

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEP SÜREÇLERİNİN BIM DESTEKLİ YÖNETİMİ VE
ERKEN TASARIM AŞAMASINDA MALİYETE ETKİLERİ

Burak BARLAS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi Programı

Danışman

Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN

Mart, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEP SÜREÇLERİNİN BIM DESTEKLİ YÖNETİMİ VE
ERKEN TASARIM AŞAMASINDA MALİYETE ETKİLERİ**

Burak BARLAS tarafından hazırlanan tez çalışması 11.03.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Aslı Pelin GÜRGÜN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Semra ÇOMU YAPICI, Üye
Boğaziçi Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “MEP Süreçlerinin BIM Destekli Yönetimi ve Erken Tasarım Aşamasında Maliyete Etkileri ” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Burak BARLAS

İmza

Değerli Hocama,

Anneme

ve

Eşime

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecince desteklerini esirgemeyen, motive eden ve yönlendiren danışmanım Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN'a ve tezin yazım aşamasında mülakatlara katılan değerli inşaat sektörü çalışanlarına ve her zaman yanımda olduklarını hissettiğim sevgili eşim Duygu'ya ve aileme teşekkür ederim.

Burak BARLAS

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ	1
1.1 Hipotez	1
1.2 Literatür Özeti	2
1.2.1 BIM Kavramı.....	3
1.2.2 MEP Kavramı	4
1.2.3 LOD ve LOI Kavramları ve MEP Etkileşimi.....	4
1.2.4 Erken Tasarım Aşamasında Statik ve MEP Etkileşimi	7
1.2.5 EIR Kavramı ve MEP	10
1.2.6 BIM Sözleşmeleri ve MEP	12
1.2.7 Simulasyonlar ve MEP.....	13
1.2.8 BIM Projelerinin İşletilmesi ve MEP.....	15
1.2.9 BIM Eğitimi ve MEP	16
1.2.10 BIM Yönetmelikleri ve MEP	16
1.2.9 BIM ve MEP Maliyeti.....	17
1.2.10 MEP ve Çakışma Analizi	17
1.3 Tezin Amacı	20
1.4 Problemin Tanımı	21
1.5 Çalışmanın Kapsamı ve Metodolojisi	22
2 BIM TABANLI MEP KOORDİNASYON	34
2.1 MEP Sistemlerin Tanımlanması	34
2.2 BIM Tabanlı Koordinasyon Süreci	37
2.3 BIM ve MEP İlişkisi	40

2.4 BIM Koordinasyon Araçları Nelerdir?	43
3 BIM VE MEP İŞ AKIŞ SEMASI	44
3.1 BIM Projelerinde MEP Tasarım Rollerini	44
3.2 BIM Projelerinde MEP Koordinasyon.....	50
3.3 BIM Projelerinde MEP Tasarım Aşamaları.....	62
3.4 BIM Projelerinde MEP Koordinasyon Sıralaması.....	66
3.5 BIM İş Akış Şeması	75
4 SAHA GÖRÜŞMELERİ VE DEĞERLENDİRME	82
4.1 Mülakat Sonuçlarının İncelenmesi.....	84
5 ANKET ÇALIŞMASI VE ANALİZ	96
5.1 Yöntem.....	96
5.2 Anket Soruları ve Teze Katkısı.....	108
5.3 Bulgular.....	136
5.4 Anket Sonuçlarının Değerlendirmesi.....	166
6 SONUÇ	170
KAYNAKÇA	173
A EK 1 - ANKET FORMU	183
B EK 2 – MÜLAKAT GÖRÜŞME ONAM FORMU	189
C EK 3 – MÜLAKAT SORULARI	190
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	191

SİMGE LİSTESİ

® : Registered Mark (Tescilli Marka)
TM : Trade Mark (Ticaret Markası)



KISALTMA LİSTESİ

2D	2 Dimensional (2 Boyutlu)
3D	3 Dimensional (3 Boyutlu)
4D	4 Dimensional (4 Boyutlu)
5D	5 Dimensional (5 Boyutlu)
ACMV	Air-Conditioning and Mechanical Ventilation (İklimlendirme ve Mekanik Havalandırma)
AEC	Architecture, Engineering and Construction (Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat)
AFA	Exploratory Factor Analysis (Açıklayıcı Faktör Analizi)
AHU	Air Handling Units (Hava İşleme Ünitesi)
AIA	American Institute of Architects (Amerikan Mimarlar Enstitüsü)
AMOS	Analysis of Moment Structures (İstatistiksel yazılım)
ANOVA	One- Way Analysis of Variance (Tek Yönlü Varyans Analizi)
BEP	BIM Execution Plan (BIM Uygulama Planı)
BIM	Building Information Modelling (Yapı Bilgi Modellemesi)
BPMN	Business Process Model and Notation (İş Süreci Modelleme ve Notasyonu)
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CCTV	Closed Circuit Television (Kapalı Devre Televizyon Sistemi)
CDE	Common Data Environment (Ortak Veri Ortamı)
CFI	Comparative Fit Index (Karşılaştırmalı Uyum İndeksi)
CPM	Critical Path Method (Kritik Yol Metodu)
DB	Design-Build (Tasarla – İnşa et)
DBB	Design-Bid-Build (Tasarla – İhale et – İnşa et)
DEMA	Data Exchange Matrix Analysis (Veri Değişim Matrisi Analizi)
DFA	Doğrulamalı Faktör Analizi (Confirmatory Factor Analysis)
FP	Fire Protection (Yangın Koruma)
EIR	Employer's Information Requirements (İşveren Bilgi Gereksinimleri)

GC	General Contractor (Genel Yüklenici)
GFI	Goodness of Fit Index (Uyum İyiliği İndeksi)
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme)
ICT	Information and Communications Technology (Bilgi ve İletişim Teknolojileri)
IFC	Industry Foundation Class (Endüstri Temel Sınıfları)
IFI	Incremental Fit Index (Fazlalık Uyum İndeksi)
IPD	Integrated Proje Delivery (Entegre Proje Teslimi)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin (Örneklem Yeterlilik Ölçütü)
KPI	Key Performance Indicator (Anahtar Performans Göstergesi)
LCA	Life Cycle Assessment (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi)
LOD	Level of Detail (Detay Seviyesi)
LOI	Level of Information (Bilgi Seviyesi)
LSP	Last Planner System (Son Planlayıcı Sistemi)
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing (Mekanik, Elektrik ve Sıhhi Tesisat)
MTO	Material Takeoff (Malzeme Metrajı)
NVAE	Non Value Adding Effort (Değer Katmayan Çaba)
NFI	Normed Fit Index (Normlaştırılmış Uyum İndeksi)
PAS	Publicly Available Specification (Kamuya Açık Şartname)
RMR	Root Mean Square Residual (Ortalama Hataların Karekökü)
RMSEA	Root Mean Square Error of Approximation (Tahminin Kök Hata Kareler Ortalaması)
SEM	Structural Equation Modeling (Yapısal Eşitlik Modellemesi)
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Paket Programı)
VAV	Variable Air Volume (Değişken Hava Hacmi)
VDC	Virtual Design and Construction (Sanal Tasarım ve İnşaat)
VR	Virtual Reality (Sanal Gerçeklik)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	İlerleme yönetim modeli ölçeklendirme matrisi.....	9
Şekil 1.2	İki haftada bir yapılan çakışma tespiti için benimsenen müşteri gereksinim süreçleri.....	11
Şekil 1.3	İnşaat aşamasındaki çakışma belirleme iş akış şeması.....	19
Şekil 1.4	Sistematik Literatür Taraması	23
Şekil 1.5	Araştırma Metodolojisi Akış Şeması.....	26
Şekil 2.1	Eleman tipi mantık ilişkisinin ağaç yapısı.....	36
Şekil 2.2	Bir binanın çeşitli sistemlerinin nasıl bir araya getirildiğini gösteren basit bir süreç	37
Şekil 2.3	BIM'in kullanılabileceği farklı boyutlara genel bakış.....	38
Şekil 2.4	BIM kullanarak MEP koordinasyon.....	42
Şekil 3.1	Tipik Design- Bid- Build organizasyon şeması.....	47
Şekil 3.2	IGA Proje BIM iş akışı.....	50
Şekil 3.4	Cad üzerinden araç kullanarak MEP koordinasyon	52
Şekil 3.5	Mimari sistemler.....	55
Şekil 3.6	BIM tabanlı MEP düzeni tasarımı ve oluşturması için çerçeve	63
Şekil 3.7	Sıralı basamaklı koordinasyon sürecinin DEMA ağı	74
Şekil 3.8	Paralel koordinasyon sürecinin DEMA ağı	74
Şekil 3.9	Mac Leamy eğrisi	75
Şekil 3.10	Geleneksel BIM tabanlı süreç.....	78
Şekil 5.1	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeği doğrulayıcı faktör analizi modeli.....	105
Şekil 5.2	Anket katılımcıların mesleki deneyim yıllarına göre dağılımı	108
Şekil 5.3	Anket katılımcıların BIM deneyim yılları	109
Şekil 5.4	BIM entegrasyonunda zorluk yaşanması.....	110
Şekil 5.5	MEP projelerinde BIM teknolojisinin etkinliğinin değerlendirilmesi	111
Şekil 5.6	MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetlerine etkisi	112

Şekil 5.7	MEP koordinasyonunu BIM süreçlerine entegre ederken karşılaşılan zorluklar.....	113
Şekil 5.8	BIM projelerinde MEP ilişkilerinin gecikmeli kurulmasının proje üzerindeki etkisi.....	115
Şekil 5.9	LOD ve LOI'nin Proje Koordinasyonundaki Önemi.....	116
Şekil 5.10	MEP sürecindeki LOD ve LOI seviyeleri hakkında bilgi sahipliği	117
Şekil 5.11	MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetlerine etkisi	118
Şekil 5.12	Paralel ve adım adım koordinasyon etkinliği	119
Şekil 5.13	İnşaat projelerinde en etkili proje teslim yöntemi	120
Şekil 5.14	Geleneksel tasarım süreci	121
Şekil 5.15	Entegre tasarım süreci	121
Şekil 5.16	Erken tasarım aşamasında yapı mühendisleri ile MEP tasarımcıları arasında entegrasyonu.....	122
Şekil 5.17	BIM kullanımının MEP tasarımının erken aşamasının entegrasyonun kolaylaştırması.....	123
Şekil 5.18	MEP rezervasyonlarının erken tasarım aşamasında yer alması.....	124
Şekil 5.19	İşveren bilgi gereksinimlerinin MEP tasarımını etkileme düzeyi ..	125
Şekil 5.20	BIM sözleşmelerinde alt yüklenicilerin dosya formatları tanımlanması	126
Şekil 5.21	BIM ve simülasyon / optimizasyon araçlarının MEP süreçlerine entegrasyonu.....	127
Şekil 5.22	MEP tasarım ve işletme süreçlerinde BIM modelinin faydaları	128
Şekil 5.23	MEP koordinasyon süreçlerinde BIM'in maliyet etkinliği.....	129
Şekil 5.24	İnşaat projelerinde en sık karşılaşılan çakışma türü	130
Şekil 5.25	EIR'in MEP koordinasyonu için önemi	131
Şekil 5.26	BIM yöneticisinin BEP detaylandırılması ve koordinasyonundaki rolünün önemi.....	132
Şekil 5.27	MEP yüklenicilerinin hızlandırılmış projelerde zorluklara uyum sağlama başarısı.....	133
Şekil 5.28	MEP süreçlerinde tasarımdan inşaata geçişte BIM etkinliği.....	134
Şekil 5.29	BIM projelerinde DEMA kullanımı ve paylaşımının etkinliği	135
Şekil 5.30	MEP Süreçlerin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkisi – BIM deneyimi karşılaştırılması	167

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	Tezin çerçevesini şekillendiren ana kaynaklar ve araştırma kapsamaları	24
Tablo 1.2	Mülakat soruları ve araştırma kapsamaları	27
Tablo 1.3	Anket soruları ve araştırma kapsamaları.....	30
Tablo 2.1	Geleneksel ve BIM tabanlı iş birliği karşılaştırmalı hata analizi .	43
Tablo 4.1	Mülakat katılımcılarının meslekleri ve deneyimi.....	83
Tablo 5.1	Anket katılımcılarının mesleklere göre dağılımı.....	97
Tablo 5.2	Anket katılımcılarının görevlerine göre dağılımı.....	97
Tablo 5.3	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeği maddeleri	99
Tablo 5.4	AFA ortak faktör varyansı.....	101
Tablo 5.5	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeği açıklayıcı faktör analizi sonuçları	102
Tablo 5.6	4 Faktörlü 11 maddelik modelin uyum iyiliği değerleri	106
Tablo 5.7	Güvenilirlik katsayısı değerleri	106
Tablo 5.8	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğinin alt boyutlarına ilişkin Cronbach's Alpha güvenilirlik indeks değerleri	107
Tablo 5.9	Görüş ve deneyime ilişkin bilgiler	136
Tablo 5.10	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğinin alt boyutlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler.....	139
Tablo 5.11	Kolmogorov-Smirnov normallik testi	140
Tablo 5.12	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların deneyim süresine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları	141
Tablo 5.13	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların BIM deneyimine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları	144
Tablo 5.14	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların MEP koordinasyon türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları	146
Tablo 5.15	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların MEP proje türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları	148
Tablo 5.16	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların MEP yapı mühendisleri ile MEP tasarımcıları arasında entegrasyon	

	olması gerektiği düşüncesine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik bağımsız örneklem T testi sonuçları.....	151
Tablo 5.17	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların BIM kullanımının MEP tasarımının erken aşamalarda entegrasyonu kolaylaştırma düşüncesine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları	152
Tablo 5.18	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların iş akışında beton ve çelik için MEP rezervasyonları oluşturma sürecinin erken tasarım aşamasına dahil edilme durumuna göre farklılıklarının incelenmesine yönelik bağımsız örneklem T testi Sonuçları.....	155
Tablo 5.19	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların proje için gerekli standartların MEP tasarımının teslim süresi, formatı ve yöntemini etkilediğini düşünme durumlarına göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları...	156
Tablo 5.20	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların BIM sözleşmelerinde erken tasarım aşamasında alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlama durumuna göre farklılıklarının incelenmesine yönelik bağımsız örneklem T testi sonuçları	158
Tablo 5.21	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelere göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları	160
Tablo 5.22	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların inşaat projelerinde en sık karşılaşılan çakışma türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları...	162
Tablo 5.23	Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların EIR konseptini erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu için önemli bulma durumlarına göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları	162

ÖZET

MEP Süreçlerinin BIM Destekli Yönetimi ve Erken Tasarım Aşamasında Maliyete Etkileri

Burak BARLAS

Mimarlık Anabilim Dalı

Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN

Bir inşaat projesinin planlama süreci, birçok farklı paydaşın katılımını gerektirir. Projenin çeşitli aşamalarında paydaşlar arasında bilgi yönetiminin etkinliği, başarılı bir BIM (Building Information Modelling) iş birliği için kritik öneme sahiptir. Proje koordinasyonundaki temel zorluklardan biri, farklı proje aşamalarında verilerin doğru zamanda, istenen kalite standartlarında ve hedeflenen bütçe sınırlarında teslim edilmesini sağlama sorumluluğudur. Bu zorluk, özellikle mekanik, elektrik ve tesisat (MEP) disiplinleri için daha belirgindir; çünkü bu disiplinler, farklı mühendislik alanlarıyla eş zamanlı ve yoğun bir etkileşim içinde çalışmayı gerektirir. Ancak, projelerde alışılmış yöntemlerden sapılmaması ve yeni yaklaşımlar benimsemekten çekinilmesi, disiplinler arası koordinasyonu zorlaştırmaktadır.

Erken tasarım aşaması, mimari, statik, elektrik, mekanik, tesisat ve yangın güvenliği gibi disiplinlerin bütünleşik olarak çalışmasını gerektiren ve projenin inşaat ve işletme aşamalarına kadar uzanabilecek kararların alındığı kritik ilk aşamadır. Bu tez çalışması, BIM uygulamalarının kullanıldığı inşaat projelerinde, erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanmasının maliyet, kalite ve zaman açısından nasıl katkılar sunduğunu analiz etmektedir. Bu bağlamda, erken tasarım aşamasında BIM kullanılan projelerdeki MEP süreçlerini etkileyen sözleşmeler, yönetmelikler ve iş akışları literatür taraması ile değerlendirilmiş; süreçlerin erken tamamlanmasının avantajları ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin işleyişini daha iyi anlamak amacıyla BIM kullanan inşaat şirketleri ile görüşmeler gerçekleştirilmiş ve MEP süreçlerinin bu aşamada iş akışına entegre edilmesinin yararları ve olası sorunları hakkında uzman görüşleri alınmıştır. Literatür taraması ve uzman görüşleri ışığında, erken tasarım aşamasına yönelik MEP süreçlerinin iş akış şemaları incelenmiştir. Bu çalışma, BIM kullanılan inşaat projelerinde erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin eksik planlanmasından kaynaklı tasarım, inşaat ve işletim süreçlerindeki maliyet, zaman ve kalite kayıplarının nedenlerini anketler ve mülakatlar ile destekleyerek ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: BIM, MEP, erken tasarım aşaması

ABSTRACT

BIM Supported Management of MEP Processes and Cost Impacts in Early Design Phase

Burak BARLAS

Department of Architectural

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serhat BAŞDOĞAN

The planning process of a construction project requires the involvement of numerous stakeholders. The effectiveness of information management among these stakeholders at various stages of the project is critical for successful BIM (Building Information Modeling) collaboration. One of the primary challenges in project coordination is ensuring that data is delivered at the right time, meeting the desired quality standards and staying within the targeted budget constraints. This challenge is particularly pronounced for mechanical, electrical, and plumbing (MEP) disciplines, as these require simultaneous and intensive interaction with various engineering fields. However, the reluctance to deviate from conventional methods and adopt new approaches in projects makes interdisciplinary coordination more difficult.

The early design phase is the critical initial stage where architectural, structural, electrical, mechanical, plumbing, and fire safety disciplines must work in an integrated manner. This phase involves decisions that can extend into the

construction and operational stages of the project. This thesis examines how the completion of MEP processes during the early design phase in construction projects utilizing BIM contributes to cost, quality, and time efficiency. In this context, contracts, regulations, and workflows affecting MEP processes in BIM-supported projects during the early design phase were evaluated through a literature review, highlighting the advantages and disadvantages of completing these processes early.

To better understand the functioning of MEP processes during the early design phase, interviews were conducted with construction companies utilizing BIM. Expert opinions were gathered on the benefits and potential issues of integrating MEP processes into the workflow at this stage. Based on the literature review and expert insights, workflow diagrams for MEP processes in the early design phase were analyzed. This study reveals the causes of cost, time, and quality losses in design, construction, and operational processes resulting from incomplete planning of MEP processes in the early design phase of BIM-supported construction projects, supported by surveys and interviews.

Keywords: BIM, MEP, early design phase

1 GİRİŞ

Bu bölümde hipotez ortaya konularak; literatür özetinde bu konuda literatürdeki çalışmalar ve eksikliklerden bahsedildi. Tezin amacı açıklandı ve problemin tanımı yapıldı. Çalışmanın kapsamı ve yöntemi hakkında bilgi verildi.

1.1 Hipotez

İnşaat sektöründe BIM (Building Information Modelling) Yapı Bilgi Modellemesi kullanılan projelerde ön tasarım aşamasında MEP (Mechanical – Electrical – Plumbing) ilişkilerinin geç kurulmasından kaynaklı olarak problemler yaşanmaktadır.

Bu çalışmada, BIM kullanılan inşaat projelerinde MEP süreçlerinin ön tasarım aşamasında ele alınmasının, maliyet, kalite ve zaman açısından daha verimli sonuçlar doğurduğu varsayılmaktadır. MEP süreçlerinin ön tasarım aşamasında proje sürecine dâhil edilmesinin tasarımın ilerleyen aşamalarında proje sürecine dâhil edilmesine oranla maliyet, kalite ve zaman bakımından sağlayacağı avantajların olduğu düşünülmektedir. Bu doğrultuda MEP süreçlerinin projelerin başarısında ön tasarım aşamasında alacağı rol belirleyici olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, BIM kullanılan projelerde MEP süreçlerinin ön tasarım aşamasında ele alınmasının, projenin ilerleyen aşamalarında çakışma analizi (clash dedection), bilgi akışı ve koordinasyon açısından olumlu etkiler yaratacağı varsayılmaktadır. Bu bağlamda, erken tasarım aşamasında disiplinler arası iş birliğinin artırılmasının, proje sürecinde maliyet ve zaman yönetimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, MEP süreçlerinin önceden planlanması ve detaylandırılması ile tasarım, inşaat ve işletme aşamalarındaki potansiyel revizyonların ve gecikmelerin önlenileceği öngörülmektedir. Bu varsayımların,

araştırma sürecinde toplanan literatür verileri ve uzman görüşleri ışığında şekilleneceği kabul edilmektedir.

1.2 Literatür Özeti

Mimari tasarım, yapısal tasarım ve mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat (MEP) tasarımı genellikle bir bina tasarım sürecinde toplu veri ve bilgi üretir. Yapısal tasarım ve MEP tasarımı, mimari tasarımdan elde edilen bilgilerle yakından ilgilidir. MEP sistemlerine en etkili genel yaklaşım için, detaylandırma, imalat ve montajın erken tasarım aşamalarında dengeli bir şekilde ele alınması çok önemlidir (Tatum, 2000).

Bu çalışma proje yönetim sürecinde ön tasarım aşamasında BIM ve MEP tasarım ilişkisinin daha etkin ve verimli kullanımını destekleyen kaynaklara yönelmektedir. Buradan yola çıkarak bu çalışma öncelikle BIM ve MEP tasarım genel literatürünü tarayarak; BIM ve MEP koordinasyonu özeline odaklanmaktadır. BIM alanı özellikle 2000’li yıllardan sonra dijitalleşmenin ve internetin yaygınlaşmasından sonra akademik olarak gelişen bir üretim alanı haline gelmiştir. Bu nedenle literatür taramasında öncelikli olarak 2000 sonrası yayınlara odaklanılmıştır.

Tartışılan bölümlerde, farklı yazarların çalışmaları, BIM ve MEP süreçlerinin entegrasyonu, disiplinler arası koordinasyon ve erken tasarım aşamasında alınan kararların etkilerini kapsamaktadır. Hartmann (2008) ve Boyd (2015), ilerleme yönetim modelleri ve LOD (Level of Detail) kavramlarının, disiplinler arası bilgi yönetiminde oynadığı rolü vurgulamıştır. Khanzode ve Fischer (2008) tarafından ele alınan çalışmalar, BIM tabanlı iş akışlarının koordinasyon verimliliği üzerindeki etkisini tartışmaktadır. Lim (2016) ve Bosché (2015), erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin işletme ve inşaat maliyetlerine olan olumlu etkilerini vurgulamaktadır.

Ayrıca, BIM’in çakışma tespiti ve tasarım uyumluluğundaki rolü, Seo Jung-Ho (2012) ve Tommelein (2012) tarafından yapılan çalışmalarda olumlu yönde ele alınmıştır. Cerny (2020) ve Ranathunga (2024), BIM tabanlı simülasyonların, proje süreçlerinin optimize edilmesine ve yönetmelik uyumunun artırılmasına katkı sağladığını belirtmiştir. Foster (2008) ise BIM süreçlerine dayalı sözleşme modelleri ve disiplinler arası iş birliğini analiz ederek, uygulama aşamasındaki olası

risk ve zorlukları incelemiştir; disiplinler arası iş birliğinin gerekliliğine vurgu yapmıştır.

Planlama kalitesinin, sürdürülebilir binaların geliştirilmesindeki rolü, Parti (2019) tarafından çalışılmıştır. Özellikle BIM tabanlı MEP tasarımlarının, veri entegrasyonunu iyileştirerek inşaat ve işletme süreçlerinde maliyet ve kalite performansını artırdığı belirtilmiştir (Parti, 2019).

Sonuç olarak, bu literatür özeti BIM tabanlı projelerde MEP süreçlerinin entegrasyonu, erken tasarım aşamasında alınan kararların etkileri, disiplinler arası bilgi yönetimi ve koordinasyon süreçleri gibi temel alanları kapsamakta ve BIM – MEP entegrasyonun gerekliliğini ortaya koymaktadır. Çalışma, bu alanlardaki bilgi birikimini derinleştirerek, BIM projelerinde erken tasarım aşamasındaki MEP koordinasyonun tamamlanması konusundaki literatür boşluğunu doldurmayı hedeflemektedir.

1.2.1 BIM Kavramı

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), inşaat sektöründe, tasarım aşamasından başlayarak inşaat ve bakım süreçlerine kadar tüm evrelerde kullanılan, tüm proje katılımcılarının erişebileceği bir dijital bilgi modeli oluşturma yaklaşımıdır. Bu yöntem, bir binanın tüm yaşam döngüsü boyunca 3B modelleme ve entegre veri paylaşımını içerir. BIM, inşaat alanında sadece yeni ve gelişmiş bir teknoloji olmakla kalmayıp, aynı zamanda sektörde önemli değişikliklere yol açan bir iş süreci olarak da değerlendirilebilir. 3D modeller, grafiksel olmayan veriler, iş birliğine dayalı bir ortamda elektronik belgeler ve diğer ilgili verileri barındıran bir dijital ikiz olarak tanımlanabilir (Scottish Futures Trust, 2013).

BIM, mükemmel bir yapıyı çevrenin sunulmasında bina ve inşaat endüstrisi uygulamalarını temelden dönüştürecek dijital inşaat teknolojisi olarak son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Bu, inşaat üretkenliğinin yanı sıra inşaat değer zincirindeki çeşitli disiplinler arasında entegrasyon ve iş birliği düzeyini artıracak, oyunun kurallarını değiştiren bir teknolojidir (Building and Construction Authority, 2013). BIM, yapı sektöründeki en umut verici dijital yöntemlerden biridir (Hartmann, 2008).

BIM bir yolculuktur. Zamanla büyüyeceği, daha gelişmiş ve yenilikçi iş akışlarına ilham vereceğini öngörülmektedir (Building and Construction Authority, 2013).

Etkili disiplin koordinasyonu sağlamak amacıyla BIM tabanlı çakışma tespiti, yalnızca inşaat aşamasıyla sınırlı kalmayıp, tüm proje yaşam döngüsüne ve uzaktan inşaat projeleri gibi özel durumlara da uygulanmaktadır (Arayıcı, 2012).

1.2.2 MEP Kavramı

Binalarda Mekanik, Elektrik ve Sıhhi Tesisat (MEP) sistemi, insanların günlük ihtiyaçlarına hizmet eder ve bu nedenle bina sakinleri için konforlu ve güvenli bir ortam yaratmada kritik bir rol oynar.

İnşaat sektöründe mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat (MEP) sistemlerinin koordinasyonu, özellikle karmaşık bina projelerinde, tasarım sürecine dahil olan paydaşların farklı gereksinimleri ve yoğun bilgi alışverişi nedeniyle temel bir zorluk teşkil etmektedir. Buna ek olarak, proje katılımcılarının sınırlı bütçeleri ve sıkışık iş programları ile teknik problemlerin ortaya çıkması, bu sürecin etkinliğini azaltarak proje teslim sürecini geciktirmektedir (Tatum, 2000).

Bir binanın yapısal olmayan işlevlerinin yönetimi, sıhhi tesisat, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC), elektrik sistemleri, enerji tasarrufu ve asansör bakımı gibi süreçlerin etkin bir şekilde yönetilmesini içerir (Hu, 2018).

1.2.3 LOD ve LOI Kavramları ve MEP Etkileşimi

"Modellere hangi ayrıntı düzeyi dahil edilmelidir?" sorusu, modellerdeki ayrıntı seviyesi ile sağladıkları koordinasyon verimliliği arasında doğrudan bir denge olduğunu ortaya koymaktadır (Khanzode A. F., 2008).

BIM süreçlerinde, LOD (Level of Detail) ve LOI (Level of Information), projenin çeşitli aşamalarında bilgi akışının yönetilmesi ve koordinasyonun sağlanması için kritik öneme sahiptir. LOD, modelin grafiksel detay seviyesini, LOI ise modelin grafiksel olmayan içeriğinin detayını tanımlar. LOI veri modellerini tanımlamak için bir dildir ve LOD ise çok disiplinli BIM iş süreçlerini tanımlamak için kullanılır (Hartmann, 2008).

Proje paydaşları, bir BIM modelinin LOD'sini anlayarak, projenin farklı aşamalarında bilgilerin doğruluğunu ve eksiksizliğini değerlendirebilir, karar verme ve koordinasyona yardımcı olabilir (BIM Cafe, 2023).

1.2.3.1 LOD 100 Kavramsal

LOD alan, yükseklik ve hacmi gösteren genel bina kütlesi, konum ve yönlendirme üç boyutlu olarak modellenen verileri içermektedir (Sheikh, 2021).

American Institute of Architects (AIA – Amerikan Mimarlar Enstitüsü) 2013 tanımına göre, bir model elemanı, modelde bir sembol veya başka bir genel temsil ile grafiksel olarak gösterilebilir. Model elemanı ile ilgili bilgiler (örneğin, metrekare başına maliyet, HVAC tonajı vb.) diğer model elemanlarından elde edilebilir (AIA, 2013).

1.2.3.2 LOD 200 Yaklaşık Geometri

Amerikan Mimarlar Enstitüsü 2013 tanımına göre, bir model elemanı, model içerisinde yaklaşık miktarlar, boyut, şekil, konum ve yönelim açısından bir sistem, nesne veya montaj olarak grafiksel olarak temsil edilir. Ayrıca, bu model elemanına grafiksel olmayan bilgiler de eklenebilir (AIA, 2013).

1.2.3.3 LOD 300 Hassas Geometri

Model elemanları, miktar, boyut, şekil, konum ve yönelim açısından doğru özel birleşimler olarak modellenir. Geometrik olmayan bilgiler de model unsurlarına eklenebilir (Sheikh, 2021).

LOD 300 seviyesinde, Amerikan Mimarlar Enstitüsü 2013'e göre, bir model elemanı model içinde belirli bir sistem, nesne veya montaj olarak miktar, boyut, şekil, konum ve yönelim açısından grafiksel olarak temsil edilir. Bu model elemanına, grafiksel olmayan bilgiler de eklenebilir (AIA, 2013).

1.2.3.4 LOD 350

LOD 350 seviyesinde BIMForum 2013 tanımına göre, bir model elemanı, model içinde belirli bir sistem, nesne veya montajın miktar, boyut, şekil, konum, yönelim ve diğer bina sistemleriyle olan arayüzleri açısından grafiksel olarak temsilidir. Bu model elemanına, grafiksel olmayan bilgiler de eklenebilir (Bedrick, 2022) (BIMForum, 2022).

1.2.3.5 LOD 400 Fabrikasyon

LOD 400 seviyesinde, model elemanları tam montaj detayları ve üretim bilgilerini içerecek şekilde miktar, boyut, şekil, konum ve yönelim açısından doğru ve ayrıntılı

bir şekilde modellenir. Ayrıca, geometrik olmayan bilgiler de bu model elemanlarına eklenebilir (Sheikh, 2021).

1.2.3.6 LOD 500 Uygulama

LOD 500 seviyesinde, Amerikan Mimarlar Enstitüsü 2013 tanımına göre, bir model elemanı, model içinde detaylandırma, imalat, montaj ve kurulum bilgileriyle beraber boyut, şekil, konum, miktar ve yönelim açısından belirli bir sistem, nesne veya montaj olarak grafiksel olarak temsil edilir. Bu model elemanına, grafiksel olmayan bilgiler de eklenebilir. Ayrıca, model elemanı, sahada doğrulanmış bir şekilde boyut, şekil, konum, miktar ve yönelim açısından gerçekçi bir gösterim sunar (Bedrick, 2022).

İşveren, işverenin bilgi gereksinimleri (EIR) içinde detay seviyesini tanımlar ve bu gereksinimler sonunda sözleşmesel bir yükümlülük olan BIM protokolüne dönüşür. Model detayı seviyeleri (LOD), modellerin grafik içeriğini, Model Bilgi Seviyeleri (LOI) ise grafik olmayan içeriği tanımlar. Bu yapı, proje sahiplerinin projeyi ilerletip ilerletmemeye karar vermesine olanak tanır ve Amerika Mimarlar Enstitüsü de AIA G202-2013 BIM Protokol Formu için bir LOD çerçevesi yayınlamıştır (MEPBIM, 2023).

LOD ve LOI, genel BIM sürecini geliştirmek için birlikte çalışır. Bu seviyelerin açık tanımları, proje ekiplerinin beklentileri yönetmesini, bilgi boşluklarını belirlemesini ve sorumlulukları etkin bir şekilde tahsis etmesini sağlar. Bu sinerji, doğru ve ayrıntılı bilgilerin gerekli olduğu iş birliği ve devir aşamalarında özellikle değerli hale gelir (MEPBIM, 2023).

Bir mimarın yeni bir ticari bina için karmaşık bir HVAC (Heating , Ventilation and Air Conditioning) sistemi tasarladığı bir senaryo düşündüğümüzde; mimar, HVAC sistemi için LOD 400 seviyesini belirleyerek modelin imalat için detaylı üretim bilgileri içerdiğini belirtir. Aynı zamanda, bir mühendis aynı HVAC sistemi için performans özelliklerini ve bakım gereksinimlerini içeren LOI 300'ü tanımlar. Bu koordineli yaklaşım, HVAC sisteminin hem grafiksel hem de grafiksel olmayan yönlerinin hizalanmasını sağlayarak inşaat ve işletme sırasında ortaya çıkabilecek tutarsızlıkları ortadan kaldırır (BIM Cafe, 2023).

Eğer LOD seviyesi gereğinden yüksek veya düşük ayarlanırsa, gereksiz iş yükü, revizyon ihtiyacı ve bilgi eksikliği gibi sorunlar ortaya çıkabilir. 3D veri

modellerinde, planlama ve temel tasarım süreci genellikle 1/100 ölçeğinde, uygulama tasarımı ise 1/50 ölçeğinde modellenir (Lee, 2020).

1.2.4 Erken Tasarım Aşamasında Statik ve MEP Etkileşimi

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), inşaat sektöründe önemli yenilikler sağlayan bir teknolojidir ve statik ile MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) mühendisliği alanlarında önemli bir rol oynamaktadır. Statik mühendisliği, yapıların güvenli ve ekonomik olarak tasarlanmasını sağlar ve BIM teknolojisi, statik mühendislerine 3D modeller üzerinden daha detaylı analiz yapma imkânı sunar. BIM'in çoklu-LOD modellemesi, tasarımın farklı aşamalarında gereksinimleri ve belirsizlikleri açıkça tanımlayarak, mühendislerin daha bilinçli kararlar almasını sağlar (Chiu, 2020).

MEP mühendisliği ise, binaların mekanik, elektrik ve tesisat sistemlerinin tasarımını kapsar ve erken tasarım aşamasında yapılan doğru MEP koordinasyonu, projenin toplam maliyetini önemli ölçüde etkileyebilir. MEP tasarımları için LOD 400 detay seviyesinde çalışmanın, tasarımın ilerleyen aşamalarında ortaya çıkabilecek maliyet artışlarını ve zaman kayıplarını önleyebileceğini belirtmektedir. Bu detay seviyesi, erken aşamada yapılan koordinasyonun, tasarımın ilerleyen aşamalarında ortaya çıkabilecek maliyet artışlarını ve zaman kayıplarını önleyebileceğini göstermektedir (Cerny, 2020).

Amerikan Mimarlar Enstitüsü, AIA G202-2013 Yapı Bilgi Modellemesi Protokol Formu ile, model elemanlarının içeriğini tanımlayan bir 'Gelişim Düzeyi' (LOD) çerçevesi yayınlamıştır. Burada kullanılan 'gelişim seviyesi' terimi, geleneksel 'detay seviyesi' ifadesinin yerini almakta ve bize önemli bir gerçeği hatırlatmaktadır. Görsel olarak detaylı görünen bir model elemanının genel bir temsil olabileceği ve diğer yönlerden bakıldığında, tasarımın daha düşük bir geliştirme seviyesinde olabileceğidir. Bu anlayış, BIM süreçlerinde her bir model elemanının gelişimini daha kapsamlı ve doğru bir şekilde değerlendirmemizi sağlar (AIA, 2013).

BIM, yapı mühendislerinin tasarım çalışmalarını dünya çapında dağıtmalarını sağlamaktadır. Bunu birkaç faktör sağlar. İlk olarak, bir dizi çalışan yazılım paketi yapı mühendislerinin çalışmalarını desteklemektedir. İkincisi, BIM modelleri, yapıların analizi sırasında anında tatmin ve geri bildirimi mümkün kılar ve bu nedenle entegre modelleme ve analizi mümkün kılar. BIM'in yapı mühendisleri

tarafından daha yaygın kullanılmasının önündeki en büyük engel, yapı mühendisleri ile MEP tasarımcıları arasında bir entegrasyonun olmamasıdır. Bu da imalatçıların MEP sistemi ile yapısal çelik arasındaki geçişlerin doğrudan konumlandırılmasına ve boyutlarına ihtiyaç duyması nedeniyle yapısal tasarım modellerinin çelik imalatçılarla doğrudan değişimini engellemektedir. Ayrıca, standart BIM uygulamalarının kodlanması ve BIM modellemesinin yapı mühendisliği bütçesine entegre edilmesi gerekmektedir (Hartmann, 2008).

BIM'in kullanımı hem statik hem de MEP mühendisliği alanlarında maliyetleri düşürmekte ve projelerin verimliliğini artırmaktadır. Hilti'nin BIM ile ilgili deneyimlerini paylaştığı çalışmada BIM'in tasarım optimizasyonu, prefabrikasyon, ileri lojistik ve BIM'den sahaya uygulamalarında sağladığı avantajlar tartışılmaktadır (Cerny, 2020).

Bu avantajlar, projelerin daha hızlı ve ekonomik bir şekilde tamamlanmasına olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, statik ve MEP mühendisliği alanlarında BIM teknolojisinin kullanımı, maliyetleri düşürmek ve projelerin verimliliğini artırmak için büyük bir potansiyele sahiptir. Özellikle erken tasarım aşamalarında yapılan etkin MEP koordinasyonu, projenin genel başarısını önemli ölçüde etkileyebilir. BIM, mühendislik disiplinleri arasında daha iyi bir iş birliği ve koordinasyon sağlayarak, inşaat projelerinin daha verimli ve ekonomik bir şekilde tamamlanmasına olanak tanır (Cerny, 2020).

İlerleme Yönetim Modeli Ölçeklendirme Matrisi (Progression Management Model Scaling Matrix) içerisinde MEP sistemlerinin, yapısal unsurların projenin farklı aşamalarında nasıl yönetileceği konusundaki rolü, özellikle projenin ilerleme yönetimine ve olgunluk düzeylerine odaklanarak ele alınır. Bu matriste, her bir yapısal unsur ve MEP sistemi, proje ilerledikçe belirli aşamalar ve onay durumlarına göre sınıflandırılır (Boyd, 2015).

İlerleme Yönetim Modeli Ölçeklendirme Matrisi kavramı, inşaat projelerinde farklı disiplinlerin (örneğin MEP ve yapısal unsurların) LOD seviyelerini yönetmek için kullanılır. Bu matris, her disiplinin projenin çeşitli aşamalarında hangi detay seviyesinde olması gerektiğini açıkça belirterek, disiplinler arası koordinasyon ve entegrasyonu kolaylaştırabilir. Ancak, farklı LOD seviyelerinin yeterince açıkça tanımlanmaması veya güncellenmemesi, anlaşmazlıklara ve yanlış anlamalara yol

açabilir, bu da bilgi alışverişinde karışıklığa ve güvenilirlik sorunlarına neden olabilir. Bu nedenle, bu modelin etkili kullanımı, net tanımlar ve düzenli güncellemeler gerektirir; böylece projenin başarılı bir şekilde yönetilmesi sağlanır (Boyd, 2015).

Element Ayırıştırması	Bölüm 1: Projenin Başlangıç Aşaması ve İlk Kontrol Noktası	Bölüm 2: Gelişmiş Tasarım Aşaması ve İkinci Kritik Kontrol Noktası	Bölüm 3: Detaylı Tasarım ve İnşaat Öncesi Onay Aşaması.
	Dm Im Pp Ap	Dm Im Pp Ap	Dm Im Pp Ap
Taşıyıcı Kolon	Dosya Seviyesi - - Pp -	Eleman Seviyesi 2 - Pp -	Eleman Seviyesi 3 1 Pp Ap
Taşıyıcı Kiriş	Dosya Seviyesi - - Pp -	Eleman Seviyesi 2 - Pp -	Eleman Seviyesi 3 1 Pp Ap
Mimari Duvar	Dosya Seviyesi - - Pp -	Sistem Seviyesi 2 - Pp -	Eleman Seviyesi 3 2 Pp -
Mimari Kapı	Dosya Seviyesi - - Pp -	Eleman Seviyesi 1 - Pp -	Eleman Seviyesi 2 2 Pp Ap
MEP Üfleme Havası	Dosya Seviyesi - - Pp -	Dosya Seviyesi 1 - Pp -	Sistem Seviyesi 2 2 Pp -
MEP Tesisat	Dosya Seviyesi - - Pp -	Dosya Seviyesi 1 - Pp -	Sistem Seviyesi 2 2 Pp -
vb.	- - - -	- - - -	- - - -
Dm Detailed Maturity (Grafiksel Delay Olgunluğu) Im Information Maturity (Bilgi Olgunluğu) Pp Permitted Purpose (Kullanım İzni) Ap Approval (Onay durumu)			

Şekil 1.1 İlerleme yönetim modeli ölçeklendirme matrisi (Boyd, 2015)

Erken tasarım aşamasında statik ve MEP sistemleri arasındaki etkileşimin etkin yönetimi, projenin ilerleyen safhalarında maliyet ve zaman kayıplarını minimize etmek açısından kritik öneme sahiptir. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi element, sistem ve dosya seviyesi gibi veri organizasyon yaklaşımlarının kullanımı, bu süreçte bilgi yönetiminin daha hassas ve kontrollü bir şekilde yapılmasını sağlar. Statik elemanlar (taşıyıcı kolon, kiriş vb.) ve MEP elemanları (HVAC kanalları, tesisat boruları vb.) arasındaki çakışmaların önceden tespit edilmesi için, grafiksel delay olgunluğu (Detailed Maturity - Dm) ve bilgi olgunluğu (Information Maturity - Im) seviyelerinin aşamalı olarak artırılması önerilmektedir. Kullanım izni (Permitted Purpose - Pp) ve onay durumu (Approval - Ap) gibi kontrol mekanizmaları ise, her bir sistem veya elemanın doğruluk ve tamlık seviyesini tanımlayarak tasarım doğrulamasını güçlendirir. Bu matris hem statik hem de MEP disiplinlerinin paralel çalışmasını sağlayarak, erken tasarım aşamasında daha güvenilir ve entegre bir veri akışı sunmaktadır. Bu yaklaşım, projede çakışma analizi ve bilgi doğrulama süreçlerini daha şeffaf ve yönetilebilir kılmaktadır (Boyd, 2015).

MEP sistemleri, bina tasarımı ve inşaat süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. BIM teknolojisi, bu sistemlerin entegrasyonunu kolaylaştırarak farklı disiplinler arasında daha uyumlu bir işleyiş sağlar. Yapısal unsurlarla paralel olarak yönetilen

MEP mümkün olmadığında, koordinasyon zorluklarına ve proje gecikmelerine yol açabilmektedir (Teo, 2022).

Farklı disiplinler arasında farklı Detay Seviyeleri (LOD) kullanılması, her bir disiplinin kendi içinde tutarlı olmasını sağlasa da bu durum sistemler arası koordinasyonu zorlaştırabilir. LOD uyumsuzlukları, bilgi alışverişinde hatalı varsayımlara ve sonuçta güvenilirlik sorunlarına neden olabilir. BIM tabanlı MEP koordinasyonu, bu tür sorunları azaltmak için etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir. BIM modelleri hem tasarım hem de inşaat süreçlerinde tüm disiplinlerin aynı veri seti üzerinde çalışmasını sağlayarak uyumluluğu artırır. Bu nedenle, MEP ve yapısal unsurların başarılı bir şekilde entegre edilmesi için BIM destekli yönetim stratejileri benimsenmeli ve LOD seviyeleri açıkça tanımlanmalıdır. Özellikle büyük ölçekli projelerde BIM kullanımı, tasarım doğruluğunu artırırken maliyetleri düşürmekte ve iş gücü verimliliğini artırmaktadır (Doubouya, 2017).

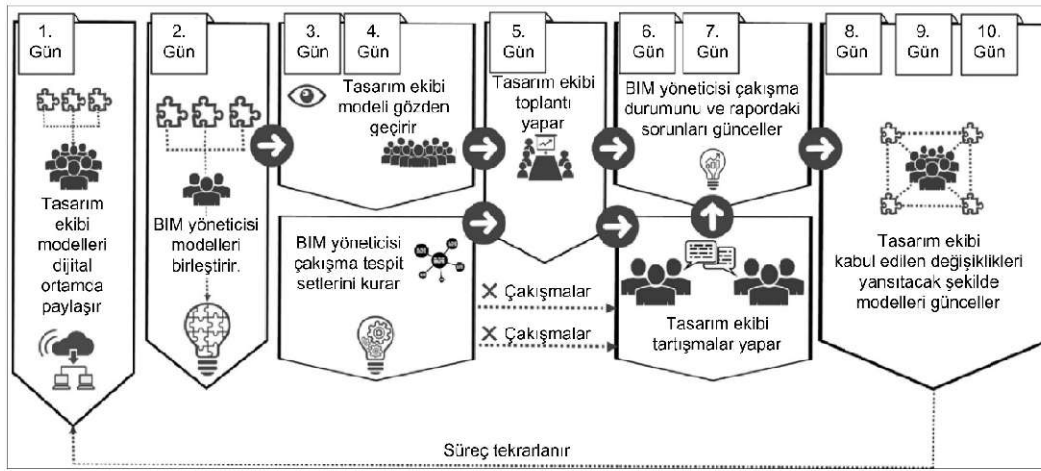
Progression Management Model Scaling Matrix içerisinde, her aşama veya kilometre taşı için MEP sistemlerinin detay seviyesi, teslim edilme durumu ve onay gereksinimleri belirtilir. Bu, proje yöneticilerine ve takım üyelerine, MEP sistemlerinin projenin genel ilerleyişine ve yapısal unsurların gelişimine nasıl entegre edileceği konusunda rehberlik eder (Boyd, 2015).

