrik, Enstrüman ve Otomasyon verilerinin oluşturulmasını sağlamak yoluna gitmiştir. Bu nedenle, tam anlamıyla bir işbirliği olmamış ve iki boyutlu ya da yazılı olarak gelen bilgilerin fazlalığı sürecin yavaşlamasına sebep olmuştur. Bir diğer sorun ise, Endüstriyel tesis projelerinde çakışma analizleri belirli aralıklarla yapılmasının gerekliliği karşısında, disiplinler tarafından kullanılan araçlardan elde edilen veri türlerinin uyumsuzluğu, model değerlendirmelerinin tarihlerinin ötelenmesine sebep olmuştur. Bu durumun bir diğer dezavantajı, proses işleriyle ilgilenen katılımcıların tesis yerleşimini AVEVA3D'de yaparken Revit kullanan disiplinlerden, model formatını dönüştürmeleri istenmiştir. Aynı anda iki boyutlu ve 3 boyutlu bilgi üretmek durumunda kalan Mimari ve İnşaat disiplinleri, proje sürecinde zamanlarının çoğunu veri oluşturma, düzenleme, aktarma, dönüştürmeye harcamışlardır. İnşaat disiplinin kullandığı analiz hesaplama aracıyla, ortak firma veya müşteriden gelen onaylı yapısal konsept tasarımlarda kullanılan analiz aracının farklı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durum, projede 3D olarak ilerleyen ve minimum revizyonla ilerleyen projelerde, geriye dönük temel değişiklikler gerekmiştir.

Proje B için, Mimari, İnşaat, Mekanik disiplinleri YBM araçlarını kullanmış olup, veri ve bilgi akışının sürekliliğini sağlamışlardır. Ortak model üzerinden ilerlenen bu süreçlerde, verinin oluşturduğu YBM ortamında verileri düzenlemek kolaylaşmıştır. Buna bağlı olarak, satın alma aşaması için daha doğru ve gerekli belgeler projenin erken safhasında oluşturulmuştur.

#### **4.8.3 Projelendirme süreci çözümlemelerinin değerlendirilmesi**

Süreçlerde izlenen aşamalar değerlendirildiğinde, Proje A için öngörülen planlama, organizasyon ve disiplinlerin çalışma düzeninin yeterli olmadığı görülmüştür. Tam anlamıyla, detay tasarım aşamasında başlayıp yapım aşamasında sonlanması düşünülen projede, geriye dönük kritik değişikliklere bağlı olarak önemli revizyonlar yapıldığı görülmüştür. Proje ölçeğinin getirdiği eşzamanlı birden fazla bina ve istasyonla ilgili çalışmalar, örtüşerek karışıklıklara ve zaman kaybına neden olmuştur. Ölçek ve konum itibarıyla FEED aşamasında yapılması gereken aktivitelerin, bilgi eksiklikleri nedeniyle tam anlamıyla tamamlanmadığı saptanmıştır. Buna bağlı olarak, yapısal tasarım ve malzeme seçimleri değiştirilmiştir. Süreci sekteye uğratan operasyonel kararların alınmasındaki gecikme, fazla iş gücü gerektiren revizyonlara neden olmuştur. Revizyonların sonucunda, satın alma ve yapım aşamasında gecikmelere ve maliyet hesaplamalarında ciddi sapmalar gözlemlenmiştir. Firma içi ve firmalar arası bilgi ağı yeterince tanımlanmadığı için meydana gelen bu dezavantajlar, proje başında tanımlanmayan prosedürler ve standartların eksikliklerinden kaynaklanmaktadır. EPC, YBM yaklaşımları yeterince irdelenmediği için, proje yürütülmesinin sağlıklı ve doğru olmadığı sonucuna varılabilir. Özellikle yapısal işleri kapsayan projede, disiplinler arası interfazlar iyi yönetilememiş ve veri akışlarında görülen bağlantısızlıklar, gereksiz emek ve zaman kaybını getirmiştir. Kritik revizyonlardan kaynaklı, alt yüklenicilere ihtiyaç duyulmuştur. Mevcut durumda koordinasyonun sağlanamayan projede, ek katılımcıların varlığı süreci daha zor hale getirmiştir.