“Level of Development (LOD) Specification”, LOD çerçevesini tanımlayarak bir iletişim aracı olarak daha etkili hale gelmeyi amaçlamakta ve bir projenin hangi aşamada hangi gelişim seviyelerine ulaşacağını belirtmek yerine, model ilerlemesinin detaylandırılmasını ve yönetimini kullanıcının sorumluluğuna bırakmaktadır (BIMForum, 2022).

1.2.3 EIR Kavramı ve MEP

EIR (The Employer’s Information Requirements), işverenin projede ihtiyaç duyduğu bilgi gereksinimlerini, veri formatlarını, teslimat zamanlamasını ve BIM süreçlerinde takip edilmesi gereken standartları tanımlar. Bu tanımlama, MEP tasarımları ve diğer proje bileşenlerinin ne zaman, hangi formatlarda ve hangi detay seviyesinde teslim edilmesi gerektiğini açıkça belirler. EIR, MEP sistemlerinin ve diğer projelerin tasarımı ve koordinasyonu için gerekli olan detaylı ve yapılandırılmış verilerin, proje süresince doğru zamanda ve uygun formatta

sağlanmasını temin eder, bu da projenin verimli ilerlemesi ve başarılı sonuçlanması için kritik öneme sahiptir. EIR ayrıca, MEP mühendisliği ve diğer disiplinler için bilgi yönetimi seviyelerini, eğitim gereksinimlerini ve model yönetimini de içerebilir. İşverenin Bilgi Gereksinimleri, proje sonunda sözleşmeye bağlı bir yükümlülük olarak teslim edilen BIM protokolünün bir parçası haline gelir. EIR, proje yönetiminde veri koordinasyonunu sağlayarak, MEP tasarımlarında erken aşamada bilgi paylaşımını optimize eder ve projenin başarısına doğrudan katkıda bulunur (Muhammad, 2020).



Şekil 1.2 İki haftada bir yapılan çakışma tespiti için benimsenen müşteri gereksinim süreçleri (Parn, 2018)

Bu süreçte, BIM tabanlı projelerde çakışma tespiti ve çözümleme için kullanılan iş akışı, projelerin başarısını doğrudan etkiler. Şekil 1.2, iki haftalık bir süreçte çakışma tespiti ve çözümleme için izlenen adımları detaylı bir şekilde açıklamaktadır. Tasarım ekipleri, farklı disiplinlere ait modelleri dijital bir ortamda paylaşır ve BIM yöneticisi bu modelleri birleştirerek federatif bir model oluşturur. Bu model üzerinden çakışma tespiti yapılır. Çakışmalar genellikle mekânsal hatalardan kaynaklanır; örneğin, bir borunun bir kolondan geçmesi gibi durumlar tespit edilir. Tespit edilen çakışmalar hata, tolerans gösterilen, kasıtlı veya yinelenen çakışmalar olarak sınıflandırılır. Çözüm önerileri raporlanır ve ekipler arasında tartışılarak, üzerinde anlaşılan değişiklikler modellerde uygulanır. Güncellenen modeller yeniden değerlendirilir ve süreç, proje boyunca düzenli aralıklarla tekrarlanır. Bu akış sayesinde, çakışmalar erken aşamada çözülür, maliyetler ve zaman kaybı minimize edilir ve proje süreçlerinin genel performansı

optimize edilir. Bu yöntem, büyük ve karmaşık projelerde özellikle kritik bir başarı faktörüdür (Parn, 2018).

1.2.4 BIM Sözleşmeleri ve MEP

BIM süreçlerine dayalı sözleşmelerdeki temel zorluk, sorumlulukların açık bir şekilde tanımlanması ve risklerin tüm paydaşlar arasında adil bir şekilde dağıtılmasıdır. “Conflicting Side of Building Information Modeling Implementation in the Construction Industry” başlıklı çalışmada, MEP ve mimari grupların BIM ortamında çalışmasının uyumlu bir iş birliği sağlaması beklenirken, yükleniciye verilen montaj sıralamasındaki tutarsızlıkların BIM modeline uyumsuzluk yarattığı vurgulanmıştır. 2013 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada ise, BIM'in HVAC sistem tasarımında etkili bir araç olarak kullanıldığı, ancak montaj sürecindeki koordinasyon eksikliklerinin önemli sorunlara yol açtığı belirtilmiştir. Montaj koşullarının oldukça katı olduğu bu projede, yükleniciye açık şekilde ileilmeyen montaj sırasının saha uygulamalarında aksamalara neden olduğu ifade edilmiştir. Montaj işleminin % 70'i tamamlandığında, yüklenicinin alan kullanımı tükenmiş ve proje ilerleyişinde ciddi sorunlar ortaya çıkmıştır. Tasarım uzmanının ve sigorta şirketinin de belirttiği üzere, "her şey modele uyuyordu, ancak gerçekte uymuyordu" (Hamdi, 2014).

Erken tasarım aşamasında alt yüklenicilerin kullanılacak dosya formatlarının tanımlanması önemlidir. Kansas'taki Sprint Center Arena projesinde BIM kullanımının, zayıf sözleşme anlaşmalarından kaynaklanan uygulama zorluklarıyla karşı karşıya kaldığını belirtmektedir. Alt sözleşme anlaşması, her kritik alt yüklenicinin kendi iş kapsamını modellemesini ve genel yüklenici tarafından yazılan üç boyutlu (3D) bir MEP şartname sergisine uymasını gerektiriyordu. Ancak anlaşma, alt yükleniciler tarafından alınan dijital veriler için açık dosya formatını açıkça tanımlayamamış, bu da tasarım ve inşaatla kullanılan çok sayıda tescilli CAD ve diğer dosya formatlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. İşveren, BIM süreçlerinin uygulandığından ve erken birlikte çalışabilirlik zorlukları nedeniyle basitçe terk edilmediğinden emin olmak için ek sorumluluk almak ve ekstra maliyetlere katlanmak zorunda kalmıştır (Foster, 2008).

Bina müteahhitlerine sunulan belgelerin, yalnızca bina içerisine yerleştirilecek ekipman ve aksesuarların genel düzenini gösterdiği belirtilmektedir. Buna ek

olarak, inşaat sözleşmeleri, bu sistemleri kuran yüklenicilerin, işlerinin uygulanması sırasında ortaya çıkabilecek çakışmaları tespit edip gidermek amacıyla iş birliği içinde çalışmalarını zorunlu kılmaktadır (Foster, 2008).

1.2.5 Simulasyonlar ve MEP

BIM, simülasyon ve optimizasyon araçlarına bina ve kurulum için girdi sağlar. Bu simülasyonların çıktısı veya optimizasyonun sonucuna göre uyarlanır. İdeal bir durumda, bina sadece sanal olarak inşa edilmiş ve aynı zamanda sanal olarak test edilmiştir. Birçok farklı simülasyon yöntemi ile BIM'in entegrasyonu hala erken bir aşamadır ya da hiç yoktur. İdeal koşullarda, BIM bileşenlerinin yalnızca geometrik verileri değil, aynı zamanda hesaplama ve simülasyonların yürütülmesini sağlayacak davranış modellerini de içermesi gerektiği ifade edilmektedir (Insiter, 2016).

MEP tasarımcıları arasında BIM'in daha yaygın kullanılmasının önündeki başlıca engeller, mevcut BIM yazılımlarının tam entegre çalışmaya yeterince uygun olmamasıdır. Ek olarak, MEP tasarımcıları yazılım eğitiminin zamanlaması ve maliyeti ile mücadele ediyor (Hartmann, 2008).

İnşaat süreci sırasında, tasarımdan sapmaların kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasını sağlamak amacıyla BIM modeli, as-built (gerçek uygulama) verileriyle karşılaştırılarak düzenli olarak kontrol edilmektedir. Bu hem bina elemanları hem de Mekanik, Elektrik ve Tesisat sistemleri için geçerlidir. Bina tamamlanmaya yaklaştıkça, bina dahil MEP sistemlerinin genel performansını değerlendirmek için bir simülasyon aracı kullanılmaktadır. Bu, MEP/HVAC bileşenleri ve sistemlerinin hesaplanması ve analizi yoluyla sürekli önceliklendirme işlemini içermektedir (Broers, 2016).

BIM, MEP mühendislerine bina sistemlerini tasarlama ve teslim etme sürecinde performans, maliyet ve yapılabirlik arasında bir denge kurma baskısı altında destek sağlamaktadır. Autodesk'e göre, BIM'in tasarım ekipleri için daha etkili iş birliği ve sürdürülebilir tasarımlar geliştirme imkânı sunduğunu belirtmektedir. Modern BIM araçları, multidisipliner takımların birleşik bir tasarım ortamında güvenli ve iş birlikçi bir şekilde çalışmasına olanak tanır. Bu, ticaretlerin koordinasyonu, proje aşamalarının sıralanması, sorunların ortaya çıkarılması ve çakışmaların tespiti için tek bir gerçek kaynak sağlar (Autodesk, 2023).

BIM, MEP mühendislerine kapsamlı simülasyon olanakları, veri analizi ve disiplinler arası koordinasyon gibi önemli avantajlar sunmaktadır. Geleneksel CAD yazılımları, tasarım amacının aktarımı ve dokümantasyonu iyileştirirken, BIM, mühendisler ve bina tasarımı, inşaatı ve yönetimi süreçlerinde yer alan diğer paydaşlara, planlama aşamasından itibaren binaları sürdürülebilir ve maliyet etkin bir şekilde yönetmek için gerekli tüm unsurları üç boyutlu olarak değerlendirme imkânı sağlamaktadır (Indovance, 2023).

BIM, MEP mühendislerine, bir projenin gelişim aşamalarında derinlemesine simülasyonlar ve analizler yapma olanağı sağlar. Örnek olarak, EnergyPlus analiz motorunun kullanımı sayesinde, mühendisler bina enerji tüketimi ve sistem yüklerini etraflıca inceleyebilir, bu verilerle tasarım süreçlerini zenginleştirebilirler. Bu analitik yaklaşım, özellikle enerji tasarruflu mekanik ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemleri ile su ve enerji verimliliğini artıran tesisat sistemlerinin tasarımında kritik öneme sahiptir. Ayrıca, BIM süreci, zaman ve maliyet tasarrufları, hata oranlarının düşürülmesi, verimlilik ve kalitenin artırılması gibi bir dizi avantaj sunar. Bu avantajlar arasında çakışma tespiti, risk yönetimi, maliyet kontrolü, sürdürülebilir bina tasarımları ve çevreye duyarlı inşaat yöntemleri de bulunmaktadır. Bu özellikler ışığında, BIM'in MEP simülasyonlarındaki çözümleri, inşaat sektöründe gittikçe daha yaygın bir standart haline gelmiştir. Bu teknoloji, projelerin başarılı bir şekilde tamamlanmasında önemli bir rol oynamakta, mühendisler, mimarlar, müteahhitler ve bina sahiplerine projelerini daha etkili bir şekilde yönetme imkânı tanımaktadır (Santos, 2017).

BIM tabanlı yaklaşımlar, farklı tasarım senaryolarının maliyet, zaman ve kaynak kullanımı açısından analiz edilmesini kolaylaştırarak, projelerin ilerleyen aşamalarında karar verme süreçlerini desteklemektedir. Fazeli'nin (2020) önerdiği yarı otomatik sistem, MEP süreçlerindeki tasarım alternatiflerinin maliyet analizi için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Bu bağlamda, tasarım senaryolarının maliyet analizlerinin simülasyonlarla desteklenmesi, MEP sistemlerinde olası revizyonların etkilerini önceden öngörmeyi mümkün kılar. BIM kullanılarak oluşturulan senaryoların analizi, karar verme süreçlerini hızlandırmanın yanı sıra olası hata ve gecikmeleri en aza indirir (Fazeli, 2020).

1.2.6 BIM Projelerinin İşletilmesi ve MEP

Bir proje çıktısı olarak, as-built bilgi modeli yalnızca geometrik bilgileri ve inşaatla ilgili gerekli verileri değil, aynı zamanda akıllı işletme ve bakım yönetimi için yararlı olan yerleşik bilgileri de içermelidir (Hu, 2018).

BIM modelleri yalnızca geometrik temsiller sunmakla kalmayıp, aynı zamanda işletme ve bakım süreçlerinde veri odaklı karar desteği sağlamak amacıyla kullanılan kapsamlı bilgi kaynaklarıdır. Bu yaklaşım, MEP sistemlerinin performans analizini kolaylaştırarak hem işletme verimliliğini hem de sürdürülebilir bina yönetimini desteklemektedir. Erken tasarım aşamasında başlayarak BIM model üzerinden devam edilen MEP tasarımın sahada doğru bir şekilde uygulanması işletme süreçlerinde tesis yönetimi için MEP sistemlerine ait modellerin dijital bir ikiz olarak kullanılmasına katkı sağlamaktadır (Lim, 2016).

Lim 2016 yılında erken tasarım aşaması için MEP sistemlerinin nicelleştirilmesine yönelik bir senaryo geliştirmiştir. Bu yaklaşım BIM'in sadece detaylı bir 3D model olmadığı fikrine dayanmaktadır (Lim, 2016).

Mekanik tadilatların BIM modeli üzerinden güvenle planlanabilmesi ve malzeme israfı ile yeniden çalışmayı önleyerek maliyet ve zaman tasarrufu sağlanması için MEP bileşenlerinin doğru inşa edilmiş olması gerekmektedir (Bosché, 2015).

Tesis Yönetimi için BIM modellerinin uygulanmasına yönelik sektörden artan bir ilgi ve talep olduğu belirtilmektedir. BIM modellerine dahil edilen MEP bileşenlerinin doğru inşa edilmiş durumlarına sahip olmak, tesis yöneticilerinin bina işletim ve bakım programlarını BIM modelleriyle entegre etmelerine olanak tanıyarak bu bileşenleri verimli bir şekilde bulmalarını ve bakımlarını yapmalarını sağlayacaktır (Bosché, 2015).

Bu kapsamda, BIM modelleri yalnızca tasarım süreçlerine değil, aynı zamanda işletme aşamasında veri odaklı karar destek araçları olarak da kullanılmaktadır. Erken tasarım aşamasında modellenen MEP sistemlerinin, tesis yönetim süreçlerinde dijital ikiz işlevi gördüğünü ve bina yönetiminde etkin bir rol oynadığını belirtmektedir (Lim, 2016).

1.2.7 BIM Eğitimi ve MEP

BIM tabanlı eğitim metodolojisi, inşaat yönetimi disiplinlerinde, bilgi ve iletişim teknolojilerinin (ICT) entegrasyonu ile öğrenme süreçlerini desteklemek amacıyla geliştirilmiştir. Krezel'in 2016 yılındaki çalışmasında BIM'in hem tasarım hem de inşaat aşamalarında veri paylaşımını ve iş birliğini artırarak, öğrencilerin teknik yetkinliklerini geliştirmede önemli bir araç olduğunu vurgulanmaktadır. Özellikle, BIM destekli öğrenme ortamlarında, öğrencilerin sanal modeller üzerinde çalışarak yapı tasarımı, analiz ve simülasyon becerilerini geliştirdiği belirtilmiştir. BIM tabanlı metodoloji, geleneksel 2D çizimlere kıyasla daha etkileşimli ve veri odaklı bir öğrenme deneyimi sunmakta, bu da yapı bilgi modellerinin sadece görsel temsillerden öte, projenin yaşam döngüsüne dair kapsamlı veriler sunmasını sağlamaktadır. BIM tabanlı öğrenme süreçleri, mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC) disiplinleri arasında daha etkili iş birliği ve bilgi paylaşımına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, BIM tabanlı öğrenme metodolojisi hem mesleki hem de teknik becerileri geliştirerek inşaat projelerinin daha verimli yönetilmesini desteklemektedir (Krezel, 2016).

1.2.8 BIM Yönetmelikleri ve MEP

Erken tasarım aşamasında yürürlükteki yönetmelik ve standartların dikkate alınması, projenin tüm paydaşları arasında daha etkin bir iş birliği ve bilgi paylaşımını teşvik eder. Yönetmeliklere uygun çözümlerin belirlenmesi, mimarlar, mühendisler, yükleniciler ve proje yöneticileri gibi farklı disiplinlerin ortak hedefler doğrultusunda uyum içinde çalışmasını sağlar. Özellikle MEP sistemleri gibi teknik disiplinlerde, yönetmeliklerin önceden tanımlanması ve BIM tabanlı dijital modellerin kullanılması, tasarım çakışmalarını ve potansiyel uyumsuzlukları erkenden tespit etmeye yardımcı olur. Bu proaktif yaklaşım, yalnızca uyumluluk sağlamakla kalmaz, aynı zamanda tasarım kararlarının daha bilinçli alınmasını sağlayarak hem maliyet hem de zaman yönetiminde önemli avantajlar sunar (Ranathunga, 2024).

MEP sistemlerinin doğru tasarlanması ve yürürlükteki yönetmeliklere uygun olarak modellenmesi, enerji verimliliği ve güvenlik standartlarının karşılanmasını garanti altına alır. BIM tabanlı MEP modelleri, proje ekibine doğru ve güncel veriler sağlayarak prefabrikasyon ve modüler inşaat süreçlerinde zaman ve maliyet

tasarrufu elde edilmesini sağlar. Bu süreç, inşaat sahasında iş gücü ve malzeme israfını azaltırken, bina performansını artırır ve bakım süreçlerini kolaylaştırır (Ranathunga, 2024).

1.2.9 BIM ve MEP Maliyeti

Koordinasyon süreci yavaş ve pahalıdır. MEP koordinasyonu genellikle proje gecikmelerine ve sürece dahil olan herkes için maliyet artışlarına neden olmaktadır (Hanna, 1999).

"Building Information Modeling" dergisinde yayımlanan bir makalede, Boston merkezli mekanik inşaat firması J.C Cannistraro LLC'nin gerçekleştirdiği bir projede, BIM yaklaşımının iş birliğine dayalı uygulamasının ekonomik faydaları incelenmiştir. Bu analizde, iş birliğine dayalı BIM uygulamasının, projenin toplam maliyetini %10 ila %20 oranında azalttığı belirtilmiş, böylece önemli bir finansal tasarruf sağlandığı vurgulanmıştır. Bu durum, BIM yaklaşımının inşaat projelerinde maliyet verimliliği açısından ne kadar etkili olabileceğini göstermektedir (Kocakaya, 2022).

İdeal olarak, koordinasyon çabasının sonucu, kritik tasarım kriterlerini ve performans özelliklerini karşılayan ekonomik bir düzenlemedir. Bina sistemlerinin maliyeti tahmin edilebilirken, koordinasyon maliyetini tahmin etmek daha zordur. Koordinasyon genellikle inşaat maliyetinde bütçelenmez; tasarım kategorisinde gizli bir maliyettir (Korman T. M., 2008).

Birçok inşaat sektörü profesyoneli, MEP koordinasyonunun inşaat projelerinin teslim sürecinde karşılaşılan en zorlu görevlerden biri olduğunu belirtmiştir (Korman T. M., 2008).

Bir tasarım ve inşaat projesinde, değer katmayan çaba NVAE (Non-Value-Adding Effort) değer katmayan faaliyetler olarak da adlandırılır. Proje daha dikkatli planlanmış, yürütülmüş, izlenmiş ve kontrol edilmiş olsaydı önlenebilecek olan boşa harcanmış çaba ifade edilmektedir (Han, 2011).

1.2.10 MEP ve Çakışma Analizi

Çakışma analizi, 3 Boyutlu BIM modelinin gelişim sürecinin önemli ve hayati bir parçasıdır. Çakışma tespit testinde, 3B Bina Bilgi Modeli içindeki çeşitli elemanlar (mimari, yapısal ve MEP sistemleri) arasındaki geometrik çakışmalar, gerçek inşaat

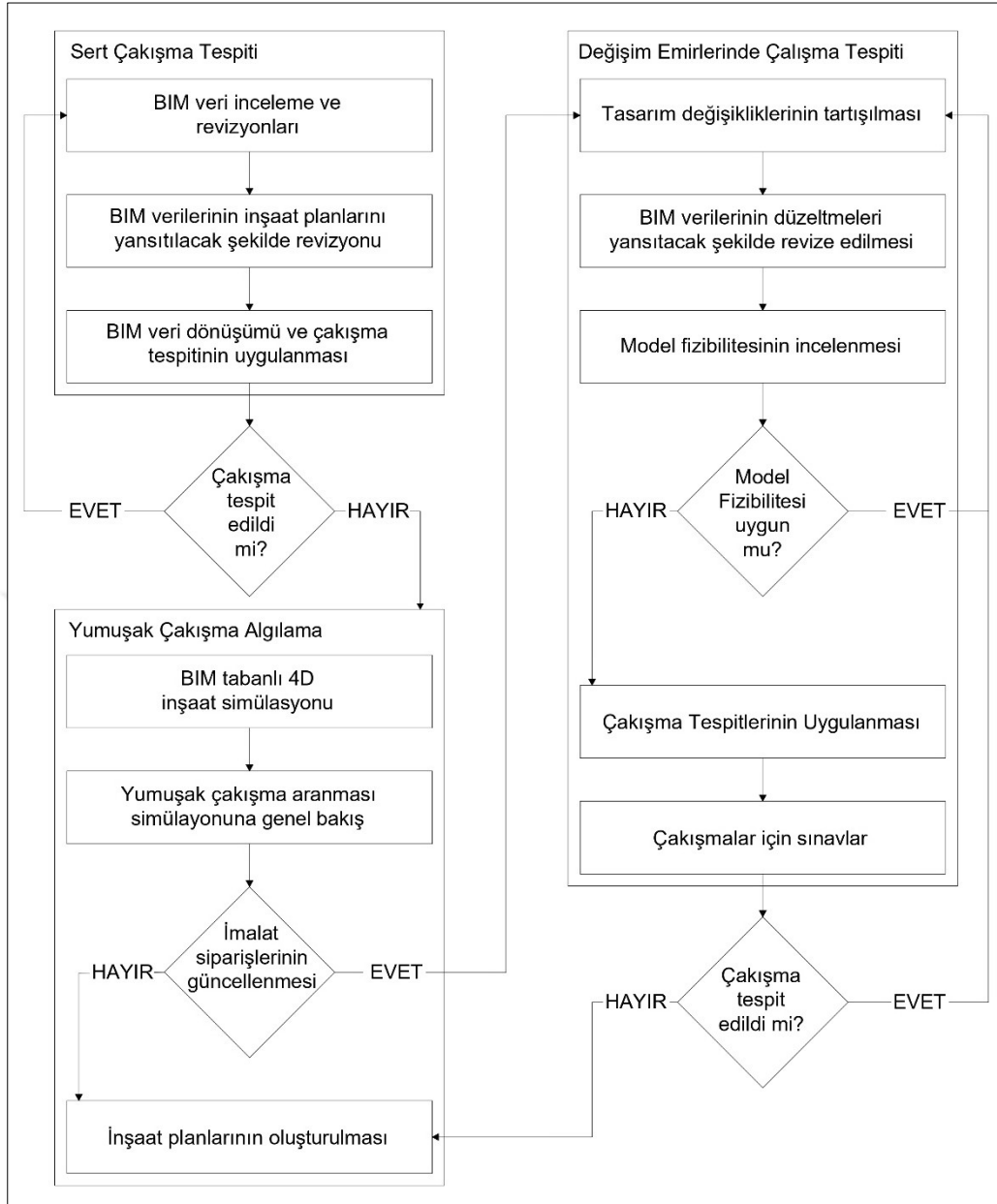
başlamadan önce tasarım aşamasında erken tespit edilecek, kontrol edilecek ve değiştirilecektir (Kermanshahi E. K., 2020).

Bu nedenle, farklı kuruluşlar arasındaki koordinasyon geliştirilir ve hataların azalmasına katkıda bulunabilir. Böylece, inşaat sürecinin daha verimli hale gelmesi, maliyetlerin düşmesi ve yasal ihtilaf riskinin azalması mümkün olabilir. BIM koordinatörleri çakışmaları yalnızca varoluşlarına göre değil aynı zamanda onlara göre hareket edilmesi için kullanılan süreci de vurgulamaktadır. Çakışma tespitinin dikkat ettiği üç ana çakışma türü vardır (Tommelein, 2012).

Sert Çakışmalar: Bir yapı bileşeninin başka bir yapı bileşenine fiziksel olarak ancak istemeden nüfuz etmesi anlamına gelir. Yani iki veya daha fazla birleşen aynı fiziksel alan için rekabet eder (Tommelein, 2012).

Yumuşak / Açıklık Çakışmaları: Birbirlerine belirli bir mesafeden (minimum açıklık) daha yakın olan bileşenleri (alt sistemleri) ifade eder (Tommelein, 2012).

Zaman/4D Çakışmaları: Projenin inşa edilebilirliği veya işletilebilirliği göz önünde bulundurulduğunda öngörülen mekânsal zorlukları (potansiyel olarak aynı alanı işgal eden bileşenler) ifade eder (Tommelein, 2012). Bu tür çakışmalar, yüklenicinin programını, ekipman ve malzeme teslimatlarını etkileyebilmektedir. Yüklenicinin genel zaman çizelgesi içinde çakışmalara neden olmaktadır (Kermanshahi E. K., 2020).



Şekil 1.3 İnşaat aşamasındaki çakışma belirleme iş akış şeması (Seo Jung-Ho, 2012)

BIM tabanlı çakışma tespitinde iki temel çakışma türü bulunmaktadır: sert çakışmalar ve yumuşak çakışmalar. Şekil 1.3, inşaat aşamasında bu çakışma türlerini ele alan iş akışını detaylandırmaktadır. Sert çakışma, BIM modelinde farklı bileşenlerin fiziksel olarak aynı alanda çakışması durumudur. Yumuşak çakışma ise, erişim, yalıtım veya güvenlik gereklilikleri gibi bileşenler arasında belirli bir mesafe gereksiniminin sağlanamaması durumunda ortaya çıkan tasarım uyumsuzluğudur (Seo Jung-Ho, 2012).

Çakışma tespitinin temel amacı, BIM projelerinde tasarım hatalarının belirlenmesine yönelik verimliliği artırmaktır. Ancak, tasarımcıların bu hataları filtrelemek için önemli ölçüde zamana ihtiyaç duyması nedeniyle, pratikte çok sayıda etkisiz veya yanlış çakışma tespiti yapılması sürecin verimsiz hale gelmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda, BIM araçlarında çakışma tespitinin etkinliğinin nasıl artırılacağı kritik bir konu haline gelmiştir. Zayıf çakışma tespit oranının nedenleri üç temel açıdan değerlendirilebilir (Jimenez, 2001).

- Etkili çakışmaları tespit etmek için yeterli doğrulukta algoritmalara sahip olmayan olgunlaşmamış BIM araçlarının kullanımı.
- Tasarım ekiplerinin koordinasyon yeteneklerinin yetersiz olması.
- BIM modellerindeki veri kalitesinin düşük olması.

1.3 Tezin Amacı

Bu tez, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) kullanılan projelerde MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) süreçlerinin daha verimli yönetilmesini sağlamak amacıyla MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasındaki entegrasyonunu, bu süreçlerin net sınırlarının belirlenmesini ve proje yönetimi açısından optimizasyonunu içeren kapsamlı bir çerçeve oluşturmayı amaçlamaktadır. Literatürde, BIM tabanlı projelerde ön tasarım aşamasında MEP süreçlerinin sınırlarının belirsizliği nedeniyle uygulama ve maliyet üzerinde olumsuz etkiler olduğu belirtilmektedir. Bu doğrultuda, ön tasarım aşamasında MEP süreçlerinin net sınırlarının tanımlanması hedeflenmektedir.

Tezin bir diğer amacı ise, MEP süreçlerinin ön tasarım aşamasında tamamlanmasının avantaj ve dezavantajlarını belirlemektir. BIM kullanan inşaat projelerinde ön tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanmasının maliyet, süre ve kalite üzerindeki olumlu etkileri ortaya konulacak, bunun yanında karşılaşılabilecek zorluklar ve riskler de analiz edilecektir.

Son olarak, bu tez, inşaat yöneticileri ve mimarlar için MEP süreçlerinin verimli tamamlanmasını sağlayacak rehber niteliğinde öneriler geliştirmeyi amaçlamaktadır. MEP süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik öneriler, literatür taraması, uzman görüşmeleri ve anketler ile desteklenerek, farkındalığın artırılması

ve MEP süreçlerinin proje maliyeti, süresi ve kalitesi üzerindeki olumlu etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamayı hedeflemektedir.

Üst ölçek olarak, bu çalışma, kamu ve özel sektör yatırımlarının daha etkin ve verimli kullanılmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir. Alt ölçekte ise, MEP süreçlerinin planlama ve uygulama aşamalarında daha verimli işleyişini sağlayarak, inşaat projelerinde kaynak israfının önlenmesi ve disiplinler arası koordinasyonun iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, BIM kullanılan projelerde erken tasarım aşamasındaki MEP süreçlerinin doğru yönetiminin proje başarısı üzerindeki etkileri ortaya konulacaktır.

1.4 Problemin Tanımı

İnşaat sektöründe, uygulama aşamasında MEP projelerinin koordinasyonu genellikle yerinde geçici (ad-hoc) çözümlerle sağlanmaktadır. Çoğu zaman yapboza dayalı olan bu süreçte süre ve maliyet kayıpları yüksek seviyelerde gerçekleşmektedir. Bu durumdan kaynaklanan kalite sorunlarını çözmek amacıyla genellikle işçilik maliyetlerini artırma yoluna gidilmektedir. Ancak, son yıllarda artan işçilik maliyetleri nedeniyle söz konusu koordinasyon problemi, inşaat projelerinde ciddi bir süre, maliyet ya da kalite sorununa dönüşmüştür.

MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasına entegre edilememesi, proje sürecinde süre gecikmelerine, ek maliyetlere ve kalite düşüşlerine yol açmaktadır. Bu durum, MEP disiplinlerinin diğer mühendislik alanlarıyla yoğun etkileşim gerektiren yapısı nedeniyle daha karmaşık hale gelmektedir. Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonunun sağlanamaması, inşaat projelerinde disiplinler arası uyumun zayıflamasına ve kaynak israfına neden olmaktadır.

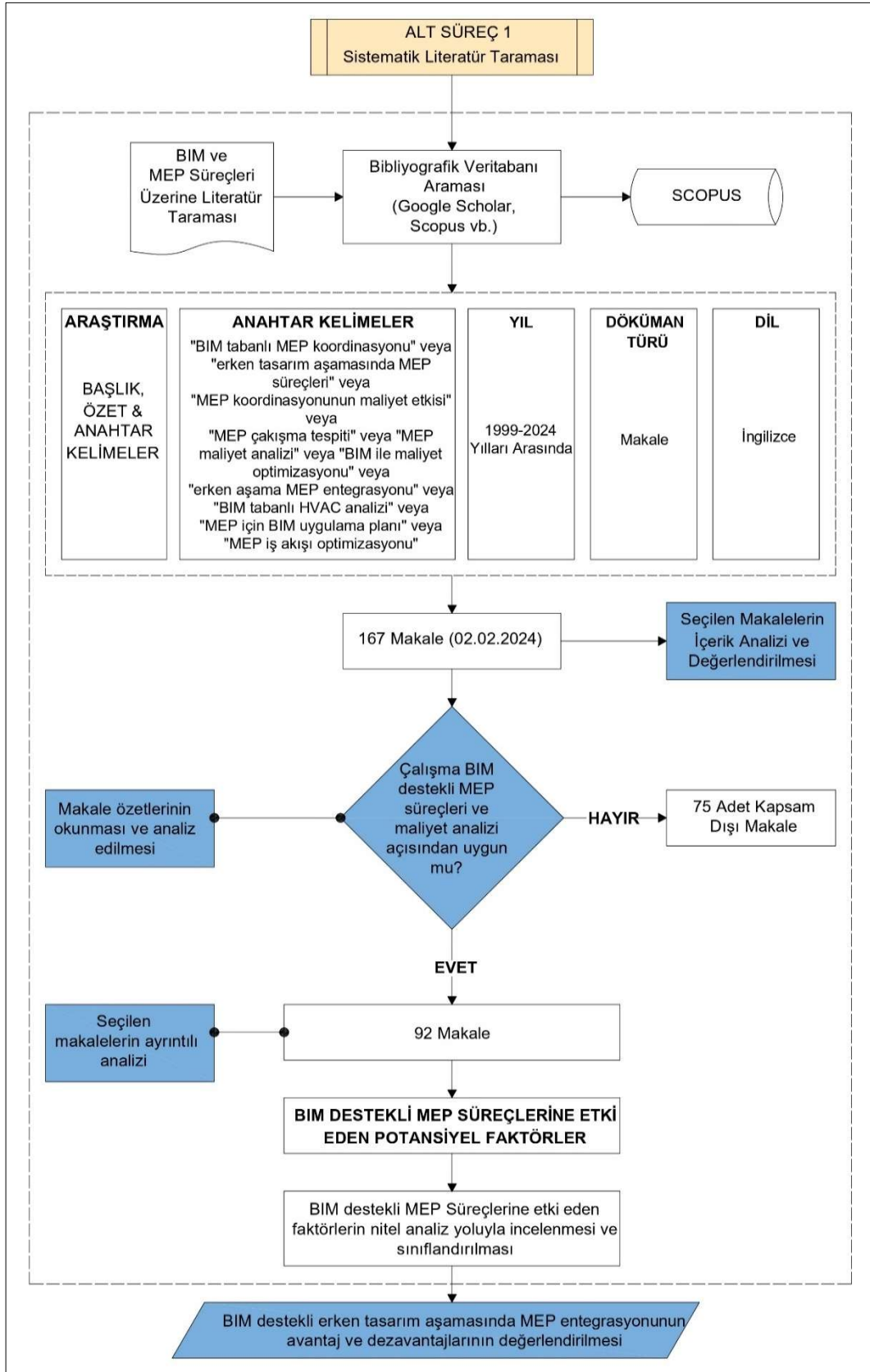
Bu problemin üst ölçekteki etkileri, inşaat projelerinin genel başarısını olumsuz yönde etkilemektedir. Koordinasyon eksikliği, projelerin hedeflenen süre ve bütçe içerisinde tamamlanmasını zorlaştırarak maliyet aşımına ve teslimat gecikmelerine yol açmaktadır. Ayrıca, kaynak israfı, insan gücü ve malzeme kullanımında verimsizliğe neden olmakta; bu da sektörde daha sürdürülebilir ve etkin bir işleyişin önünde ciddi bir engel oluşturmaktadır. Disiplinler arası uyumun zayıflaması ise proje ekipleri arasında güven kaybı ve iş birliği sorunlarına sebebiyet vermektedir.

Birçok paydaş bir inşaat projesinin planlama sürecine dahil olur. Proje aşamalarında paydaşlar arasındaki bilgi akışı, BIM koordinasyonu için kritik önem taşır. Proje koordinasyonundaki en büyük zorluk, farklı proje aşamalarında verilerin doğru zamanda, istenilen kalitede ve hedeflenen bütçede teslim edilmesinin zorluğudur. Bu durum, özellikle MEP disiplinleri açısından daha karmaşık hale gelmektedir; zira bu disiplinler, diğer mühendislik alanlarıyla yoğun bir etkileşim içinde çalışmayı gerektirir. Ancak, geleneksel yöntemlerden vazgeçilmemesi ve yeni BIM tabanlı yaklaşımların benimsenmesindeki direnç, disiplinler arası entegrasyonu ve sürecin etkin yönetimini zorlaştırmaktadır. BIM'in henüz tam anlamıyla benimsenmemesinin temel nedenlerinden biri, süreçlerin yeterince standartlaştırılmamış olması ve paydaşlar arasında net bir uygulama çerçevesinin bulunmamasıdır.

1.5 Çalışmanın Kapsamı ve Metodolojisi

Bu çalışmanın temel problemi, inşaat sektörünün geniş bir yelpazeye sahip olması nedeniyle, MEP süreçlerinin BIM entegrasyonu açısından genel geçer bir model oluşturmanın zorluğudur. Bu kapsamda, teorik kavramsal çıkarımlar yerine sahadan uzmanların deneyimleri, yaşadıkları zorluklar ve çözüm önerileri dikkate alınarak, literatürde test edilmiş kavramsal çerçevenin sektör bağlamında yeniden değerlendirilmesi yoluna başvurulmuştur. Bu doğrultuda, karma araştırma yöntemi kullanılmış ve hem nitel hem de nicel araştırma yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında, BIM destekli MEP süreçlerinin yönetimi ve bu süreçlerin maliyet, kalite ve zaman üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Öncelikle, sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilmiş ve mevcut çalışmaların MEP süreçlerine BIM entegrasyonu açısından sunduğu çerçeve analiz edilmiştir. Kaynak seçim süreci, belirli anahtar kelimeler ve metodolojik kriterler çerçevesinde şekillendirilmiş olup, analiz edilen çalışmaların kapsamı özetlenmiştir. Şekil 1.4, literatür taramasının aşamalarını ve seçilen çalışmaların değerlendirme sürecini göstermektedir. Literatürden elde edilen bulgular doğrultusunda, araştırmanın metodolojik tasarımı oluşturulmuş ve saha çalışmaları için gerekli kriterler belirlenmiştir.



Şekil 1.4 Sistematik Literatür Taraması

Çalışmanın teorik çerçevesini oluşturan temel kaynaklar ve araştırma kapsamaları Tablo 1.1'de özetlenmiştir. Bu tabloda, BIM kullanımı, MEP entegrasyonu, disiplinler arası koordinasyon, çakışma analizi ve zaman yönetimi gibi konular ele alınmış ve ilgili kaynaklarla ilişkilendirilmiştir.

Tablo 1.1 Tezin çerçevesini şekillendiren ana kaynaklar ve araştırma kapsamaları

Tezin Çerçevesini Şekillendiren Ana Kaynaklar ve Araştırma Kapsamları															
Yazarlar	Sene	BIM Kullanımı	MEP Entegrasyonu	LOD Seviyesi	Zorluklar	Disiplinler Arası	BIM ve Maliyet	EIR	Sözleşme	Yönetmelikler	İşletme ve Bakım	BIM Simülasyonları	MEP Çakışma Analizi	4D Zaman Çakışmaları	BIM Eğitimi
Hanna	1999						<								
Jimenez	2001												<		
Foster	2008														
Hartmann	2008	✓		✓		✓									
Khanzode	2008			✓											
Korman	2008					✓	✓								
Seo Jung-Ho	2012												<		
Tommelein	2012												<		
Bosche	2015										<	✓			
Boyd	2015							✓							
Broers	2016											✓			
Krezel	2016														<
Lim	2016										<				
Doumbouya	2017		✓												
Hu	2018	✓									✓				
Parn	2018								✓				✓		
Parti	2019		✓			✓									
Cerny	2020	✓					✓								
Chui	2020			✓											
Fazeli	2020											✓			
Kermanshaki	2020													✓	
Lee	2020	✓		✓											
Tatum	2020				✓										
Teo	2022					✓									
Indovance	2023	✓					✓								
MEPBIM	2023			✓											
Ranathunga	2024									✓					

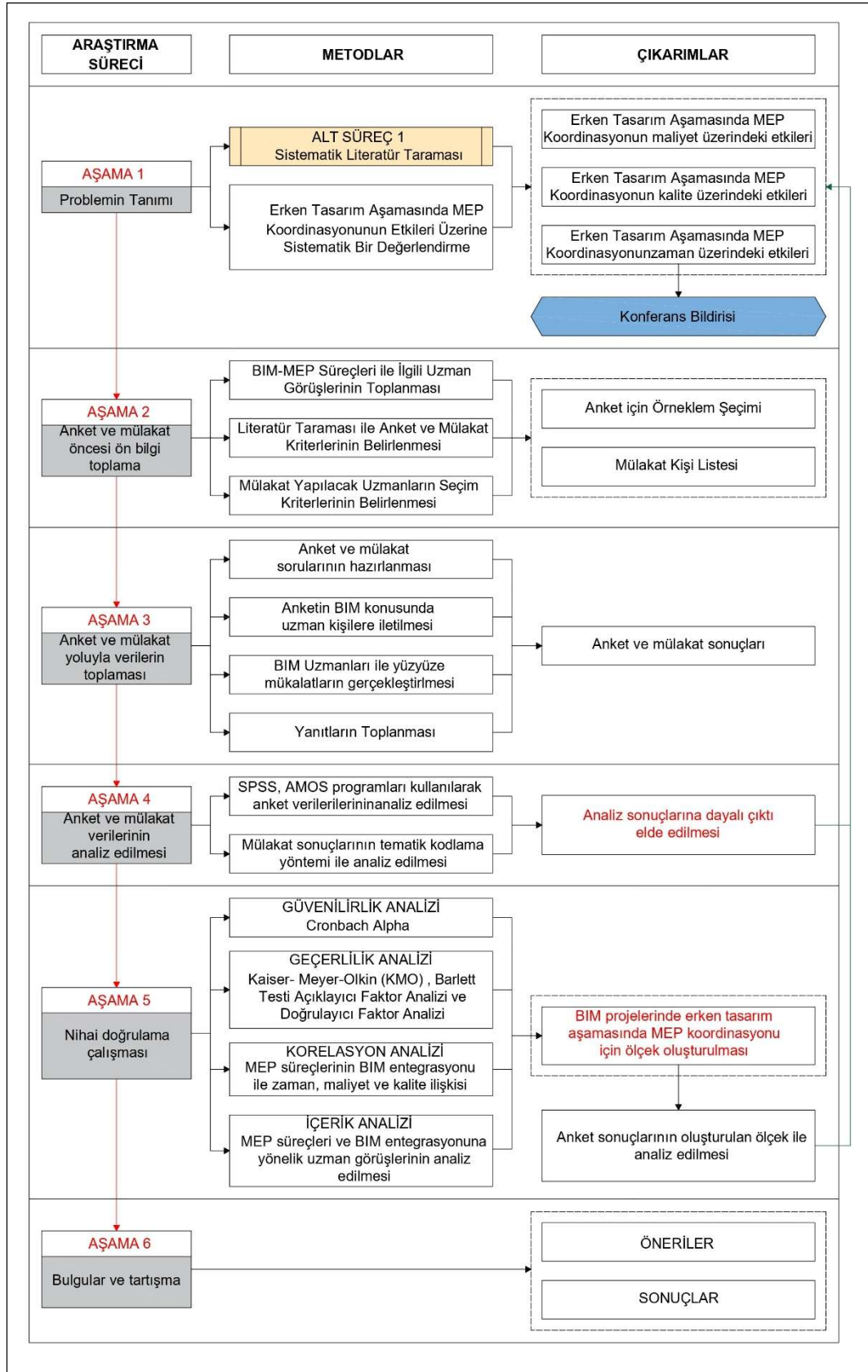
Araştırmanın ikinci aşamasında, BIM-MEP süreçleri ile ilgili uzman görüşleri toplanmış, anket ve mülakat soruları oluşturularak sektördeki profesyonellerin deneyimleri değerlendirilmiştir. Toplanan veriler, nitel ve nicel yöntemler kullanılarak analiz edilmiş; SPSS ve AMOS gibi istatistiksel yazılımlar ile anket verileri değerlendirilirken, mülakat sonuçları tematik kodlama yöntemiyle incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, BIM destekli MEP süreçlerini etkileyen faktörler belirlenmiş ve bu süreçlerin yönetimine dair ölçek geliştirilmiştir. Şekil 1.5, araştırmanın genel metodolojisini ve izlenen aşamaları özetlemektedir.

Çalışmanın nitel aşaması, BIM tabanlı projelerde çalışan inşaat profesyonelleriyle yüz yüze mülakatlara dayanmaktadır. Mülakat yöntemi tercih edilmiştir çünkü sektördeki BIM uygulamalarının MEP süreçlerine entegrasyonundaki mevcut sorunları daha derinlemesine analiz etmek ve uzmanların doğrudan tecrübelerinden faydalanmak amaçlanmıştır. Mülakat yöntemi ile sektör uzmanlarının deneyimleri doğrudan analiz edilerek BIM'in MEP süreçlerine entegrasyonu sürecindeki zorluklar ve çözüm önerileri tespit edilmiştir.

Çalışmanın evreni, BIM kullanan inşaat şirketlerinden oluşmaktadır. Olasılıksız (amaçlı) örnekleme yöntemi kullanılarak, BIM tabanlı projelerde aktif rol alan ve farklı disiplinlerden uzmanların dahil olduğu 15 şirket belirlenmiştir. Her bir şirketten BIM yöneticileri, MEP mühendisleri, proje yöneticileri ve saha koordinatörleriyle görüşmeler yapılmıştır.

Mülakat çalışmaları kapsamında, katılımcı şirketlerin bilgileri ve görüşme yapılan uzmanların kimlikleri gizli tutulmuş, çalışma öncesinde katılım onam formları imzalatılmıştır. Veriler, yarı yapılandırılmış mülakat tekniği ile toplanmış, tüm görüşmeler kaydedilmiş ve transkript analizleri yapılarak tematik kodlama yöntemi ile değerlendirilmiştir. Böylece, BIM süreçlerinin MEP koordinasyonuna etkileri nitel verilerle desteklenmiş ve uzman görüşleri doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Mülakat sürecinde kullanılan sorular, BIM kullanımı, MEP entegrasyonu, LOD seviyesi, disiplinler arası entegrasyon, maliyet analizi, çakışma tespiti, zaman yönetimi ve BIM simülasyonları gibi temel araştırma başlıklarını kapsamaktadır. Tablo 1.2, mülakat sorularını ve bu soruların hangi BIM-MEP süreçlerine odaklandığını özetlemektedir.



Şekil 1.5 Araştırma Metodolojisi Akış Şeması

Tablo 1.2 Mülakat soruları ve araştırma kapsamı

Mülakat Soruları ve Araştırma Kapsamları														
Mülakat Soruları	BIM Kullanımı	MEP Entegrasyonu	LOD Seviyesi	Zorluklar	Disiplinler Arası Entegrasyon	BIM ve Maliyet	EIR	Sözleşme	Yönetmelikler	İşletme ve Bakım	BIM Simülasyonları	MEP Çakışma Analizi	4D Zaman Çakışmaları	BIM Eğitimi
Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkileri nelerdir ve bu etkiler nasıl ölçülebilir?	✓	✓				✓				✓			✓	
BIM kullanımı, MEP tasarımının erken aşamalarda entegrasyonunu nasıl kolaylaştırır ve bu entegrasyon proje kalitesine nasıl katkıda bulunur?	✓	✓			✓								✓	
MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının zaman yönetimi üzerindeki etkileri nelerdir ve bu etkileri azaltmak için hangi stratejiler uygulanabilir?		✓		✓		✓					✓			
Projede farklı disiplinler arasındaki koordinasyon ve iletişimde karşılaşılan en büyük zorluklar nelerdir ve BIM bu zorlukların üstesinden gelmekte nasıl bir rol oynar?		✓		✓	✓							✓		✓

Tablo 1.2 Mülakat soruları ve araştırma kapsamı (devamı)

Erken tasarım aşamasında MEP tasarımında LOD kavramının kullanımının önemi nedir ve bu yaklaşım MEP tasarım sürecini ve sonuçlarını nasıl etkiler?			✓											
Erken tasarım aşamasında MEP entegrasyonunun proje sonuçlarına etkisi nasıl izlenir ve değerlendirilir?		✓			✓									
BIM kullanan inşaat projelerinde MEP süreçlerinin erken entegrasyonunun karşılaştığı en büyük engeller nelerdir ve bu engeller nasıl aşılabılır?	✓			✓						✓				
Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanması, projenin ilerleyen aşamalarında karşılaşılabilecek hangi potansiyel sorunları önleyebilir?	✓	✓						✓	✓					
Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanması ve BIM kullanımı, inşaat sözleşmelerinde nasıl ele alınmalı ve bu yaklaşım proje süreçlerini nasıl etkiler?	✓						✓	✓						
Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin entegrasyonu, proje yöneticileri ve mimarlar için hangi avantajları ve zorlukları beraberinde getirir?		✓			✓									

MEP süreçlerinin BIM entegrasyonunu daha geniş bir çerçevede değerlendirmek için nicel araştırma yöntemi olarak anket çalışması uygulanmıştır. Anket yöntemi tercih edilmiştir çünkü BIM tabanlı projelerde MEP süreçlerinin entegrasyonunun süre, maliyet ve kalite üzerindeki etkilerini istatistiksel olarak değerlendirmek ve geniş bir katılımcı kitlesinden veri toplamak hedeflenmiştir. Anket çalışmasının temel amacı, BIM tabanlı projelerde MEP süreçlerinin entegrasyonunun süre, maliyet ve kalite üzerindeki etkilerini ölçmek, BIM kullanımının proje başarısına etkisini analiz etmek ve erken tasarım aşamasındaki MEP koordinasyonunun avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymaktır.

Anket çalışmasının evreni, BIM tabanlı projelerde çalışan uzmanlardan oluşmaktadır. Katılımcıların BIM deneyimi ve inşaat projelerindeki görevleri dikkate alınarak rastgele örnekleme yerine olasılıksız örnekleme yöntemi tercih edilmiştir; çünkü araştırmanın hedef kitlesi BIM süreçlerine aşina olan ve bu konuda bilgi verebilecek uzmanlar arasından seçilmiştir. Yani, uzmanlık seviyesi, iş deneyimi ve projelerdeki rolleri gibi kriterler dikkate alınarak belirli bir gruba ulaşılmıştır. Anket çalışması için toplam 600 kişiye ulaşılmış, ancak yalnızca gönüllülük esasına dayalı olarak 140 sektör profesyoneli anketi tamamlamıştır. Anket soruları belirlenirken, daha önce literatürde test edilmiş ölçekler referans alınmış, ancak doğrudan inşaat sektörü ve MEP süreçleri bağlamına uyarlanarak özgün bir çerçeve oluşturulmuştur.

Anket formu iki ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, katılımcıların mesleki profili ve BIM projelerindeki görevleri ele alınmıştır. İkinci bölümde ise BIM'in MEP süreçlerine entegrasyonu, maliyet ve zaman analizleri, iş akışları ve çakışma yönetimi ile ilgili sorulara yer verilmiştir. Tablo 1.3, anket sorularını ve bu soruların hangi BIM-MEP süreçlerine odaklandığını özetlemektedir.

Toplanan veriler SPSS ve AMOS yazılımları kullanılarak analiz edilmiştir. Anket sonuçlarının analiz edilmesi için SPSS yazılımı tercih edilmiştir çünkü geniş ölçekli anket verilerini istatistiksel olarak güvenilir ve geçerli bir şekilde değerlendirme yeteneğine sahiptir.

Tablo 1.3 Anket soruları ve araştırma kapsamları

Anket Soruları * ve Araştırma Kapsamları														
Anket Soruları	BIM Kullanımı	MEP Entegrasyonu	LOD Seviyesi	Zorluklar	Disiplinler Arası Entegrasyon	BIM ve Maliyet	EIR	Sözleşme	Yönetmelikler	İşletme ve Bakım	BIM Simülasyonları	MEP Çakışma Analizi	4D Zaman Çakışmaları	BIM Eğitimi
BIM entegrasyonunda zorluk yaşadınız mı?	✓			✓						✓				✓
MEP projelerinde BIM'in etkinliği?	✓	✓			✓									✓
Erken tasarım aşamasında MEP sürecinin maliyete etkisi?		✓		✓		✓								
MEP koordinasyon entegrasyonunda en çok zorlandığınız aşamalar?		✓		✓	✓									
LOD ve LOI kavramlarının bilgi akışı ve koordinasyon açısından önemi?			✓						✓					
MEP koordinasyonunda hangi yöntem daha etkili?		✓			✓									
BIM ve simülasyon/optimizasyon entegrasyonunun durumu?	✓									✓	✓			✓
BIM modeli ile MEP tasarım ve operasyon süreçlerinin faydası?	✓	✓			✓						✓			✓
BIM kullanımı MEP koordinasyonunda maliyet avantajı sağlıyor mu?	✓	✓				✓				✓				
En sık karşılaşılan çatışma türü?												✓		
EIR konsepti MEP koordinasyonu için önemli mi?							✓		✓					

Tablo 1.3 Anket soruları ve araştırma kapsamı (devamı)

BIM Yöneticisinin BEP (BIM Execution Plan) içindeki rolü?								✓	✓					✓
BIM'in tasarım aşamasından inşaata geçişteki zorlukları azaltma etkisi?	✓			✓						✓				✓
MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkisi?		✓		✓		✓				✓				
BIM kullanılan projelerde MEP ilişkilerinin gecikmeli olarak kurulmasının etkileri?		✓				✓				✓				
MEP koordinasyonunda paralel koordinasyon mu yoksa adım adım koordinasyon mu daha etkili?												✓		
Proje teslim yöntemleri arasında en etkili yöntem hangisi?								✓						
BIM sözleşmelerinde alt yüklenicilerin dosya formatlarını belirliyor musunuz?									✓					
MEP koordinasyon süreçlerinde BIM'in maliyet etkinliği sağladığını düşünüyor musunuz?							✓					✓		
DEMA kullanımının veri akışı ve paylaşımına etkisi?										✓			✓	

*Detaylı anket sorularına Ek-1 ANKET FORMU bölümünden ulaşılabilir.

Ayrıca, toplanan verilerin daha derinlemesine incelenmesi ve değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla doğrulayıcı faktör analizi (DFA) ve yapısal eşitlik modelleme (SEM) yöntemleri kullanılmıştır. Bu analizlerin gerçekleştirilmesi için AMOS yazılımı tercih edilmiştir. BIM süreçlerinin MEP koordinasyonu üzerindeki etkilerini istatistiksel olarak test etmek amacıyla, faktör

analizleri ve model uyum testleri uygulanmış, böylece teorik çerçevenin bilimsel olarak doğrulanması sağlanmıştır.

Verilerin analizinde, ölçeklerin güvenilirliğini ve geçerliliğini sağlamak amacıyla çeşitli istatistiksel testler uygulanmıştır. İlk olarak, değişkenlerin faktör yapısını keşfetmek ve ölçekteki boyutları belirlemek için Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) gerçekleştirilmiştir. Ardından, ölçeğin iç tutarlılığını değerlendirmek amacıyla Cronbach Alpha güvenilirlik katsayısı hesaplanmıştır. Ölçeklerin faktör analizine uygun olup olmadığını test etmek için Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testi ve Bartlett testi uygulanmıştır. Bu testler, verilerin faktör analizi için yeterli korelasyon düzeyine sahip olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Ölçeklerin teorik modelle uyumunu test etmek için ise doğrulayıcı faktör analizi (DFA) gerçekleştirilmiş ve model uyum indeksleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, bağımsız örneklem t-testi ve tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılarak, farklı BIM deneyimine sahip katılımcılar arasındaki anlamlı farklar incelenmiştir. ANOVA sonucunda anlamlı fark tespit edilen değişkenler için ise Post-Hoc LSD testi uygulanarak, farkın hangi gruplar arasında yoğunlaştığı belirlenmiştir.

Bu analizler, erken tasarım aşamasında BIM tabanlı MEP süreçlerinin entegrasyonunun proje süresi, maliyeti ve kalite üzerindeki etkilerini bilimsel olarak ortaya koymak ve elde edilen sonuçların istatistiksel olarak geçerli ve güvenilir olduğunu doğrulamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

BIM kullanımının küresel ölçekte farklı disiplin ve sektörlerde yaygın olarak benimsenmesi göz önünde bulundurularak, bu çalışmada hem Türkiye'deki uygulamalar hem de uluslararası literatürdeki yaklaşımlar dikkate alınmıştır. Çalışmada, MEP süreçlerinin BIM tabanlı yönetimine dair mevcut yöntemler, uygulamalar ve sektördeki güncel gelişmeler doğrultusunda değerlendirilmiştir.

BIM akreditasyonuna sahip inşaat şirketlerinin deneyimlerinden ve literatürde yer alan küresel standartlardan faydalanılarak, erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin etkin yönetimi için evrensel bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan araştırma yöntemleri, BIM destekli MEP süreçlerinin yönetiminde erken tasarım aşamasının kritik rolünü vurgulamaktadır. Nitel analizler kapsamında yapılan mülakatlar, sektördeki BIM uzmanlarının tecrübelerine dayanarak mevcut zorlukları ve çözüm önerilerini ortaya koymuştur.

Nicel analizler ise BIM süreçlerinin MEP koordinasyonu üzerindeki etkilerini ölçerek istatistiksel bir temel oluşturmuştur. Çalışmada, BIM uygulamalarının proje başarısına etkisini anlamak adına farklı kaynaklardan elde edilen veriler analiz edilmiş ve küresel literatür ile bütünleştirilerek evrensel bir değerlendirme yapılmıştır.

Bu yöntemler doğrultusunda yapılan analizler, MEP süreçlerinin BIM tabanlı yönetiminin etkinliğini, süre ve maliyet optimizasyonu bağlamında bilimsel olarak test etmektedir. Bu sayede, BIM uygulamalarının MEP süreçlerine entegrasyonuna yönelik öneriler sunulmakta ve sektör profesyonellerinin bu teknolojiyi daha etkin kullanabilmesi için rehber niteliğinde sonuçlar elde edilmektedir.



Bu bölümde, Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modelling - BIM) tabanlı projelerde Mekanik, Elektrik ve Sıhhi Tesisat (Mechanical, Electrical, and Plumbing - MEP) sistemlerinin koordinasyonu incelenmiştir. MEP sistemlerine ait hizmetler tanımlanmış ve bu sistemlerin BIM ile ilişkisi tarihsel bir perspektifte değerlendirilmiştir. Ayrıca, kullanılan şemalar ve koordinasyon yöntemleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

2.1 MEP Sistemlerin Tanımlanması

MEP projelerine başlamadan önce, tasarım sürecini standartlaştırmak ve veri tutarlılığını sağlamak amacıyla MEP şablonları oluşturulmaktadır. Bu şablonlar, farklı sistem bileşenlerinin tanımlanması ve BIM modeli üzerinden doğru entegrasyonun sağlanmasını kolaylaştırır. MEP sistemleri şu bileşenleri içerir:

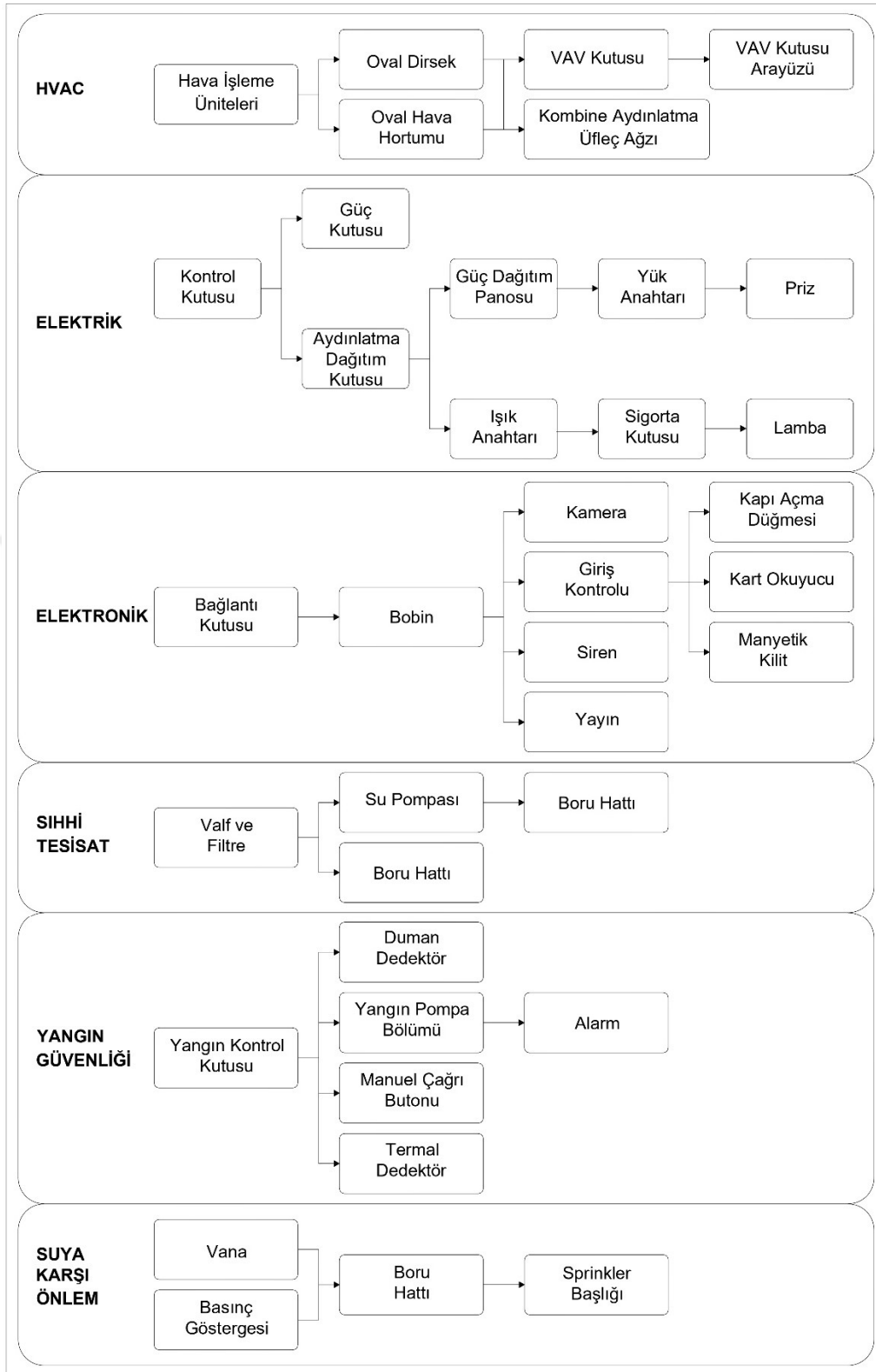
- İklimlendirme ve Mekanik Havalandırma: ACMV (Air-Conditioning and Mechanical Ventilation) ekipmanları, soğutma kuleleri, AHU (Air Handling Unit), dağıtım kanalları ve bağlantı elemanları.
- Sıhhi Tesisat ve Temizlik Hizmetleri: Su pompaları, su depoları, havuz filtrasyon ekipmanları, yağ ve kum tutucular, karter pompaları.
- Yangından Korunma Hizmetleri: Yangın sprinkler pompaları, sprinkler tankları, duman perdeleri, yangın panjuru ve boru sistemleri.
- Elektrik Hizmetleri: Trafolar, asansörler, şalt panoları, pano ve kablo kanalları.

Örnek:

Mekanik bölgeleri doğru tanımlayabilmek için plenum seviyelerinin (hava kanallarının geçtiği boşluk alanı) BIM modeline eklenmesi gerekebilir. Ayrıca difüzörler (hava dağıtıcıları) ve tavan aydınlatma armatürleri gibi bileşenler

arasındaki uyum sağlanmalı, kanal geçişleri ile boru ve kablo kanalları gibi sistemler arasındaki çakışmalar önceden tespit edilmelidir (Building and Construction Authority, 2013) .

Şekil 2.1, farklı MEP sistemlerinin bileşenlerini ve bu bileşenler arasındaki ilişkileri görsel olarak sunmaktadır. HVAC, elektrik, elektronik, sıhhi tesisat, yangından koruma ve anti-su sistemleri gibi kategorilere ayrılan bu şekilde, her bir sistemin alt bileşenleri ve işlevleri ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Örneğin, HVAC sistemleri hava dağıtım üniteleri, VAV kutuları ve lamba tüyerelerini içerirken; elektrik sistemi güç dağıtım kabinleri, yük anahtarları ve sigorta kutularını içermektedir. Bu yapı, MEP tasarım ve yönetim süreçlerini optimize etmek için gerekli bileşenlerin sınıflandırılmasını ve mantıksal olarak düzenlenmesini desteklemektedir. Özellikle, bina tasarımı, montajı ve işletme aşamalarında doğru bileşen yerleşimi ve bağlantılarını sağlamak için bu tür bir yapılandırmanın kullanımı kritik öneme sahiptir (Hu, 2018).

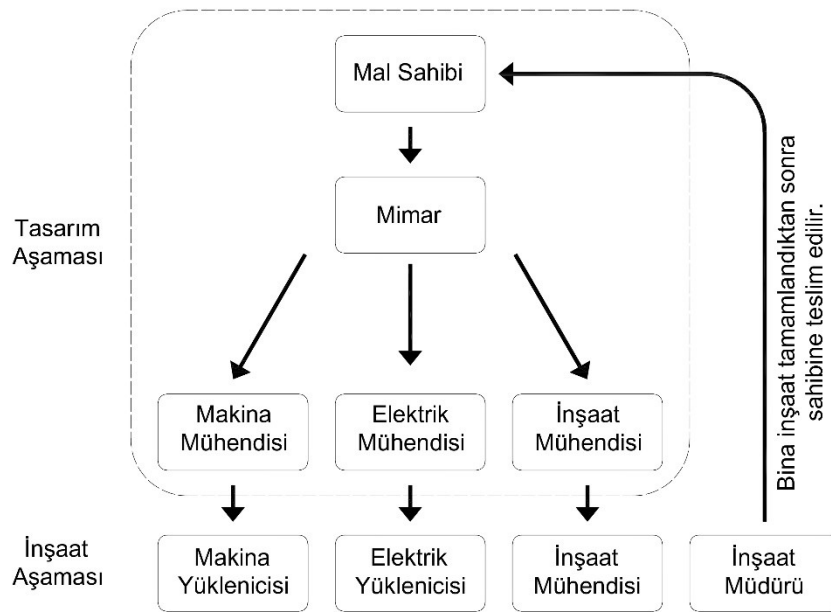


Şekil 2.1 Eleman tipi mantık ilişkisinin ağaç yapısı (Hu, 2018)

2.2 BIM Tabanlı Koordinasyon Süreci

Bir yapıda birden fazla sistem bulunması, bu sistemlerin uyumlu bir şekilde entegre edilmesini zorunlu kılmaktadır. Yüklenicilerin, bu sistemleri bina içinde çakışma olmadan koordine etmesi, proje verimliliği açısından kritik önem taşımaktadır. BIM yazılımı, enerji verimliliği analizleri, proje yönetimi ve işletme-bakım süreçlerinde mimari, yapısal ve MEP sistemlerini koordine etmek için inşaat sektöründe geniş çapta kullanılmaktadır.

Şekil 2.2'de, bir binanın tasarım ve inşaat aşamalarında BIM tabanlı koordinasyon süreci basitleştirilmiş olarak gösterilmektedir. Süreç, bina sahibinin konsepti mimarlara aktarmasıyla başlar. Daha sonra mimari tasarım, ilgili mühendislik dallarına gönderilir ve bu mühendisler, BIM aracılığıyla kendi sistemlerini tasarlayıp toplam maliyetleri hesaplarlar. Mimari ve danışmanlar tasarımı onayladıktan sonra, yükleniciler bu hizmetleri bina içine yerleştirmeye başlarlar. İnşaatın tamamlanmasını takiben ve yetkili kurumun onayını alındıktan sonra, yapı bina sahibine teslim edilir (Vurgun Çelikel, 2021).

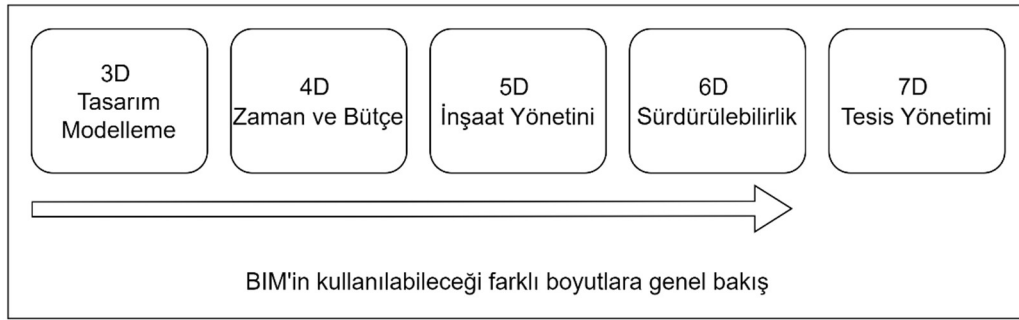


Şekil 2.2 Bir binanın çeşitli sistemlerinin nasıl bir araya getirildiğini gösteren basit bir süreç (Teo, 2022)

2.2.1 BIM'in Boyutlarına Genel Bakış

BIM, projelerin yaşam döngüsünü kapsayan dijital bir modelleme sürecidir. Farklı boyutlarıyla, görselleştirme ve tasarım süreçlerinin yanı sıra zaman yönetimi, maliyet analizi, sürdürülebilirlik ve tesis yönetimi gibi önemli proje bileşenlerini destekler. BIM'in boyutları, disiplinler arası entegrasyonu kolaylaştırarak bilgi paylaşımını ve karar alma süreçlerini optimize eder.

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere, BIM'in boyutları 3D tasarım modellemeden başlayarak 4D zaman yönetimi, 5D maliyet analizi, 6D sürdürülebilirlik ve 7D tesis yönetimi gibi geniş bir kapsam sunar. Bu bölümde, her bir boyutun projelere sağladığı katkılar ve inşaat süreçlerindeki kullanım alanları detaylı şekilde incelenmektedir.



Şekil 2.3 BIM'in kullanılabileceği farklı boyutlara genel bakış (Teo, 2022)

2.2.2 BIM 3D (Tasarım Boyutu)

BIM 3D bir yapı projesindeki tüm disiplinlerin, mimarlık, yapısal mühendislik ve MEP hizmetlerinin, birleşik bir platform üzerinde etkileşimde bulunmalarını sağlamaktadır. Bu yöntem, farklı hizmetlerin uyum içinde çalışmasını kolaylaştırırken, görselleştirme sayesinde olası çakışmaları önceden tespit eder ve böylece ekipler arası iletişimi güçlendirir (Motiejunas, 2016).

2.2.2.1 BIM 4D (Zaman Boyutu)

BIM 4D, proje sürecinin her aşamasının zamanlamasını görselleştirerek projenin zaman çizelgesiyle entegrasyonunu sağlar. Bu yöntem, proje sürecinin zamanla ilgili tüm yönlerini, özellikle proje süresini, malzeme tedarikini ve maliyet yönetimini kapsamlı bir şekilde analiz etmeye olanak tanır. Bu analizler sayesinde, inşaat sürecinin her adımının zamanlaması detaylı olarak belirlenir ve projeye dahil olan herkes bu bilgilere erişebilir. Böylece, saha düzenlemeleri optimize edilir,

güvenlik ve verimlilik artırılır ve plana uygun ilerleme durumunda gerekli olan fazladan zaman ve teslim süresi minimize edilir (Cerny, 2020).

2.2.2.2 BIM 5D (Maliyet Boyutu)

5D BIM, bir projenin mali bilgilerini BIM modeline entegre ederek, sermaye bütçelemesi ve miktar alma gibi inşaat projelerinin en önemli finansal unsurlarını kapsar. Bu yaklaşım, projenin başlamadan önce net bir görünüm sunar ve eğer maliyet bütçeyi aşarsa, kavram değiştirilebilir. BIM 5D, projenin maliyet verilerini modelle entegre ederek, birim maliyetler, iş gücü ve zamanlama analizlerinin daha doğru yapılmasını sağlar. Bu sayede bütçe kontrolü ve maliyet tahminleri daha gerçekçi hale gelir. Tüm ilgili veriler simülasyonda mevcut olduğunda BIM, doğru hesaplamalar sunar. Ayrıca, miktar alımları, kullanılan ekipman miktarı ve maliyeti gibi sorulara veri yorumları ve çözümleri ile cevaplar sağlar. Bu nedenle, etkili bir şekilde miktar alma oluşturabilme yeteneği büyük bir avantajdır (Datta, 2023).

2.2.2.3 BIM 6D (Sürdürülebilirlik Boyutu)

BIM 6D, yapının enerji performansını analiz etmeyi ve sürdürülebilirliğini artırmayı hedefler. Tasarımın erken aşamalarında, binanın enerji tüketimi ve ilgili maliyetler konusunda tahminler yapar, böylece inşaat ve operasyonel maliyetler dahil olmak üzere toplam sahip olma maliyeti hakkında fikir sahibi olunabilir. Bu, uzun vadede enerji maliyetlerini azaltma ve işletme verimliliğini artırma yönünde stratejik planlamalar yapılmasına olanak tanır (Chen, 2019).

Bina tasarımının başlangıç aşamalarından itibaren yaşam döngüsü değerlendirmesi (Life Cycle Assessment- LCA) yapılması büyük önem taşımaktadır. LCA bir yapının tasarımından, inşaatından ve kullanım sürecinden kaynaklanan çevresel etkileri değerlendiren kapsamlı bir analiz yöntemidir. BIM ve LCA entegrasyonu, sürdürülebilirlik analizlerinin daha erken tasarım aşamalarında gerçekleştirilmesine olanak tanır. Ancak, binaların yaşam döngüsü boyunca eksik veya dağınık bilgiler, bu analiz sürecinin gerçekleştirilmesini güçleştirmektedir. BIM ve BIM-LCA entegrasyon çözümleri, karmaşık bilgi sistemlerinin bütünlük bir şekilde yönetilmesine imkân tanıyarak, daha çok sayıda uzmana daha hızlı, ekonomik ve pratik bir LCA analizi yapma fırsatı sunmaktadır (Perić, 2022).

2.2.2.4 BIM 7D (Tesis Yönetimi Boyutu)

BIM 7D modellemesi, inşaat projelerinin yaşam döngüsü boyunca, yapı sahiplerine tesis yönetimi ve bakım için hayati öneme sahip bilgileri sağlamada büyük bir rol oynar. Bu boyut, bina sahiplerinin garanti bilgileri ve teknik özellikler gibi temel varlık verilerini takip etmelerine olanak tanıyarak, hangi bölümlerin ne zaman bakım gerektireceğinin kolayca belirlenmesine ve planlanmasına yardımcı olur. BIM 7D ile modellenen bu bilgiler sayesinde, bakım ekipleri işlerini daha etkili bir şekilde planlayabilir ve yürütebilir, böylece tesis yönetim süreçleri optimize edilir (Afzal, 2021).

2.3 BIM ve MEP İlişkisi

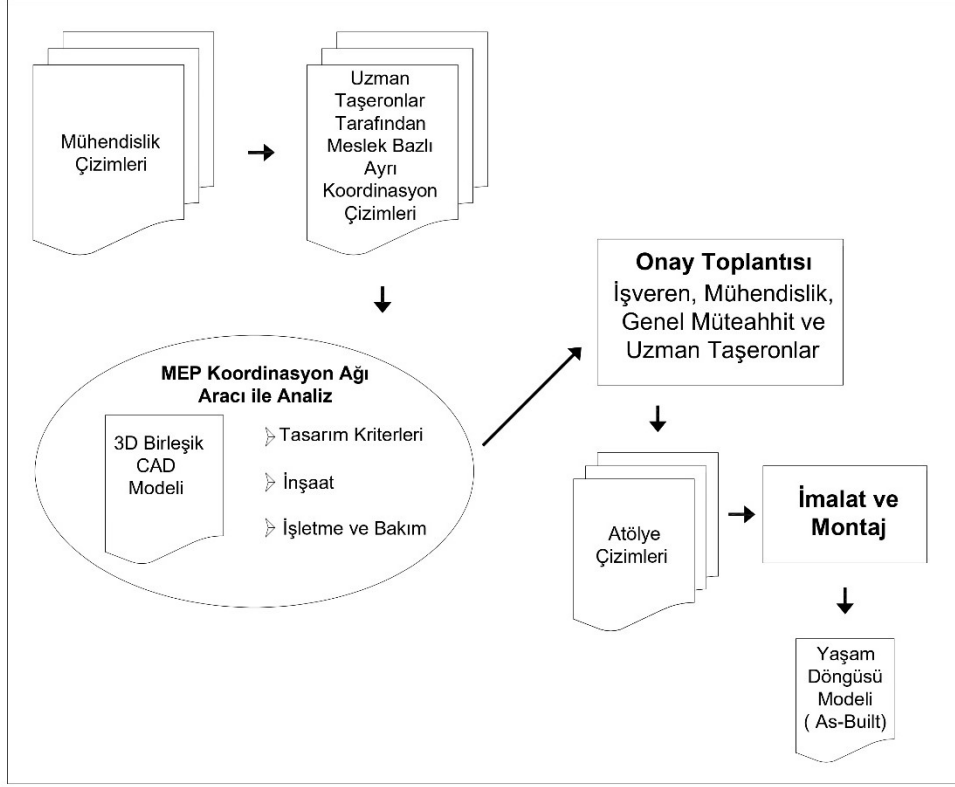
BIM teknolojisi, MEP yüklenicilerinin işlerini önemli ölçüde etkilemektedir çünkü bu teknoloji, daha etkin proje yönetimi, daha iyi koordinasyon, daha az hata ve daha verimli bir iş akışı sağlamaktadır. BIM, bir projenin tüm aşamalarında, tasarımdan inşaat ve işletmeye kadar, projenin tüm bileşenlerinin dijital temsillerini oluşturur. Bu sayede MEP yüklenicileri, tasarım aşamasından itibaren projenin diğer bileşenleriyle entegre bir şekilde çalışabilir ve potansiyel çakışmaları veya sorunları erken aşamada tespit edebilir (Langstaff, 2018).

MEP yüklenicileri için BIM'in sağladığı bu entegrasyon, projelerin daha etkili ve verimli bir şekilde tamamlanmasına olanak tanır. Ayrıca, projelerin maliyet ve zaman açısından daha iyi yönetilmesine katkıda bulunur. MEP sistemlerinin karmaşıklığı ve projelerdeki kritik rolü göz önüne alındığında, BIM'in MEP yüklenicileri için sunduğu avantajlar, inşaat projelerinin başarısında büyük bir etkiye sahiptir (Langstaff, 2018).

Geleneksel olarak BIM ile yürütülen projelerde yürütme projelerinde, MEP (mekanik, elektrik, sıhhi tesisat) ağları genellikle, bu ağları oluşturan elemanların izlenmesini ve çalışmasını tanımlayan yerleşim tasarımları olarak temsil edilir. Bu yaklaşım, özellikle daha az karmaşık, iç ölçekli tesislere sahip konut projeleri için uygundur. Ancak, daha büyük ve karmaşık tesisler söz konusu olduğunda, bu temsil ve tasarım sistemi, tesisler arasındaki müdahaleler, tesislerin geçişi için yetersiz alan tahsisi ve disiplinler arası koordinasyon eksikliği gibi sorunlara yol açabilir. Bu durum, inşaat aşamasında maliyet ve zaman kayıplarına neden olabilir. Bu

nedenle, özellikle karmaşık MEP sistemlerinde, mühendislik ekipleri koordinasyonu kolaylaştıran yazılımlara yönelmektedir. Bu yazılımlar, sadece ağların koordineli bir şekilde tasarlanmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda projenin yapıcı unsurlarını tanımlayan tüm bilgileri yönetebilir ve tasarım aşamasında 3D modelleme yoluyla ekipman ve ağlar arasındaki çakışmaları tespit etmeyi kolaylaştırır. Bu bağlamda, BIM metodolojisi, MEP tesislerinin tasarımı için etkili bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. BIM, karmaşık yapı projelerinde disiplinler arası koordinasyonu ve verimliliği artırarak, tasarım ve inşaat süreçlerini optimize etmek için kullanılan bir dijital tasarım ve belgelendirme sistemidir (Kermanshahi E. K., 2020).

MEP sistemlerinin inşaat ve bakım maliyetleri, toplam maliyetlerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu sistemlerdeki mekânsal değişikliklerin etkin bir şekilde takip edilmesi ve yönetilmesi bu nedenle çok önemlidir. Mekânsal değişiklikler çeşitli biçimlerde ortaya çıkabilir; nesnelerin konumlarında ve şekillerinde meydana gelen değişiklikler, bireysel nesnelerin deformasyonu, nesnelerin eklenmesi veya çıkarılması gibi farklı türlerde sınıflandırılabilir. Bu tür değişiklikler, yoğun yapılaşmış alanlarda veya birbirine yakın konumlandırılmış küçük bileşenlerin bulunduğu bölgelerde gerçekleştiğinde, değişimlerin yayılmasına ve basamaklı etkilere yol açarak sistemin genel bütünlüğünü etkileyebilir (Han S. L.-M., 2012).



Şekil 2.4 BIM kullanarak MEP koordinasyon (Korman T. M., 2008)

BIM teknolojisi, MEP koordinasyon süreçlerini optimize etmek ve inşaat projelerinde verimliliği artırmak için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, mühendislik çizimlerinden başlayarak 3D birleşik CAD modeliyle yapılan analizler, tasarım kriterleri, inşaat ve işletme-bakım aşamalarını kapsayan kapsamlı bir iş akışı sunmaktadır. Bu süreçte, uzman taşeronların ve genel müteahhitlerin onay toplantılarında alınan kararlarla atölye çizimleri hazırlanmakta, ardından imalat ve montaj aşamasına geçilmektedir. Nihayetinde yaşam döngüsü modeli oluşturularak, projenin bütün aşamalarında disiplinler arası koordinasyon sağlanmaktadır. Bu metodoloji, geleneksel yöntemlere kıyasla daha az hata, maliyet tasarrufu ve proje yönetiminde daha yüksek bir doğruluk seviyesi sağlamaktadır (Korman T. M., 2008).

Tablo 2.1 Geleneksel ve BIM tabanlı iş birlikçi karşılaştırmalı hata analizi

Hata ve Çakışma Türleri	Geleneksel Tasarım Yöntemi	BIM tabanlı İş Birlikçi Tasarım
Mimari tasarım hataları	23	15
Statik tasarım hataları	34	29
MEP tasarım hataları	40	34
Mimari ve statik arasındaki çakışmalar	16	4
MEP ve statik arasındaki çakışmalar	224	45
MEP ve mimari arasındaki çakışmalar	55	16

Tablo 2.1 incelendiğinde, BIM tabanlı süreçlerde MEP ile diğer disiplinler arasındaki çakışma ve tasarım hatalarının geleneksel yöntemlere kıyasla önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Özellikle, MEP ve statik arasındaki çakışmalar geleneksel yöntemlerde 224 olarak kaydedilirken, BIM tabanlı süreçlerle bu sayı 45'e düşmüştür. Bu bulgular, BIM'in tasarım süreçlerindeki koordinasyon etkinliğini artırarak maliyet ve zaman tasarrufu sağladığını ortaya koymaktadır (Wang J. C., 2014).

2.4 BIM Koordinasyon Araçları Nelerdir?

BIM koordinasyon araçları aşağıdaki listede listelenmiştir:

• Navisworks • Solibri Model Checker • Vico Office Suite • Vela Field BIM • Bentley ConstructSim • Tekla BIMSight • Glue (by Horizontal Systems) • Synchro Professional • Innovaya • Revit MEP • Bentley Hevacomp Mechanical Designer • FineHVAC, FineLIFT, FineELEC, FineSANI • Digital Project MEP Systems Routing • CADMEP (CADduct / CADmech) • CypeMEP (Beşiroğlu, 2022)

3

BIM VE MEP İŞ AKIŞ SEMASI

Bu bölümde BIM projelerinde kullanılan farklı iş akış şemalarını inceleyerek bu şemalar doğrultusunda MEP süreçlerin ön tasarım aşamasında şemanın neresinde yer aldığı gözlemlendi. Bu doğrultuda MEP süreçlerinin ön tasarım şemasındaki yeri ve işleyişi üzerine öneriler sunuldu.

3.1 BIM Projelerinde MEP Tasarım Roller

Son zamanlarda karşılaşılan inşaat projeleri, daha hızlı bir şekilde tamamlanma eğiliminde olduğundan, bu, MEP koordinasyonu için belirli zorlukları beraberinde getirmektedir. Kısaltılmış proje süreleri, MEP yüklenicileri için yeterli zamanın olmaması anlamına gelir, bu da tasarım ve kurulum aşamalarında hızlı kararlar almayı ve sürekli değişen şartlara uyum sağlamayı gerektirir. Aynı zamanda, projelerde genellikle azaltılmış tasarım bütçeleri mevcuttur, bu da maliyetleri düşük tutarken yüksek kaliteli iş çıkarmanın zorunluluğunu ortaya koyar. Bu durum, MEP yüklenicilerinin sınırlı kaynaklarla daha verimli çalışmasını gerektirirken, aynı zamanda tasarım ve inşaat sürecinde potansiyel hataların ve çakışmaların önlenmesi için detaylı planlama ve koordinasyon ihtiyacını da artırır. Özellikle sıkışık ve karmaşık MEP sistemleri için, bu hızlandırılmış zaman çizelgeleri ve dar bütçeler, sistemlerin entegrasyonunda ve uyumunda ek zorluklar yaratmakta ve projelerin başarılı bir şekilde tamamlanmasını daha karmaşık bir hale getirmektedir (Korman T. M., 2006).

3.1.1 MEP Tasarımında Anahtar Roller

Genel yüklenicinin (General Contractor - GC), MEP koordinasyon sürecine liderlik etmesi kritik bir öneme sahiptir. Bu görevde genel yüklenici, inşaatın zamanlamasına uygun bir şekilde, mimarlar, mühendisler ve alt yükleniciler ile iş birliği içinde kapsamlı bir plan geliştirmelidir. Planlama aşaması tamamlandığında,

genel yüklenici bünyesinde görev yapan bir MEP koordinatörü, detaylandırma uzmanları ile önemli aşamaları ve hedefleri belirler. Bu hedefler, örneğin son planlayıcı sistemi (Last Planner System - LPS) gibi yöntemlerle belirlenebilir. Özellikle uzman yükleniciler açısından, MEP koordinasyonunda VDC/BIM (Virtual Design and Construction/Building Information Modeling) araçlarının kullanımı büyük önem taşır. Bu bağlamda, örneğin HVAC (ısıtma, havalandırma ve klima) yüklenicisi, ekipmanların yer kaplama açısından öncelikli olması sebebiyle koordinasyon sürecinde öncü rol alabilir. Tavan üstü alanda yer kaplayan VAV (Variable Air Volume - Değişken Hava Hacimli) kutuları, yangın duman damperleri, kanal şaftları, basınç kanalları gibi ekipmanlar buna örnek teşkil eder. Ayrıca, sıhhi tesisat, elektrik ve yangın sprinkleri gibi diğer uzman yüklenicilerin, kendi çalışmalarını HVAC ekipmanlarının yerleşimi etrafında şekillendirmesi gerekebilir. Ek olarak, Tasarla İnşa et (Design-Build) gibi sözleşme türleri, uzman yüklenicilerin projenin başlangıç aşamalarında, yani kavramsal ve şematik tasarım safhalarında etkin rol almalarını sağlayarak önemli avantajlar sunar. Bu durum, bina tesisatının etkili bir şekilde yönlendirilmesi ve gerekli iletişim kanallarının açılması açısından elzemdir (Motiejunas, 2016).

3.1.1.1 BIM Yöneticisinin Rolü

BIM Yöneticisi, BIM metodolojisinde uzmanlaşmış, inşaat sürecinin yönetiminden sorumlu bir profesyoneldir. Bu rol, tasarım ve inşaatın farklı aşamalarında yer alan tüm katılımcıları koordine etmeyi içerir. BIM Yöneticisi, projenin nihai BIM belgelerini hazırlamaktan sorumlu olup, BIM metodolojisi ve ilgili yazılımlar konusunda derinlemesine bilgi sahibi olmalıdır. Bununla birlikte, BIM modeli oluşturan çalışanlar, yapıların oluşturulması, iş akışının koordinasyonu ve projenin hedefleri ile zaman çizelgesine uyum sağlanması gibi kritik görevleri yerine getirmektedir (Kermanshahi E. K., 2020).

BIM Yöneticisinin ana görevi, BIM Yürütme Planını (BEP) detaylandırmaktır. Bu plan, BIM projesinde görevleri belirleyen ve farklı katılımcılar tarafından geliştirilen bir belgedir. Plan, iş birliği ve bilgi paylaşımı yollarını tanımlayarak koordineli bir sanal modelleme süreci oluşturur. BEP, tüm teknisyenlerin özel ihtiyaçlarına göre ayarlandıktan sonra, projedeki tüm ekip üyelerinin istişaresine sunulur ve BIM Yöneticisi planın uygunluğunu sağlamaktan sorumludur (Abotaleb, 2020).

3.1.1.2 BIM Yürütme Planı (BEP)

BIM Yürütme Planı, BIM projesinin geliştirilmesinde yer alan farklı katılımcılar tarafından hazırlanan bir belgedir. Bu plan, görevleri belirler ve iş birliği yapma ile bilgi aktarma yollarını tanımlar, böylece koordineli bir sanal modelleme sürecinin geliştirilmesine yardımcı olur. BEP, tüm temsilciler tarafından hazırlandıktan ve gözden geçirildikten sonra, her teknisyenin çalışmasına göre ayarlanır ve projeye dahil olan tüm ekip üyeleri tarafından istişare için hazır hale getirilir. BIM Yöneticisi, bu belgenin uygunluğunu sağlamaktan sorumludur ve projenin başarılı bir şekilde ilerlemesini garanti altına alır (Kermanshahi E. K., 2020).

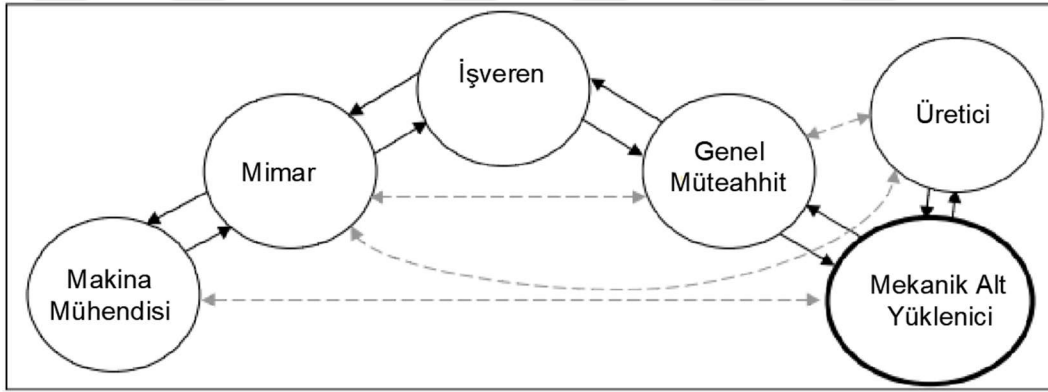
3.1.1.3 MEP Yüklenicilerin Projedeki Rolü

MEP yüklenicileri, inşaat projelerinde mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat sistemlerinin tasarımı, kurulumu ve bakımı ile ilgilenirler. Bu sistemler, bir binanın işlevselliği ve konforu açısından kritik öneme sahiptir ve modern inşaat projelerinde merkezi bir rol oynamaktadır.

MEP yüklenicisinin bir projedeki rolü, kullanılan proje teslim yöntemine büyük ölçüde bağlıdır. Farklı teslim yöntemleri, Tasarım-Teklif Oluşturma (Design -Bid-Built / DBB), Entegre Proje Teslimi (Integrated Project Delivery IPD) ve Tasarım Oluşturma (Design-Built DB) gibi, yüklenicinin tasarım sürecindeki katılım düzeyini ve etkileşimini belirler. DBB yönteminde, yüklenicinin BIM gibi uygulamaları benimseme motivasyonu azalabilir. DBB yönteminde, tasarım ve inşaat aşamaları ayrıldığı için BIM gibi koordinasyon araçlarının benimsenmesi sınırlı olabilir. Çünkü yüklenici, tasarım tamamlandıktan sonra projeye dahil olur ve çakışmalar önceden çözülmüş olabilir. Buna karşılık, DB ve IPD yöntemlerinde, yüklenici ve tasarımcı daha entegre bir iş birliği içinde çalışır, bu da yüklenicinin tasarım sürecine daha erken ve daha derinlemesine dahil olmasını sağlar. Özellikle IPD'de, tüm anahtar proje üyeleri – sahip, mimar, mühendis, taşeronlar, tedarikçiler ve danışmanlar – projenin tasarım ve inşası için finansal olarak birbirine bağlanır ve bu, tasarımda ve inşaatda değer mühendisliği ve verimlilik artışına katkıda bulunur. Bir MEP yüklenicisi, tasarıma yardımcı olmak, çakışmaları azaltmak ve koordinasyonu geliştirmek için BIM gibi süreçleri savunma yeteneğine sahiptir, ancak bu yetenek, projenin büyüklüğü, karmaşıklığı ve teslim yöntemine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Langstaff, 2018).

Design-Bid-Build: (DBB - Tasarla-İhale et- İnşa et) Proje teslim yöntemi, tasarım ve müteahhit ekiplerin müşteriyle ayrı ayrı sözleşmeler yaparak sırasıyla tasarım ve inşaat işlerini gerçekleştirdikleri geleneksel bir yaklaşımdır. DBB yaklaşımının temel bir özelliği, her görevin sırayla, birbirinin üstüne binmeden tamamlanmasıdır (Habib, 2022).

Müşterinin bir binanın veya projenin tasarımı ve inşası için ayrı sözleşmeler yaptığı proje tedarik yöntemi. Tasarım ve belgelendirme hizmetleri genellikle profesyonel bir tasarım danışmanlığı tarafından sağlanır, belgeler teklif verme (ihale) amacıyla kullanılır ve başarılı teklif sahibi, genellikle bir inşaat şirketi, projeyi inşa etmek için müşteri ile bir sözleşme yapar. Genellikle 'geleneksel' tedarik yöntemi olarak adlandırılır (Brewer, 2012).