Öte yandan proje B, hem proses hem yapısal işleri kapsamına rağmen proje A ile karşılaştırılınca ilerleyişinin daha doğru olduğu gözlemlenmiştir. Proje B konumu yurtdışında olmasına rağmen, iletişim ve etkileşim etkinliği proje sürecini verimli hale getirmiştir. Buna rağmen, çok disiplinli organize edilen proje planlamasında, toplantılarda disiplinlerin biraraya gelmelerinde eksiklikler gözlemlenmiştir (Ek-1).

Özellikle yapı işleriyle ilgili sadece İnşaat disiplini düşünülmüş olup, alınan kararların etkileyeceği disiplinler pasif olarak değerlendirilmiştir. Kararların alınması genellikle toplantılarla, mail yoluyla, iki boyutlu eskizlerle yapıldığı için bilginin paylaşımında proje yönetimden kaynaklı problemler saptanmıştır. Proses işleriyle yapı işlerinin ayrımının yapıldığı projede, yangın söndürme tasarımının değişmesi tüm disiplinleri etkilemiştir. Bu bilginin dolaylı olarak aktarımı, planlarda detay tasarım aşamasında değişikliğe sebep olmuştur. Tesiste üretilen ve dolum yapılan hammaddeler nedeniyle değiştirilen yangın söndürme tasarım kriterleri, yapılarda ekstra mahalleri gerekli kılmıştır. Yönetim binası başta olmak üzere, tesisteki üç yapıda ekstra mahaller ve sistem gerekliliklerine ihtiyaç duyulmuştur.

İki proje karşılaştırıldığında, Proje B ile ilgili bilgilerin oluşturulması, dağıtılması, düzenlenmesi Proje A'ya göre daha doğrudur. Yine de her iki proje için, model temsillerinde tutarsızlıklar görülmüştür. Tek fark, Proje B'de oluşan sorunların projenin daha erken evrelerinde fark edilmiş olmasıdır. Buna rağmen, iki proje de planlanan bitiş tarihlerinde tamamlanmamıştır. Proje A için düşünülmeyen satın alma biriminin, Proje B'deki varlığı yapım sürecinin ilerlemesindeki rolü büyüktür. Proses ve yapı işlerinin farklı bütünleşik yazılımlar kullanıyor olmasının getirdiği dezavantajların başında disiplinlerin ürettikleri tasarım çıktılarının görselleştirilmesindeki eksiklik gelmektedir. Tarihsel olarak A projesi, B projesinden önce başlamıştır. Bu nedenle, A projesinde varolan organizasyondaki eksiklikler, B projesinde iyileştirilmiştir. Fakat proje evrelerini, disiplinler arası ilişkileri, tam anlamıyla algılamamış olan katılımcılar nedeniyle, proje süreçlerinde alınan kararlarda rol alan aktörler zaman zaman karar alma sürecine dahil edilmemişlerdir. Benzer tipteki projeler için bir ön çalışma özelliği taşıyan bu incelemelerden, ileriki projelerde yararlanılarak süreçler, kullanılan araçlar, tasarımda rol alan aktörler, veri türleri ve bilgi akışları bakımlarından iyileştirme yapılması öngörülmektedir. Endüstriyel tesis projeleri, doğası gereği konsept tasarım aşamasından yapım aşamasına kadar çok katmanlı ve girift bir yapıda ilerlemektedir. Bu durum her disiplin için aynı değildir. Tasarım kriterleri önceden belirlenen bir sürü parametre vardır. Temel tasarım kriterleri, malzeme, ekipman, enstrüman, havalandırma şartnameleri, binalar için fonksiyon şartnameleri, önceden hazırlanmış yaklaşık maliyet hesapları gibi EPC evrelerine başlamadan önce belirlenen bir sürü değişkenler vardır. Buna rağmen, proje sürecinin yönetilmesi aşamasında meydana gelen sorunlar tanımlı olan endüstriyel