Şekil 3.1 Tipik Design- Bid- Build organizasyon şeması (Dossick, 2008)

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, Design-Bid-Build (DBB - Tasarla-İhale et-İnşa et) proje teslim yöntemi, farklı paydaşların projedeki rol ve sorumluluklarını net bir şekilde ayırarak, müşteri, mimar, genel müteahhit ve alt yükleniciler arasındaki ilişkileri düzenlemektedir. Bu yapı, proje katılımcılarının görevlerini bireysel kapsamlar çerçevesinde ele almasını kolaylaştırırken, aynı zamanda organizasyonel ayrışma nedeniyle iletişim ve iş birliği üzerinde sınırlayıcı bir etkisi olabilmektedir. Bu yaklaşımda, özellikle alt yükleniciler arasındaki koordinasyon ve bilgi paylaşımı, genel müteahhitten liderliği ve süreç yönetimi ile desteklenmelidir (Dossick, 2008).

Design-Build: (DB - Tasarla – İnşa et), Proje yönetimi ve inşaat sektöründe kullanılan bir yaklaşımdır, burada tasarım ve inşaat hizmetleri tek bir yüklenici veya yüklenici ekibi tarafından sağlanır. Bu modelde, proje sahibi, tasarım ve inşaat aşamalarını kapsayan tek bir sözleşme yapar, bu da süreci basitleştirir ve iletişimi

kolaylaştırır. DB yöntemi, proje süresini kısaltır, maliyet kontrolünü iyileştirir ve riskleri azaltır, ancak tasarım değişiklikleri ve esnekliği sınırlayabilir. Bu yöntem, özellikle zaman ve disiplinler arası koordinasyonun önemli olduğu projeler için uygun olabilir (Al-Smadi, 2021).

Entegre Proje Teslimi (IPD): İnşaat sektöründe bina projelerinin teslimatında üretkenliği ve verimliliği artırdığı gösterilen bir yöntemdir. Bu yaklaşım, Bilgi ve İletişim Teknolojisi (Integrated Proje Delivery IPD- ICT) kullanımını içerir ve çalışma pratiklerinde dönüşümler yaparak bina projelerinin nasıl teslim edildiğinde iyileştirmelere yol açar. IPD, gelişmiş ICT ile paydaş iş birliğini birleştiren Bilgi ve İletişim Teknolojisi (ICT), bilgiyi toplama, saklama, işleme, iletişim ve dağıtım gibi süreçlerde teknolojik araçların ve yöntemlerin kullanımını ifade eder. BIM metodolojisi ile ilişkilendirilir. Bu kombinasyon, Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat (AEC) endüstrisinde şu anda mevcut olan en etkili proje geliştirme ve teslim yöntemlerinden biri haline gelmiştir (Krezel, 2016).

Müşterinin, projenin en erken aşamalarında tasarım danışmanları ve inşaat müteahhitleri de dahil olmak üzere çeşitli paydaşlarla sözleşme imzalayarak bütünleşmiş bir ekip oluşturduğu proje tedarik yöntemi, Entegre Proje Teslimi (IPD) olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem, ekibin müşterinin gereksinimlerini karşılayan bir ürün sunmak amacıyla iş birliği içinde çalışmasını esas alan bir yaklaşım ile karakterize edilmektedir (Brewer, 2012).

Uzman yükleniciler, 3D araçları kullanarak işin kendilerine düşen kısmını modellemekten sorumludur. MEP koordinasyonu için BIM / VDC araçlarını kullanan HVAC yüklenicisi, koordinasyon sürecinde lider rolü üstlenmiştir. VAV kutuları, yangın duman damperleri, kanal şaftları ve alçak ve orta basınç kanalları gibi HVAC ekipmanları tavan üstü alanda en fazla yer kaplayan ekipmanlardır (Khanzode A. F., 2008).

Diğer meslek gruplarının (sıhhi tesisat/elektrik/yangın sprinkler) detaycılar HVAC ekipmanının, kanal şaftlarının ve ana kanalların nasıl yönlendirildiğini bilmek isterler, çünkü bu onların tesisatlarını nasıl yönlendirecekleri üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Bu nedenle, HVAC yüklenicisi en azından ana orta basınç ve düşük basınç kanal hatlarını ve şaftlarını modellemelidir. Böylece diğer paydaşlar yardımcı programlarını bu kanal hatları etrafında koordine edebilir ve

yönlendirebilir. Uzman yükleniciler de tasarım ekibine inşa edilebilirlik ve işletme konularında girdi sağlayabilmeleri için sürecin erken aşamalarında sürece dahil edilirler (Khanzode A. F., 2008).

Mekanik Yüklenici: Mekanik yüklenici, yüksek katlı binalarda ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemlerinin yanı sıra yangın güvenliği sistemlerinin (hidrantlar, sprinkler sistemleri) tasarımı ve uygulanmasından sorumludur. Ayrıca, su temini ve atık su drenajı gibi sıhhi tesisat işlerini yönetir ve bu sistemlerin doğru şekilde monte edilmesini sağlar. BIM teknolojisini kullanarak mekanik sistemlerin dijital modellemesini gerçekleştirir ve proje ile entegre eder. İş hacmi ve maliyet hesaplamaları yapmaktadır (Husin, 2020).

Elektrik Yüklenici: Elektrik yüklenicisi, bina içindeki elektrik sistemlerinin tasarımı ve kurulumundan sorumludur. Bu sistemler arasında aydınlatma, güç dağıtımı, acil durum aydınlatma sistemleri ve güvenlik sistemleri (CCTV, alarm sistemleri) bulunmaktadır. Elektrik yüklenicisi, BIM 5D teknolojisini kullanarak elektrik sistemlerinin dijital modellemesini yapar ve maliyet analizlerini gerçekleştirir (Husin, 2020).

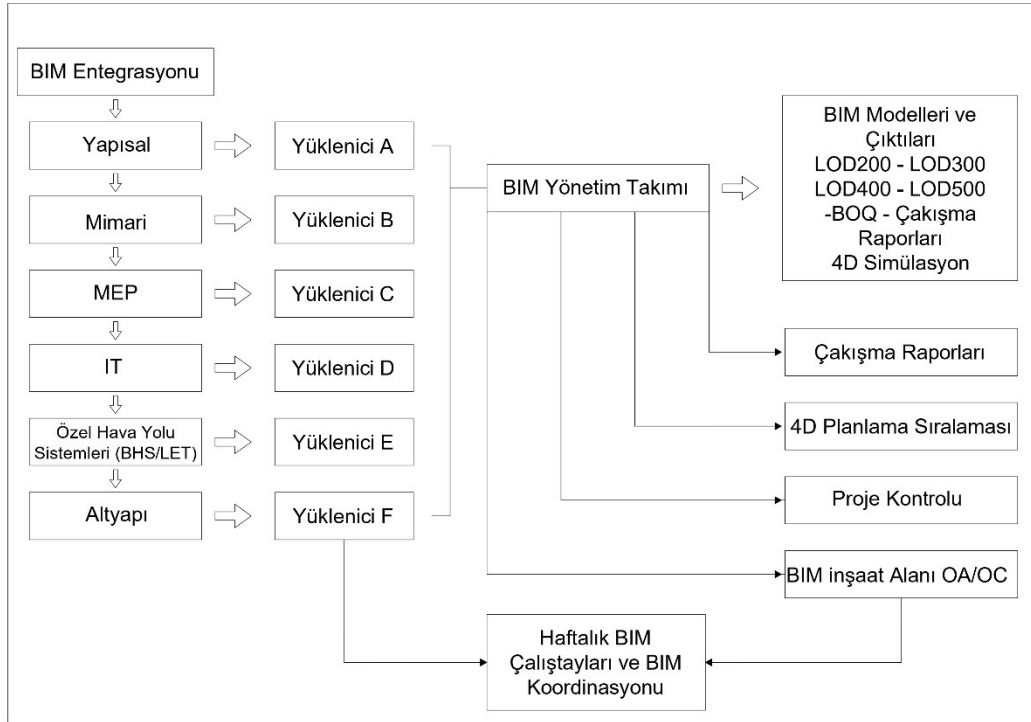
Tesisat Yüklenici: Bina içindeki su temini, atık su drenajı ve yağmur suyu yönetimi gibi sıhhi tesisat sistemlerinin tasarımı ve kurulumundan sorumludur. Ayrıca yangın söndürme sistemleri (hidrantlar, sprinkler sistemleri) de tesisat yüklenicisinin kapsamındadır. Tesisat yüklenicisi, BIM 5D teknolojisini kullanarak tesisat sistemlerinin dijital modellemesini yapar ve bu sistemlerin doğru yerleşimini sağlar (Husin, 2020).

Yangın Yüklenicisi: Bina içindeki yangın güvenlik sistemlerinin tasarımı ve kurulumundan sorumludur. Bu sistemler arasında yangın algılama ve alarm sistemleri, hidrantlar, sprinkler sistemleri ve yangın söndürme ekipmanları yer almaktadır (Husin, 2020).

3.1.2 Rollerin Koordinasyonu ve İletişimi

İnşaat sektöründe büyük ve karmaşık yapılar üzerinde çalışan farklı disiplinler arasındaki iş birliği, entegrasyon problemlerine ve verimlilik kayıplarına yol açmaktadır. Bu nedenle projeler kontrol altına alınması zor hale gelir ve başlangıç bütçesini aşar (Keskin, 2019).

Örneğin havalimanı inşaat projesinde, BIM teknolojisinin uygulanmasında karşılaşılan engellerin aşılmasına yönelik olarak, düzenli olarak gerçekleştirilen BIM odaklı eğitim çalıştayları gibi çeşitli stratejik yönetim araçları mevcuttur. Bu bağlamda, BIM'in alt yüklenicilere nasıl aktarıldığının ve bu teknolojinin onların saha montaj işlemlerine nasıl katkı sağladığının anlaşılması önemlidir. Proje başlangıcında belirlenen BIM uygulama stratejisi ve planı, ayrıca Şekil 3.2'de gösterilen BIM İş Akışı, alt yüklenicilerin BIM süreçlerine etkin bir şekilde dahil edilmelerini sağlayan kontrol mekanizmalarını içermektedir (Keskin, 2019).



Şekil 3.2 IGA Proje BIM iş akışı (Keskin, 2019)

3.2 BIM Projelerinde MEP Koordinasyon

MEP koordinasyonu, koordinasyon olayları zincirinin yalnızca bir halkasıdır. Binanın düzgün çalışması için kritik olan çeşitli bina sistemi bileşenlerinin düzenlenmesi olarak tanımlanır (Tao, 2001).

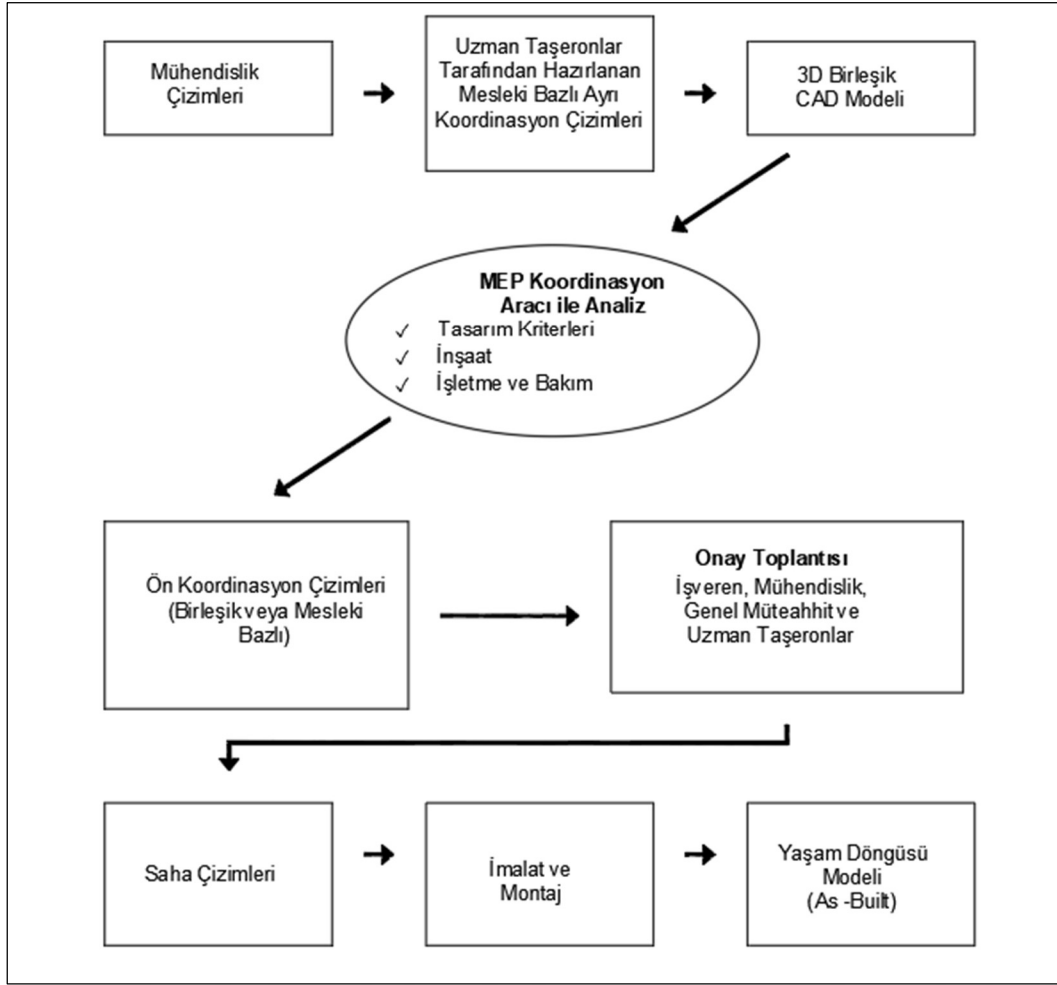
Bu çok disiplinli ve yinelemeli faaliyet, birçok yükleniciden girdi alınmasını ve birçok revizyon yapılmasını gerektirmektedir. Şu anda, bu süreç yalnızca ön tasarım çizimleri tamamlandıktan sonra gerçekleşmekte ve nihai bir koordinasyon çizimleri seti ile sonuçlanmaktadır. Tüm bileşenler (örneğin kanallar, borular ve HVAC kanalları) boyutlandırıldığında, mühendislik hesaplamaları tamamlandığında ve şematik çizimler üretildiğinde ön tasarımın tamamlandığı kabul edilir; ancak spesifik yönlendirme tanımlanmamıştır (Tao, 2001).

Birçok bina kullanıcı bir binanın düzgün çalışmamasının nedeni olarak genellikle MEP koordinasyonunu gösterir. Çoğu inşaat yüklenicisi MEP koordinasyonunu inşaat projesi teslim sürecinde karşılaşılan en zorlu görevlerden biri olarak görmektedir (Tatum, 2000).

Koordinasyon, bir inşaat projesinin ömrü boyunca birçok faaliyetin ayrılmaz bir parçasıdır. Aslında, tüm inşaat süreci bilgi, malzeme, ekipman ve işçilik gibi temel kaynakların koordine edilmesini gerektirir. Birçok koordinasyon faaliyeti MEP sistemleri ile ilgilidir. Bunlardan birkaçı aşağıdaki şekildedir:

- MEP sistemlerinin mimari ve yapısal kabuğa entegrasyonu
- Detaylı MEP ticari çizimlerinin birbiriyle entegrasyonu
- Ekipman matrislerinin oluşturulması ve tedarikçilerin seçimi
- MEP sistemleri için kurulum ve tedarik planlaması
- MEP sistemlerinin bileşenleri için tedarikçi çizimlerinin alınması
- Gönderimler için prosedürlerin izlenmesi ve resmileştirilmesi
- Genel yüklenicinin MEP uzman yüklenicilerini yönetmesi

BIM Öncesi MEP koordinasyon süreci Şekil 3.3'te detaylı bir şekilde açıklamakta ve bu sürecin ana aşamalarını tanımlamaktadır. Şema, mühendislik çizimlerinden başlayarak, uzman taşeronların hazırladığı koordinasyon çizimlerinin 3D birleşik CAD modeli aracılığıyla analiz edilmesini içermektedir. Bu süreç, tasarım kriterleri, inşaat süreçleri ve işletme-bakım gereksinimlerini dikkate alarak koordinasyonun kapsamını genişletmektedir. Ancak, bu yöntem, BIM tabanlı süreçlerin sunduğu otomatik çakışma tespiti ve veri tabanı yönetimi gibi avantajlardan yoksundur ve daha manuel bir yaklaşımı temsil etmektedir (Tatum, 2000).

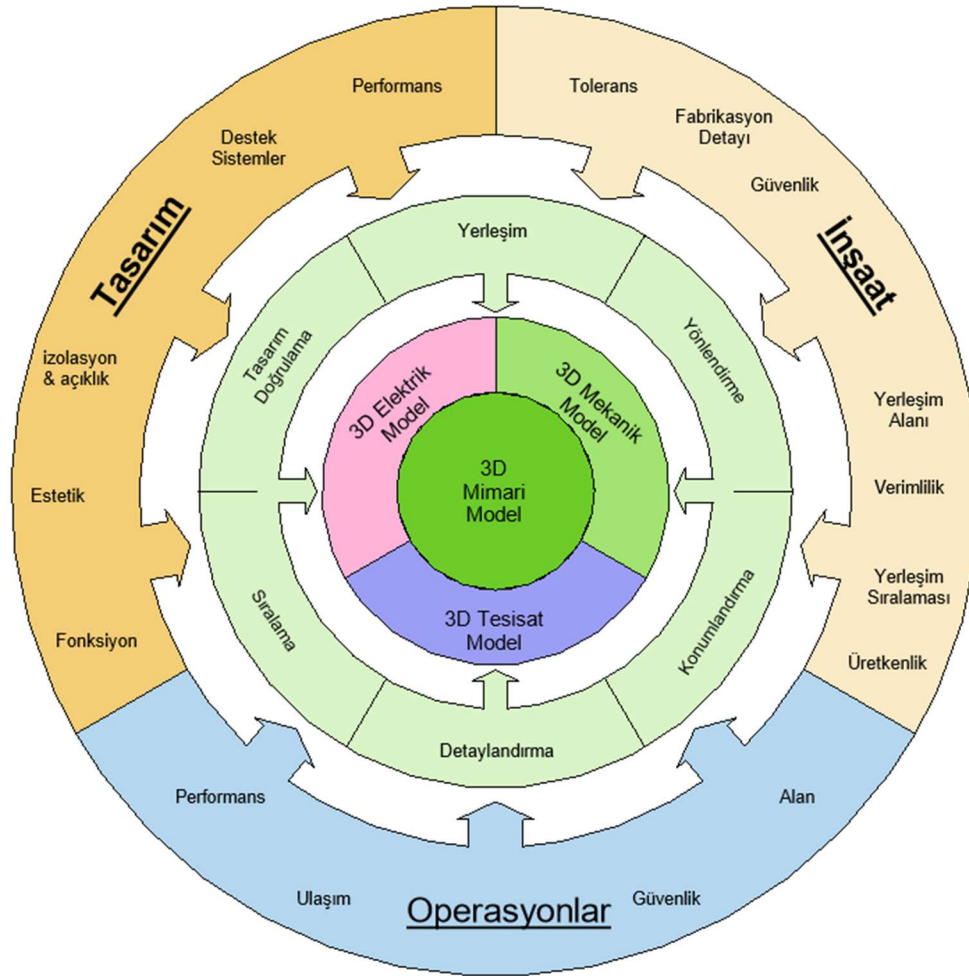


Şekil 3.3 Cad üzerinden araç kullanarak MEP koordinasyon (Tatum, 2000)

Projenin ilk aşamaları ve küçük bir kısmının bile iyileştirilmesi, önemli ölçüde maliyet ve zaman tasarrufu sağlamaktadır. MEP, bir binanın enerji dağıtımı, atık iletimi, yangından korunma vb. gibi iç ortamını düzenleyen mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat sistemlerinin kısaltmasıdır. MEP koordinasyonu, bina uzmanları tarafından tüm bu sistemleri bina yapısına uydurma süreci olarak adlandırılır; burada farklı ticaretler, mekânsal ve işlevsel etkileşimleri tespit etmek ve ortadan kaldırmak için çizimlerini entegre eder. Uzman yükleniciler, bu sistemlerin tasarım, inşaat ve işletme kriterlerine uygun olmasını sağlamalıdır (Korman T. S., 2010).

Günümüzde tasarım ve inşaat sektöründeki paydaşlar arasındaki iletişim, gelişen dijital teknolojiler sayesinde kolaylaşmaktadır. Bu nedenle, BIM çok disiplinli koordinasyonun eski sorunlarına çözümler getirmektedir. BIM'in daha iyi bir tasarım koordinasyonunu desteklemesinin bir yolu, HVAC, sıhhi tesisat, elektrik vb. gibi her bir profesyonel hizmetin analitik verilerini entegre etmektir. Bu, farklı

proje aşamalarında birlikte çalışan proje disiplinleri arasındaki bilgi uyumsuzluğunu ve çakışmaları tanımlayarak yapılır. Bu bağlamda, BIM, MEP endüstrisinin iş birliği yapma ve proje teslimini koordine etme şeklini değiştiren verimli bir süreç olarak daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu değişim, sektörün iş akışında daha önce imkânsız olduğu düşünülen planlama, koordinasyon ve iletişim açısından yeni olanaklar getirmektedir (Korman T. S., 2010).



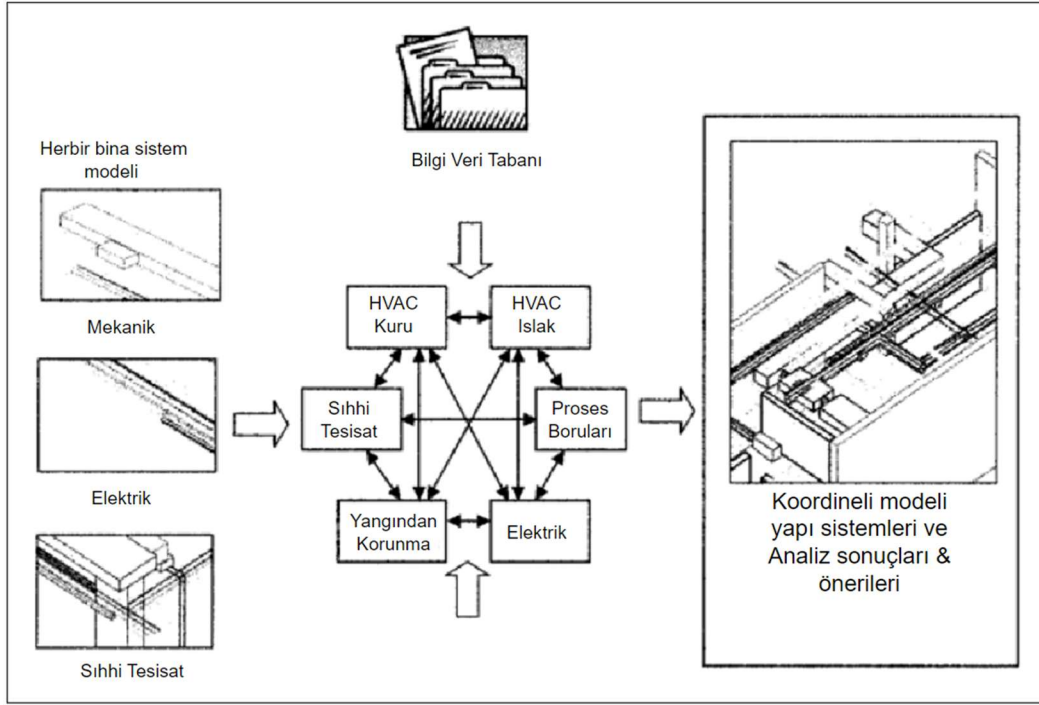
Şekil 3.4 MEP koordinasyon bilgisinin 3 boyutlu modelleme ve koordinasyon süreciyle nasıl ilişkili olduğu gösteren grafiksel gösterimi (Tabesh, 2006)

BIM tabanlı MEP koordinasyonunda, farklı disiplinlerin entegrasyonu ve uyumlu çalışması, proje başarısı için kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, Şekil 3.4'te sunulan Tabesh (2006) çalışmasındaki yapı, 3D mimari modeli merkeze alarak elektrik, mekanik ve tesisat sistemlerinin tasarım, inşaat ve operasyon

süreçlerindeki görevlerini ve bu süreçlere olan etkilerini kapsamlı bir şekilde özetlemektedir. Tasarım aşamasında performans, estetik ve destek sistemleri gibi kriterlerin dikkate alınması, disiplinler arası uyumu sağlamaktadır. İnşaat aşamasında yönlendirme, detaylandırma ve yerleşim sıralaması gibi görevler, sahada çakışmaların ve verimsizliğin önüne geçerken; operasyon aşamasında erişim kolaylığı ve güvenlik gibi unsurlar, sistemlerin uzun vadeli sürdürülebilirliğini garanti altına almaktadır. Bu model, BIM destekli süreçlerin yalnızca disiplinler arası entegrasyonu değil, aynı zamanda tasarım doğruluğunu, üretkenliği ve operasyonel güvenilirliği artırmak için nasıl bir çerçeve sunduğunu ortaya koymaktadır (Tabesh, 2006).

BIM, inşaat projelerinin dijital olarak daha verimli yönetilmesini sağlayan bir araçtır. Ancak, BIM ve AEC (Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat) süreç yönetimi arasında hala standart bir veri entegrasyonu ve otomatik iş akışı tam olarak sağlanamamıştır. BIM'in artan kullanımı ve veri paylaşımı, çakışma tespiti ve proje zamanlaması konusundaki potansiyeli, AEC endüstrisindeki uzmanların bu aracı tasarım ve inşaat süreçlerini optimize etmek için değerlendirmesine neden olmuştur (Kouhestani, 2019).

MEP sistemlerine en etkili genel yaklaşım için, detaylandırma, imalat ve montajın erken tasarım aşamalarında dengeli bir şekilde ele alınması çok önemlidir (Tatum, 2000). MEP koordinasyon süreci, tüm bileşenlerin (örneğin, kanallar, kablo tavası, boru, HVAC kanalı) boyutlandırılmasını, mühendislik hesaplamalarının tamamlanmasını ve şematik çizimlerin üretilmesini gerektiren tüm ön tasarım çizimleri tamamlanması ardından başlamaktadır. MEP sistemlerinin yönlendirilmesi sırasında, paydaşların dikkate alması gereken başlıca kısıtlamalar; koridor genişlikleri, perde duvarlardaki teknik açıklıklar, tavan boşlukları ve yapısal elemanlarla çakışma riski gibi mimari gerekliliklerdir. Özellikle sıhhi tesisat sistemlerinde yerçekimi akışı nedeniyle eğim gerekliliği bulunur ve bu, HVAC kuru sistemlerinden sonra öncelik verilmesi gereken bir tasarım kriteridir (Korman T. M., 2008) .



Şekil 3.5 Mimari sistemler (Tatum, 2000)

MEP koordinasyonu, inşaatın üç ana alanının (mimari, yapı ve tesisat sistemleri) birlikte çalışmasını içeren multidisipliner bir uygulamadır. Bu sistemler inşaatın en pahalı kısımlarından biridir ve MEP bina maliyetleri toplam projenin %40 ila 60'ını oluşturur. Bu nedenle MEP koordinasyonu, tüm farklı sistemlerin proje yaşam döngüsü boyunca doğru bir şekilde entegre edilmesini sağladığı için gereklidir (Hood, 2023).

MEP sistemlerinin koordinasyonu karmaşık binalar ve hafif üretim tesisleri için büyük bir zorluktur. Şekil 3.5, bu koordinasyonun mekanik, elektrik, sıhhi tesisat ve yangından koruma gibi farklı sistemlerin entegre çalışmasını nasıl sağladığını ve analiz sonuçlarına dayalı öneriler sunduğunu göstermektedir. HVAC, elektrik, sıhhi tesisat, yangından korunma ve diğer sistemlerin ayrıntılı konumunu ve yapılandırmasını belirlemek için MEP koordinasyonu gereklidir. Mevcut projelerde, sınırlı bina alanı, artan sistem karmaşıklığı, yetersiz mühendislik bütçeleri ve sıkı inşaat programları, MEP koordinasyonunu zorlaştıran temel kısıtlamalar arasında yer almaktadır. Daha iyi, daha hızlı ve daha ucuz projeler için artan baskılarla birleştğinde bu kısıtlamalar MEP koordinasyonu için gelişmiş bir çalışma sürecine duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır (Tatum, 2000).

3.2.1 MEP Koordinasyon Sürecinin Adımları

Çoğu projede MEP/FP koordinasyonu iki farklı koordinasyon çabasına ayrılabilir:

- Sıhhi tesisat ve elektrik gibi yeraltı tesisatlarının koordinasyonu
- Tüm MEP/FP tesisatlarının tavan üstü koordinasyonu

Mühendislik sorunlarıyla ilgili olarak, mekanik, elektrik, sıhhi tesisat (MEP) sistemleri ve mekanik, elektrik sistemleri arasındaki koordinasyonla ilgili çakışma çözüm süreci hem tasarım hem de inşaat aşamasında çok çeşitli proje bireylerini ilgilendiren önemli konulardan biri haline gelmiştir (Keskin, 2019).

Müteahhitlik firmaları arasında, MEP ve BIM hizmetlerini benimseme konusunda tereddüt yaşayanlar olduğu gibi, bu hizmetlerin sunduğu avantajları kabul ederek iş sonuçlarını olumlu yönde etkileyenler de bulunmaktadır. BIM projelerinin başarısı için iş birliği temel bir faktör olup, MEP modelleri disiplinler arası koordinasyonu sağlayarak tasarım aşamasında ortaya çıkabilecek sorunların çözümüne katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, bu modeller, çelik yüklenicilerinin açıklıkları görselleştirmesine olanak tanıyarak bilgiye dayalı kararlar almasını kolaylaştırmaktadır (Singh, 2021).

MEP koordinasyonu, verilerin merkezi bir platformda yönetilmesini gerektirir ve bu da ekiplerin daha verimli çalışmasına yardımcı olur. 3D MEP modelleri, bu verilerin merkezi bir kaynağıdır ve çizimler, belgeler ve veri tabanları gibi çıktıları yönetmek için kullanılır (Singh, 2021).

Ayrıca, doğru açıklıkların tasarım aşamasında modellenmesi, yerinde faaliyetleri kolaylaştırırken, prefabrik MEP ekipmanlarının hata olmadan kurulmasına ve zaman ile maliyet tasarrufuna katkıda bulunur. BIM yazılımı, entegre hesaplamaları yönlendiren özelliklerle güçlendirilmiştir ve analiz hesaplamalarının bir BIM modelinde çalıştırılması zaman ve maliyet tasarrufu sağlar (Singh, 2021).

MEP profesyonelleri ve yüklenicileri için tasarımcıların standartlaştırılmış Revit ailelerini (bileşenler ve objeler için önceden tanımlanmış parametrik veri setleri) kullanması önemlidir ve bu, imalat ve kurulumun daha sorunsuz bir şekilde gerçekleşmesine yardımcı olur. Ayrıca, prefabrikasyon, saha dışı üretimde MEP bileşenlerinin kontrolsüz bir ortamda üretilmesinin aksine doğruluk ve kaliteyi artırabilir (Singh, 2021).

Koordineli 3D modellerden çıkarılan mağaza çizimleri, üretim hassasiyetini artırırken, kesim listeleriyle entegre prefabrik çizimler saha personelinin kurulumu daha şeffaf ve güvenli bir şekilde gerçekleştirmesine yardımcı olur. Ayrıca, IFC modellerinden maliyet tahminleri oluşturmak ve malzeme israfını azaltmak için verimli bir şekilde kullanılan bilgiler, maliyet tasarrufu sağlar (Singh, 2021).

Artırılmış Gerçeklik (AR) - Sanal Gerçeklik (VR) teknolojisi ve BIM 360 gibi araçlar, sahada çalışan personelin görsel olarak daha fazla bilgiye erişmesine yardımcı olabilir ve uzak konumlardan çalışanların MEP ekipmanlarını kontrol etmelerine ve ölçmelerine olanak tanır. Bu teknolojiler, projelerin daha etkili bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunur (Singh, 2021).

3.2.2 Koordinasyonda Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Yolları

MEP koordinasyonunda karşılaşılan zorluklar, projenin çeşitli aşamalarında farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır. Özellikle, mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat sistemlerinin ayrıntılı konumlandırılması ve yapılandırılması, karmaşık binalar ve hafif üretim tesisleri için önemli bir zorluktur. MEP koordinasyon süreci, tasarım, inşaat ve işletme kriterlerine uygun olarak tüm sistemlerin bileşenlerini ve dallarını konumlandırmayı içerir. Bununla birlikte, sınırlı bina alanı, artan sistem karmaşıklığı ve mühendislik bütçeleri ile kurulum programlarının sınırlılığı gibi mevcut projelerin çeşitli yönleri bu faaliyeti kısıtlamaktadır. Bu zorluklar, daha iyi, daha hızlı ve daha ucuz projeler için artan baskılarla birleştiğinde, MEP koordinasyonu için gelişmiş bir çalışma sürecine olan ihtiyacı vurgulamaktadır (Korman T. S., 2010).

Bu bağlamda, nesne yönelimli 3D modellerin kullanımı ve bilgi teknolojisinin uygulanması, koordinasyon sürecinin iyileştirilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, farklı sistem türlerine ilişkin dağıtılmış bilginin yakalanması ve yazılımın MEP koordinasyonunun özel ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde uyarlanması gerekmektedir. Bu gelişmeler, bina sistemlerinin tasarımı, inşası, devreye alınması, işletilmesi, bakımı ve güçlendirilmesinde önemli ilerlemeler sağlayacaktır (Tatum, 2000).

MEP koordinasyonunda karşılaşılan zorluklar ve çözüm yolları üzerine çalışmalar, BIM modelleri ve saha koşulları arasındaki uyumsuzlukların projelerde

gecikmelere ve zorluklara neden olduğunu vurgulamaktadır. Özellikle MEP sistemleri için izole çalışma kültürünün ve yetersiz BIM eğitimlerinin çakışmaların önemli nedenleri arasında olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada, MEP koordinasyonunun iyileştirilmesi için 3D BIM modellerinin etkin kullanımı ve erken tasarım aşamasında paydaşlar arası şeffaf iş birliğinin önemine dikkat çekilmiştir. Ayrıca, karmaşık bina sistemlerinin ve sınırlı bina alanlarının, bu koordinasyonun zorluklarını artırdığı ifade edilmiştir (Akponeware, 2017).

Saha şartları ile BIM modelleri arasındaki uyumsuzluklar, projelerde gecikmelere ve çeşitli zorluklara neden olabilmektedir çünkü şantiyedeki durum, BIM modelinde gösterilen tasarımdan farklı olabilir. Tasarım aşamasın (As-designed) ve inşaat sonrası (As-built) çizimler arasındaki uyumsuzlukların etkin bir şekilde yönetilmesi, maliyet ve zaman aşımını önlemede kritik bir faktördür. Bu uyumsuzlukların zamanında tespit edilmesi ve yönetilmesi, proje kaynaklarının etkin kullanımı açısından önemlidir (Gharouni Jafari, 2021).

BIM koordinatörlerinin deneyimi ve iş kapsamlarının doğru şekilde belirlenmesi, projelerin başarısında kritik bir rol oynamaktadır. Araştırmada, BIM tabanlı koordinasyonun uygun şekilde yürütülmesinin maliyetleri düşürüp verimliliği artırabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca, BIM yazılımının yüksek maliyeti nedeniyle, küçük ölçekli projelerde bu maliyeti düşürmek için yetenekli teknik çizimciler ve yazılım geliştiricilerle çalışmanın daha ekonomik olabileceği belirtilmiştir (Gharouni Jafari, 2021).

Sonuç olarak, saha şartları ve BIM modelleri arasındaki farkların doğru bir şekilde ele alınması ve koordinasyonun etkin şekilde yönetilmesi, projelerin zamanında ve bütçe dahilinde tamamlanmasını sağlayarak inşaat sektöründe sürdürülebilirliği artırabilir (Gharouni Jafari, 2021).

3.2.3 Koordinasyon Sürecinde Çakışma Analizlerinin Önemi

MEP koordinasyonu, bina inşaatının erken aşamalarında kritik bir süreç olup, sistem bileşenlerinin uyumlu entegrasyonunu sağlamayı amaçlamaktadır. MEP koordinasyon mimari tasarımın MEP sistemlerinin düzeniyle çakışmamasını sağlamak amacıyla dikkatle yürütülür. Bu süreç dört ana aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, MEP tasarımcıları tarafından konsültasyon çizimleri ve yapısal planların detaylı bir incelemesi yapılır. İkinci aşamada, bu çizimler kullanılarak 3D bir model

oluşturulur. Üçüncü aşamada, bu model çakışma tespiti ve çözümü için değerlendirilir. Son aşamada ise, çakışma tespit sürecinden geçen 3D model temelinde, MEP sistemlerinin bir arada nasıl çalışacağını gösteren koordinasyon çizimleri hazırlanır (Hood, 2023).

BIM koordinasyon süreçlerinde, çeşitli hizmetler tarafından oluşturulan modellerin birleştirilmesi ve potansiyel çakışmaların belirlenmesi önemli bir adımdır. BIM tabanlı çakışma tespiti, farklı disiplinler tarafından ayrı ayrı geliştirilen modellerin entegre edilmesiyle gerçekleşir ve bu süreçte Navisworks gibi yazılımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Kim ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında, Navisworks yazılımı ve Python tabanlı ontolojik yaklaşımlar kullanılarak çakışma tespitinde daha kesin sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Ancak mevcut yazılımlar, özellikle yetersiz algoritmalar nedeniyle hatalı pozitifler üretebilmekte ve tasarım hatalarına bağlı olarak sahada gereksiz müdahalelere neden olabilmektedir. Bu durumun önüne geçmek için, makine öğrenimi algoritmaları ve daha bütünsel yaklaşımlar geliştirilmektedir (Kim, 2024).

Koordinasyon sürecinde çakışma analizlerinin önemi, MEP sistemlerinin karmaşık doğasından kaynaklanmaktadır. MEP koordinasyonu, mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat sistemlerinin karmaşık binalar ve üretim tesisleri içerisinde uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlamak için gereklidir. Husin ve arkadaşlarının çalışmasında, BIM 5D'nin MEP sistemlerinin daha verimli yönetimi için önemli bir çözüm sunduğu ve BIM tabanlı analizlerin maliyet ve zaman tasarrufu sağladığı belirtilmiştir. Çakışma tespit yazılımlarının doğru uygulanması ve BIM modellerinin entegrasyonu, proje başarısında kritik rol oynamaktadır (Husin, 2020).

Ahmadpanah tarafından yapılan araştırma, makine öğrenimi algoritmalarının çakışma raporlarında gereksiz çakışmaları ayıklayarak analiz süreçlerini hızlandırma potansiyelini ortaya koymaktadır. Özellikle YOLO algoritması kullanılarak çakışma sınıflandırmasının otomatikleştirildiği ve insan müdahalesine olan ihtiyacın azaldığı vurgulanmıştır (Ahmadpanah, 2023).

Tablo 3.6 BIM MEP koordinasyon yöntemi tekniklerini geliştirmeye yönelik stratejiler üzerine inceleme

İlgisiz Çakışmaları En Aza İndirmeye Yönelik Metodolojiler	Teknolojiler ve/veya Yazılımlar
Çakışmalardan Kaçınılması	Revit Uygulama Programlama Arayüzü (API)
	Otomatik Çakışma Tespiti
	Bulut Tabanlı Paylaşılan Çalışma Alanı
	Evrin -Duyarlılık Mimarisi
Geliştirilmiş Çakışma Tespiti	IFC Yöntem
	Sınırlayıcı Hacim Hiyerarşisi
	Küreler: zaman açısında kritik çakışma tespiti için yüzlü tahmin etmek için kullanılır.
	Küre -Ağaçları yöntemi
	Yönlendirilmiş Sınırlayıcı Kutular (OBB) - Ağaçlar Yöntemi
Çakışma Flitreleme	Çakışmaları yumuşak,sert ve zaman olarak ayıran çakışmalar

MEP koordinasyon toplantıları, genellikle çeşitli disiplinlerden mühendis ve detaycıların katılımıyla gerçekleşir ve bu toplantılarda yapılan çakışma analizleri, projenin başarısını doğrudan etkileyebilir. Özellikle, nesne yönelimli 3D modelleme ve bilgi teknolojilerinin kullanımı, çakışmaların erken aşamalarda tespit edilmesini ve çözülmesini sağlayarak projenin zamanında ve bütçe dahilinde tamamlanmasına katkıda bulunur. Tablo 3.6'da, BIM tabanlı MEP koordinasyon yöntemlerinde kullanılan stratejiler, çakışmaların en aza indirilmesi, geliştirilmiş çakışma tespiti ve çakışma filtreleme gibi süreçlere yönelik çeşitli teknolojiler ve yazılımlar sunmaktadır. Bu teknolojiler, farklı sistem türlerine ilişkin dağıtılmış bilgilerin yakalanmasını ve yazılımın MEP koordinasyonunun özel ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde uyarlanmasını kolaylaştırarak, bina sistemlerinin tasarımı, inşası, devreye alınması, işletilmesi ve bakımında önemli gelişmeler sağlar (Teo, 2022).

Büyük bir projede erken aşamada MEP koordinasyonunun çakışma analizi yoluyla ele alınması, projenin karmaşıklığı ve ölçeği nedeniyle hayati önem taşır. Bu, çeşitli sistemlerin sorunsuz entegrasyonunu sağlayarak potansiyel çakışmaları azaltır ve inşaat sürecini düzene sokar. BIM teknolojisi tarafından kolaylaştırılan bu yaklaşım, projenin teknik yönlerine yardımcı olmanın yanı sıra, çeşitli proje ekipleri arasında bilgi akışını yönetmede de kritik bir rol oynar (Keskin, 2019).

Örneğin, İstanbul'daki büyük ölçekli bir proje bağlamında, MEP koordinasyonunun erken tasarım aşamalarında ele alınmasının ve özellikle çakışma analizlerinin kullanılmasının kritik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Projenin büyük ölçeği ve karmaşıklığı nedeniyle, BIM departmanı tarafından yönetilen özel bir koordinasyon akışına ihtiyaç duyulmuştur. Bu akışın temel amacı, MEP tasarımcıları ile LOD 350 BIM seviyesinde çakışmaların giderilmesini sağlamaktır. Çakışma bulunmayan BIM modellerinin üretilmesi, sahadaki ilerleme sürecini destekleyen uygulama çizimlerinin oluşturulmasını kolaylaştırması açısından hayati önem taşımaktadır. Süreç boyunca BIM modelleri çeşitli detaylarla sürekli olarak güncellenmiş ve her güncelleme bulut sistemine kaydedilerek sahada mobil tabletler aracılığıyla erişilebilir hale getirilmiştir (Keskin, 2019).

Ayrıca, tasarım, mühendislik, inşaat ve işletme aşamaları boyunca BIM uygulamalarının tüm boyutlarını (3D-7D) kullanmak, projenin temel bir stratejisiydi. Bu strateji, insanları ve teknolojiyi tek bir sanal platformda bütünleştiren dijital dönüşüm ve kültürel değişim sağlamayı amaçlamıştır. Bu bağlamda, birincil mühendislik zorluklarından biri, MEP sistemlerinin koordinasyonu ile ilgili çakışma çözüm süreciydi ve bu, projenin çeşitli katılımcılarını içeren tasarım ve inşaat aşamaları için büyük bir sorun teşkil etmiştir. Bu süreci etkili bir şekilde yönetmek, böylesine büyük ölçekli bir projede yer alan karmaşık etkileşimleri ve bağımlılıkları ele almak için anahtardı (Keskin, 2019).

3.3 BIM Projelerinde MEP Tasarım Aşamaları

3.3.1 İlk Tasarım Aşaması

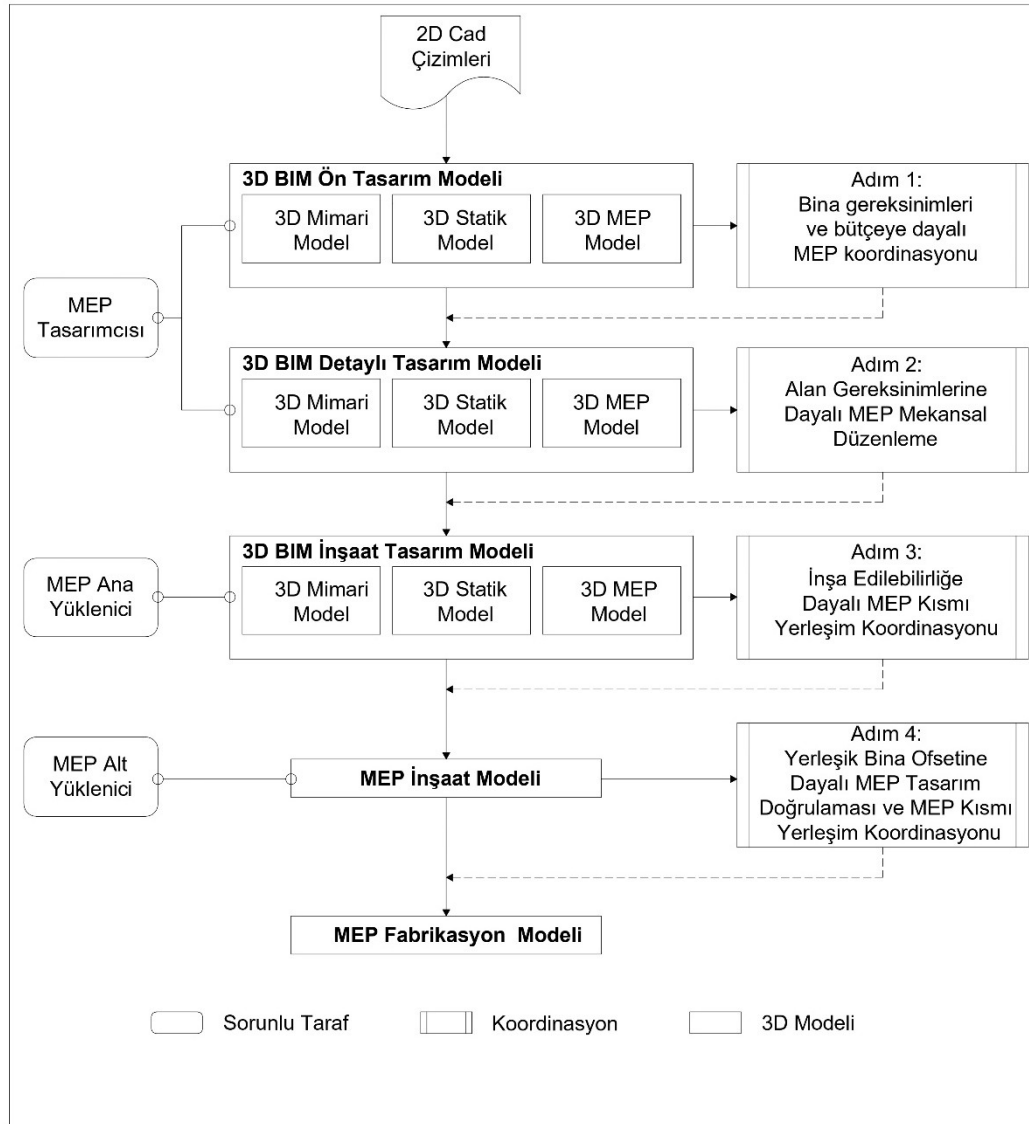
BIM projelerinde MEP tasarımının ilk aşaması, bina fonksiyonlarının ve sistem entegrasyonunun başarıyla sağlanabilmesi için kritik bir süreçtir. Bu ilk tasarım aşaması, proje paydaşlarının uyumlu çalışmasını sağlayan temel planlama süreçlerinden biridir. Bu aşamada, MEP sistemlerinin temel yerleşimi, bina fonksiyonlarına uygunluk ve sistemler arası çakışma analizi gibi unsurlar değerlendirilir. İlk tasarım aşamasında sistemlerin termal, elektriksel ve geometrik parametrelerinin belirlenmesinin önemlidir ve bu parametrelerin, sonraki tasarım aşamalarında daha detaylı analizlere rehberlik ettiğini belirtmiştir. Bu süreç, BIM tabanlı 3D modeller aracılığıyla gerçekleştirilerek, çakışmaların erken tespit edilmesi ve proje verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir (Parti, 2019).

3.3.2 Detaylandırma ve Sonlandırma Aşamaları

BIM projelerinde ön tasarım aşamasında özellikle MEP tasarımda önemli avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar arasında gelişmiş çakışma tespiti, daha iyi entegre edilmiş sistem tasarımları ve detaylı görselleştirmeler bulunmaktadır. Şekil 3.6'da gösterildiği üzere, BIM tabanlı süreçler, MEP düzeni tasarımından inşaat modeline kadar adım adım ilerleyen bir çerçeve sunmaktadır. Bu çerçeve, bina gereksinimlerine ve bütçeye dayalı koordinasyonla başlamakta ve alan gereksinimlerine uygun mekânsal düzenlemeler ile devam etmektedir. İnşaat aşamasına geçmeden önce, MEP kısımlarının inşa edilebilirliğe dayalı koordinasyonu ve yerleşim doğrulaması yapılmaktadır. Ancak BIM uygulamaları genellikle inşaat aşamasından önce durdurulmakta ve sınırlı bir şekilde devam ettirilmektedir. Bu durum tasarım ve inşaat süreçleri arasındaki entegrasyonun yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. İnşaat aşamasında yapılar ve MEP düzenleri arasında tasarımdan gerçek inşaata geçildiğinde sapmalar meydana gelebilir. Bu sapmalar sahada karşılaşılan beklenmeyen durumlar, malzeme değişiklikleri veya diğer inşaat zorluklarından kaynaklanabilir. Eğer BIM modeli inşaat aşamasında güncellenmezse ve gerçek zamanlı olarak saha bilgileri ile entegre edilmezse tasarlanan MEP düzeni ile gerçekten inşa edilen yapı arasında farklılıklar oluşur. Bu durum MEP sistemlerinin sahada ayarlanması veya yeniden tasarlanması gerektiren sorunlara yol açabilir (Wang J. W., 2016).

MEP düzenini ön tasarım aşamasından inşaat aşamasına kadar entegre etmek için pratik bir BIM çerçevesi oluşturulmuştur. Bu çerçeve BIM projelerindeki MEP tasarım modellerini 5 detay seviyesine ayırmaktadır (Wang J. W., 2016).

- 3D MEP Ön Tasarım Modeli
- 3D MEP Detaylı Tasarım Modeli
- 3D MEP İnşaat Tasarım Modeli
- 3D MEP İnşaat Modeli
- 3D MEP Prefabrikasyon



Şekil 3.6 BIM tabanlı MEP düzeni tasarımı ve oluşturması için çerçeve (Wang J. W., 2016)

3.3.3 3D MEP Ön Tasarım Modeli

MEP sistemlerinin ilk kavramsal düzeni, 3D MEP Ön Tasarım Modeli ile oluşturulur. Bu model, bina içindeki mekanik, elektrik ve tesisat sistemlerinin temel yerleşimini ve genel konfigürasyonunu içerir ve erken aşamada yerleşim planlaması ile entegrasyon analizleri için kullanılır. Entegrasyon analizi, farklı MEP sistemlerinin birbiriyle ve binanın diğer yapısal ve mimari öğeleriyle nasıl uyumlu hale getirileceğini değerlendirir, bu da sistemler arası çakışmaların önlenmesi ve alanın etkin kullanımı açısından hayati öneme sahiptir. Özellikle, modelin kullanımı, tasarlanan sistemlerin performans göstergelerinin ve potansiyel maliyetlerin hesaplanmasında kritik bir rol oynar. Bu hesaplamalar, projenin maliyet etkinliğini değerlendirmede ve bütçe sınırlamaları içinde kalınmasını sağlamada temel bir öneme sahiptir (Wang J. W., 2016).

Model, enerji verimliliği ve sistem uyumluluğu gibi faktörlerle birlikte, özellikle maliyet tahminlerini ve kararlarını destekler. Maliyet tahminleri, MEP sisteminin genel düzenini belirlemede ve projenin mali açıdan sürdürülebilir olmasını sağlamada hayati bir rol oynar. Tasarım ekibi, müşteriler ve diğer paydaşlarla yapılan iletişim toplantıları, maliyet verimliliği ve bütçe yönetimi açısından olası sorunları erkenden tespit etmek ve buna yönelik çözümler geliştirmek için bu modelden yararlanır. Bu şekilde, MEP Ön Tasarım Modeli, projenin başlangıcında maliyet etkinliği, fikir birliği ve anlayış sağlamak için temel bir araç olarak hizmet eder ve bütçeyle uyumlu bir tasarım sürecinin temelini atar (Wang J. W., 2016).

3.3.1.1 3D MEP Detaylı Tasarım Modeli

Detaylı tasarım aşamasında, MEP modelleri projenin daha derinlemesine incelenmesi için detaylandırılır. Bu model, spesifik ekipman yerleşimleri, kanal ve boru güzergahları, sistem bağlantıları ve teknik özellikler gibi detaylı bilgileri içerir. Bu aşamada, her MEP sisteminin genel düzeni belirlenir, böylece tüm sistemlerin bina içinde nasıl bir arada çalışacağı ve entegre edileceği netleşir. 3D MEP detaylı tasarım modeli, mühendislerin ve tasarımcıların sistemin tam özelliklerini anlamasına, farklı disiplinler arasındaki potansiyel çakışmaları tespit etmesine ve bu çakışmaları çözmesine olanak tanır. Bu, özellikle farklı sistemlerin birbiriyle etkileşimini ve mekânsal yerleşimini optimize etmek için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, bu detaylı modelleme, MEP düzenini koordine etmek ve bina alanı

kullanım oranını iyileştirmek için de kullanılır. Bu sayede, inşaat aşamasına geçmeden önce gerekli değişiklikler ve düzeltmeler proaktif bir şekilde yapılabilir, sistemlerin daha verimli ve uyumlu bir şekilde çalışmasına olanak tanınır (Wang J. W., 2016).

3.3.1.2 3D MEP İnşaat Tasarım Modeli

3D MEP İnşaat Tasarım Modeli, detaylı tasarım modelinin inşaat sürecine uyarlanmış bir versiyonudur. Bu model, inşaat aşamasındaki gerçek koşulları ve mevcut yapısal öğeleri göz önünde bulundurarak MEP sistemlerinin nihai yerleşimini, montaj detaylarını ve her sistemin kesin düzlemsel ve uzamsal konumunu detaylı bir şekilde gösterir. Bu aşamada, tasarım çizimlerinin doğruluğu kontrol edilir ve ekipman kurulum yöntemleri ile boru/kanal yerleşimlerinin inşa edilebilirliği doğrulanır. MEP inşaat tasarım modeli, inşaat ekiplerine kesin kurulum talimatları sağlar ve boru hattı ile ekipman destek formlarının belirlenmesine yardımcı olur. Model, deliklerin yerleştirilmesi ve boruların binaya uygun şekilde entegre edilmesi sürecinde önemli bir rol oynar, böylece duvarlarda gereksiz kesimlerin yapılmasını önler. Aynı zamanda, malzeme siparişi, zamanlama ve lojistik planlamasında temel bir araç olarak hizmet eder. 3D MEP inşaat tasarım modeli, MEP düzeninin koordinasyonu ve inşa edilebilirliğe dayalı bina alanı kullanımının iyileştirilmesinde kilit bir rol oynar ve bu sayede projenin daha verimli ve etkin bir şekilde ilerlemesine katkıda bulunur (Wang J. W., 2016).

3.3.1.3 3D MEP İnşaat Modeli

3D MEP İnşaat Modeli, inşaat sürecinin gerçek zamanlı takibini ve yönetimini etkin bir şekilde sağlar. Bu model, inşaat aşamasındaki gerçek zamanlı değişiklikleri, düzenlemeleri ve güncellemeleri yansıtır, böylece inşaat sapmalarına dayalı olarak inşa edilebilirliğin sürekli olarak doğrulanmasını sağlar. Bu gelişim seviyesinin, inşaat sapmalarına dayalı olarak inşa edilebilirliği doğrulamak için uygun olduğu düşünülmektedir. Model, yerleşik bina sapmalarına dayalı olarak MEP düzeninin koordinasyonunda önemli bir rol oynar ve bu durum, saha koşullarına ve inşaat sürecinde ortaya çıkan zorluklara hızlıca uyum sağlamayı gerektirir. MEP inşaat modeli, proje yöneticileri ve saha mühendisleri için kritik bir kaynak olarak hizmet eder; projenin plana uygun ilerlemesini sağlamak ve herhangi bir sorunu hızlı bir şekilde çözmek için gereklidir. Ayrıca, model inşaat faaliyetlerine doğru rehberlik etmekte ve sahadaki çalışmaların düzenli ve verimli

bir şekilde yürütülmesini desteklemekte kritik bir rol oynar. Bu modelde inşa edilmiş bina yaratılmıştır, bu da projenin gerçek zamanlı ilerleyişinin daha iyi anlaşılmasını sağlar ve projenin genel başarısına katkıda bulunur (Wang J. W., 2016).

3.3.1.4 3D MEP Prefabrikasyon Modeli

MEP Prefabrikasyon Modeli, MEP sistemlerinin bireysel bileşenlerinin ve alt sistemlerinin üretimi ve montajı için kullanılan etkin bir araçtır. Bu model, fabrikada MEP sistemlerinin önceden hazırlanmasını ve ardından inşaat alanına nakledilerek montajının yapılmasını kolaylaştırır. Bu süreç, üretim süreçlerini optimize ederek malzeme israfını azaltır ve daha doğru tahminler üretmeye yardımcı olur. Ayrıca, prefabrikasyon modeli, bina sistemlerinin daha doğru ve verimli bir şekilde oluşturulmasını sağlar, bu da projenin genel kalitesini artırır. MEP üretim sürecini doğrudan yönlendiren bu model, projenin hem maliyet etkinliğini hem de performansını artırmak için kritik bir rol oynar. Bu gelişme seviyesinin fabrikada imalat ve montaj için uygun olduğu düşünülmektedir. MEP prefabrikasyon modeli, daha iyi tahminler oluşturmaya, daha doğru bina sistemleri oluşturmaya ve doğrudan MEP üretimini yönlendirmeye yardımcı olabilecek bilgileri içerir. Prefabrikasyon modeli sayesinde, MEP sistemleri daha hızlı, daha verimli ve daha hassas bir şekilde üretilir ve monte edilir, bu da inşaat sürecinin genel verimliliğini ve etkinliğini artırır (Wang J. W., 2016).

3.4 BIM Projelerinde MEP Koordinasyon Sıralaması

3.4.1.1 Sıralamanın Önemi ve Etkileri

MEP koordinasyonunda en yüksek verimliliğin sağlanabilmesi için belirli bir sıralamanın izlenmesi önerilmektedir. Aşağıdaki sıralama 2008 yılında Khanzode ve arkadaşları tarafından önerilmiştir.

- 3D yapısal ve mimari model ile başlanması.
- Modele çeşitli çelik detaylar eklenmesi.
- Ön alan tahsisini gerçekleştirilmesi.
- Zorlu kısıtlamaları belirlenmesi. (Erişim panellerinin, ışıkların vb. yerleri)
- Ana orta basınç kanallarını şafttan dışarı çekilmesi.
- Ana kademeli tesisat hatlarını ve havalandırma deliklerini çizilmesi.

- Sprinkler ana hatlarını ve dallarını çizilmesi.
- Soğuk ve sıcak su şebeke ve branşmanlarının çekilmesi.
- Aydınlatma armatürlerini ve sıhhi tesisat armatürlerini çizilmesi.
- Daha küçük kanalları ve esnek kanalları daha önce çizilen tesisatların etrafına yönlendirilmesi.
- Küçük soğuk ve sıcak su borularını, esnek kanalları vb. son olarak yönlendirilmesi.

Koordinasyon çalışması için ekip tarafından belirlenen hedefler, neyin modelleneceğinin belirlenmesinde büyük rol oynayacaktır. Çoğu projede MEP/FP koordinasyonu iki farklı koordinasyon çabasına ayrılabilir (Khanzode A. F., 2008).

- Sıhhi tesisat ve elektrik gibi yeraltı tesisatlarının koordinasyonu
- Tüm MEP/FP tesisatlarının tavan üstü koordinasyonu

MEP koordinasyon süreçlerinin yalnızca geometrik uyumluluk açısından değil, aynı zamanda iş gücü planlaması ve inşaat sahası lojistiği açısından da kritik rol oynamaktadır. MEP sıralama sürecinde çakışma tespiti ve çözümünün erken aşamalarda yapılmasının, sahada yeniden çalışma oranlarını önemli ölçüde azalttığı ve iş programlarında gecikmeleri önlediği belirtilmiştir. Ayrıca, MEP sistemlerinin erken koordinasyonu, bina sistemlerinin bakım ve işletme süreçlerinde de daha az kesinti yaşanmasını sağlayarak, bina yaşam döngüsü verimliliğine katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle, MEP koordinasyonunda sıralı modellemenin yalnızca tasarım aşamasında değil, projenin tüm aşamalarında önemli bir kalite kontrol aracı olduğu olmaktadır (Khanzode A. F., 2008).

3.4.2 Sıralamanın Optimizasyonu için Stratejiler

MEP koordinasyon sırası, bir BIM projesindeki çeşitli aşamaların ve elemanların nasıl öncelik verilebileceğine dair mantıklı bir yaklaşımı yansıtır. Bu süreç, genellikle daha büyük ve karmaşık sistemlerden başlayarak, daha küçük ve detay gerektiren sistemlere doğru ilerler. Her adımın kısa açıklaması şu şekildedir (Lee G. K., 2014).

Yapısal ve Mimari Modeller Arasında Koordinasyon: Projenin başında, yapısal ve mimari tasarımların uyumlu olduğundan emin olmak önemlidir. Bu, temel tasarım ve mekân kullanımı hakkında net bir anlayış sağlamaktadır (Lee G. K., 2014).

Çelik Detaylandırma: Çelik yapısal elemanlar, binanın temelini oluşturduğu için, bu detayların erken tasarım aşamasında belirlenmesi gerekir. BIM tabanlı süreçlerde çelik detayların ve taşıyıcı unsurların modelleme önceliğinin, daha küçük çaplı MEP bileşenlerinin yerleşimini daha kontrollü hale getirmektedir. Örneğin çelik kiriş içerisinden geçirilecek bir boru hattı için imalat öncesi çelik kiriş üzerinde rezervasyonun bırakılması gerekmektedir (Khanzode A. F., 2008).

Ön Alan Tahsisi: Büyük ekipmanların ve sistemlerin yerleşim kararlarının erken aşamada belirlenmesi, MEP koordinasyonunun verimliliğini artırmada kritik bir adımdır. Özellikle AHU (Air Handling Units) gibi büyük, ağır ve altında kaide gerektiren ekipmanların önceden planlanması, çakışma riskini azaltır ve mekanik servis geçiş alanlarının kontrolünü kolaylaştırır. Erken alan tahsisi, BIM tabanlı modellerin kullanımıyla desteklenerek, hem 3D tasarım süreçlerinin daha etkin yönetilmesine hem de proje aşamalarının kesintisiz ilerlemesine olanak sağlar. Özellikle büyük ölçekli ekipmanların konumlandırılmasından sonra, mekanik servis yollarının optimize edilmesi için model analizleri yapılmalıdır (Wang B. Y., 2021).

Katı Kısıtlamalarının Tanımlanması: Binanın her katında hangi sistemlerin yerleştirileceğini ve bu sistemlerin yerleşim sınırlamalarının tanımlanması, MEP koordinasyonunun temel adımlarından biridir. Her katın yapısal ve mimari özellikleri, tesisat sistemlerinin yerleşimini doğrudan etkileyebilir. Özellikle yüksek öncelikli bileşenlerin (HVAC ana kanalları, elektrik dağıtım panoları ve yangın sistemleri gibi) yerleşimi, daha küçük çaplı sistemlerin konumlandırılmasını sınırlandırabilmektedir. BIM tabanlı koordinasyon süreçlerinde, bu tür katı kısıtlamaların erken tanımlanması, çakışma tespiti ve tasarım süreçlerinde optimizasyon sağlamakta kritik bir rol oynamaktadır (Motiejunas, 2016).

Şafttan Dışarı Çıkan Basınç Kanalları: HVAC sistemlerinin ana kanallarının yerleşimi, diğer tesisat elemanlarının yerleşimini etkileyebilir. Su ve atık su hatlarının, bina içindeki diğer sistemlerle çakışmayacak şekilde planlanması gerekmektedir (Teo, 2022).

Sprinkler Şebekesi ve Kolları: Yangın güvenliği sistemlerinin, bina içindeki diğer tesisat elemanlarıyla çakışmayacak şekilde yerleştirilmesi hem güvenlik hem de verimlilik açısından kritik bir unsurdur. BIM tabanlı koordinasyonun bu sistemlerin

diğer mekanik ve elektrik tesisatlarıyla uyumlu şekilde entegre edilmesini sağlamaktadır. Özellikle sprinkler hatlarının, HVAC kanalları ve elektrik kablo tavası gibi bileşenlerle aynı şaft bölgelerinde planlanmasının çakışma risklerini azaltarak daha güvenli ve erişilebilir bir tasarım sunmaktadır. BIM modelleri üzerinden yapılan detaylı analizler, yangın güvenliği sistemlerinin yerleşim planlarının erken aşamada optimize edilmesini sağlayarak hem inşaat sürecinde hem de bina işletmesinde güvenlik standartlarının karşılanmasına katkıda bulunmaktadır (Teo, 2022).

Soğuk ve Sıcak Su Şebekesi ve Kolları: Su tedarik sistemlerinin bina içindeki yerleşiminin hem işlevsel hem de yapısal gerekliliklere uygun olarak planlanması, bina performansı ve tesisat verimliliği açısından kritik bir unsurdur. Su borularının çap, eğim ve basınç değerlerinin BIM modelleri aracılığıyla simüle edilmesinin, erken aşamada olası tasarım hatalarını önlemeye yardımcı olmaktadır (Teo, 2022).

Aydınlatma Armatürleri ve Sıhhi Tesisat Armatürleri: Elektrik ve aydınlatma sistemlerinin, diğer tesisat bileşenleriyle uyum içinde planlanması, bina fonksiyonelliği ve güvenliği açısından kritik bir gerekliliktir. BIM tabanlı modelleme süreçleri, aydınlatma armatürlerinin yerleşimi sırasında hem elektrik hem de mekanik sistemlerle potansiyel çakışmaların tespit edilmesinde etkili bir rol oynamaktadır. Özellikle aydınlatma armatürlerinin tavan arası yerleşiminde, HVAC kanalları ve sprinkler hatları gibi bileşenlerle uyumlu entegrasyonun sağlanması hem montaj kolaylığını hem de bakım erişilebilirliğini artırmaktadır (Teo, 2022).

Daha Önce Çizilen Tesisatların Etrafındaki Daha Küçük Kanallar ve Esnek Kanallar: Büyük sistem bileşenlerinin yerleşiminden sonra, daha küçük çaplı ve esnek tesisat elemanlarının konumlandırılması, BIM tabanlı MEP koordinasyon süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir stratejidir. Özellikle, esnek kanalların ve küçük çaplı boruların, daha önceden belirlenmiş yapısal engelleri ve kritik bileşenleri göz önünde bulundurarak konumlandırılması, montaj sürecini kolaylaştırmakta ve saha uyumluluğunu artırmaktadır (Teo, 2022).

Daha Küçük Soğuk ve Sıcak Su Boruları, Esnek Kanallar vb.: Projenin bu son aşamasında, daha küçük borular ve kanallar, mevcut sistemlere zarar vermeden entegre edilir. Büyük çaplı HVAC kanalları, ana su boruları ve elektrik hatlarının

yerleştirilmesinin ardından, daha küçük borular ve esnek hava kanallarının mevcut tesisatların etrafına yerleştirilmesinin, çakışma riskini önemli ölçüde azalttığı belirtilmektedir (Teo, 2022).

Bina tasarım koordinasyonu, bir binanın farklı elemanları arasındaki karmaşık ilişkileri yönetme sürecidir. Bu süreç, duvarlar, kapılar, kirişler, kolonlar, borular, kanallar ve aydınlatma armatürleri gibi çeşitli bina elemanları arasında ortaya çıkan tasarım hataları ve çakışmaları çözmeyi amaçlar. Tasarım koordinasyonu, bir elemanın yerinin değiştirilmesinin binanın diğer kısımlarını etkileyebileceği ve yeni sorunlar yaratabileceği bir süreçtir. Bunu zorlaştıran bir diğer faktör ise, çok sayıda farklı disiplinlerden gelen uzmanların projede yer almasıdır (Lee G. K., 2014).

BIM tabanlı MEP koordinasyonunda iki ana yaklaşım bulunmaktadır: paralel koordinasyon ve sıralı basamaklı koordinasyon. Paralel koordinasyon, modelleme sürecini diğer ticaretlerle (HVAC, elektrik, yangından korunma) aynı anda başlatırken, sıralı basamaklı koordinasyon HVAC sistemleriyle başlar ve adım adım ilerler. Bu yaklaşımlar, koordinasyon verimliliği ve bilgi alışverişi düzeyi açısından analiz edilmiştir. Bu analizler, başlangıçtaki küçük tasarım hatalarının proje sonunda büyük ekonomik zararlara yol açabileceğini ortaya koymaktadır (Lee G. K., 2014).

Çalışmalar, tasarım hatalarının bulaşıcı olduğunu ve genellikle doğru tasarlanmış diğer alanları da sorunlu hale getirebileceğini göstermektedir. Bu hataların bir 'domino etkisi' gibi olduğu görülür, yani bir hata, bilgi zinciri boyunca bilgi bozulmalarının ve yanlış anlaşılmanın artarak yayılmasına neden olur. Modern ve karmaşık bina projelerinde, bu tür hataları etkili bir şekilde önlemek için uygun tasarım koordinasyon stratejilerinin geliştirilmesi gereklidir. Bu stratejiler, BIM tabanlı MEP koordinasyonunun performansının daha iyi anlaşılması, ölçülmesi ve tahmin edilmesi için bir temel sağlayabilir ve sektöre önemli katkılarda bulunabilir (Lee G. K., 2014).

3.4.2.1 Paralel Koordinasyon

Paralel koordinasyonda HVAC, elektrik, yangından korunma aynı anda başlamaktadır. Sıkıştırılmış bir inşaat programı bulunduğu durumlarda tüm paydaşların sırayla modelleme bulunmaz. Yetiştirilmesi gerekli olan işveren

teslimleri ve uygulamaya başlanabilmesi adına geçerli not alınması gerekli teslimler bulunmaktadır. MEP alt yüklenicileri modelleri eş zamanlı olarak geliştirmektedirler. Bu durumda her model gelişme aşamasında olduğu için iletişim ve koordinasyonun gerçekleşemez ancak tüm modeller tamamlandıktan sonra modeller arası çakışmalar kontrol edilebilir. Ortaya çıkan çakışmalar çoğu zaman doğru bir şekilde kurgulanmış sistemleri de hatalı duruma düşürebilir. Bu durumda tüm çakışmalar temizlenene kadar MEP alt yüklenicilerin bir araya gelmesi, modellerini güncellemesi ve çakışma analizlerini tekrar etmesi gerekmektedir (Lee G. K., 2014).

3.4.2.2 Sıralı Basamaklı (Adım Adım) Koordinasyon

Sıralı basamaklı koordinasyon HVAC sistemleri ve Sulu HVAC sistemlerine ait boru sistemlerine ilk olarak başlanır. HVAC sistemleri ve boru sistemleri tamamlandıktan sonra HVAC sistemleri ve boru modeller bir sonraki ilgili MEP alt yükleniciye devredilir. Modelleme üç ana unsur bulunmaktadır.

- Dıştan içe
- Büyükten küçüğe
- Sertten yumuşağa

Dıştan içe: Mimari tasarım kesinleştikten sonra, yapısal sistem ve ardından MEP tasarımları sabitlenmelidir. Sonrasında ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda süreç yinelenmelidir.

Büyükten küçüğe: Daha fazla yer kaplayan havalandırma kanalı vb. büyük elemanların nispeten elektrik tavaşı vb. gibi daha az yer kaplayan elemanlara kıyasla hareket ettirilmesi zordur. Bu nedenle öncelikle yangın kanalları, havalandırma ve egzoz kanalları gibi büyük elemanların yerleşimlerinin yapılması gerekmektedir.

Sertten Yumuşığa: Çakışma analizleri doğrultusunda sert çakışmalar ve yumuşak çakışmalar ortaya çıkmaktadır. Örneğin bir havalandırma kanalının direkt olarak içinden geçen bir boru sert çakışma olarak adlandırılabilir. Yumuşak çakışma ise kanalın yalıtım katmanı ile borunun çakışması olarak düşünülebilir. Yumuşak çakışmalar şantiyede çözülme şansı olsa da sert çakışmalar çözümleri şantiyede yapıldığında daha çok soruna neden olabilmektedir.

Bu doğrultuda mimari ve yapısal modeller tamamlandıktan sonra en büyük alanı kaplayan HVAC sistemleri modellenmektedir. MEP sistemleri arasında yer alacak boşluklar bırakılmaktadır. Ardından mekanik borular, sıhhi tesisat borular modellenmektedir. Sıhhi tesisat borularının havalandırma sistemlerinden sonra modellemesinin sebebi borulardaki suların yerçekimi etkisiyle hareket etmesi için eğimli olarak yerleştirilmesidir. Atık su, havalandırma ve yağmur hatları için yerleştirilen eğimli boruların yönü ve derecesi kanallar ile çakışmayacak şekilde düzenlenmelidir. Mekanik ve sıhhi tesisat sistemleri modellenirken modelleyen çalışan boru ve kanallar arasındaki çakışmaları sürekli olarak kontrol etmelidir. Sıhhi tesisat tamamlandıktan sonra yangından korunma sistemleri ve elektrik aynı şekilde modellenmelidir. Sıralı basamaklı koordinasyon süreci uzatmaktadır ama önemli birçok çakışma modelleme aşamasında çözüldüğü için çakışma analizlerinde ilk başta çıkan çakışma sayısı önemli derece azalacaktır. Çakışma sayısının azalması koordinasyon sorunlarının hızlı ve verimli bir şekilde çözülmesine yardımcı olur (Lee G. K., 2014).

Lee ve arkadaşları, Amerika’da bulunan ilaç binası vaka çalışması için paralel ve sıralı tasarım koordinasyonu yaklaşımları arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Paralel tasarım koordinasyonu yaklaşımında, MEP hizmetleri de dahil olmak üzere tüm hizmetler 3D modeldeki hizmetlerini aynı anda güncelleyecek ve koordine edecektir. Paralel yaklaşımın aksine, sıralı yaklaşımda MEP koordinasyon görevleri önceliklendirilir ve gerçekleştirilir (Lee G. K., 2014).

3.4.2.3 DEMA Ağı Kavramı

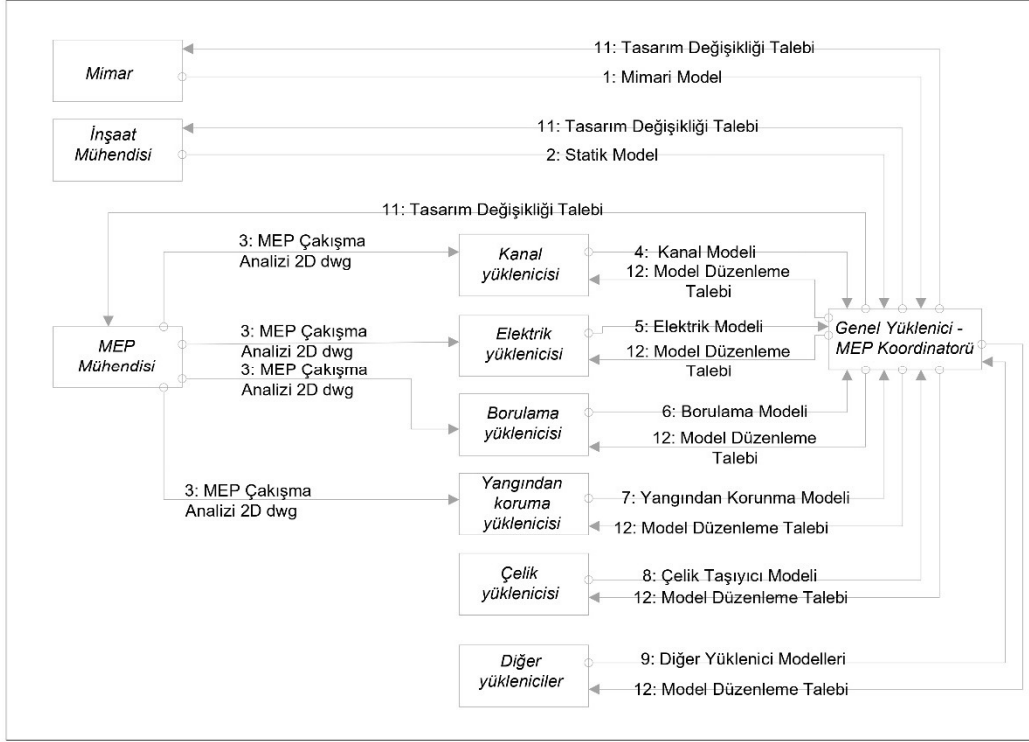
Yonsei Üniversitesi Bina Bilişim Grubu tarafından geliştirilen Veri Değişim Matrisi Analizi (DEMA), BIM projelerinde veri paylaşımı ve akışını analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz, proje katılımcıları arasındaki bilgi paylaşımını daha detaylı bir şekilde incelemeyi amaçlar ve temelinde ağ analizi teorisine dayanır (Lee G. K., 2014).

DEMA analizi, BIM projelerinde veri paylaşım seviyesini ve bu verilerin yeniden kullanılabilirliğini artırarak daha etkin bir proje yönetimine katkıda bulunur. Bilgi alışverişinin optimize edilmesi, proje sürecinde meydana gelebilecek hata risklerini azaltır ve sürdürülebilir proje yönetimini destekler (Ahmad, 2024).

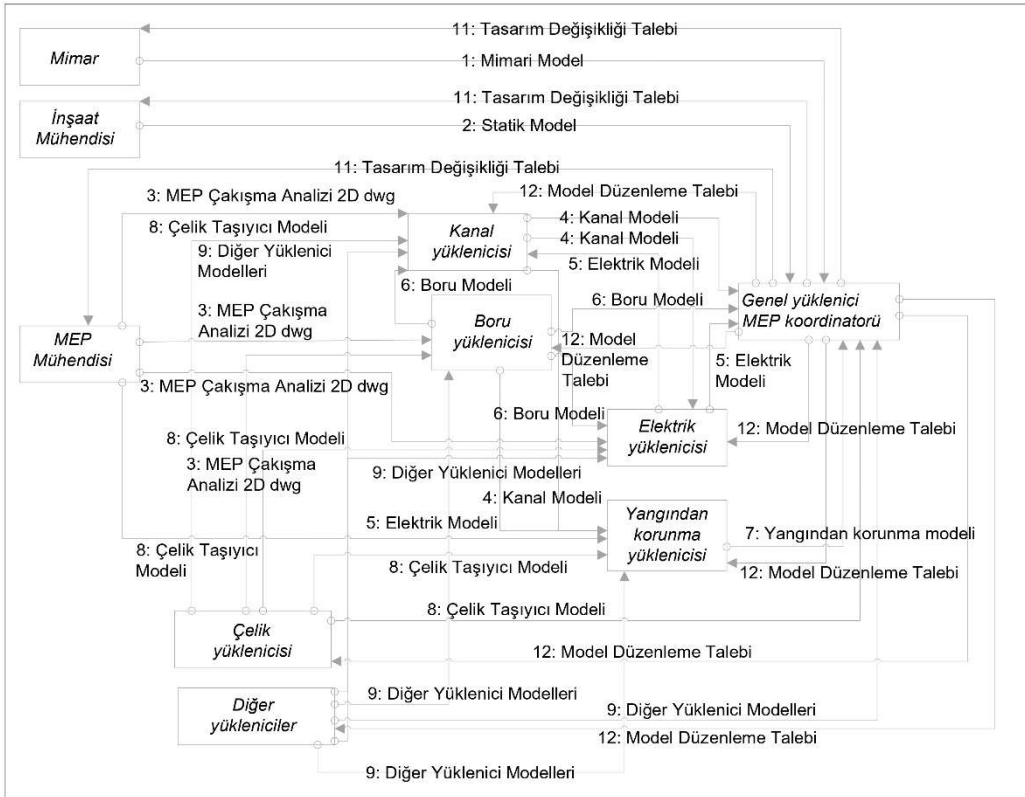
DEMA ağı, yönlendirilmiş bir grafik olarak tasarlanmıştır. Bu grafikte her bir aktör veya yazılım uygulaması bir düğüm olarak temsil edilir ve her çizgi bilgi akışını simgeler. Çizgiler, tek yönlü veya çift yönlü veri alışverişini temsil edebilir ve çizginin ağırlığı, değiş tokuş edilen bilginin yeniden kullanılabilirliğini gösterir. Yeniden kullanılabilirlik, verinin yeniden girmeden veya yeniden oluşturmada kullanılma olasılığı olarak tanımlanır ve bu değer arttıkça, bilginin değeri de artar. DEMA'nın ayrıca bilgi alışverişinin seviyelerini tanımlamak için farklı göstergeleri vardır. Örneğin, sıfır veri alışverişi olmadığını, bir sözlü iletişimi, iki kâğıt tabanlı veri alışverişini, üç 3B olmayan elektronik veri alışverişini (örneğin, elektronik çizimler ve excel dosyaları), ve dört ise 3D model tabanlı elektronik veri alışverişini temsil eder (Lee G. K., 2014).

DEMA, iki aktör arasındaki veri alışverişinin seviyesini, değiş tokuş edilen bilginin yeniden kullanılabilirliğini toplayarak hesaplar. Bu hesaplama, bilgi kaynağını hedeften ayırarak yapılır ve daha büyük bir sayı, değiş tokuş edilen verilerin daha yüksek bir yeniden kullanılabilirliğini gösterir. Bu yaklaşım, BIM projelerinde veri akışını ve paylaşımını daha etkin bir şekilde yönetmek, çakışmaları önlemek ve proje süreçlerinin daha verimli olmasını sağlamak için kullanılır. Bu sayede, projenin tüm aşamalarında bilgi akışının optimize edilmesi ve projenin başarılı bir şekilde tamamlanması hedeflenir (Lee G. K., 2014).

Şekil 3.7 ve 3.8'de sırasıyla sıralı ve paralel koordinasyon süreçlerini gösteren DEMA ağları, veri alışverişi seviyelerinin ve aktörler arasındaki iş birliğinin nasıl şekillendiğini detaylı bir şekilde sunmaktadır. Şekil 3.8, MEP koordinasyonunda süreçlerin sıralı olarak ilerlediği durumları temsil ederken; Şekil 3.9, daha karmaşık ve eş zamanlı bir veri alışverişini gösteren paralel koordinasyon modelini betimlemektedir. Bu modeller, DEMA'nın ayrıca bilgi alışverişinin seviyelerini tanımlamak için farklı göstergelere sahip olduğunu vurgular.



Şekil 3.7 Sıralı basamaklı koordinasyon sürecinin DEMA ağı (Lee G. K., 2014)

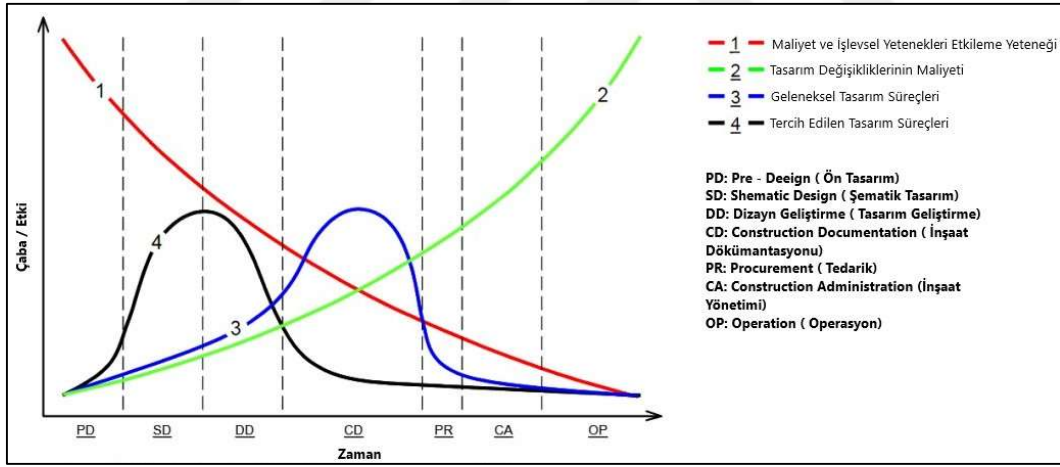


Şekil 3.8 Paralel koordinasyon sürecinin DEMA ağı (Lee J. Y., 2020)

3.5 BIM İş Akış Şeması

MEP tasarım süreçleri için iş akış şemaları oluştururken, BIM'e ilk geçişte kullanılan Şekil 3.9'da gösterilen MacLeamy diyagramı önemli bir referans kaynağıdır. 2004 yılında ortaya konan MacLeamy eğrisi, proje aşamalarında alınan kararların zamanlaması ile proje maliyetlerine olan etkisini açıklayan grafiksel bir modeldir. Bu eğri, proje geliştirme sürecinin erken aşamalarında yapılan tasarım değişikliklerinin daha düşük maliyetli ve daha etkili olduğunu, geç aşamalarda ise daha yüksek maliyet ve çaba gerektirdiğini göstermektedir (Nguyen, 2022).

BIM'in erken proje aşamalarında uygulanmasının, tasarım optimizasyonu ve çakışmaların azaltılmasında önemli bir rol oynadığı görülmektedir. MacLeamy eğrisi, erken aşamada daha fazla çaba harcayarak projenin ilerleyen süreçlerinde maliyet ve zaman tasarrufu sağlamayı teşvik etmektedir. Özellikle BIM tabanlı veri entegrasyonu, tasarım kararlarının daha etkin yönetilmesini ve yapı bilgi modellerinin sahadaki uyumunu artırmaktadır (Nguyen, 2022).



Şekil 3.9 Mac Leamy eğrisi (MacLeamy, 2004)

MacLeamy eğrisine göre, tasarım sürecinin başlangıcında BIM kullanımı, geleneksel CAD iş akışına kıyasla başlangıçta daha fazla efor gerektirse de inşaat aşamasında daha az çaba harcanmasını ve daha organize bir iş akışı sağlanmasını mümkün kılmaktadır.

BIM kullanımına yönelik direnç zamanla azalmış ve kabul görmeye başlamıştır. Benzer şekilde, MEP tasarım süreçlerinin ön tasarım aşamasında çözülmesi, bu

aşamada daha fazla efor gerektirse de satın alma ve inşaat süreçlerinde çakışmaların azalmasını ve tadilat ihtiyacının minimuma inmesini sağlayacaktır (Nguyen, 2022).

3.5.1 BIM iş Akış Modelinin Analizi

MEP hizmetlerinin Yapı Bilgi Modellemesi içinde uyumlu bir şekilde entegre edilmesi, diğer alanlara göre teknik açıdan daha zorlayıcı bir süreçtir. Özellikle, bu hizmetlerin boru ve kanallarının, proje ihtiyaçlarına uygun şekilde sınırlı tavan boşlukları içerisinde yerleştirilmesi gerekmektedir. Proje sürecinin yarısından fazlasını alabilen bu koordinasyon çalışması, zaman açısından oldukça yüksek bir yatırımı gerektirir. Ayrıca, MEP sistemlerinin yeniden işlenmesi ve maliyet aşımı riskleri, bu sistemlerin toplam bina maliyetine oranla daha yüksek maliyetlere yol açabilir. Bu durum, projenin genel maliyet ve zaman yönetimi açısından önemli zorluklar yaratır (Teo, 2022).

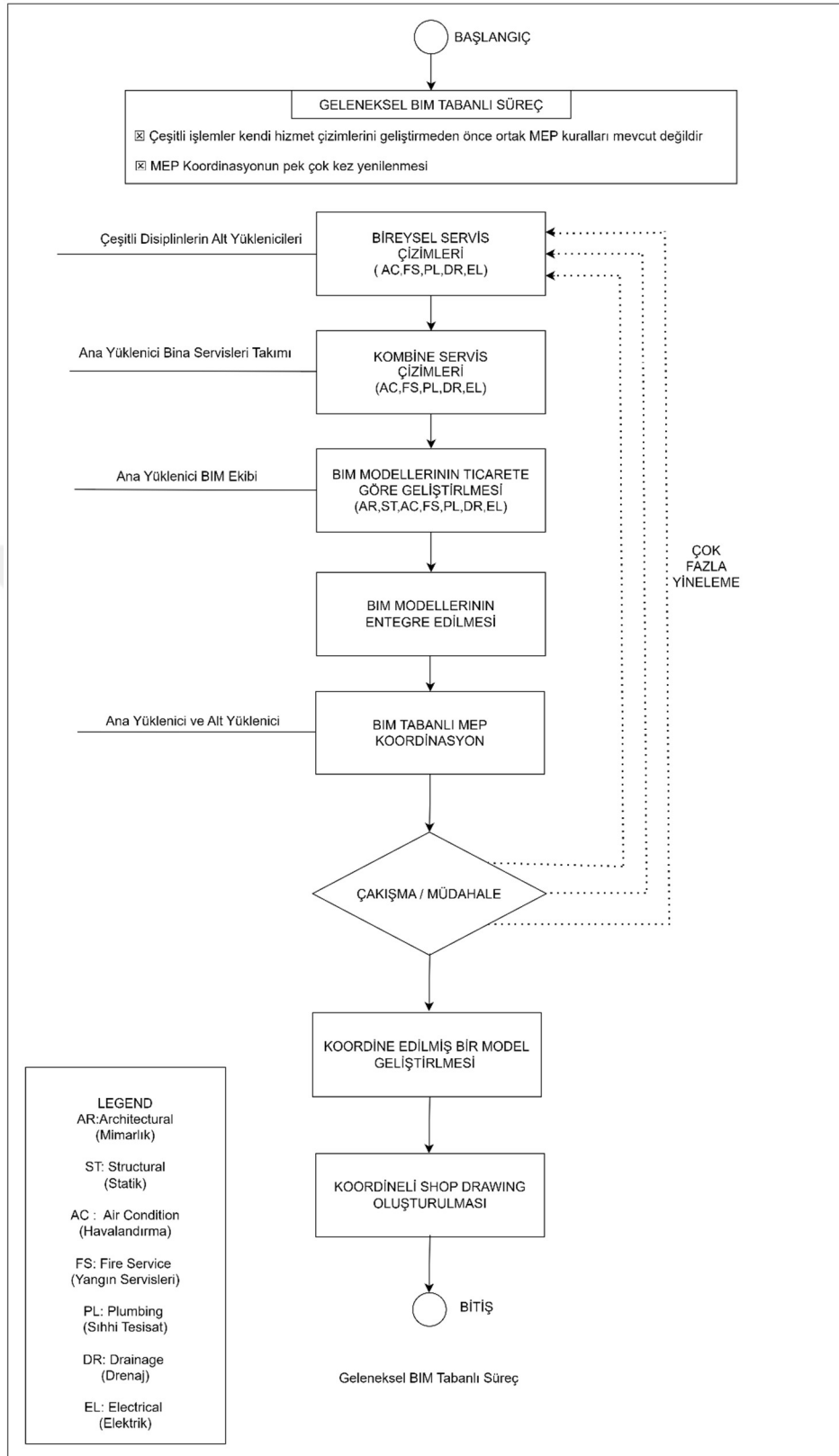
BIM iş akış şemalarının analiz edilmesi ve MEP iş akış şemalarının detaylı olarak incelenmesi, BIM tabanlı tasarım süreçlerinin daha verimli ve koordineli bir şekilde yürütülmesi için kritik bir adımdır. Tasarım süreçlerinin parçalarına ayrılarak değerlendirilmesi, her bir disiplinin proje üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Özellikle MEP tasarım süreçleri klasik iş akış modellerinde mimari, statik ve mekanik disiplinlerin sıralı ilerleyişine dayansa da bu yaklaşım paralel BIM koordinasyon süreçleriyle daha bütüncül bir yapıya dönüştürülmelidir. Disiplinler arası bilgi akışının senkronize edilmesi, mekanik sistemlerin tasarım aşamasının mimari ve statik bileşenlerden ayrı ele alınmasının çakışmalara ve maliyet artışlarına neden olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, BIM tabanlı iş akışlarında erken müdahale ve disiplinler arası veri paylaşımının önemi vurgulanmaktadır (Teo, 2022).