tesis projelerinin tasarım ve yapım aşamalarını zorlaştırdığı gözlemlenmiştir. İncelenen iki endüstriyel tesis projesi, proje organizasyon şeması, toplantı notlarındaki eksiklikler, toplantılarda biraraya gelme sıklığı azalan ve artan disiplinlerin varlığı gibi çıkarımlar, proje yönetimden kaynaklanan eksiklikleri ortaya koymaktadır. Araştırma sürecinde iki projeye alakalı toplanan veriler arasındaki tutarsızlık, proje bilgilerinin oluşturulması, raporlanması ve arşivlenmesinde firma içi izlenen herhangi bir standart olmadığını göstermiştir. Yukarıda açıklandığı üzere, benzer projeler olan projelere ait veriler arasındaki tutarlılık, bilgi birikimi ve geri bildirim açılarından önem arz etmektedir.

Öte yandan, disiplinler arası tasarım araçları nedeniyle bilgi akışında meydana gelen sorunların, zaman kayıplarına yol açtığı gözlemlenmiştir. Bilgi aktarımındaki esas sorunun, disiplinler tarafından kullanılan yazılımların farklılığı ve disiplinlerin birlikte çalıştığı disiplinlere ait, çalışma şekli ve kullandığı yazılımlarla alakalı yeterli bilgilerinin bulunmamasından kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Disiplinler arası interfazların, yazılımlar arası veri dönüşümü ve aktarımıyla doğrudan orantılı olduğu söylenebilir. Aynı modelde çalışan birden fazla paydaşın, modele eşzamanlı erişimi sağlanmadığı sürece, doğru ve olması gereken hızda ilerleyen projelerden bahsedilmesi mümkün görünmemektedir.

Son olarak, bilgi akış yönleriyle alakalı firma içi tanımlanan ya da standartlaşan bir strüktür olmadığı gözlemlenmiştir. Bilginin paylaşımı, oluşumu ve aktarımı paydaşların inisiyatifinde ilerlemektedir. Bilgi paylaşımı aşamasında, disiplinin tasarım çıktısının sadece ilgili disiplinlere aktarılması şeklinde olduğu görülmüştür. Bu durum paydaşın tecrübesiyle doğru orantılı olmakla birlikte, firmanın yapısını, iş yapış şeklini bilmeyen ya da yeni öğrenen bir paydaş için mümkün olmadığı saptanmıştır. Problem olarak belirlenen bu durumun, iş yapış şekli, bilgi akış yönleri, tasarım araçları ve tasarım araçlarına bağlı olarak üretilen veri türleriyle ilgili kapsamlı hazırlanacak kılavuzlardan mümkün olabileceği söylenebilir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat sektöründeki büyük ölçekli ve kompleks projeler, tasarım ve yapım başta olmak üzere paydaşlar arasında düzenli iş bölümü ve doğru, verimli proje süreç yönetimini gerektirir. Geçmişte tasarımcı ve uygulamacı birbirinden ayrılmamaktaydı. Günümüzde ise, teknolojinin gelişmesiyle, projelerin doğasının (işlev, ölçek, kapasite, teknik karmaşıklık) evrildiği görülmektedir. Projelerdeki ölçeğin dinamiklerinin getirdiği sorular ve bunlar karşısında adapte olmaya çalışan yapısal dönüşüm gözlemlenmektedir.

Tasarımın sürdürülebilirliği, yapımına geçişi ve yapımı, farklı disiplinlerden katılımcıların koordinasyonuna, organizasyona, süreç içinde görevlerin paylaşımının tanımlanmasına ve bilgi paylaşımının iyi kurgulanmasına bağlıdır. Bu açılarından incelendiğinde, proje sürecini etkileyen birden fazla parametre ve soruna çözüm olarak çeşitli metotlar vardır.