BIM tabanlı iş akışlarının analiz edilmesinin ve MEP iş akış şemalarının detaylı bir şekilde incelenmesinin, inşaat projelerindeki tasarım çakışmalarını azaltmada kritik bir rol oynadığı belirtilmiştir. Özellikle paralel BIM koordinasyonu ile tasarım süreçlerinin entegre bir şekilde yürütülmesi, geleneksel sıralı tasarım yaklaşımlarına göre çakışma risklerini azaltmakta ve proje verimliliğini artırmaktadır. MEP koordinasyonunun erken aşamalarda ele alınması hem tasarım hem de saha uygulamaları açısından daha az revizyon ve maliyet aşımına yol açmaktadır. Ayrıca, BIM tabanlı iş akışlarının detaylı analiz edilmesi ve her

disiplinin aynı anda dahil olduğu federatif BIM modellerinin kullanımı, veri paylaşımını optimize ederek tasarım uyumluluğunu artırmaktadır (Parn, 2018).

3.5.2 BIM İş Akış Şemasının Pratik Uygulamaları

BIM tabanlı iş akışlarının incelenmesi, geleneksel süreçlerde MEP tasarımının genellikle diğer disiplinlerden sonra projeye dahil edildiğini göstermektedir. Bu durum, özellikle erken tasarım aşamasında, projede çakışmalara ve revizyonlara neden olabilmektedir. Şekil 3.10'da, geleneksel BIM tabanlı süreçlerde MEP koordinasyonunun iş akışını açıklamakta ve süreç boyunca yaşanan tekrarları ve müdahaleleri ortaya koymaktadır. Bu şemada, farklı disiplinlerin bağımsız olarak hazırladığı bireysel çizimlerden başlayarak, kombine servis çizimlerine ve sonrasında koordineli bir modele doğru ilerleyen süreç adımları detaylandırılmıştır. Ancak bu geleneksel yaklaşımda, disiplinler arası entegrasyon eksikliği nedeniyle sık sık çakışmalar yaşanmakta ve iş akışında çok sayıda yineleme gerekmektedir. Bu bağlamda, mimari, statik ve MEP disiplinlerinin arka arkaya sıralandığı klasik proje kurgusunun doğruluğu sorgulanmalıdır. Örneğin, kat yüksekliği, giriş derinlikleri gibi tasarım kararları verilirken, MEP elemanlarının (örneğin, mekanik kanallar, elektrik kablo tavaları, busbar ve borular) geçiş yollarının tasarım aşamasında dikkate alınması gereklidir. Şekil, bu süreçlerde karşılaşılan zorlukları ortaya koyarak, daha etkin ve entegre bir iş akışına duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.



Şekil 3.10 Geleneksel BIM tabanlı süreç (Lu, 2019)

Bu bağlamda, geleneksel süreçlerin zorluklarını aşmak ve tasarım aşamasında çakışma tespiti ile koordinasyonu artırmak için otomasyona dayalı kural tabanlı

kontrol sistemlerinin önemi artmaktadır. Planlama ve tasarım aşamalarında güvenlik ve koordinasyon için BIM teknolojisinin kullanımı, yalnızca çakışmaları tespit etmekle kalmayıp aynı zamanda farklı disiplinler arasındaki iş birliğini geliştiren simülasyon ve analiz olanakları sunmaktadır. Bu tür sistemler, tasarım aşamasında olası çakışma ve güvenlik risklerini tespit ederek, daha erken müdahale edilmesine olanak tanımakta ve proje süreçlerini optimize etmektedir (Zhang, 2011).

BIM uygulaması tüm tarafların sorumluluk kapsamını değiştirmeyecek olsa da sorumluluklarının zaman kapsamını değiştirecektir. Geleneksel inşaat modunda, yükleniciler ve malzeme tedarikçileri, tasarımcı tasarımı tamamlayana kadar iş belgelerini hazırlamaya başlar, tasarım temelde tamamlanırken, yükleniciler ve malzeme tedarikçileri tarafından sağlanan malzemelerin tasarımının tasarımcılara çok az yardımı ve etkisi vardır. Ancak entegre BIM tabanlı çalışma ortamında, yükleniciler tasarım aşamasında bir model hazırlayacak ve sağlanan bilgiler tasarımcılar tarafından referans alınabilecek, bu da inşaat için kullanılacak tasarım seviyesini büyük ölçüde artıracaktır. Örneğin, mimarlar tasarım sürecinde ekipman mühendisinin sağladığı plenum derinliği değerine ihtiyaç duyar. Cihaz alt yüklenicisinin hazırladığı MEP modelinde kullanılan plenum derinliği, elektrik mühendisinin öngördüğünden daha küçükse, mimarlar tasarımı bu yeni değerlere göre revize edebilir. Ancak, cihaz yüklenicileri tarafından sağlanan veriler yanlışsa, plenum boşluğunun derinliği yeterli değilse, mimar da cihaz mühendisleri tarafından sağlanan verilere dayanarak tasarımı değiştirmelidir. Öyleyse, cihaz yüklenicisi artık tasarımın sorumluluğundan kaçamaz ve tasarım hatası için sorumluluk alması gereklidir (Guangbin, 2011).

İnşa edilebilir tasarım için yüklenicilerin bilgisine güvenmek rutin bir durumdur; ancak tasarım aşamasında erken çözülmezse potansiyel anlaşmazlıklara davetiye çıkarır. Tüm bu eksiklikler kümülatif olarak bina inşaat projelerinde tasarım evriminin büyümesini kısıtlamaktadır. Kaynak kaybına neden olmakta, yeniden çalışmaya yol açmakta ve fazladan zaman tüketerek şantiyede çalışanların verimliliğinin her geçen gün daha da düşmesine neden olmaktadır.

MEP yüklenicileri ve mimarlar, zemin alanlarının uygunluğunu dikkate alarak tasarımlarını erken aşamalarda finalize edebilir, ayarlayabilir ve koordinasyon sağlayabilir. MEP sistemleri ve HVAC üniteleri genellikle büyük boyutlarda olup

sık bakım gerektirir. Bu nedenle, yerleşimlerinin kolay erişim sağlarken yapı bütünlüğünü koruyacak şekilde planlanması son derece önemlidir. Tasarım sürecinin başlarında MEP düzenlemelerine yer verilmesi, mimarlara, yapı mühendislerine ve MEP profesyonellerine tasarımlarını etkili bir şekilde uyumlu hale getirme ve maliyetli revizyonları önleme fırsatı sunar (Hassanain, 2018).

Sıkışık bir alanda çok sayıda bileşenin kurulumu anlaşılması zor bir konfigürasyondur ve genel giderler, ekipman hasarı vb. gibi sayısız engelle neden olur. Kurulum maliyetlerini azaltmak için; genel yükleniciler genellikle inşaat aşamasında mekânsal düzenlemeleri karşılamak için değişiklikler yapmaktadırlar (Siliconlic, 2018).

Tasarım hatalarına ilişkin yüklenicinin sorumluluk düzeyi konusunda Guangbin (2011), Florida Mahkemesi tarafından alınan bir karara vurgu yapmaktadır. Bu kararda, tasarımın yüklenicilerin önerileri nedeniyle yerel yönetmeliklerle çelişiyor gibi görünmesine rağmen, nihai sorumluluğun yine de tasarımcılara ait olduğu hükme bağlanmıştır. BIM'in uygulanması durumunda, yüklenicinin tasarımdan sorumlu olup olmayacağı, taraflar arasındaki görev ve sorumluluk paylaşımı, model içeriğinin gereklilikleri ve model bilgilerinin paylaşımı sırasında üstlenilen yükümlülüklerle dair yapılan anlaşmalara bağlıdır. BIM uygulamasının yeni yasal sorunlar yaratmadığı; mevcut yasal ilkelerin dijital ortama uyarlanması ve bu ilkelerin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmalıdır. Ayrıca, yüklenicilerin tasarım aşamasında modeli paylaşmaya hazır olmalarının getirdiği faydalar, olası sakıncalardan çok daha fazladır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da entegre uygulamalar ortamında hem BIM modelinin işletilmesi hem de iki boyutlu bilgilerin kaydedilmesi için dokümantasyonun gerekli olmasıdır. Ekip iş birliği esas olarak modele dayanır, ancak sözleşme ve iş beyanının çoğu hala çoğunlukla iki boyutlu belgelerle ifade edilecektir. Tüm taraflar, özellikle inşaat aşamasında, modelin süreç değişikliklerinin iki boyutlu belgeye kaydedilmesini sağlamalıdır. Çünkü sorunu çözmek için modeli kullanırken, dikkat edilmezse, bu değişiklikleri kaydetmek için varyasyon emrini veya başka bir belgeyi kullanmayı ihmal etmek daha uygun olacaktır. Böyle bir durumdan kaçınılmalı, modelin kullanımına ilişkin anlaşmada modeldeki değişikliklerin ilgili bir kaydı olması gerektiği belirtilmelidir (Guangbin, 2011).

“Process Model for BIM-based MEP Design” makalesinde bir ısı pompası üzerinden MEP tasarımının erken tasarım aşamasına dahil edilmesi için iş akış diyagramı sunulmaktadır. Ana hatlarıyla kavramsal tasarım aşamasının başında, mimari model ve gereksinimler müşterinin ve tesis yöneticilerinin talepleri HVAC mühendisi tarafından analiz edilir. Bu gereksinimlere göre ve bir ön ısı ve soğutma yükü hesaplaması ile ısıtma sisteminin temel çalışma koşulları belirlenir ve ısı pompası sisteminin gerekli ısı çıkışı, elektrik tüketimi, enerji tüketimi gibi ana parametreleri belirlenir. Ön tasarım aşamasında, ısı pompası sisteminin tasarımı ve yerleşimi rafine edilerek tamamlanır. İhale ve müzakere sürecine yönelik dokümanlar hazırlanır. Burada bahsedildiği şekilde bir ısı pompasının tasarımında tüm alanlardan mühendisler tasarım sürecine mümkün olduğunca erken entegre edilmektedir. Mimar ısı pompasına ait teknik konseptini ve ısı pompası sistemiyle ilgili gereksinimleri alır (Parti, 2019).

BIM tabanlı iş akışlarının daha etkili hale getirilmesi, tasarım süreçlerinin yanı sıra maliyet tahmini ve zaman planlaması gibi inşaat yönetimi bileşenlerini entegre etmeyi gerektirir. Bu entegrasyon, tasarım sürecinde çakışmaların ve gereksiz tekrarların azaltılmasına, erken aşamalarda müdahaleye olanak sağlayarak süreç verimliliğinin artırılmasına yardımcı olur. Üç boyutlu ürün modellerinin inşaat yöntemleri ve süreç bilgileriyle birleştirilmesi, daha koordineli ve optimize edilmiş bir iş akışı sağlar. Böyle bir yaklaşımla, tasarım ve inşaat süreçlerinde maliyet ve zaman unsurları entegre edilerek, hangi yapı elemanlarının hangi girdilere ihtiyaç duyduğunun belirlenmesi kolaylaşır. Bu durum, disiplinler arası koordinasyonu artırırken, manuel müdahaleyi en aza indirir ve planlama aşamasında daha iyi kararlar alınmasını sağlar. Ayrıca, yüklenicilerin ve diğer paydaşların erken aşamalarda sürece dahil edilmesi hem iş birliğini güçlendirmekte hem de olası yasal ve operasyonel sorumlulukların yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu yöntem, mevcut süreçlerin daha verimli hale gelmesi için bütünlük bir yaklaşım sunar (Liu, 2014).

SAHA GÖRÜŞMELERİ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, BIM kullanılan projelerde görev alan ve 10 yıl ve üzeri deneyime sahip 15 BIM profesyoneli ile mülakat gerçekleştirilmiştir. Mülakatlar yüz yüze yapılmış olup, ortalama 45 dakika sürmüştür. Görüşmelerden önce, katılımcılardan yazılı onay alınarak "Görüşme Onam Formu" imzalatılmıştır. Mülakatların değerlendirilmesi amacıyla, katılımcıların onayı doğrultusunda ses kayıtları alınmıştır. Tüm görüşmeler, bireysel olarak ve uygun bir toplantı odasında gerçekleştirilmiştir. Mülakatlar, önceden belirlenmiş sorular çerçevesinde, soru-cevap formatında yapılmış ve belirlenen soruların dışına çıkılmamıştır. Elde edilen veriler analiz edilerek her bir soru başlığına yönelik detaylı açıklamalar sunulmuştur.

- 1- Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkileri nelerdir ve bu etkiler nasıl ölçülebilir?
- 2- BIM kullanımı, MEP tasarımının erken aşamalarda entegrasyonunu nasıl kolaylaştırır ve bu entegrasyon proje kalitesine nasıl katkıda bulunur?
- 3- MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının zaman yönetimi üzerindeki etkileri nelerdir ve bu etkileri azaltmak için hangi stratejiler uygulanabilir?
- 4- Projede farklı disiplinler arasındaki koordinasyon ve iletişimde karşılaşılan en büyük zorluklar nelerdir ve BIM bu zorlukların üstesinden gelmekte nasıl bir rol oynar?
- 5- Erken tasarım aşamasında MEP tasarımında LOD kavramının kullanımının önemi nedir ve bu yaklaşım MEP tasarım sürecini ve sonuçlarını nasıl etkiler?
- 6- Erken tasarım aşamasında MEP entegrasyonunun proje sonuçlarına etkisi nasıl izlenir ve değerlendirilir?
- 7- BIM kullanan inşaat projelerinde MEP süreçlerinin erken entegrasyonunun karşılaştığı en büyük engeller nelerdir ve bu engeller nasıl aşılabılır?

- 8- Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanması, projenin ilerleyen aşamalarında karşılaşılabilecek hangi potansiyel sorunları önleyebilir?
- 9- Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanması ve BIM kullanımı, inşaat sözleşmelerinde nasıl ele alınmalı ve bu yaklaşım proje süreçlerini nasıl etkiler?
- 10- Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin entegrasyonu, proje yöneticileri ve mimarlar için hangi avantajları ve zorlukları beraberinde getirir?

Mülakata katılan BIM Profesyonellerinin tecrübe ve BIM projelerindeki rolleri Tablo 4.1’de belirtilmiştir.

Tablo 4.1 Mülakat katılımcılarının meslekleri ve deneyimi

Projedeki Görevi	Deneyim
BIM Koordinatörü	10 yıl ve üzeri
BIM Koordinatörü	10 yıl ve üzeri
BIM Yöneticisi	15 yıl ve üzeri
BIM Yöneticisi	15 yıl ve üzeri
BIM Yöneticisi	15 yıl ve üzeri
BIM Yöneticisi	15 yıl ve üzeri
BIM Yöneticisi	15 yıl ve üzeri
Elektrik Mühendisi	10 yıl ve üzeri
İnce İşler Şefi	15 yıl ve üzeri
Makine Mühendisi	15 yıl ve üzeri
Mekanik Teknik Ressam	10 yıl ve üzeri
Mekanik Teknik Ressam	15 yıl ve üzeri
Mimar	15 yıl ve üzeri
Mimari Teknik Ressam	15 yıl ve üzeri
Proje Yöneticisi	15 yıl ve üzeri

4.1 Mülakat Sonuçlarının İncelenmesi

Mülakatlardan edinilen bilgiler doğrultusunda aşağıdaki tespitler çıkarılmıştır.

4.1.1 Erken Tasarım Aşamasında MEP Süreçlerinin Proje Maliyetleri Üzerindeki Etkileri ve Bu Etkilerin Ölçülmesi

Katılımcılar, MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının, doğru ekipman yerleşimi, malzeme optimizasyonu ve çakışmaların önlenmesi gibi avantajlar sunduğunu ifade etmiştir. Erken entegrasyonun, özellikle büyük ölçekli projelerde, tasarım revizyonlarının azalmasına katkı sağladığı ve bu durumun işçilik maliyetlerini düşürürken malzeme israfını en aza indirdiği belirtilmiştir.

Erken tasarımın proje maliyetlerine etkilerinin ölçümünde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında Material Take-Off (MTO) raporları ve maliyet simülasyonları öne çıkmaktadır. BIM modellerinden elde edilen malzeme metrajları, projenin ihtiyaç duyduğu toplam malzeme miktarlarını kesinleştirerek bütçe planlamasında şeffaflık sağlar. Doğru ve eksiksiz bir BIM modeli, malzeme siparişlerinin zamanında ve doğru yapılmasını sağlayarak fazla malzeme siparişini ve gereksiz nakliye maliyetlerini azaltır.

Bazı katılımcılar, enerji analizleri ve yaşam döngüsü maliyet analizlerinin de maliyet ölçümünde kritik bir rol oynadığını vurgulamıştır. Ancak, detaylandırma seviyesinin (LOD) yanlış belirlenmesi veya satın alma süreçlerinin modelleme tamamlanmadan başlatılması durumunda ek maliyetlerin ortaya çıkabileceği ifade edilmiştir.

Örneğin, bir hastane projesinde erken aşamada detaylandırılan mekanik sistemler üzerinden kesin malzeme listeleri oluşturulmuş ve bu sayede beklenmedik maliyet artışları önlenmiştir.

Sonuç olarak, katılımcılar, MEP süreçlerinin maliyet etkilerinin doğru ölçülebilmesi için iş başında yapılan maliyet tahminleri ile nihai bütçe arasındaki farkların düzenli olarak analiz edilmesi ve ekipman sipariş tarihlerinin proje zaman çizelgesine uygunluğunun değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

4.1.2 BIM Kullanımının MEP Tasarımının Erken Entegrasyonuna Katkıları ve Proje Kalitesine Etkileri

Katılımcılar, BIM kullanımının disiplinler arası koordinasyonu güçlendirdiğini ve gerçek zamanlı güncellemeler ile üç boyutlu modelleme sayesinde tasarım süreçlerinde çakışma riskini minimize ettiğini belirtmiştir. Teknik alanların doğru tahmini ve şaftların planlamasının öngörülebilirliğini artırdığı ifade edilmiştir.

Özellikle çakışma tespiti özellikleri, havalandırma, tesisat ve elektrik sistemleri arasındaki uyumsuzlukların erken tespit edilmesini sağlayarak, tasarım revizyonlarını azaltmaktadır. Bu bağlamda BIM tabanlı projelerin iş akışını daha verimli hale getirdiği ve ekipler arası iletişimi güçlendirdiği vurgulanmıştır.

Katılımcılara göre BIM, veri bütünlüğü, koordinasyon kolaylığı ve görselleştirme imkânı gibi avantajlar sunarak MEP tasarımını daha etkin ve verimli hale getirmektedir. Tüm disiplinlerin aynı BIM modeli üzerinde çalışması, tasarım güncellemelerinin anlık olarak paylaşılmasını sağlamaktadır.

Revit ve Navisworks üzerinde oluşturulan MEP modelleri, teknik personelin ekipman yerleşimlerini ve bağlantılarını daha net görmesini sağlamaktadır. Parametrik modelleme yetenekleri sayesinde tasarım değişiklikleri tüm modele otomatik olarak yansımakta ve bu da erken entegrasyonun daha kontrollü gerçekleşmesine katkı sağlamaktadır. Örneğin, bir HVAC kanal çapının değiştirilmesi durumunda, bağlı boru ve menfezlerin otomatik güncellenmesi sağlanmaktadır.

Son olarak, BIM tabanlı MEP entegrasyonunun enerji modellemeleri yaparak bina performansını optimize ettiği belirtilmiştir. Bu kapsamda Green Building Studio ve IES VE yazılımları ile HVAC sistemlerinin enerji tüketimi simüle edilebilmekte, böylece tasarım kararlarının bina performansı üzerindeki etkileri daha etkin şekilde değerlendirilebilmektedir.

4.1.3 MEP Süreçlerinin Erken Tasarımda Tamamlanmasının Zaman Yönetimi Üzerindeki Etkileri ve Stratejiler

Katılımcılar, erken tamamlanan MEP süreçlerinin çakışma riskini azalttığını ve revizyon gereksinimlerini düşürdüğünü belirtmiştir. Bununla birlikte, fazla detaylandırılmış modellerin (yüksek LOD seviyeleri) erken aşamalarda zaman kaybına yol açabileceği ifade edilmiştir.

Zaman yönetimini iyileştirmek için önerilen stratejiler arasında, projenin LOD 200-300 seviyesinde başlaması, temel yerleşim ve alan paylaşımı için yeterli veri sağlayarak süreçlerin daha verimli yönetilmesini sağlar. Proje ilerledikçe LOD seviyesinin aşamalı olarak artırılması, detayların zamanında ve ihtiyaç doğrultusunda geliştirilmesine olanak tanır. Düzenli koordinasyon toplantıları, BIM koordinatörleri eşliğinde tüm disiplinlerin aynı model üzerinde güncel kalmasını ve uyumlu çalışmasını desteklerken, iş akışının adım adım modellenmesi ve disiplinler arası çakışmaların erken tespit edilmesi proje başarısını artırır. Bu noktada katılımcılar BIM koordinatörünün rolünün artırılması gerektiğini belirtmektedir. Bu yaklaşımlar hem proje takviminin verimli yönetilmesine olumlu katkı sunmaktadır. Satın alma sürecine uygun bir BIM modeli hazırlanarak zaman yönetimi optimize edilebilir.

Erken aşamada MEP devreye alındığında süreçler hızlanır, teknik alanlar ve shaftlar belirlenir. Mekanik odalar, shaft boşlukları ve tavan arası alanların erken kontrolü sağlanır. Bu durum doğru bir alan paylaşımı (Space Management) yapılmasına olanak sağlar. Büyük projelerde disiplinlerin bölgesel bazlı modellenmesi ve zaman çizelgesine göre tamamlanması önerilmektedir. Böylece, ilerleyen süreçlerde mimari revizyonlar ve zaman kaybı önlenir. Tüm disiplinlerin aynı hızda ilerlemesi gerekliliği belirtilmiştir. Bu sayede zaman uyumsuzluklarının önüne geçilebilir.

Katılımcılar, erken aşamada karar verilen MEP tasarım bileşenlerinin nihai ekipman seçimi yapılmadan tamamlanmasının, ilerleyen aşamalarda geri dönüşler gerektirebileceğini belirtmiştir.

Synchro Pro ve Navisworks Manage gibi yazılımlar ile gantt şemaları ve zaman çizelgeleri oluşturulabilir. MEP süreçleri, mimari ve yapısal süreçlerle eş zamanlı olarak modellenebilir. Kritik Yol Analizi (Critical Path Method - CPM) uygulanarak BIM modelleri ile entegre edilerek zamanlama riskleri azaltılabilir.

BIM tabanlı zaman yönetimi, projelerde erken çakışma tespiti, daha doğru takvim planlaması, maliyet kontrolü ve daha hızlı karar alma gibi önemli avantajlar sunmaktadır. Navisworks ve Solibri gibi yazılımlar, erken çakışma tespiti sağlayarak hata riskini azaltırken, 4D BIM simülasyonları iş programının görselleştirilmesiyle daha doğru takvim planlamasına olanak tanır. Aynı model üzerinde tüm disiplinlerin eş zamanlı çalışması, karar alma süreçlerini

hızlandırırken, daha az revizyon ihtiyacı sayesinde maliyet kontrolüne de katkı sağlar. Zaman yönetimindeki başarıyı ölçmek için ise 4D simülasyon raporları, gantt şemaları ve CPM analizleri, LOD karşılaştırma raporları ve saha ekiplerinden alınan proje geri bildirimleri gibi izleme yöntemleri kullanılmaktadır. BIM tabanlı zaman yönetimi, bu yaklaşımlar sayesinde projelerin daha verimli ve kontrollü bir şekilde ilerlemesine katkıda bulunur.

4.1.4 Farklı Disiplinler Arasında Koordinasyon ve BIM'in Rolü

Katılımcılar, farklı disiplinler arasında koordinasyon eksikliğinin, MEP süreçlerindeki en yaygın sorunlardan biri olduğunu belirtmiştir. Mimari, mekanik ve elektrik disiplinlerinin birbirinden bağımsız çalışmasının, çakışmalara ve saha revizyonlarına neden olduğu ifade edilmiştir. Özellikle kat yükseklikleri, teknik shaft alanlarının paylaşımı ve disiplinler arası çakışmalar en büyük zorluklar olarak öne çıkmaktadır.

BIM'in bu problemlerin çözümündeki rolü, merkezi bir veri tabanı üzerinden çakışma tespiti ve gerçek zamanlı veri paylaşımı sağlamasıdır. Merkezi bir veri tabanı sunarak bilgi akışını kolaylaştırır, çakışmaları ve iletişim sorunlarını azaltır. BIM araçları, bulut tabanlı çalışma ve eşzamanlı erişim olanakları ile koordinasyonu güçlendirir. Özellikle bulut tabanlı ortak veri ortamları (Common Data Environment- CDE) sayesinde ekiplerin güncel modellere erişimi kolaylaşmakta, revizyonlar hızlıca yönetilebilmektedir. Ayrıca, BIM platformlarının gelişmiş görselleştirme özellikleri, proje ekiplerinin daha anlaşılır ve net kararlar almasına olanak tanımaktadır.

Katılımcılar, disiplinler arası koordinasyonda karşılaşılan en büyük zorlukların bitmemiş mimari tasarımlar, çakışmalar ve belirsiz sorumluluk dağılımı olduğunu ifade etmiştir. Örneğin, mimari modelin güncellenmemesi veya MEP modellerinin farklı versiyonlarda çalışması, saha uygulamalarında ciddi çakışmalara neden olabilmektedir. Elektrik ve mekanik disiplinlerinin tavan boşluklarında aynı alanı kullanma gerekliliği gibi durumlarda iletişim eksikliği nedeniyle çakışmalar ortaya çıkmaktadır.

Birleştirilmiş modellerin (federated models) kullanımı, farklı disiplinlere ait BIM modellerinin tek bir ana modelde entegre edilmesini sağlayarak, saha uygulama

hatalarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu süreçte tüm disiplinlerin aynı veri seti üzerinde çalışması sağlanmaktadır.

Katılımcılar, disiplinler arası koordinasyonun güçlendirilmesine yönelik şu önerileri sunmuştur:

- BIM Standartlarının Entegrasyonu: ISO 19650, PAS 1192 ve BEP (BIM Execution Plan) gibi uluslararası standartların proje süreçlerine entegre edilmesi.
- Düzenli Koordinasyon Toplantıları: Erken aşamada çakışma analizlerinin yapılması ve düzenli koordinasyon toplantılarının gerçekleştirilmesi.
- Yazılım Kullanımı: BIM 360 ve Navisworks gibi yazılımların aktif kullanımı.
- Eğitim: Tüm paydaşların BIM süreçleri hakkında yeterli bilgiye sahip olması için eğitim ve sertifikasyon programlarına katılım sağlanması.

Bu önerilerin hayata geçirilmesi, proje süreçlerinin daha verimli yönetilmesine, saha revizyonlarının azaltılmasına ve dolayısıyla hem maliyet hem de zaman yönetiminde iyileşmelere katkı bulunacaktır.

4.1.5 LOD Kavramının Erken Tasarımda Kullanımı ve Önemi

Katılımcıların görüşlerine göre, erken tasarım aşamasında doğru LOD seviyesinin kullanılması, MEP süreçlerinin doğruluğu, verimliliği ve maliyet kontrolü açısından kritik öneme sahiptir.

Katılımcılar, LOD seviyesinin projeye özel olarak doğru belirlenmesinin önemini vurgulamış ve erken tasarım aşamasında LOD 200-300 seviyesinin yeterli olduğunu belirtmiştir. LOD 200 seviyesinde modelleme ile kararlar daha hızlı alınabileceği ve detaylandırma gerekliliği minimize edilerek süreç hızlandırılabileceği belirtilmiştir.

Erken tasarım aşamasında düşük bir LOD seviyesi ile modelleme yapılması ekipmanların kabaca yerleşim ve boyutlarını tanımlar. Şaft alanlarının, tavan boşluklarının ve mekanik odaların koordinasyonunu sağlar. Erken çakışma tespiti için yeterli veri sağlanmış olur. MEP süreçlerinde başlangıçta düşük LOD kullanılması, gereksiz detaylardan kaçınarak iş gücünü optimize eder ve süreç boyunca ihtiyaç duyulan detay seviyelerine aşamalı olarak geçiş yapılmasını sağlamaktadır.

Katılımcılar erken tasarım aşamasında LOD seviyesi yüksek tutulmasının erken aşamada revizyon maliyetlerine ve zaman kayıplarına neden olacağını belirtmektedirler. Ekipmanların marka ve model seçimleri henüz tamamlanmadığı için detaylı modeller tedarik sürecini zorlaştırabilir. LOD seviyesinin erken aşamada yükselmesi gereksiz bir iş yükü oluşturmaktadır.

Katılımcıların ifadesine göre LOD seviyeleriyle ilgili erken tasarım aşamasında karşılaşılan sorunlar aşağıda ifade edilmiştir.

- Erken aşamalarında LOD 400 ve üzeri detay kullanımı.
- Disiplinler arasında farklı LOD seviyelerinin kullanılması.
- LOD seviyelerinin yeterince açıklanmaması veya yanlış anlaşılması.

Katılımcıların LOD seviyelerinin yanlış kullanımının proje başarısını olumsuz etkileyeceğini belirtmiş. Aşağıda yer alan çözüm yollarını sunmuşlardır.

- ISO 19650 ve LOD Specifications 2019 gibi uluslararası standartların benimsenmesi.
- Projenin her aşaması için net LOD standartlarının belirlenmesi.
- BIM Yürütme Planı ile LOD seviyelerinin tüm disiplinlerde tutarlı olarak uygulanmasını sağlamak.

Sonuç olarak, erken tasarım aşamasında LOD seviyesinin doğru belirlenmesi, MEP süreçlerinin verimliliği, maliyet kontrolü ve proje koordinasyonu açısından kritik bir unsur olup, katılımcıların görüşleri doğrultusunda LOD 200-300 seviyesinin yeterli olduğu tespit edilmiştir. Erken tasarım aşamasında gereksiz detaylandırmadan kaçınmak, iş gücünü optimize ederken proje başarı oranını artırmaktadır. Katılımcılar, ISO 19650 ve LOD Specifications 2019 gibi uluslararası standartların benimsenmesi ve BIM Yürütme Planı'nın uygulanmasının, LOD seviyelerinin tutarlı ve etkili bir şekilde yönetilmesi için önemli çözüm yolları sunduğunu belirtmişlerdir.

4.1.6 MEP Entegrasyonunun Proje Sonuçlarına Etkilerinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi

Katılımcılar, MEP entegrasyonunun başarısının izlenmesi ve değerlendirilmesi için çeşitli metrikler önermiştir. Malzeme metrajları (Material Take-Off- MTO) ve enerji analizleri, model doğruluğunu ölçmek için temel araçlar olarak belirtilmiştir.

Ayrıca, proje tamamlandıktan sonra saha verilerinin BIM modeliyle karşılaştırılması, entegrasyon doğruluğunu değerlendiren kritik bir gösterge olarak vurgulanmıştır.

Katılımcılar MEP entegrasyonunun başarı ölçümünü şu faktörler üzerinden değerlendirilmektedir:

- İhale ve inşaat sonrası malzeme metrajları doğruluğun karşılaştırılması.
- Model bazlı enerji verimliliği değerlendirmeleri.
- BIM modeli üzerinde yapılan çakışma tespitleri.
- Test ve devreye alma (commissioning) süreçleri.

Katılımcılardan bazıları, Anahtar Performans Göstergeleri (KPI) ve modelleme metriklerinin entegrasyon başarısını ölçmek için kullanılabileceğini belirtmiştir. Özellikle düzenli çakışma tespitleri, üç boyutlu modeller üzerinden yapılan analizler ve disiplinler arası iş birliği, süreçlerin doğruluğunu artırmakta ve entegrasyon başarı oranını yükseltmektedir.

Ayrıca, satın alma listeleri ve maliyet analizleri, entegrasyonun somut göstergeleri olarak belirtilmiştir. Sahadaki sorunların minimal düzeyde olması da entegrasyonun başarısını gösteren önemli bir performans ölçütü olarak ifade edilmiştir.

4.1.7 BIM Kullanılan İnşaat Projelerinde MEP Süreçlerinin Erken Entegrasyonunun Karşılaştığı Engeller ve Çözüm Yolları

Katılımcılar MEP süreçlerinin erken entegrasyonu için engelleri şu şekilde açıklamaktadırlar: Bitmemiş mimari modeller, yetersiz koordinasyon, satın alma süreçlerindeki belirsizlikler ve eksik BIM eğitimi başlıca sorunlardır. Ayrıca, elektrik ve mekanik projelerde yapılan revizyonlar ciddi kayıplara neden olabilir.

Çözüm olarak MEP süreçlerinin mimari tasarım tamamlamadan başlatılmaması, BIM eğitiminin artırılması ve standartların uygulanması önerilmektedir. Ayrıca işverenin daha net bir sözleşme yönetim sürecini desteklemesi gerekmektedir.

Katılımcıların ifadelerine göre büyük engeller arasında insan faktöründen kaynaklanan direnç ve eğitim eksikliği yer alır. Bu engeller, eğitim programları ve kültürel değişim süreçleri ile aşılabılır.

Katılımcılar, MEP süreçlerinin erken entegrasyonunu engelleyen faktörleri şu şekilde sıralamıştır:

- Eksik veya yetersiz BIM bilgi birikimi ve eğitimi.
- Piyasada deneyimli / nitelikli profesyonellerin sınırlı sayıda olması.
- Süreç yönetimindeki eksiklikler.
- Yazılım ve teknolojik altyapı eksikliği.
- Erken aşamalarda işverenlerin net talepler sunmaması.

Katılımcılara göre, bu engellerin aşılması için önerilen çözüm yolları şunlardır:

- BIM eğitiminin yaygınlaştırılması ve standartların belirlenmesi.
- İş yükünün dengeli planlanması.
- Düzenli koordinasyon toplantıları ve entegre proje teslimi (IPD) yöntemlerinin benimsenmesi.
- Yazılım altyapısının güçlendirilmesi.
- İşverenlerin proje başlangıcında net talepler ve sözleşme şartları sunması.

BIM süreçlerinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için ekip üyelerinin bilgi ve farkındalık artırılması önemlidir. Bu kapsamda, Temel BIM Eğitimi, ekiplerin BIM yazılımlarını ve metodolojilerini anlamasını sağlar. Modelleme Simülasyonu ve Model Analizleri ile teknik beceriler geliştirilirken, Proje Yönetimi ve Uygulamaları BIM'in karar alma süreçlerindeki rolünü güçlendirir. Bunun yanı sıra, uzman eğitmenler tarafından sunulan Master Class'lar, sektördeki en iyi uygulamaları öğrenme fırsatı sunarak ekiplerin yetkinliklerini üst seviyeye taşır. Ayrıca, sektöre yönelik dijitalleşme ve sürdürülebilirlik hedefleriyle kurulan sivil toplum kuruluşları, eğitim ve farkındalık çalışmalarıyla sektör dönüşümünde kritik bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, MEP süreçlerinin erken entegrasyonunda karşılaşılan temel engellerin, yetersiz BIM eğitimi, bitmemiş mimari modeller, süreç yönetim eksiklikleri ve satın alma süreçlerindeki belirsizlikler olduğu tespit edilmiştir. Bu engellerin, BIM eğitiminin yaygınlaştırılması, standartların uygulanması, iş yükünün dengeli planlanması ve işverenin daha net talepler ve sözleşme şartları sunması gibi çözüm yolları ile aşılabileceği katılımcılar tarafından belirtilmiştir. Ayrıca, disiplinler arası iş birliğini artırmak amacıyla düzenli koordinasyon toplantıları ve entegre proje teslimi (IPD) gibi yöntemlerin benimsenmesi,

entegrasyon başarısını önemli ölçüde artıracaktır. Sonuç olarak, MEP süreçlerinin erken entegrasyonunda başarı, teknik yeterliliklerin yanı sıra, proje paydaşlarının iş birliği ve etkili yönetim süreçlerine dayanmaktadır.

4.1.8 MEP Süreçlerinin Tamamlanmasının Potansiyel Sorunları Önlemesi

Katılımcıların ifadelerine göre, MEP süreçlerinin doğru ve zamanında tamamlanması, çakışmalar, alan yetersizlikleri ve yanlış ekipman seçimleri gibi sorunların erken tasarım aşamasında yapılan detaylı çalışmalarla önlenmesini sağlar. Ayrıca, yaşam döngüsü maliyetleri üzerinde olumlu etkiler yaratarak uzun vadede sürdürülebilir ve verimli bir proje yönetimi sağlar. Çakışmaların önlenmesi, revizyonların azalması ve lojistik süreçlerin düzenlenmesi, bu sürecin temel avantajları arasında yer almaktadır.

Çakışmaların gözden kaçması, mekanik, elektrik ve tesisat sistemlerinin geç planlanması sonucu inşaat sırasında çakışmalara ve yeniden çalışmalara neden olabilir. Yetersiz alan planlaması, örneğin dar bir alanda büyük havalandırma kanallarının yerleştirilmesi gibi sorunlara yol açarak daha maliyetli çözüm yöntemleri gerektirebilir. Geç alınan kararlar, satın alma süreçlerinde aksamalara ve ekipman değişikliklerine sebep olabilir. Erken tespit edilmemiş tasarım hataları, proje ilerledikçe revizyonlardan kaynaklı zaman ve maliyet kayıplarına yol açabilir. Konforsuz yapılar ve estetik çözümlerde yetersizlikler yaşanabilir. İleri aşamalarda ortaya çıkabilecek yangın, havalandırma ve tesisat problemleri hem güvenlik hem de konfor açısından projeyi riske atabilir.

Bu tür sorunların önlenmesi için BIM tabanlı çakışma analizlerinin düzenli olarak yapılması, tasarım hatalarının inşaat başlamadan tespit edilmesine yardımcı olur. Erken aşamada ekipman yerleşimlerinin doğru planlanması, inşaat sırasında gereksiz maliyetlerin önlenmesini sağlar. Doğru ekipman yerleşimi, sistem verimliliğini artırır ve saha değişikliklerini minimize eder. Erken planlama, malzeme ve ekipman tedarikinde gecikmeleri önler ve satın alma ile lojistik süreçlerini daha verimli hale getirir.

Sonuç olarak, MEP süreçlerinin doğru yönetimi hem maliyet hem de zaman açısından projenin başarısına doğrudan katkı sağlamaktadır. Erken entegrasyon ve BIM tabanlı kontroller, bu potansiyel sorunların önlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

4.1.9 Erken Tasarım Aşamasında MEP Süreçlerinin Tamamlanması ve BIM Kullanılmasının İnşaat Sözleşmelerinde Nasıl Ele Alınması Gerektiği

Katılımcılar, BIM protokollerinin inşaat sözleşmelerine dahil edilmesinin zorunlu olduğunu vurgulamış ve ISO 19650, PAS 1192, BIM Execution Plan (BEP) ve EIR (Employer's Information Requirements) gibi standartların, BIM süreçlerinin nasıl yönetileceğini belirlediğini ifade etmiştir. Bir hastane projesinde, sözleşmeye dahil edilen BIM Yürütme Planı (BEP), tüm disiplinlerin haftalık BIM koordinasyon toplantılarına katılımını zorunlu kılarak disiplinler arası uyumu sağlamıştır. BIM modellerinin sahipliği, veri hakları ve güvenliği de sözleşmelerde netleştirilmelidir. Katılımcılar, BIM modeli sahipliği, erişim yetkileri, telif hakkı sorunları ve veri güvenliği konularının açık ve detaylı bir şekilde tanımlanmasının önemini vurgulamıştır. Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanması ve BIM kullanımının inşaat sözleşmelerine entegre edilmesi, maliyet kontrolü, zaman yönetimi ve çakışma tespiti gibi kritik proje süreçlerine önemli katkılar sağladığı ifade edilmiştir. Katılımcılar, BIM kullanımının sözleşmelerde detaylı olarak tanımlanmasının, sorumluluk dağılımını netleştirdiğini, hataları azalttığını ve proje verimliliğini artırdığını belirtmiştir. BIM protokollerinin, LOD seviyelerinin ve çakışma analiz prosedürlerinin sözleşmelere dahil edilmesi, daha kontrollü ve başarılı bir proje yönetimi için gereklidir.

4.1.10 Erken Tasarım Aşamasında MEP Süreçlerinin Entegrasyonunun Proje Yöneticileri ve Mimarlar İçin Avantajları ve Zorlukları

Katılımcıların ifadelerine göre, MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında entegre edilmesi, proje yöneticileri ve mimarlar açısından önemli avantajlar sağlamakta, ancak bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Erken entegrasyonun sağladığı en önemli avantajlar arasında, daha öngörülebilir maliyetler, artırılmış proje kalitesi ve disiplinler arası koordinasyonun iyileştirilmesi öne çıkmaktadır. Teknik alanların erken aşamada doğru planlanması, alan paylaşımlarının optimize edilmesine, süreçlerin hızlanmasına ve uygulama sırasında daha az revizyon ve gecikme yaşanmasına katkı sağlamaktadır. Katılımcılar, daha iyi planlama ve azalan çakışmalar sayesinde uzun vadede maliyet tasarrufu ve operasyonel verimliliğin artırılabilirliğini belirtmiştir.

Ancak, bu süreç bazı zorluklar da barındırmaktadır. Katılımcılar, erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin entegrasyonunun tasarım kararlarında esneklik kaybına ve iş yükünde artışa neden olabileceğini ifade etmiştir. Özellikle detaylandırma gerekliliklerinin artması, tasarım sürecinin uzamasına ve daha fazla kaynak kullanılmasına yol açabilmektedir. Ayrıca, disiplinler arası iletişimde yaşanabilecek kopukluklar ve koordinasyon zorlukları, sürecin yönetimini karmaşıktırmaktadır.

Avantajlar:

- **Daha Verimli Çalışma:** BIM tabanlı koordinasyon, proje yöneticileri ve mimarların güncel ve eksiksiz bilgilere zamanında erişmesini sağlayarak karar alma süreçlerini hızlandırır.
- **Azaltılmış Revizyonlar:** Erken entegrasyon, çakışmaların tasarım aşamasında tespit edilmesiyle revizyon ihtiyacını azaltır.
- **Hedef Odaklı Planlama:** MEP süreçlerinin başlangıçtan itibaren tasarımla entegre edilmesi, tüm disiplinlerin uyum içinde çalışmasını destekler.
- **Uzun Vadeli Maliyet Tasarrufu:** Erken aşamada yapılan doğru planlamalar, daha az revizyon ve daha kontrollü saha uygulamaları sayesinde maliyetlerin düşmesini sağlar.

Zorluklar:

- **Yoğun Koordinasyon İhtiyacı:** Tüm disiplinlerin senkronize çalışmasının sağlanması, proje yöneticileri için zaman alıcı ve detaylı bir süreç gerektirir.
- **Bilgi Akışında Kesintiler:** Disiplinler arası iletişimde yaşanabilecek eksiklikler veya güncel olmayan verilerle çalışılması, tasarım kararlarının doğruluğunu etkileyebilir.
- **Detaylandırma Gerekliliği:** Erken aşamada MEP süreçlerine dair yüksek detay seviyesinin (LOD) talep edilmesi, tasarım sürecini uzatabilir ve iş yükünü artırabilir.
- **BIM Deneyimi Eksikliği:** Katılımcılar, BIM konusunda yeterli deneyime sahip olmayan ekip üyelerinin koordinasyon sorunlarına ve veri tutarsızlıklarına neden olabileceğini belirtmiştir.

Sonuç olarak, erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin entegre edilmesi, daha verimli bir proje yönetimi ve yüksek kaliteli sonuçlar elde edilmesini sağlarken, etkin bir BIM eğitimi, detay seviyesinin dengeli belirlenmesi ve disiplinler arası iletişimin güçlendirilmesi gibi önlemler alınmadığında önemli zorluklar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, BIM protokollerinin ve koordinasyon süreçlerinin sözleşmelerde açıkça tanımlanması, bu zorlukların minimize edilmesinde kritik bir faktördür.



5

ANKET ÇALIŞMASI VE ANALİZ

Bu bölümde, 140 katılımcıyla gerçekleştirilen anket çalışmasının sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler analiz edilerek araştırma kapsamında ortaya konulan hipotezle olan ilişkisi incelenmiştir.

5.1 Yöntem

5.1.1 Araştırmanın Amacı, Önemi ve Örneklemi

Çalışma kesitsel anket çalışmasıdır ve çalışmanın evreni BIM kullanan şirketlerde çalışan BIM profesyonelleridir. Çalışma, ön tasarım aşamasında BIM kullanımının proje maliyetlerine ve süresine etkisini belirlemek amacıyla anket yöntemiyle veri toplamıştır. Anketler sosyal iletişim ağı (Whatsapp, LinkedIn) üzerinden BIM profesyonellerine ulaştırılmış ve katılımcılar anketleri çevrimiçi olarak tamamlamıştır.

Araştırmada olasılıksız örnekleme yöntemi kullanılmıştır; çünkü hedef kitlenin BIM süreçlerine aşina olan ve bu konuda bilgi verebilecek uzmanlardan oluşması amaçlanmıştır. Katılımcılar, BIM deneyimi, inşaat projelerindeki görevleri ve uzmanlık seviyeleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Anket çalışması için toplamda 600 BIM profesyoneline ulaşılmış, ancak yalnızca gönüllülük esasına dayalı olarak 140 sektör profesyoneli anketi tamamlamıştır.

Anket formu iki ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, katılımcıların mesleki profili ve BIM projelerindeki görevleri ele alınmıştır. İkinci bölümde ise BIM'in MEP süreçlerine entegrasyonu, maliyet ve zaman analizleri, iş akışları ve çakışma yönetimi ile ilgili sorulara yer verilmiştir. Toplam 26 sorudan oluşan anket aracılığıyla katılımcıların tecrübeleri, meslek grupları ve MEP süreçlerindeki etkinlikleri değerlendirilmiş, her bir anket sorusunun amacı ve sonuçları katılımcıların verdikleri bilgiler doğrultusunda analiz edilmiştir.

Anket katılımcıların mesleki dağılımları Tablo 5.1’de belirtilmiştir.

Tablo 5.1 Anket katılımcılarının mesleklere göre dağılımı

Meslek	Katılımcı Sayısı
Akademisyen	2
BIM Danışmanı	1
BIM Yöneticisi	3
Bilgisayar Mühendisi	1
Elektrik Mühendisi	6
Elektrik Teknik Ressamı	3
İç Mimar	2
İnşaat Mühendisi	16
İnşaat Teknik Ressam	2
Makine Mühendisi	13
Mekanik Teknik Ressam	8
MEP BIM Lideri	1
Mimar	79
Peyzaj Mimari	1
Satın Alma Yöneticisi	1
Şehir Bölge Planlayıcı	1

Anket katılımcılarının BIM Kullanılan Projelerdeki rolleri Tablo 5.2 belirtilmiştir.

Tablo 5.2 Anket katılımcılarının görevlerine göre dağılımı

Katılımcıların Projelerdeki Roller	Katılımcı Sayısı
3D Modelleme ve Koordinasyon Uzmanı	1
Alt Yapı Sistemleri Uygulaması	1
Betonarme Yapı Tasarım Grup Süpervizörü	1
BIM Ekip Lideri	1
BIM Koordinatörü	3
BIM Modelleme ve Koordinasyon Uzmanı	1
BIM Modelleme ve Proje Takip Uzmanı	1
BIM Planlama Uzmanı	1
BIM Projesi Sorumlulukları	11
BIM Uzmanı	1
BIM Yöneticiliği	4
Buhar Jeneratörü Uzmanı (Enerji Santrali)	1
Cephe Tasarımı	1
Danışmanlık	4
Detay Çizim ve Koordinasyon Uzmanı	1
Detay Tasarım Koordinatörü	1
Detay Tasarım ve Uygulama Projesi Mimarı	1

Tablo 5.2 Anket katılımcılarının görevlerine göre dağılımı (devamı)

Dijital Dönüşüm Lideri	1
Dijital/Kompütasyon Lideri	1
Kamu Projeleri	1
Elektrik Proje Çizimi	3
Elektrik Tasarım Mühendisi	1
Elektrik Tasarım Yöneticiliği	1
Elektrik Tasarımı	1
HVAC Mekanik Proje Çizimi	2
HVAC Mühendisi	1
İç Tasarım	1
İnşaat Modeli Koordinasyon	1
İnşaat Mühendisliği	2
İskân ve Yapı Ruhsatı Sorumlusu	1
İş Geliştirme	1
Kıdemli Tasarım Yöneticisi	1
Konsept Tasarım ve İnşaat Proje Yöneticisi	1
Kontrolör ve Satın Alma Mimarı	1
Malzeme Talep Sorumlusu	1
Mekanik Hizmetler Tasarım Yöneticisi	1
Mekanik Proje Çizimi	4
Mekanik Şirket Sahibi	1
Mekanik Tasarım Mühendisi	2
Mekanik Tasarım Mühendisi (Isıtma, Soğutma ve Havalandırma)	1
Mekanik Tasarım ve Çizim Mühendisliği	1
Mekanik Tesisat Proje	1
MEP Koordinasyon	3
Mimari Danışman	1
Mimari Detay Tasarımı	1
Mimari Grup Yöneticisi	1
Mimari Süpervizör ve Proje Lideri	1
Mimari Tasarım ve Detay Çalışması	2
Mimari, MEP ve Yapısal Koordinasyon Sorumlusu ve Proje Yöneticisi	1
Mimarlık	25
Ön Tasarım ve Erken Aşama BIM Yöneticisi	1
Peyzaj Tasarımı	1
Planlama Müdürü	1
Proje Kontrol ve Yönetim Sistemleri Mühendisliği	1
Proje Koordinatörü	1
Proje Koordinasyon Yöneticisi	1
Proje Mühendisliği	2
Proje Yöneticisi	7

Tablo 5.2 Anket katılımcılarının görevlerine göre dağılımı (devamı)

Satın Alma Müdürü	1
Satın Alma Yöneticisi	1
Sözleşme Yöneticisi	1
Tasarım Grup Şefi	1
Tasarım Koordinasyon Mimarı	1
Tasarım Koordinatörü	1
Tasarım Mimarlığı	1
Tasarım Süpervizörü	2
Tasarım Teknikeri	1
Tasarım ve Görselleştirme	1
Tasarım Yöneticisi	2
Tasarım, Dokümantasyon ve Veri Uzmanı	1
Tasarımcı	1
Teknik Ofis Müdürü	1
Uygulama Projesi Çizimi	1
Uygulama Projesi Liderliği	1
Yapısal Proje Koordinatörü	1
Yazılım Geliştirme	1
Yazılım Desteği	1
Yöneticilik	1

5.1.2 Ölçüm Aracı

Araştırmanın amacı doğrultusunda kullanıcılara uygulanan anket iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda kişilerin kişisel bilgileri ile BIM projelerine ilişkin düşüncelerine, ikinci kısımda araştırmanın amacı doğrultusunda geliştirilen erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğine yer verilmiştir.

Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeği 13 maddeden oluşan 5’li likert tipi bir ölçektir. Ölçeğe ilişkin ölçek maddeleri Tablo 5.3’te verilmiştir. Ölçek maddelerinden alınan yanıtlar 1’den 5’e derecelendirilmiş, 1: Çok Olumsuz Görüş, 5: Çok Olumlu görüş olacak şekilde değerlendirilmiştir.

Tablo 5.3 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeği maddeleri

Erken Tasarım Aşamasında MEP Koordinasyonu Ölçeği
1. BIM entegrasyonunda zorluk yaşadınız mı?
2. MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) projelerinizde BIM (Bina Bilgi Modellemesi) teknolojinin etkinliğini nasıl değerlendiriyorsunuz?

Tablo 5.3 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeği maddeleri
(devamı)

3. MEP (Mekanik, Elektrik ve Tesisat) süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkisi önemli midir?
4. BIM (Bina Bilgi Modellemesi) kullanılan projelerde, ön tasarım aşamasında MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) ilişkilerinin geç kurulması projenin üzerinde olumsuz etkilere yol açar mı?
5. LOD (Detay Seviyesi) ve LOI (Bilgi Seviyesi) kavramlarının, bilgi akışını yönetmek ve projenin çeşitli aşamalarında koordinasyonu sağlamak için önemli olduğunu düşünüyor musunuz?
6. MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) sürecindeki değişen LOD (Detay Seviyesi) ve LOI (Bilgi Seviyesi) seviyeleri hakkında bilgi sahibi olduğunuzu düşünüyor musunuz?
7. MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerinde belirli bir etkisi olduğunu düşünüyor musunuz?
8. BIM modelinin MEP tasarım ve işletme süreçlerine uygulanmasının faydalarını nasıl değerlendirirsiniz?
9. BIM'in MEP koordinasyon süreçlerinde maliyet etkinliği sağladığını düşünüyor musunuz?
10. Sizce BIM Yöneticisinin, projenin BIM Uygulama Planını (BEP) detaylandırma ve koordine etme konusundaki rolü, inşaat projelerinin başarısı için ne ölçüde önemlidir?
11. MEP (Mekanik, Elektrik ve Tesisat) yüklenicilerinin, hızlandırılmış projelerde karşılaştıkları zorluklara uyum sağlamadaki başarısı ne ölçüdedir?
12. BIM (Bina Bilgi Modellemesi) kullanımının MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) tasarım süreçlerindeki etkinliğini, tasarım aşamasından inşaat aşamasına geçişteki zorlukları azaltma açısından nasıl değerlendirirsiniz?
13. BIM projelerinde DEMA (Veri Değişim Matrisi Analizi) kullanımının, veri akışı ve paylaşımının etkinliği üzerindeki etkisini nasıl değerlendirirsiniz?

5.1.3 Verilerin Analizi

Araştırmadan elde edilen verilerin analizinde IBM SPSS 25.0 ve IBM SPSS AMOS 24.0 programı kullanılmıştır. Araştırmadaki katılımcılardan toplanan verilerde tanımlayıcı istatistikler metodlar kullanılmıştır. Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğinin alt boyutlarının belirlenmesi amacıyla ölçeğe açıklayıcı faktör analizi uygulanmıştır. Faktör analizi uygulanan ölçeğin güvenilirliğinin belirlenmesinde Cronbach Alpha katsayısı kullanılmıştır. Faktör analizi sonucunda elde edilen alt boyutların geçerliliğinin ve uyum iyiliğinin belirlenmesinde IBM SPSS AMOS programında doğrulayıcı faktör analizi uygulanmıştır. Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarına BIM deneyimlerine göre farklılıklarının incelenmesinde; iki grup arasındaki farkı bağımsız örneklem t-testi, ikiden fazla grup olduğunda parametrelerin gruplar arası karşılaştırmalarında “One Way Anova” testi kullanılmıştır. Anova testi sonucunda anlamlı farklılığın

bulunduğu değişkenlerde ise; Post-Hoc LSD testi kullanılarak her bir grubun diğer gruplara göre farklılıkları belirlenmiştir.

5.1.4 Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA)

Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğinin geçerlilik ve güvenilirliğinin belirlenmesi ve ölçeğin alt boyutlarının belirlenmesi amacıyla ölçeğe açıklayıcı faktör analizi yapılmıştır. Açıklayıcı faktör analizinde verilerin faktör analizine uygunluğunun belirlenmesinde KMO ve Barlett testi, ölçeğin alt boyutlarının belirlenmesinde ise Rotasyona Tabi Tutulmuş Bileşen Matrisi Varimax metodu kullanılmıştır. KMO ve Barlett testi sonuçları ve Rotasyona tabi tutulmuş bileşen matrisi sonucunda oluşan ölçek alt boyutları Tablo 5.5'te verilmiştir.

Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğine uygulanan faktör analizi sonuçlarına göre ortak faktör varyansı tablosu Tablo 5.4'te verilmiştir. Ortak faktör varyansı; faktörlerin her bir madde üzerinde yol açtığı varyansı göstermektedir. Ortak faktör varyansı tablosunun çıkartma sütunu bu değerleri göstermektedir. Ortak faktör varyansı çıkartma değerlerinin 1'e yaklaşması ve 0,66'nın üzerinde olması iyidir. Değeri 0,20'nin altına düşen maddelerin analizden çıkarılması gerekmektedir. Ölçek maddelerinde değeri 0,20'nin altına düşen madde bulunmamaktadır.

Tablo 5.4 AFA ortak faktör varyansı

Maddeler	İlk Değer	Çıkartma
2. MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) projelerinizde BIM (Bina Bilgi Modellemesi) teknolojisinin etkinliğini nasıl değerlendiriyorsunuz?	1,000	,676
3. MEP (Mekanik, Elektrik ve Tesisat) süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkisi önemli midir?	1,000	,582
4. BIM (Bina Bilgi Modellemesi) kullanılan projelerde, ön tasarım aşamasında MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) ilişkilerinin geç kurulması projenin üzerinde olumsuz etkilere yol açar mı?	1,000	,629
5. LOD (Detay Seviyesi) ve LOI (Bilgi Seviyesi) kavramlarının, bilgi akışını yönetmek ve projenin çeşitli aşamalarında koordinasyonu sağlamak için önemli olduğunu düşünüyor musunuz?	1,000	,473

Tablo 5.4 AFA ortak faktör varyansı (devamı)

6. MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) sürecindeki değişen LOD (Detay Seviyesi) ve LOI (Bilgi Seviyesi) seviyeleri hakkında bilgi sahibi olduğunuzu düşünüyor musunuz?	1,000	,549
7. MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerinde belirli bir etkisi olduğunu düşünüyor musunuz?	1,000	,547
8. BIM modelinin MEP tasarım ve işletme süreçlerine uygulanmasının faydalarını nasıl değerlendirirsiniz?	1,000	,604
9. BIM'in MEP koordinasyon süreçlerinde maliyet etkinliği sağladığını düşünüyor musunuz?	1,000	,632
10. Sizce BIM Yöneticisinin, projenin BIM Uygulama Planını (BEP) detaylandırma ve koordine etme konusundaki rolü, inşaat projelerinin başarısı için ne ölçüde önemlidir?	1,000	,638
11. MEP (Mekanik, Elektrik ve Tesisat) yüklenicilerinin, hızlandırılmış projelerde karşılaştıkları zorluklara uyum sağlamadaki başarısı ne ölçüdedir?	1,000	,573
12. BIM (Bina Bilgi Modellemesi) kullanımının MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) tasarım süreçlerindeki etkinliğini, tasarım aşamasından inşaat aşamasına geçişteki zorlukları azaltma açısından nasıl değerlendirirsiniz?	1,000	,597

Tablo 5.5 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeği açıklayıcı faktör analizi sonuçları

Faktörler	Faktör Ağırlıkları	Faktörün Açıklayıcılığı	
		(%)	α
Faktör 1: Fayda ve Zorluk Algısı		26,871	,712
8. BIM modelinin MEP tasarım ve işletme süreçlerine uygulanmasının faydalarını nasıl değerlendirirsiniz?	,767		
9. BIM'in MEP koordinasyon süreçlerinde maliyet etkinliği sağladığını düşünüyor musunuz?	,760		
12. BIM (Bina Bilgi Modellemesi) kullanımının MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) tasarım süreçlerindeki etkinliğini, tasarım aşamasından inşaat aşamasına geçişteki zorlukları azaltma açısından nasıl değerlendirirsiniz?	,723		

Tablo 5.5 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeği açıklayıcı faktör analizi sonuçları (devamı)

Faktör 2: Etkinlik ve Maliyet Algısı	12,771	,601
2. MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) projelerinizde BIM (Bina Bilgi Modellemesi) teknolojisinin etkinliğini nasıl değerlendiriyorsunuz?	,777	
3. MEP (Mekanik, Elektrik ve Tesisat) süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkisi önemli midir?	,679	
7. MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerinde belirli bir etkisi olduğunu düşünüyor musunuz?	,628	
Faktör 3: Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	10,147	,673
6. MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) sürecindeki değişen LOD (Detay Seviyesi) ve LOI (Bilgi Seviyesi) seviyeleri hakkında bilgi sahibi olduğunuzu düşünüyor musunuz?	,726	
11. MEP (Mekanik, Elektrik ve Tesisat) yüklenicilerinin, hızlandırılmış projelerde karşılaştıkları zorluklara uyum sağlamadaki başarısı ne ölçüdedir?	,596	
5. LOD (Detay Seviyesi) ve LOI (Bilgi Seviyesi) kavramlarının, bilgi akışını yönetmek ve projenin çeşitli aşamalarında koordinasyonu sağlamak için önemli olduğunu düşünüyor musunuz?	,591	
Faktör 4: Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	9,300	,603
4. BIM (Bina Bilgi Modellemesi) kullanılan projelerde, ön tasarım aşamasında MEP (Mekanik, Elektrik, Tesisat) ilişkilerinin geç kurulması projenin üzerinde olumsuz etkilere yol açar mı?	,766	
10. Sizce BIM Yöneticisinin, projenin BIM Uygulama Planını (BEP) detaylandırma ve koordine etme konusundaki rolü, inşaat projelerinin başarısı için ne ölçüde önemlidir?	,601	
Toplam	59,088	,747
Kaiser Meyer Olkin Ölçek Geçerliliği: ,740		
Bartlett Küresellik Testi Ki Kare: 236,191	Sd: 55	p değeri: ,000

Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğine uygulanan açıklayıcı faktör analizi sonuçlarına göre; Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) (Örneklem Yeterlilik Ölçütü) ve Bartlett testi ölçeğin faktör analizine uygunluğunun ölçülmesi amacıyla uygulanmıştır. KMO testi Erken Tasarım Aşamasında MEP Koordinasyonu

ölçeğinde kullanılan örneklem büyüklüğünün uygunluğunu, Barlett testi ise erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğindeki verilerin korelasyon matrisinin birim matrise eşitliğinin sınamak amacıyla yapılmıştır. KMO testinin 0,50'den yüksek olması ve Barlett testinin 0,05'in altında olması beklenmektedir (Kaya, 2013) .

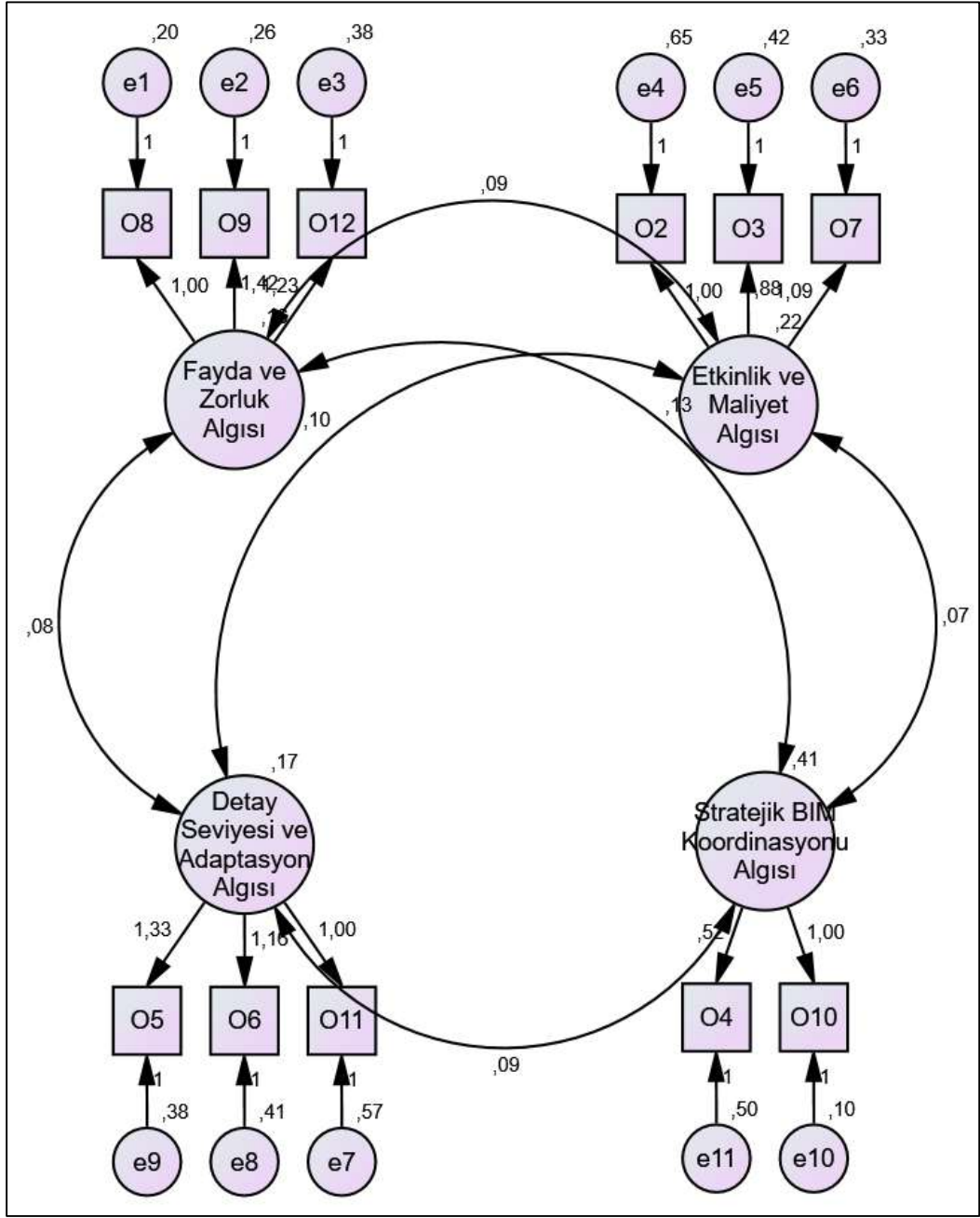
KMO testi için elde edilen değerin 0,740 olması; araştırmada kullanılan örneklem büyüklüğünün iyi düzeyde olduğu anlamına gelmektedir. Barlett testi için elde edilen anlamlılık değeri (p değeri) %5'ten küçük olması (0.000) verilerin faktör analizine uygunluğunu göstermektedir. “KMO ve Bartlett” testi erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğindeki verilerin faktör analizine uygun olduğunu göstermektedir (Aktuna, 2017).

Bu çalışmada oluşturulan ölçek faktörlerinin isimlendirilme süreci yalnızca istatistiksel analiz çıktılarıyla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda sektörel gözlemler ve uzman görüşlerinden elde edilen nitel bulgularla da desteklenmiştir. Faktör adları; ilgili değişkenlerin ortak temaları, literatürdeki kavramsal karşılıkları ve saha çalışmasında öne çıkan bulgular dikkate alınarak belirlenmiştir. Böylece, her bir faktör BIM tabanlı MEP koordinasyonunun proje yönetimi üzerindeki etkilerini çok boyutlu biçimde temsil edecek şekilde yapılandırılmıştır.

5.1.5 Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA)

Doğrulayıcı faktör analizi, araştırmanın amacına uygun olarak belirlenen yapıların doğruluğunu ve öngörülen modeli test etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, gözlemlenen değişkenler aracılığıyla değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklayan gizli değişkenleri ortaya çıkarır (Yemez, 2016).

Araştırmada erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğine uygulanan açıklayıcı faktör analizi sonucunda ölçek maddelerine doğrulayıcı faktör analizi uygulanmıştır. Doğrulayıcı faktör analizi uygulanırken maksimum benzerlik (maximum likelihood) yöntemi kullanılmıştır. Uygulanan doğrulayıcı faktör analizine ilişkin model Şekil 5.1'de, oluşturulan modele ait uyum iyiliği değerleri Tablo 5.6'te gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeği doğrulayıcı faktör analizi modeli

Tablo 5.6 4 Faktörlü 11 maddelik modelin uyum iyiliği değerleri

Uyum Kriteri	Kabul Edilebilir Uyum	Mükemmel Uyum	Model Uyum Değerleri	Uyum Derecesi
Ki-kare/sd	$\leq 4-5$	≤ 3	1,523	Mükemmel Uyum
RMSEA	$0,05 < \text{RMSEA} \leq 0,08$	$0 \leq \text{RMSEA} \leq 0,05$	,061	Kabul Edilebilir Uyum
RMR	$0,05 < \text{RMR} \leq 0,08$	$0 \leq \text{RMR} \leq 0,05$	,040	Mükemmel Uyum
IFI	0,90 ve üzeri	0,95 ve üzeri	,926	Kabul Edilebilir Uyum
CFI	0,90 ve üzeri	0,95 ve üzeri	,921	Kabul Edilebilir Uyum
GFI	0,85 ve üzeri	0,90 ve üzeri	,935	Mükemmel Uyum
AGFI	0,85 ve üzeri	0,90 ve üzeri	,887	Kabul Edilebilir Uyum

(Gerçek, 2018) (Yaşlıoğlu, 2017)

5.1.6 Ölçek Güvenilirliği

Araştırmada kullanılan; dört alt boyutta toplanan erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğinin Cronbach's Alpha güvenilirlik test sonuçları Tablo 5.7'de verilmiştir. Cronbach's Alpha güvenilirlik indeks değerlerinin düzeyleri ise Tablo 5.8'de gösterilmiştir.

Tablo 5.7 Güvenilirlik katsayısı değerleri

Güvenirlik katsayısı (Cronbach Alpha)	Yorum
$\alpha \geq 0.9$	Mükemmel
$0.7 \leq \alpha < 0.9$	İyi
$0.6 \leq \alpha < 0.7$	Kabul edilebilir
$0.5 \leq \alpha < 0.6$	Zayıf
$\alpha < 0.5$	Kabul edilemez

Tablo 5.8 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğinin alt boyutlarına ilişkin Cronbach's Alpha güvenilirlik indeks değerleri

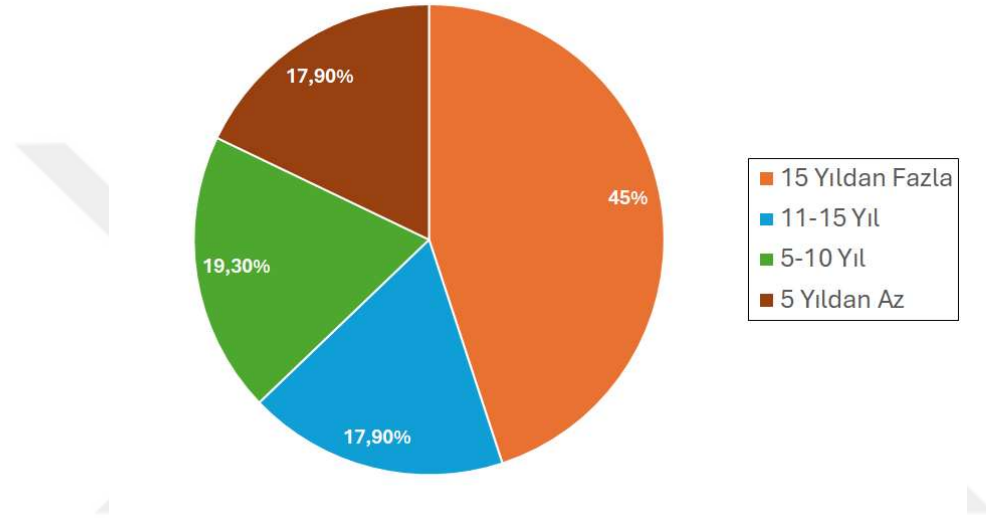
Ölçek	Alt Boyutlar	Cronbach's Alpha
Erken Tasarım Aşamasında MEP Koordinasyonu Ölçeği $\alpha=0,747$	Fayda ve Zorluk Algısı	0,712
	Etkinlik ve Maliyet Algısı	0,601
	Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	0,673
	Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	0,603

Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğine ilişkin elde edilen Cronbach's Alpha güvenilirlik indeksi ölçek bütünü için $\alpha=0,747$ olarak elde edilmiştir. Bu değer ölçek bütünü'nün güvenilirliğinin iyi düzeyde olduğunu göstermektedir. Ölçeğin alt boyutları için Cronbach's Alpha güvenilirlik indeksi değerleri incelendiğinde; fayda ve zorluk algısı için $\alpha=0,712$, etkinlik ve maliyet algısı için $\alpha=0,601$, detay seviyesi ve adaptasyon algısı için $\alpha=0,673$ ve stratejik BIM koordinasyonu algısı için $\alpha=0,603$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler ölçeğin alt boyutlarının güvenilirliğinin iyi ve kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

5.2 Anket Soruları ve Teze Katkısı

Katılımcıların mesleklere göre dağılımı ve projelerde üstlendikleri roller Tablo 5.2 'de gösterilmiştir. Aşağıda yer alan 26 soru katılımcılara yöneltildi. Verilen cevapların tezin ortaya koyduğu düşünceler ile uyumuna bakılmıştır. Soruların teze katkısı belirtilerek bir sonraki bölümde yapılacak analizler için soruların içeriği sunulmuştur.

Soru 1 – Kaç yıl deneyiminiz bulunmaktadır?

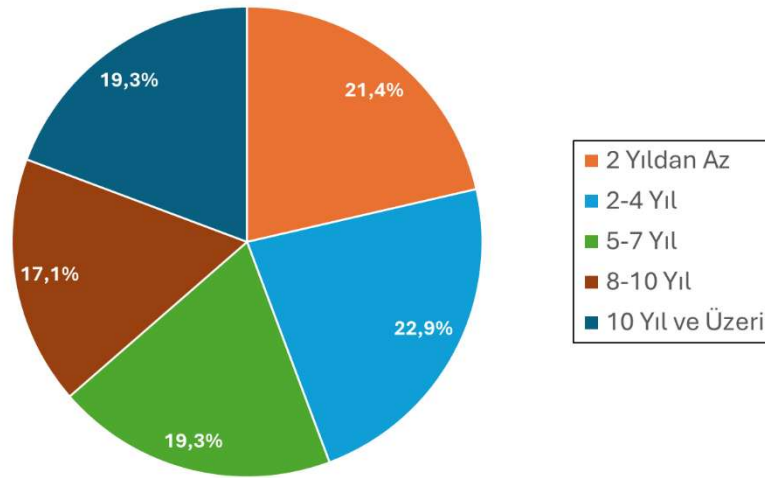


Şekil 5.2 Anket katılımcılarının mesleki deneyim yıllarına göre dağılımı

Bu soru, katılımcıların inşaat sektöründeki genel profesyonel deneyim sürelerini belirlemek amacıyla sorulmuştur. Katılımcılar, mesleki deneyimlerini yıllara dayalı olarak sınıflandırmıştır. MEP süreçlerinin BIM ile entegrasyonu açısından, katılımcıların deneyim düzeylerinin projelere getirdiği farklı bakış açıları önem arz etmektedir. Özellikle 5 yıldan az deneyime sahip katılımcıların proje koordinasyonu konusundaki bilgi eksikliği, daha tecrübeli katılımcıların sunduğu bakış açılarıyla karşılaştırıldığında belirgin farklılıklar gösterebilir.

Tezin odak noktalarından biri olan BIM entegrasyonunun etkinliği üzerinde deneyim düzeyinin etkisi, bu sorunun yanıtlarıyla doğrulanabilir. Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %45'i "15 Yıl ve Üzeri", %17.9'u "11-15 Yıl", %19.3'ü "5-10 Yıl" ve %17.9'u "5 Yıldan Az" deneyime sahiptir (Bkz. Şekil 5.2). Bu dağılım, deneyim seviyelerinin MEP süreçlerinin BIM entegrasyonunda ne kadar etkin olabileceğini değerlendirmek için önemli bir temel sunmaktadır.

Soru 2- Kaç yıllık BIM deneyiminiz bulunmaktadır?



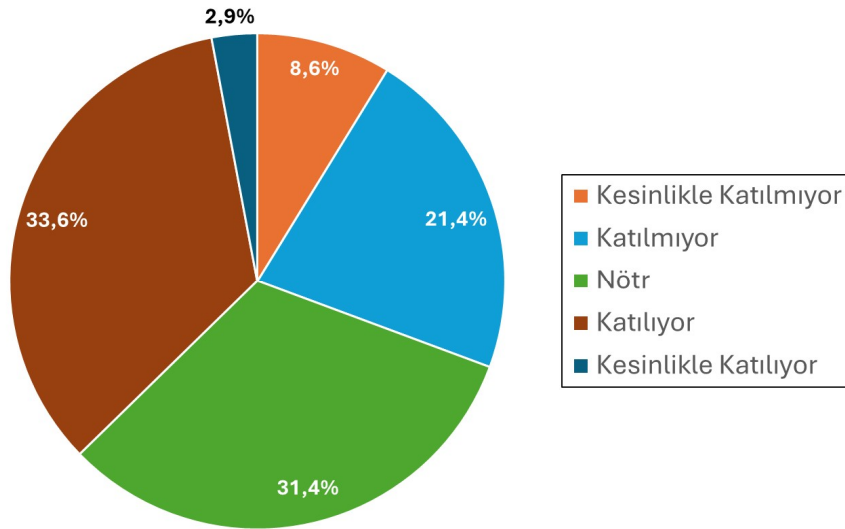
Şekil 5.3 Anket katılımcılarının BIM deneyim yılları

Bu soru, katılımcıların BIM teknolojisine olan aşinalık ve deneyim düzeylerini ölçmek için tasarlanmıştır. BIM, inşaat projelerinde etkin bilgi yönetimi, disiplinler arası iş birliği ve veri paylaşımının sağlanmasında kritik bir rol oynar. Katılımcıların BIM konusundaki deneyim düzeyi, MEP süreçlerinin proje yönetiminde ne derece etkin bir şekilde yönetildiğini anlamamıza yardımcı olabilir.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %21,4'ü “2 Yıldan Az” BIM deneyimine sahipken, %22,9'u “2-4 Yıl”, %19,3'ü “5-7 Yıl”, %17,1'i “8-10 Yıl” ve %19,3'ü “10 Yıl ve Üzeri” deneyime sahiptir (Bkz. Şekil 5.3). Bu dağılım, katılımcıların geniş bir deneyim aralığına sahip olduğunu ve BIM kullanımının projelerdeki etkinliği üzerindeki etkisini daha iyi analiz etmemize olanak tanımaktadır.

Profesyonel deneyim süresi, MEP projelerinin başarısı ve BIM gibi yenilikçi teknolojilerin etkin kullanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Katılımcıların yanıtları, deneyim süresine bağlı olarak BIM entegrasyonu, koordinasyonu ve genel proje yönetiminde ne kadar başarılı olduklarına dair önemli ipuçları sunmaktadır.

Soru 3 – BIM Entegrasyonunda zorluk yaşadınız mı?



Şekil 5.4 BIM entegrasyonunda zorluk yaşanması

Bu soru, katılımcıların BIM entegrasyonu sırasında karşılaştıkları zorlukları belirlemeyi amaçlamaktadır. BIM, inşaat projelerinin planlama, tasarım ve uygulama aşamalarında bilgi akışını sağlayan güçlü bir teknoloji olmasına rağmen, entegrasyon süreci her zaman sorunsuz ilerlemeyebilir. Özellikle MEP süreçlerinin yönetimi, diğer disiplinlerle sıkı koordinasyon gerektirdiğinden, BIM entegrasyonu zorlayıcı olabilmektedir.

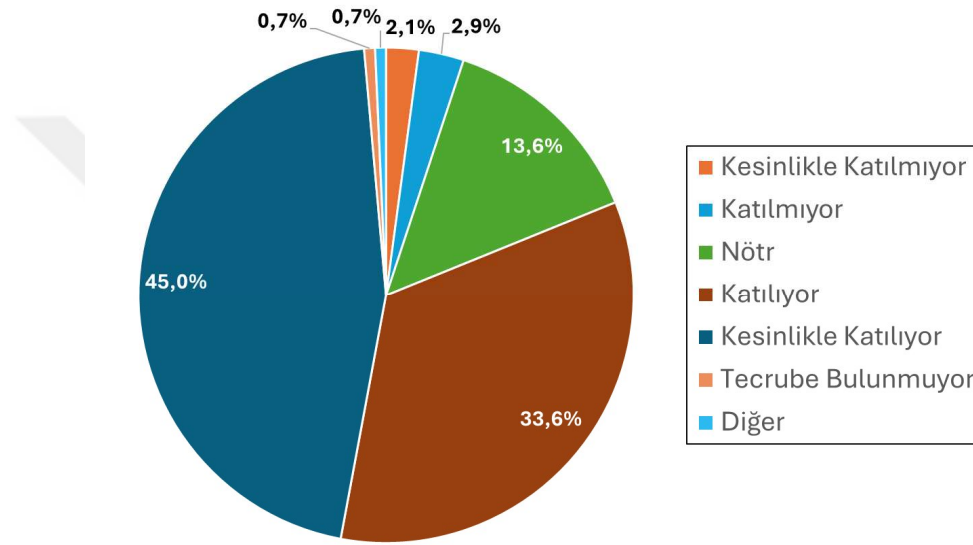
Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %8.6'sı "Kesinlikle Katılmıyor," %21.4'ü "Katılmıyor," %31.4'ü "Nötr," %33.4'ü "Katılıyor" ve %2.9'u "Kesinlikle Katılıyor" yanıtını vermiştir (Bkz. Şekil 5.4). Bu dağılım, katılımcıların BIM entegrasyonundaki zorlukları farklı seviyelerde deneyimlediğini göstermektedir. Sonuçların doğrultusunda katılımcıların % 64'ünün BIM entegrasyonunda sorun yaşadığına işaret etmektedir. Bu durum, BIM'in inşaat projelerindeki bilgi paylaşımını ve süreç yönetimini optimize eden bir teknoloji olmasına rağmen, uygulama sürecinde koordinasyon ve disiplinler arası iş birliği eksikliklerinden kaynaklanan sorunlarla karşılaşılabilceğini göstermektedir.

Görüş bildiren bazı katılımcılar, iş birliği ve doküman yönetimi için BIM 360 gibi uygulamalardan yararlandıklarını belirtmiştir. Diğer katılımcılar ise BIM entegrasyonunun tam olarak yapılmadığını, ancak BIM tabanlı programların sunduğu avantajların kullanılmaya çalışıldığını ifade etmiştir. Ayrıca,

multidisipliner bir araç olan BIM'in öğrenilmesinin kolay olmadığı ancak gerekli olduğu görüşü de paylaşılmıştır.

BIM entegrasyonunun başarılı bir şekilde uygulanabilmesi ve MEP süreçlerinde daha etkin sonuçlar elde edilebilmesi için kapsamlı eğitim programlarının geliştirilmesi, sektörel farkındalığın artırılması ve uygulama sürecinin daha sistematik bir şekilde ele alınması kritik öneme sahiptir.

Soru 4- MEP (Mekanik, Elektrik, Sıhhi Tesisat) projelerinizde BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) teknolojisinin etkinliğini nasıl değerlendiriyorsunuz?



Şekil 5.5 MEP projelerinde BIM teknolojisinin etkinliğinin değerlendirilmesi

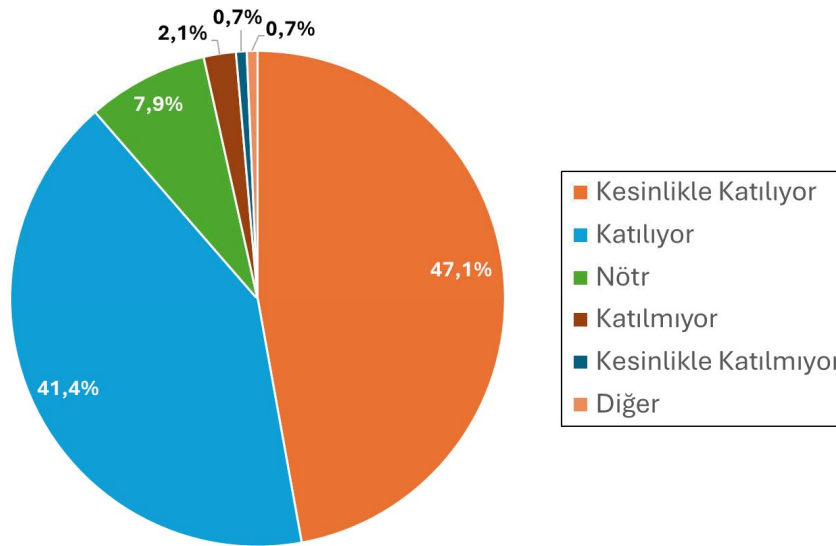
Bu soru, BIM teknolojisinin MEP projelerindeki verimliliğini katılımcıların nasıl değerlendirdiğini anlamak açısından kritik öneme sahiptir. BIM, farklı disiplinlerin entegrasyonu, tasarımın optimizasyonu ve projelerin genel başarısı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Katılımcıların yanıtları, BIM'in bu projelerdeki etkinliğine dair önemli içgörüler sunmaktadır.

Anket sonuçlarına göre, MEP projelerinde BIM teknolojisinin etkin olduğunu belirten katılımcıların %45'i "Kesinlikle Katılıyor," %35'i "Katılıyor," %13,6'sı "Nötr," %2,9'u "Katılmıyor" ve %2,1'i "Kesinlikle Katılmıyor" şeklinde yanıt vermiştir (Bkz. Şekil 5.5). Bu sonuçlar, katılımcıların 88,6'sının MEP projelerinde BIM teknolojisini etkin bulduğunu göstermektedir.

BIM'in erken tasarım aşamasında uygulanmasının proje süreçlerinde ekonomik faydalar sağladığını ortaya koyan bu bulgular, tezde savunulan görüşleri desteklemekte ve BIM tabanlı MEP koordinasyon süreçlerinin bütçe yönetimindeki stratejik önemini teyit etmektedir. Bu doğrultuda, elde edilen veriler, BIM'in daha yaygın bir şekilde benimsenmesinin projelerin mali başarısını artırmadaki potansiyelini güçlü bir şekilde vurgulamaktadır.

Görüş bildiren katılımcılardan bazıları, MEP model üretiminde çalışanların BIM araçlarını kullanma becerisinin önemini vurgulamıştır. Buna karşın, yüksek bilgiye sahip ancak BIM deneyimi olmayan bir BIM modelleme çalışanı ile çalışmanın zorlayıcı olabileceği ifade edilmiştir.

Soru 5 - MEP (Mekanik, Elektrik ve Sıhhi Tesisat) süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkisi önemli midir?



Şekil 5.6 MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetlerine etkisi

Bu soru, MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. MEP süreçlerinin erken tamamlanması, proje genelinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlayabilir, çakışmaları azaltarak projelerin daha verimli yönetilmesine katkıda bulunabilir.

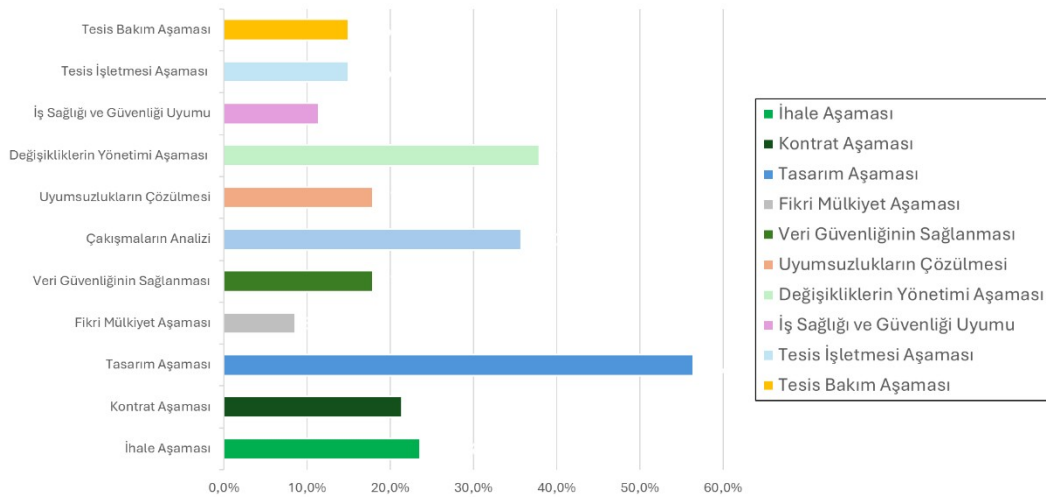
Ankete katılanların %47.1'i "Kesinlikle Katılıyor," %41.4'ü "Katılıyor," %7.9'u "Nötr," %2.1'i "Katılmıyor," ve %0.7'si "Kesinlikle katılmıyor" şeklinde yanıt

vermiştir (Bkz. Şekil 5.6). Bu sonuçlar, katılımcıların %88.5'nin MEP süreçlerinin erken tamamlanmasının proje maliyetleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu düşündüğünü ortaya koymaktadır.

Katılımcıların bazıları, MEP tasarımının erken tasarım aşamasında tam anlamıyla tamamlanmasının zor olduğunu, ancak genel bir modellemenin bu aşamada yapılabileceğini belirtmiştir. "Erken tasarım aşamasında tamamlamak mümkün değildir, ancak modellenmiş olabilir" gibi ifadeler, bu sürecin zorluklarını ve kısmi çözümlerini yansıtmaktadır.

Tezde, çakışmaların erken tasarım aşamasında tespit edilip çözülmesinin proje maliyetlerini kontrol altında tutmada önemli bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Anket sonuçları da bu savı destekler nitelikte olup, MEP süreçlerinin erken tamamlanmasını savunan katılımcıların bu sürecin proje maliyetlerine olumlu etkisini daha net gördüklerini ortaya koymaktadır.

Soru 6 - MEP koordinasyonunu BIM süreçlerine entegre ederken aşağıdaki aşamalardan hangisinde zorluklarla karşılaşıyorsunuz? Lütfen karşılaştığınız zorluklardan örnekler verin.



Şekil 5.7 MEP koordinasyonunu BIM süreçlerine entegre ederken karşılaşılan zorluklar

Bu soru, BIM projelerinde MEP koordinasyonunun entegrasyonunda karşılaşılan zorlukların hangi aşamalarda yoğunlaştığını belirlemeyi hedeflemektedir. MEP koordinasyonu, farklı disiplinler arasında veri alışverişi ve uyumun sağlanmasını gerektiren, BIM projelerinin önemli ve karmaşık bir bileşenidir. Katılımcıların

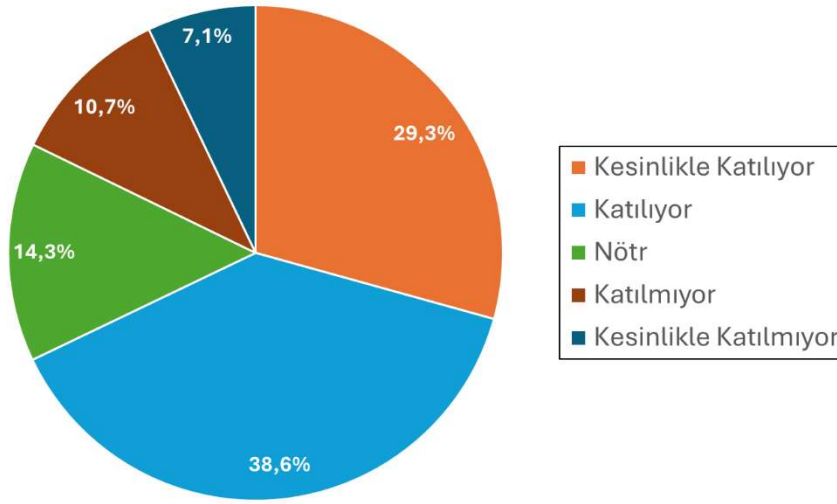
verdikleri yanıtlar, MEP entegrasyonundaki zorlukların proje yönetimi ve maliyetler üzerindeki etkilerini anlamamıza yardımcı olmaktadır.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %23.6'sı İhale Aşamasında, %21.4'ü Kontrat Aşamasında, %56.4'ü Tasarım Aşamasında, %8.6'sı Fikri Mülkiyet Sorunları Aşamasında, %10'u Veri Güvenliğinin Sağlanması Aşamasında, %17.9'u Uyuşmazlıkların Çözüm Aşamasında, %35.7'si Çakışma Analizi Aşamasında, %37.9'u Değişiklik Yönetimi Aşamasında, %11.4'ü İş Sağlığı ve Güvenliği Uyumu Aşamasında, %15'i Tesis İşletmesi Aşaması ve %15'i Tesis Bakımı Aşamasında zorluk yaşadıklarını belirtmiştir (Bkz. Şekil 5.7).

Verilen örneklerde, uzman personel eksikliği, yeterli farkındalık eksikliği ve ekonomik kısıtlamalar gibi sorunlar vurgulanmıştır. Örneğin, ihale aşamasında MEP koordinasyonunun entegrasyonundaki zorluklar genellikle bu faktörlerden kaynaklanmaktadır. Sözleşme aşamasında, BIM sürecinin detaylarını belirleyen özel teknik şartnameler gerekmekte olup, bu şartnameleri hazırlayabilecek yeterlikte personele ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarım aşamasında, özellikle hastane gibi kompleks yapılarda MEP sistemlerinin geç dahil edilmesi, tasarımda geri dönüşler ve revizyon riskini artırır, bu da mimari açıdan estetik olmayan ancak zorunlu değişikliklere yol açabilir.

Tasarım aşamasında, farklı disiplinlerin BIM modelinde tutarsız detay seviyeleri ve standartlar kullanması da koordinasyonu zorlaştıran etkenlerden biridir. Çakışma tespiti, koordinasyon toplantıları, model güncellemeleri ve tüm paydaşların aynı versiyonla çalıştığından emin olunması gibi süreçler titizlikle yönetilmelidir. İnşaat aşamasında sahada yapılan değişikliklerin zamanında BIM modeline yansıtılmaması ise tutarsızlık sorunlarına neden olabilir.

Soru 7 - Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) kullanılan projelerde, ön tasarım aşamasında MEP (Mekanik, Elektrik, Sıhhi Tesisat) ilişkilerinin gecikmeli olarak kurulmasının proje üzerinde olumsuz etkileri vardır.