YBM, yapı sektöründe tasarımcılar ve diğer paydaşların bir projeye ait tüm bilgileri oluşturulan dijital model aracılığıyla irdelenmesine olanak sağlayan bir çalışma şeklidir. YBM'den yararlanılarak, tasarımla ilgili tüm bilgiler ve proje belgeleri oluşturulurken katılımcıların koordinasyon içinde olmaları hedeflenmektedir. YBM sistemi, projenin yaşam döngüsü için uygun bir ortam sunmaktadır. Bu çalışma biçiminin kötü işlemesi, beraberinde tasarım sürecinin uzaması, iş programının değişmesi, maliyet kayıpları gibi pek çok sorunu getirecektir. YBM araçlarının, Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat sektöründe, özellikle mimarlar tarafından daha yaygın kullanıldığı kabul edilmektedir.

Mühendislerin yazılımları, mühendisliğin doğası gereği hesaplama, analiz ve görsel, grafik temsillerini kapsayacak şekildedir. Bu bakımdan, mimarlar ve mühendisler arasında kullanılan araçların çeşitliliği fazladır. Bütünleşik sistemler, ortak veri tabanı olan yazılımlar ve sistemler, mimarlar ve mühendisler tarafından eşzamanlı olarak kullanılmaktadır. Ek olarak, günümüzde mevcut kurumsal strüktürler, farklı arayüzler aracılığıyla veri üretimine devam etmektedir. Disiplin bazlı farklılaşan bu araçlar, proje süreçlerinde ortak kararlar alınması gereken aşamalarda problemlere neden olmaktadır.

Proje süreçleri, projelerin yapılış şekli (tasarla-yap, EPC, vb.), katılımcıların sayısı ve farklılığı, kullanılan arayüzler, mevcut geleneksel yapıya entegre edilmeye çalışılan

yeni yaklaşımlar doğrultusunda şekillenmektedirler. Özellikle, büyük ölçekli projelerde katılımcı sayısı oldukça fazladır. Bu durum, çok disiplinli ve disiplinler arası işbirliği içinde çalışmayı zorunlu hale getirmektedir.

Mimarlar ve diğer disiplinler, katılımcıların biraradalığı, özellikle Endüstriyel tesis projelerinde mümkündür. Projelerin yapılış şekli de zamanla değişmiştir. Son dönemlerde yaygın olan sözleşme biçimi Mühendislik, Tedarik ve İnşaat (EPC) 'tır. Bir iş yapış şekli olan EPC, sektördeki firmaların geleneksel iş yapış şekillerini dönüştürmelerine neden olmaktadır.

Bu tezin amacı, proje süreçlerinde meydana gelen zaman ve emek kayıplarını gidermeye yönelik, tasarım ve yapım süreci arasında olması gereken bütünsel yaklaşımların Endüstriyel Tesis Projeleri özelinde paydaşlar arasında değişen/dönüşen tasarım kararları, geriye ve ileriye dönük alınan kararları, veri alışverişine bağlı kırılımları, zamana bağlı sürecin segmentlere ayrılması üzerinden değerlendirilmesi sonucu, ileriki projelerde kullanılabilecek çıkarımlarda bulunmaktır. Disiplinler arası işlevlere göre disiplin bazlı etkileşimler, bilgi akışları, bilginin türüne göre bilginin akış yönlerini, ön proje, detay tasarım, uygulama projelerinin hazırlanması, satın alma ve yapım süreci boyunca pasif ve aktif roller alan paydaşlara göre dağılımı ve analizi incelenmektedir.

Tez kapsamında, proje süreçlerinde yer alan yazarın da dahil olduğu benzer özelliklerdeki, iki proje incelenerek çıkarımlar ve çözümlemeler yapılmıştır. Sonuçlar arasındaki benzerlik ve farklılıklar, firmanın organizasyon yapılanması, projelerde disiplin bazlı kullanılan araçlar ve tasarım çıktıları, tasarım veya operasyonel kararları, karar alma mekanizmaları konularında analizler ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Firmanın sorumlu olduğu, projeleri inceleyebilmek ve EPC süreçlerine adaptasyonunu anlayabilmek amacıyla ilk adım olarak mevcut proje süreçlerinin tanımlamaları yapılmıştır. Daha sonra, mevcut organizasyon strükürü incelenip, proje süreçlerindeki çalışma yoğunluklarına göre tekrar birimlere ayrılmıştır.

Bu karşılaştırmalar sonucunda, benzer işlevdeki ve ölçekteki tesis projelerinde firmanın uygulamaya çalıştığı EPC projeleri için bir proje süreci oluşturmak ve oluşan bilgi birikimini aktarmak amaçlanmaktadır.

Yapılan çalışmalardan edinilen çıkarımlar:

1. Geleneksel iş yapış şeklini benimsemiş kurumsal bir yapının, EPC süreçlerini yönetmesinin, belirli bir ön çalışma olmadan yapmasının mümkün olmadığını göstermektedir.
2. Proje ölçeğinin neden olduğu başlıca gereklilikler, iki yönlü bilgi akışının sağlanması ve katılımcıların işbirlikçi çalışarak ilerlemesidir.
3. Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat sektörlerinde kullanımı artan YBM araçlarının, yalnızca bir ve iki disiplin tarafından kullanılıyor olmasının getirdiği teknik sorunların başında, veri dönüşümleri, paylaşımları için harcanan zaman ve emeğin fazlalığıdır. Fazlasıyla işbirlikli bir yapı gerekmektedir.
4. Endüstriyel Tesis projeleri perspektifinden bakıldığında ise, mühendislerin amaca uygun kullandıkları bütünleşik arayüzlerle YBM arasında dolaylı bağlantı olması revizyonları, model kontrollerini sekteye uğratmaktadır.
5. Proje kapsamının belirlenmesi sonrasında, organizasyon şemasının iyi bir şekilde kurgulanması gereklidir. Önceden hesaba katılmamış disiplin, alt yüklenici, tedarikçi ihtiyacı geçici olarak çözülerek, sürdürülebilir bir proje yürütme stratejisi oluşturulamamaktadır.

Projelerden elde edilen çıkarımların ve bilgi birikimlerinin tekil olarak değil, firma içinde herkesin erişebileceği şekilde tanımlanması gereklidir. Firma yapılanmasındaki değişimin, ancak mevcut durumunun incelenmesiyle mümkün olduğu düşünülmektedir. Bu incelemeler doğrultusunda, disiplinler arası çalışma yoğunlukları gözlemlenerek, tasarım kararlarını alma aşamasında rol alacak aktörler konusunda fikir yürütülebilir. Birden fazla arayüz kullanan firma yapısında, kullanılan ortak veri tabanlı çalışan yazılımlarla ilgili standartlar, prosedürler oluşturulmalıdır. Ancak bu şekilde, veri aktarımı sorunlarının çözülebileceği düşünülmektedir. Yapılmış projelere ait, toplantı notları, yazılımda yapılan değişikliklerin kayıtları, mailler, modeller, tasarım çıktıları, tasarım girdileri retrospektif bir biçimde incelenerek, mevcut durumun iyileştirilmesinde süreklilik sağlanabileceği düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Bew, M. ve Richards, M.** (2008). Bew-Richards BIM maturity model, BuildingSMART Construct IT Autumn Members Meeting, Brighton.
- Bilda, Z., ve Gero, J.S.** (2007). *The impact of working memory limitations on the design process during conceptualization*. Design Studies 28(4), ss. 343– 367.
- Cross, N. ve Clayburn Cross, A.** (1995). *Observations of teamwork and social processes in design*. Design Studies Vol 16 No 2, ss. 143-170.
- Dorst, K.** (2004). *On the problem of design problems-problem solving and design expertise*. Journal of Design Research Vol 4 No 3.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. ve Liston, K.** (2008). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Constructors. 2<sup>nd</sup> Edition, Wiley, NJ.
- Fabritius, Jere** (2009). *Terrestrial three-dimensional laser scanning in AVEVA PDMS*. TAMK University of Applied Sciences, ss. 30-32.
- Haagenrud, S.E., Björkhaug, L., Wix, J., Trinius, W., Huovila, P.** (2008). EU-Project STAND-INN Integration of Standarts for Sustainable Construction into Business Processes Using BIM/IFC. ECPPM 2008 eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, ss. 487-495.
- Hardin, B.** (2009). BIM and Construction Management: Proven tools, methods and workflows. Indiana: John Wiley & Sons.
- Hartmann, T., Gao, J., Fischer, M.** (2008). Areas of Application for 3D and 4D Construction Projects. J. Constr. Eng. 134, ss. 776-785.
- Kan, J., W., T. ve Gero, J., S.** (2004). *A method to analyse team design activities*. In Proceedings of 38th ANZAScA, Tasmania, Australia ss. 111-117.
- Moran, S.** (2016). Process Plant Layout: Edition 2. Butterworth-Heinemann, ss. 550.
- Özorhon, B.** (2018). Yapı Bilgi Modellemesi. İBB İstanbul Anadolu Yakası Raylı Sistem Projeleri. Abaküs Yayıncılık.
- Parthenios, P.** (2005). *Conceptual Design Tools for Architects*. Thesis for degree of Doctor of Design at the Harvard Design School.
- Salter, A. ve Gann, D.** (2002). *Sources of ideas for innovation in engineering design*. Research Policy Vol 32 No 8, ss. 1309-1324.
- Smith, P.** (2014). *BIM & the 5D Project Cost Manager*. 27<sup>th</sup> IPMA World Congress, Procedia – Social and Behavioral Sciences, 119, ss. 475-484.
- Van-der-Lugt, R.** (2000). *Developing a graphic tool for creative problem solving in design groups*. Design Studies Vol 21 No 5, ss. 505-522.
- Vera, A., H., Kvan, T, West, R., L., ve Lai, S.** (1998). *Expertise and collaborative design*. CHI '98, Los Angeles, ss. 503-510.
- Ye, Tian** (2012). *The Application of Instrument 3D Model Design in Petrochemical Engineering Project*. Guangzhou Chemical Industry Journal.

**Zolin, R., Hinds, P., J., Fruchter, R. and Levitt, R., E.,** (2004). *Interpersonal trust in cross-functional, geographically*. Distributed work: a longitudinal study Information and Organization Vol 14 No 1, ss. 1-26.

**Url-1** <[https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Level\\_of\\_detail\\_for\\_BIM](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Level_of_detail_for_BIM)>, erişim tarihi : 09.11.2019

**Url-2** <<http://advancedbimsolutions.com/bim-is-about- interoperability/>>, erişim tarihi: 09.11.2019

**Url-3** <<https://thebimhub.com/2017/07/14/bim-maturity-level/#.XigEgsgzaUl>>, erişim tarihi: 09.11.2019

**Url-4** <<https://knowledge.autodesk.com/support/navisworks-products/getting%20started/caas/simplecontent/content/identifying-resolved-clashes-autodesk-navisworks-when-all-clashes-are-highlighted.html>>, erişim tarihi: 09.11.2019

**Url-5** <<https://sw.aveva.com/product-finder>>, erişim tarihi: 09.11.2019

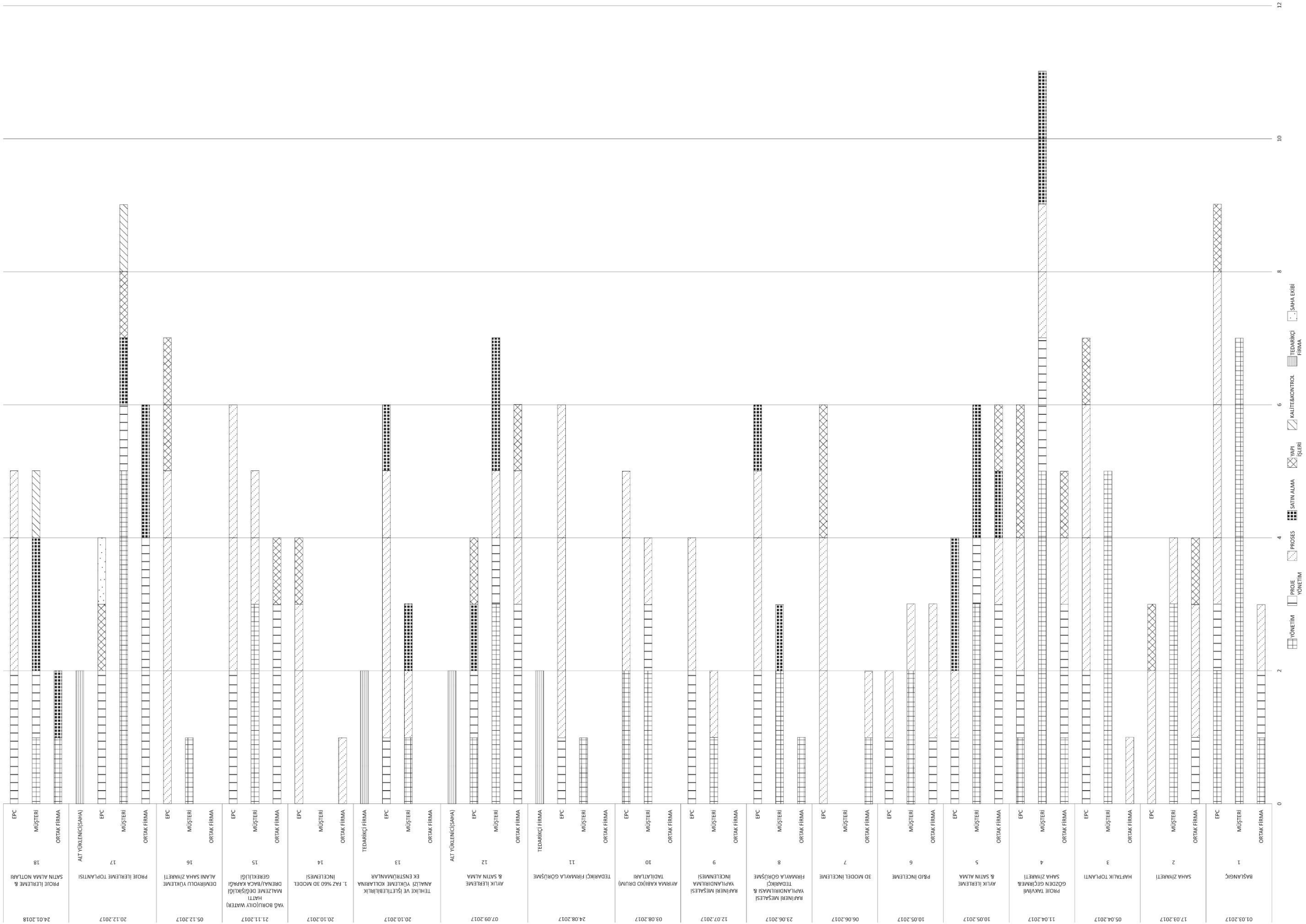
**Url-6** <[http://www.intergraph.com/assets/pdf/smartplant\\_3d\\_flier.pdf](http://www.intergraph.com/assets/pdf/smartplant_3d_flier.pdf)>, erişim tarihi: 09.11.2019

## **EKLER**

EK-1: Proje A Paydaşların Proje Süreçlerine Katılım Grafiği



PAYDAŞLARIN KATILIM GRAFİĞİ



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Hülya Yasak

**Doğum Tarihi ve Yeri** : 27/02/1990

**E-posta** : hulyaayasak@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans** :2015, Mimar Sinan Güzen Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Bölümü

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016- Tekfen Mühendislik
- 2015-2016 Doka Mimarlık
- 2015-2016 SPDO
- 2013-2014 Dara Kırmızıtoprak Mimar

### YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

**Güler, B., Yasak, H.** 2016. ASCAAD 2016. Experimental Geometry: Redefining design using human factors, In proceedings p275-280, London, UK.