Şekil 5.8 BIM projelerinde MEP ilişkilerinin gecikmeli kurulmasının proje üzerindeki etkisi

Bu soru, BIM projelerinde MEP ilişkilerinin erken tasarım aşamasında kurulmasının önemini ve bu süreçteki gecikmelerin proje üzerindeki olumsuz etkilerini değerlendirmektedir. MEP sistemleri, disiplinler arası koordinasyon açısından BIM projelerinin en karmaşık bileşenlerinden biridir ve bu sistemlerin entegrasyonunda yaşanan gecikmeler projelerde ciddi sorunlara yol açabilir.

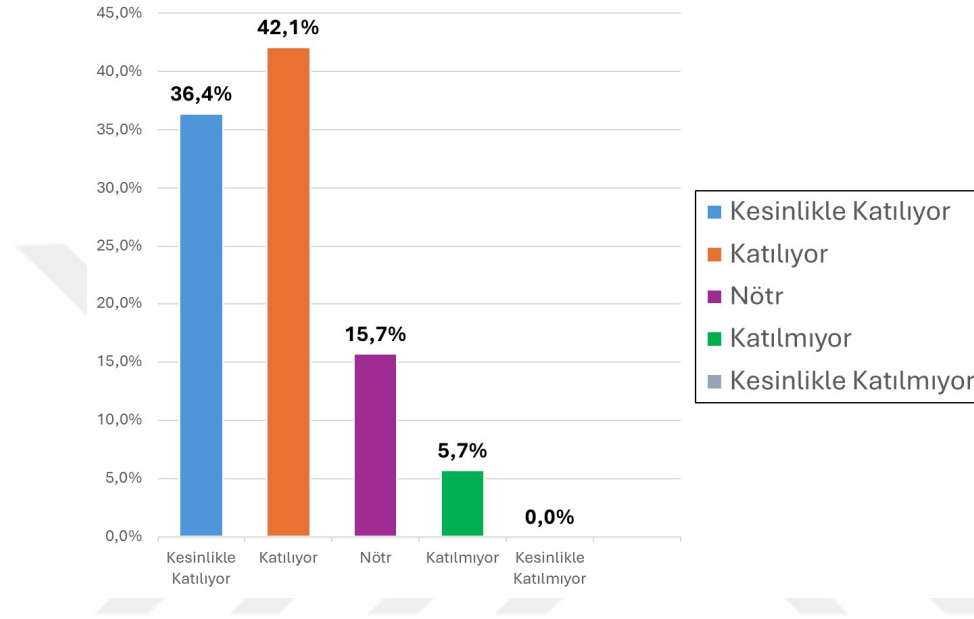
Anket sonuçları, katılımcıların %29.3'ünün "Kesinlikle Katılıyor," %38.6'sının "Katılıyor," %14.3'ünün "Kararsız," %10.7'sinin "Katılmıyor," ve %7.1'inin "Kesinlikle Katılmıyor" şeklinde dağıldığını göstermektedir (Bkz. Şekil 5.8). Bu sonuçlar, katılımcıların %67.9'unun MEP ilişkilerinin erken tasarım aşamasındaki önemini kabul ettiğini ortaya koymaktadır.

BIM projelerinde MEP sistemlerinin erken entegrasyonu, koordinasyon sorunlarının ve çakışmaların önlenmesi açısından kritiktir. Gecikmiş entegrasyon, projede çakışmalar, yeniden düzenleme ve ek maliyetlerle sonuçlanabilir. Ayrıca, verimlilik kaybına ve iş akışında aksamalara neden olarak proje yönetiminde riskleri artırır. Erken tasarım, projelerin daha sorunsuz ve etkili ilerlemesini sağlar, uzun vadede başarıya katkıda bulunur.

Sonuç olarak, MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında etkin bir şekilde koordine edilmesi, disiplinler arası koordinasyonu güçlendirir, çakışmaları önler, maliyetlerin kontrol altında tutulmasına ve zaman kayıplarının önlenmesine

yardımcı olur. Bu bulgular, tezin savunduğu temel görüşlerle uyumludur ve BIM projelerinin başarısı için MEP ilişkilerinin erken aşamada kurulmasının kritik önemini desteklemektedir.

Soru 8 - LOD (Detay Seviyesi) ve LOI (Bilgi Seviyesi) kavramlarının bir projenin çeşitli aşamalarında bilgi akışını yönetmek ve koordinasyonu sağlamak için önemli olduğuna katılıyor musunuz?



Şekil 5.9 LOD ve LOI'nin Proje Koordinasyonundaki Önemi

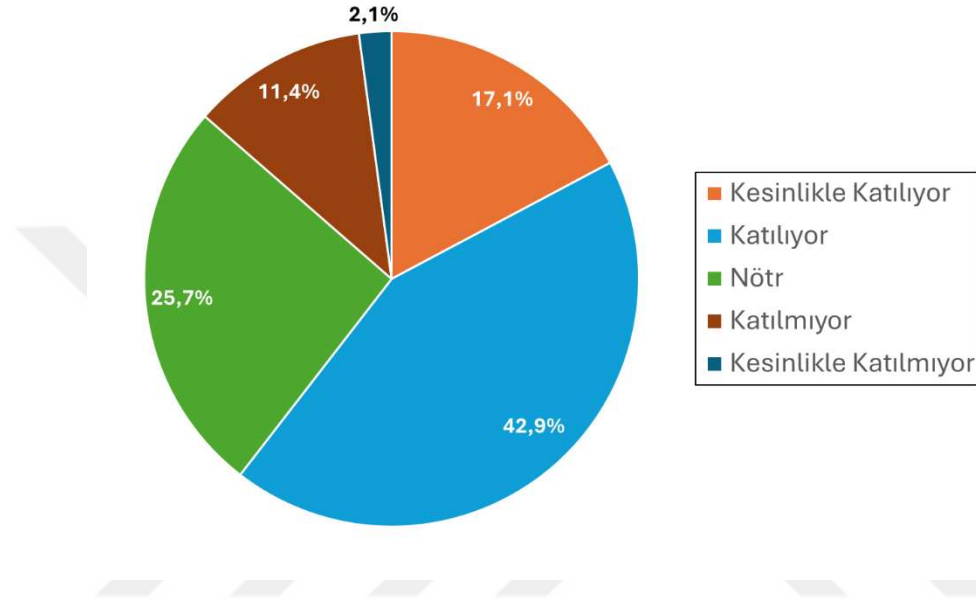
Bu soru, BIM projelerinde LOD (Detay Seviyesi) ve LOI (Bilgi Seviyesi) kavramlarının projelerde bilgi akışını yönetme ve farklı disiplinler arasında koordinasyonu sağlama açısından ne kadar önemli olduğunu ölçmeyi amaçlamaktadır. LOD, bir BIM modelindeki elemanların detay seviyesini tanımlarken, LOI bu elemanlar hakkında sağlanan bilginin seviyesini ifade eder. Her iki kavram da projelerde doğru kararların alınmasını ve disiplinler arası uyumun sağlanmasını destekleyen temel unsurlardır.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %36.4'ü "Kesinlikle Katılıyor," %42.1'i "Katılıyor," %15.7'si "Nötr" ve %10.7'si "Katılmıyor" şeklinde yanıt vermiştir. "Kesinlikle katılmıyor." cevabı işaretlenmemiştir (Bkz. Şekil 5.9). Bu veriler, katılımcıların % 78.5'nin LOD ve LOI'nin önemini kabul ettiğini göstermektedir.

Anket sonuçları, LOD ve LOI seviyelerinin belirlenmesinin, projelerde verimliliği artıran, koordinasyonu iyileştiren ve başarı şansını yükselten kritik bir faktör

olduğunu doğrulamaktadır. Özellikle MEP projelerinde, bu kavramlar sistem entegrasyonunu sağlayarak çakışmaları önler ve maliyetlerin kontrol altında tutulmasına katkıda bulunur.

Soru 9 - MEP (Mekanik, Elektrik, Sıhhi Tesisat) sürecinde değişen LOD (Detay Seviyesi) ve LOI (Bilgi Seviyesi) seviyeleri hakkında bilgili olduğunuza katılıyor musunuz?



Şekil 5.10 MEP sürecindeki LOD ve LOI seviyeleri hakkında bilgi sahipliği

Bu soru, BIM projelerinde LOD (Level of Detail) ve LOI (Level of Information) kavramlarının bilgi akışını yönetme ve disiplinler arası koordinasyonu sağlama açısından önemini ölçmeyi amaçlamaktadır. LOD, modeldeki elemanların detay seviyesini, LOI ise bu elemanlar hakkında sağlanan bilgi miktarını tanımlar. Özellikle MEP projelerinde bu kavramlar, sistemlerin doğru planlanması ve yönetimi için kritik öneme sahiptir.

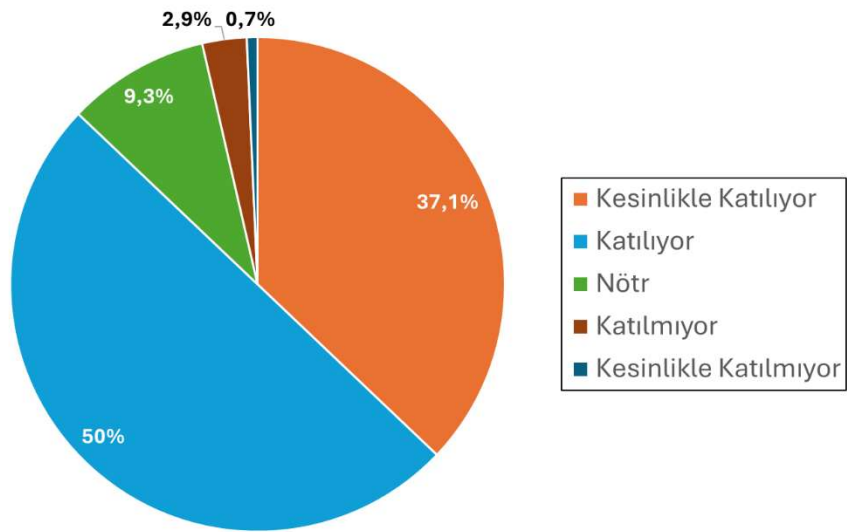
Anket sonuçları, katılımcıların %17.9'unun "Kesinlikle Katılıyor," %42.9'unun "Katılıyor," %25.7'sinin "Kararsız," %11.4'ünün "Katılmıyor" ve %2.1'inin "Kesinlikle Katılmıyor" yanıtını verdiğini göstermektedir (Bkz. Şekil 5.10). Bu sonuçlar, katılımcıların %60'nın LOD ve LOI'nin önemini kabul ettiğini ortaya koymaktadır.

LOD ve LOI, projelerin her aşamasında gereksinimlere uygun detay ve bilgi seviyelerinin belirlenmesini sağlar. Tasarım aşamasında genel yerleşim için düşük

seviyeler yeterli olabilirken, yapım ve bakım aşamalarında daha fazla bilgi ve detay gereklidir. MEP projelerinde bu seviyelerin doğru belirlenmesi, sistemlerin hatasız montajını ve entegrasyonunu sağlarken, yanlış seviyeler ise çakışmalara ve maliyet artışına neden olur.

Doğru belirlenmiş LOD ve LOI seviyeleri, projelerde verimliliği ve maliyet yönetimini olumlu yönde etkiler. Aksi takdirde, projelerde gereksiz tekrarlar, düzeltmeler ve ek maliyetler ortaya çıkar. Örneğin, yapım aşamasında yanlış detay seviyeleriyle modelleme, montaj hatalarına yol açarak yüksek maliyetlere neden olabilir.

Soru 10- MEP (Mekanik, Elektrik, Sıhhi Tesisat) süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetlerine özel bir etkisi olduğunu düşünüyor musunuz?



Şekil 5.11 MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetlerine etkisi

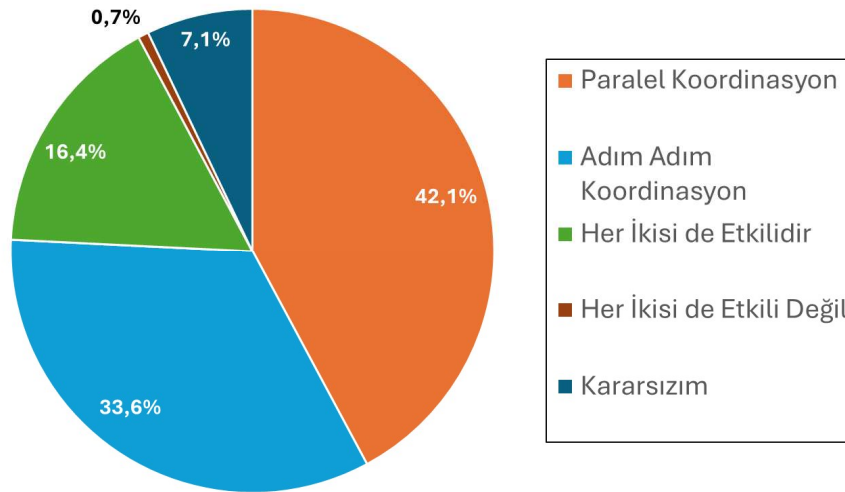
Bu soru, MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. MEP sistemleri, mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat gibi disiplinlerin uyumlu çalışmasını gerektiren önemli bileşenlerdir. Bu sistemlerin erken tasarım aşamasında tamamlanması, proje sürecinde maliyet kontrolü ve verimlilik açısından önemli avantajlar sağlar.

Katılımcıların yanıtları, bu süreçlerin zamanında tamamlanmasının proje maliyetlerini ne derece etkilediğini ortaya koymaktadır.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %37.1'i "Kesinlikle Katılıyor," %50'si "Katılıyor," %9.3'ü "Kararsız," %2.9'u "Katılmıyor" şeklinde yanıt vermiştir (Bkz. Şekil 5.11). Bu veriler, katılımcıların büyük çoğunluğunun MEP süreçlerinin erken tamamlanmasının önemini kabul ettiğini göstermektedir.

Katılımcıların %87.1'inin MEP tasarımın erken tasarım aşamasında tamamlanmasının maliyete olumlu etkiye katılması tezde savunulan, MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının projede maliyet kontrolünü sağladığına dair görüşü desteklemektedir.

Soru 11 - MEP koordinasyonunda paralel koordinasyonun mu yoksa adım adım koordinasyonun mu daha etkili olduğunu düşünüyorsunuz?



Şekil 5.12 Paralel ve adım adım koordinasyon etkinliği

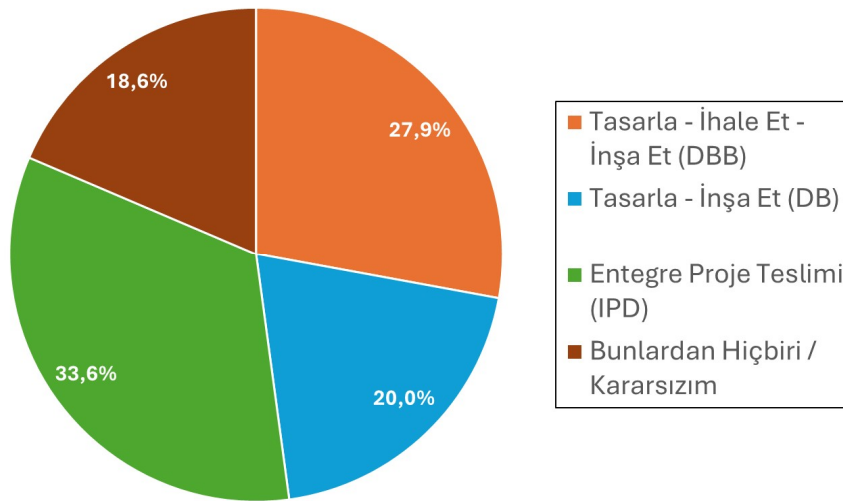
Bu soru, MEP süreçlerinin BIM projelerinde paralel ve adım adım koordinasyon yöntemlerinin etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. MEP sistemleri, disiplinler arası yoğun iş birliği gerektiren projelerin temel unsurlarıdır ve her iki koordinasyon yöntemi de proje türüne göre avantajlar ve dezavantajlar sunabilir. Katılımcıların bu soruya verdiği yanıtlar, hangi yöntemin daha etkili olduğunu anlamamıza yardımcı olabilir.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %42.1'i "Paralel Koordinasyon" %33.6'ü "Adım Adım Koordinasyon," %16.4'ü "Her İkisi de Etkilidir" %0.7'si "Her İkisi de Etkili Değil" ve %7.1'i "Kararsızım" şeklinde yanıt vermiştir (Bkz. Şekil 5.12).

Paralel koordinasyon, farklı disiplinlerin aynı anda çalışmasına olanak tanıyarak proje sürecini hızlandırır ve çakışmaların erken tespitini sağlar. Bu yöntem, sıkışık inşaat takvimlerinde zaman kazandırması nedeniyle tercih edilir. Öte yandan, adım adım koordinasyon daha düzenli bir iş akışı sunmasına rağmen, zaman kaybına yol açabilir ve hızlı projelerde zorluk çıkarabilir.

Bu sonuçlar doğrultusunda koordinasyon yöntemlerinin projelere göre farklılık gösterdiği ve gerekli görüldüğü takdirde aynı anda farklı koordinasyon yöntemlerinin birlikte kullanılmasının mümkün olduğu görülmektedir.

Soru 12- Proje teslim yöntemleri olan Tasarla-İhale Et-İnşa Et (DBB), Tasarla-İnşa Et (DB) ve Entegre Proje Teslimi (IPD) arasında, inşaat projelerinin başarılı ve verimli yönetimi için en etkili yöntemin hangisi olduğunu düşünüyorsunuz?



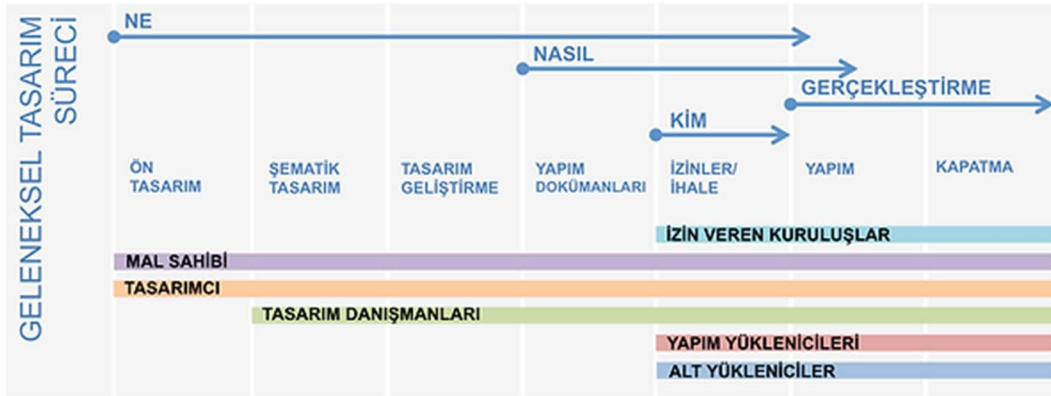
Şekil 5.13 İnşaat projelerinde en etkili proje teslim yöntemi

Bu sorunun amacı, Tasarla-İhale Et-İnşa Et (DBB), Tasarla-İnşa Et (DB) ve Entegre Proje Teslimi (IPD) gibi proje teslim yöntemlerinden hangisinin inşaat projelerinin başarılı ve verimli yönetimi için en etkili yöntem olarak algılandığını belirlemektir. Tez bağlamında bu sorunun amacı, farklı teslim yaklaşımlarının MEP süreçleri ve tasarım aşamasında BIM entegrasyonu üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Her

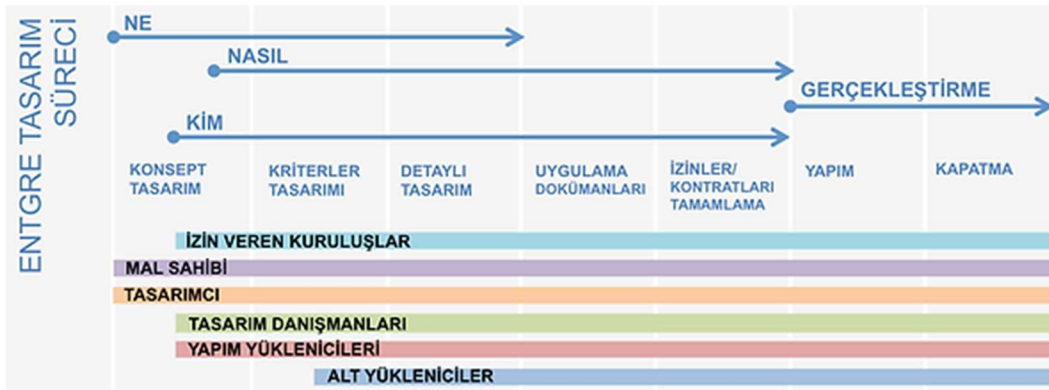
bir yöntemin etkinliğini anlayarak, araştırma, BIM destekli MEP projelerinde koordinasyonu, maliyeti ve zaman verimliliğini optimize etmek için en avantajlı teslim stratejisi hakkında bilgi sağlamaktadır.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %27.9'u "Tasarla-İhale Et- İnşa Et (DBB)," %20'si "Tasarla-İnşa Et (DB)," %33.6'sı "Entegre Proje Teslimi (IPD)" ve %18.6'sı "Bunlardan Hiçbiri / Kararsızım" şeklinde yanıt vermiştir (Bkz. Şekil 5.13). Bu bulgular, IPD yönteminin daha etkili bir yöntem olarak öne çıktığını göstermektedir.

Anket sonuçları, tezde vurgulanan MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında BIM entegrasyonu ile etkin yönetiminin önemini doğrulamaktadır. Bu bağlamda, IPD yöntemi, projelerde tüm paydaşların entegre çalışmasını teşvik ederek disiplinler arası uyumu güçlendirmektedir. Böylece, MEP sistemlerinin erken entegrasyonu, maliyet, kalite ve zaman açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.



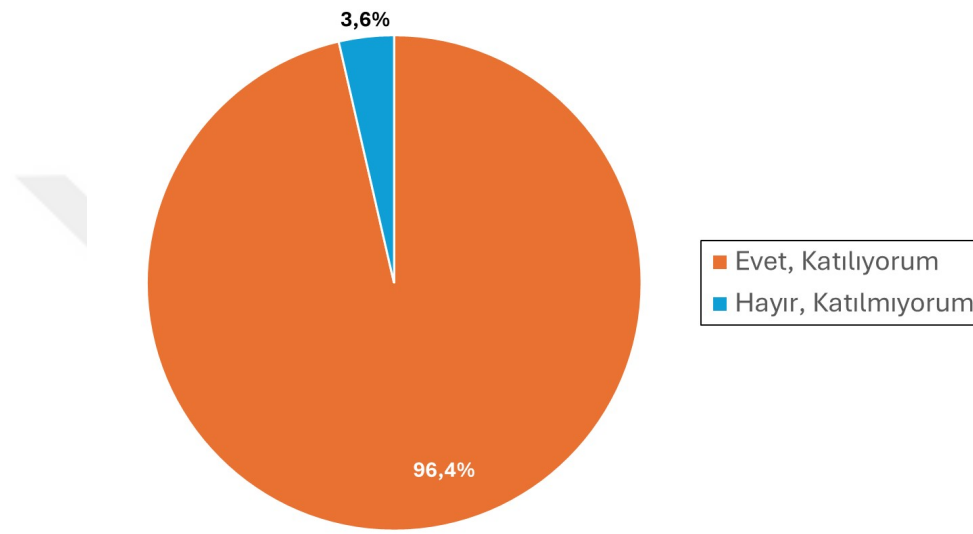
Şekil 5.14 Geleneksel tasarım süreci (Kutmen.com)



Şekil 5.15 Entegre tasarım süreci (Kutmen.com)

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te sırasıyla geleneksel tasarım süreçleri ve entegre tasarım süreçleri karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Bu görseller, IPD yöntemi gibi entegre teslim yaklaşımlarının süreçlerin daha etkin ve koordineli bir şekilde yürütülmesini nasıl desteklediğini açıkça göstermektedir.

Soru 13- Erken tasarım aşamasında yapı mühendisleri ve MEP (Mekanik, Elektrik, Sıhhi Tesisat) tasarımcıları arasında entegrasyon olması gerektiğine katılıyor musunuz?



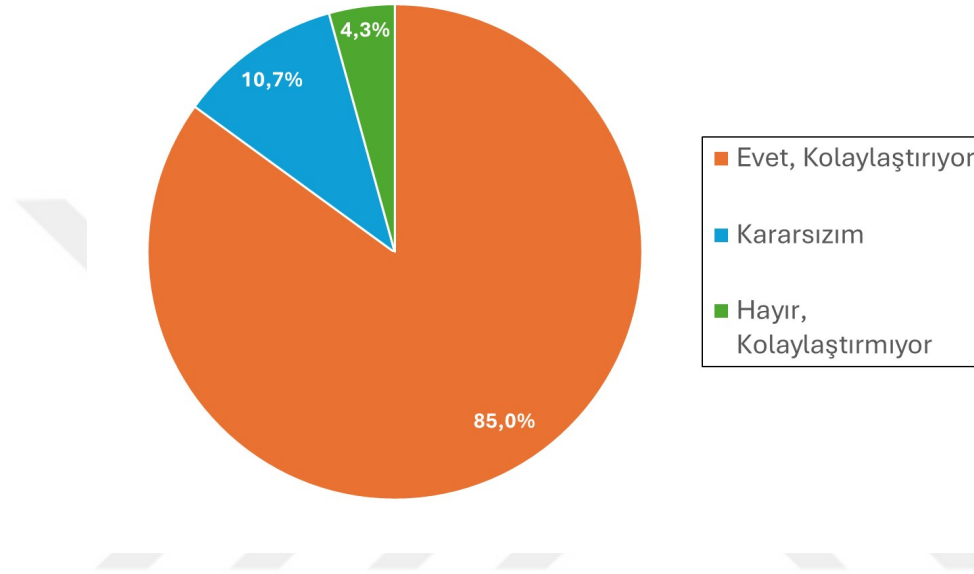
Şekil 5.16 Erken tasarım aşamasında yapı mühendisleri ile MEP tasarımcıları arasında entegrasyonu

Bu soru, yapısal mühendisler ile MEP tasarımcıları arasındaki erken tasarım aşamasında entegrasyonun proje başarısı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla sorulmuştur. Tezde, bu entegrasyonun projelerde çakışmaları önleme, koordinasyonu güçlendirme ve maliyet ile zaman yönetimini optimize etme açısından kritik önem taşıdığı belirtilmektedir. Bu doğrultuda, soru, katılımcıların bu entegrasyonun etkinliği konusundaki görüşlerini belirleyerek tezin ana argümanlarını destekleyen veriler sağlamayı hedeflemektedir.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %96,4'u "Evet katılıyorum" %3.6'sı "Hayır katılmıyorum" şeklinde yanıt vermiştir (Bkz. Şekil 5.16).

Sonuçlar, erken tasarım aşamasında yapısal mühendisler ve MEP tasarımcıları arasındaki entegrasyonun proje başarısına katkıda bulunduğunu savunan tezin ana argümanlarını destekler niteliktedir.

Soru 14- BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) kullanımının MEP (Mekanik, Elektrik, Sıhhi Tesisat) tasarımının erken aşamalarda entegrasyonunu kolaylaştırdığını düşünüyor musunuz?



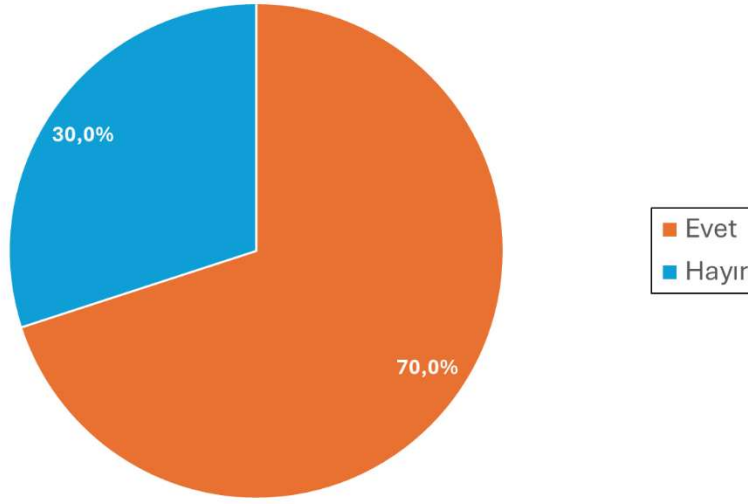
Şekil 5.17 BIM kullanımının MEP tasarımının erken aşamasının entegrasyonun kolaylaştırması

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %85'i "Evet, Kolaylaştırıyor ", %10,7'si "Kararsızım" ve %4,3'ü "Hayır, Kolaylaştırmıyor" şeklinde yanıt vermiştir (Bkz. Şekil 5.17).

Bu sonuçlar, BIM teknolojisinin MEP tasarımı entegrasyonunu erken aşamada kolaylaştırdığına inanan katılımcıların, bu süreci daha etkili gördüğünü ve projelerde daha olumlu sonuçlar elde ettiklerini ortaya koymaktadır.

Tezde, BIM teknolojisinin MEP tasarım süreçlerinin entegrasyonunu erken aşamada kolaylaştırdığı ve bunun proje başarısı üzerinde olumlu etkiler yarattığı savunulmaktadır. BIM, MEP sistemlerinin diğer disiplinlerle koordinasyonunu güçlendirerek çakışmaları azaltmakta ve maliyet ile zaman yönetimini iyileştirmektedir.

Soru 15- İş akışınızda, beton ve çelik için MEP (Mekanik, Elektrik, Sıhhi Tesisat) rezervasyonları oluşturma süreci erken tasarım aşamasına dahil ediliyor mu?



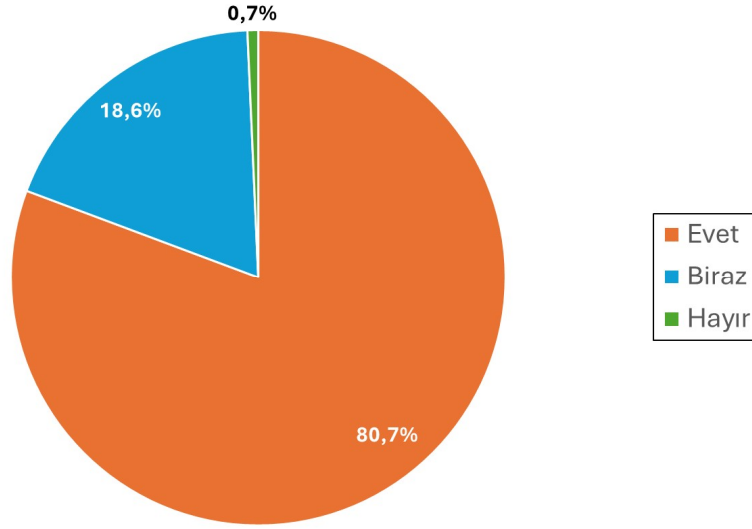
Şekil 5.18 MEP rezervasyonlarının erken tasarım aşamasında yer alması

Bu soru, tezin savunduğu temel hipotezlerden biri olan MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasına dahil edilmesinin proje maliyeti ve kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla sorulmuştur.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %70'i "Evet", %30'u "Hayır" şeklinde yanıt vermiştir (Bkz. Şekil 5.18).

Anket sonucu, MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasındaki rolüne dair güçlü bir pozitif algı olduğunu ve bu sürecin projelere önemli katkılar sağladığını ortaya koymaktadır. Bu durum tezi destekler niteliktedir.

Soru 16- Proje için gerekli olan işveren tarafından belirlenen bilgi gereksinimleri ve teslim standartlarının MEP (Mekanik, Elektrik, Sıhhi Tesisat) tasarımının teslim süresini, formatını ve yöntemini etkilediğini düşünüyor musunuz?

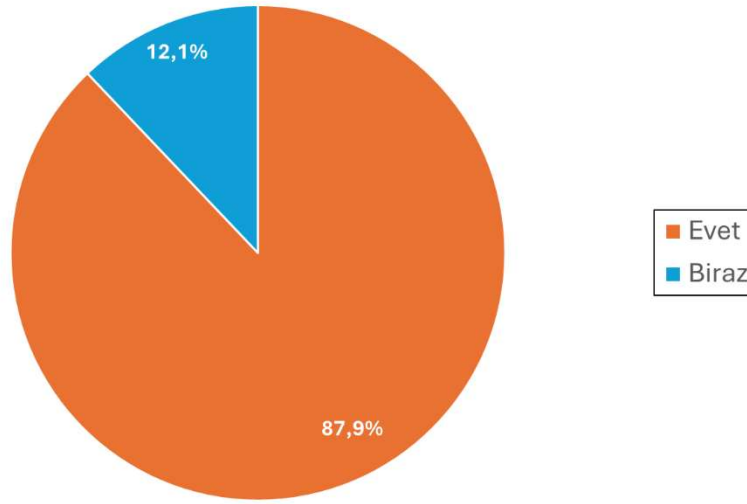


Şekil 5.19 İşveren bilgi gereksinimlerinin MEP tasarımını etkileme düzeyi

Standartlarının için işveren tarafından belirlenen bilgi gereksinimlerinin ve teslim standartlarının, MEP tasarımının teslim süresini, formatını ve yöntemini ne kadar etkilediğini anlamak amacıyla sorulmuştur. Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %80,7'si "Evet", %18,6'sı "Biraz" ve %0,7'si "Hayır" şeklinde yanıt vermiştir (Bkz. Şekil 5.19). Bu bulgu, katılımcıların büyük kısmının belirli bir yanıt üzerinde hemfikir olduğunu ve bu yanıtın örneklemdeki baskın eğilimleri yansıttığını göstermektedir.

Tez bağlamında, bu tür gereksinimlerin ve standartların MEP süreçleri üzerindeki etkisi, BIM projelerinde erken tasarım aşamasında koordinasyon, bilgi yönetimi ve entegrasyonun önemini vurgular. İşveren Bilgi Gereksinimleri (EIR) kavramı, projelerde gereksinimlerin doğru zamanda ve formatta karşılanmasını sağlamak açısından kritik olup, MEP süreçlerinin BIM destekli yönetiminde önemli bir role sahiptir.

Soru 17- Kurduğunuz BIM sözleşmelerinde, erken tasarım aşamasında alt yükleniciler tarafından kullanılacak dosya formatlarını tanımlıyor musunuz?

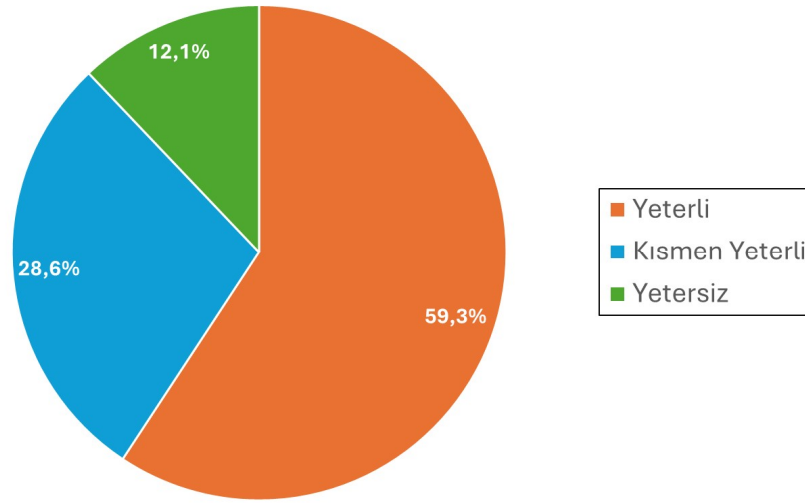


Şekil 5.20 BIM sözleşmelerinde alt yüklenicilerin dosya formatları tanımlanması

Bu soru, BIM projelerinde alt yüklenicilerin erken tasarım aşamasında kullanacakları dosya formatlarının tanımlanmasının önemini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Tez bağlamında, bu soru, MEP süreçlerinde BIM destekli entegrasyonun etkinliği açısından erken tanımlamaların ve standardizasyonun önemini vurgular. Erken aşamada belirlenen dosya formatları, alt yüklenicilerin BIM süreçlerine katılımını ve veri uyumluluğunu kolaylaştırır.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %87,9'u "Evet" derken, %12.1'i "Hayır" yanıtı vermiştir (Bkz. Şekil 5.20). Bu sonuç, BIM projelerinde alt yüklenicilerle yapılan sözleşmelerde dosya formatlarının tanımlanmasının, projelerin bilgi akışı ve koordinasyonu açısından önemli olduğunu gösterir. Erken tanımlamalar, projelerde veri uyumluluğunu sağlarken, süreçlerin daha etkili ve hatasız ilerlemesine katkı sağlar. Bu, dosya formatlarının standardizasyonunun MEP tasarımı ve koordinasyonu için gerekliliğini teyit eden tezin ana argümanları ile uyumludur.

Soru 18- BIM ve simülasyon/optimizasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun mevcut durumu ve gelecekteki potansiyeli hakkında ne düşünüyorsunuz?



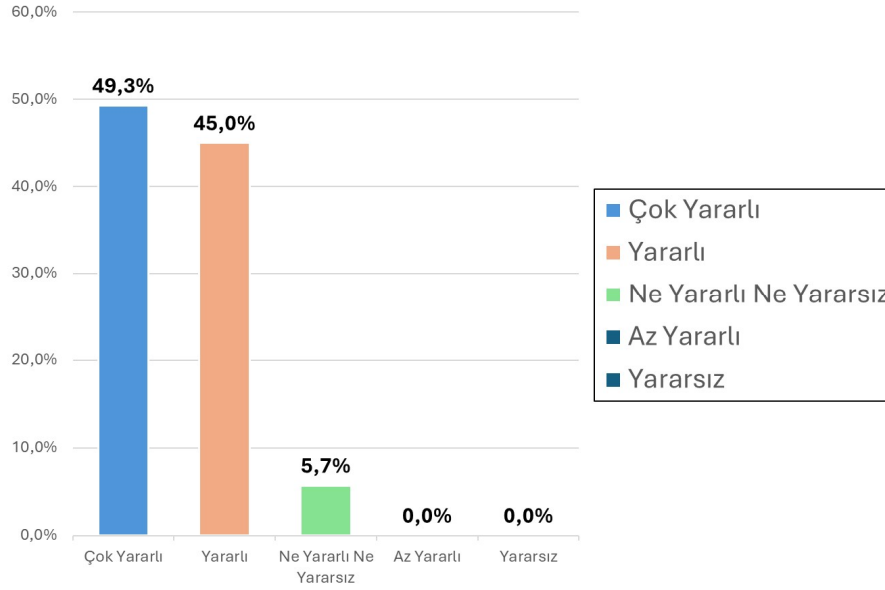
Şekil 5.21 BIM ve simülasyon / optimizasyon araçlarının MEP süreçlerine entegrasyonu

Değerlendirmede simülasyon/optimizasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun mevcut durumu ve gelecekteki potansiyelini değerlendirmek amacıyla sorulmuştur. Tez bağlamında, bu araçların MEP projelerindeki entegrasyonunun projelerin verimliliği, maliyeti ve iş akışını nasıl etkilediğini incelemek açısından önem taşır.

Anket sonuçlarına göre katılımcıların %28,6'sı bu entegrasyonu "Yeterli," %59,3'ü "Kısmen Yeterli" ve %12,1'i "Yetersiz" olarak değerlendirmiştir (Bkz. Şekil 5.21). Bu, BIM araçlarının ve simülasyon uygulamalarının entegrasyonunda hâlâ gelişim alanları olduğunu göstermektedir.

Bu sonuçlar, BIM'in MEP süreçlerinde simülasyon araçlarıyla entegrasyonunun geliştirilmesi gerektiğini göstermekte ve tezin ana argümanlarını desteklemektedir. Bu entegrasyon, projelerde BIM'in tam potansiyelinin gerçekleştirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Soru 19- BIM modelini MEP tasarım ve operasyon süreçlerine uygulamanın faydalarını nasıl değerlendirirsiniz?

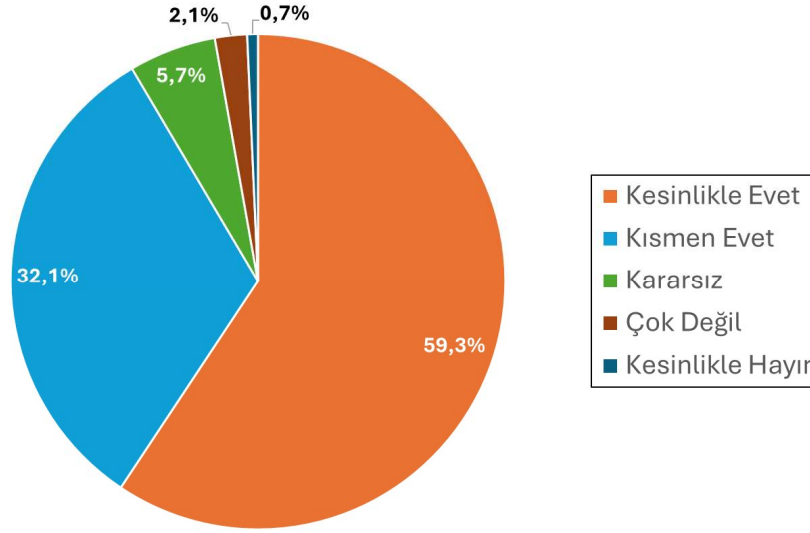


Şekil 5.22 MEP tasarım ve işletme süreçlerinde BIM modelinin faydaları

Bu soru, BIM modelinin MEP tasarım ve işletme süreçlerine uygulanmasının projelerdeki verimlilik ve koordinasyon üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla sorulmuştur. Tezde, BIM uygulamalarının MEP projelerinin erken tasarım aşamasında entegrasyonunu kolaylaştırdığı ve projelerde maliyet, zaman yönetimi ve kalite kontrolü gibi faktörlerde iyileştirmeler sağladığı vurgulanmaktadır.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %49,3'ü BIM modelini “Çok Yararlı”, %45'i “Yararlı” ve %5,7'si “Ne Yararlı Ne Yararsız” olarak değerlendirmiştir (Bkz. Şekil 5.22). Bu bulgular, BIM modelinin MEP süreçlerine sağladığı faydaların katılımcılar tarafından önemli bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca, BIM'in MEP süreçlerinin yönetimi ve entegrasyonu açısından etkili bir araç olduğunu ve projelerde olumlu çıktılar sağladığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, elde edilen veriler, BIM'in MEP projelerine katkısını desteklemekte ve proje yönetiminde daha yaygın ve etkin kullanımının gerekliliğini vurgulamaktadır.

Soru 20- MEP koordinasyon süreçlerinde BIM'in maliyet etkinliği sağladığını düşünüyor musunuz?



Şekil 5.23 MEP koordinasyon süreçlerinde BIM'in maliyet etkinliği

Bu soru, MEP koordinasyon süreçlerinde BIM uygulamalarının maliyet etkinliğini sağlayıp sağlamadığına dair katılımcıların görüşlerini ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu soru, BIM'in projelerdeki finansal avantajlarını ve kaynak kullanımındaki verimliliğini anlamak açısından önem taşır. BIM'in maliyet etkinliğini sağlama potansiyeli, projelerin bütçe yönetimi ve mali tasarruf açısından ne derece etkili olduğunu ortaya koymakta kritik bir rol oynar. Bu veriler, BIM'in benimsenmesinin ve erken tasarım aşamasında uygulanmasının ekonomik faydalarını belirlemeye yönelik kanıtlar sunarak BIM'in MEP süreçlerindeki maliyet kontrolüne katkısını değerlendirmeye yardımcı olur.

Anket sonuçlarına göre katılımcıların %59,3'ü "Kesinlikle Evet", %32,1'i "Kısmen Evet", %5,7'i "Kararsız", %2,1'i "Çok Değil", %0,7'i "Kesinlikle Hayır" olarak değerlendirmiştir (Bkz. Şekil 5.23).

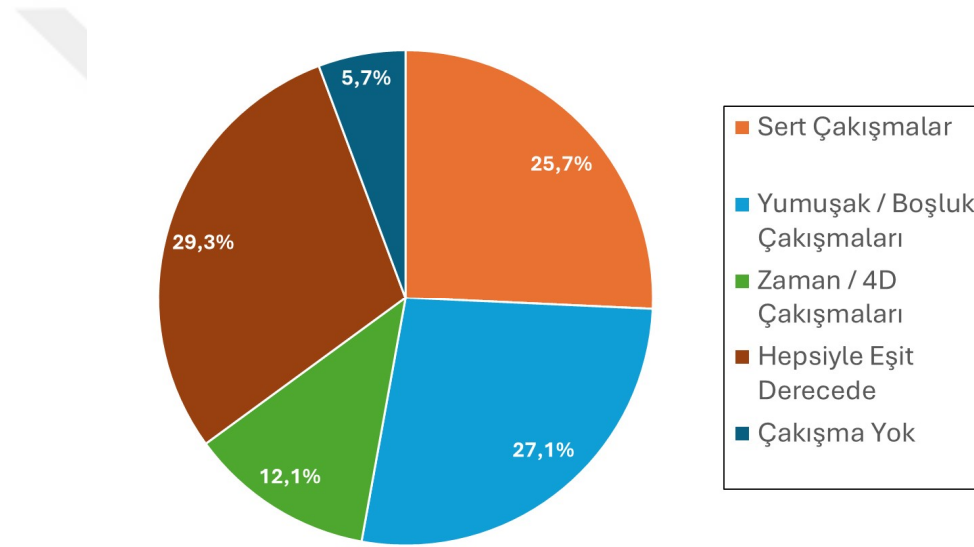
Katılımcıların %91,4'nün BIM'in maliyet etkinliği sağladığını düşünmesi araştırmanın ana amacını destekler niteliktedir; BIM'in MEP koordinasyon süreçlerinde maliyet etkinliği sağladığına yönelik güçlü bir katılımcı algısı olduğunu göstermektedir.

Soru 21- İnşaat projelerinde en sık karşılaştığınız çakışma türü hangisidir?

Sert Çakışmalar: Bu terim, bir bina bileşeninin diğerinin istem dışı fiziksel olarak nüfuz etmesini ifade eder; yani iki veya daha fazla bileşen aynı fiziksel alan için rekabet eder.

Yumuşak/Boşluk Çakışmaları: Bunlar, bileşenlerin (alt sistemlerin) belirli bir asgari mesafeden (boşluk) daha yakın bir şekilde birbirine yerleştirildiği durumları ifade eder.

Zaman/4D Çakışmaları: Bunlar, projenin inşa edilebilirliği veya işletilebilirliği göz önünde bulundurulduğunda beklenen mekânsal zorlukları (potansiyel olarak aynı mekân bileşenlerini işgal eden) temsil eder. Buna yüklenicinin programı, ekipman ve malzeme teslimatı ve genel zaman çizelgesi çakışmaları dahil olabilir.



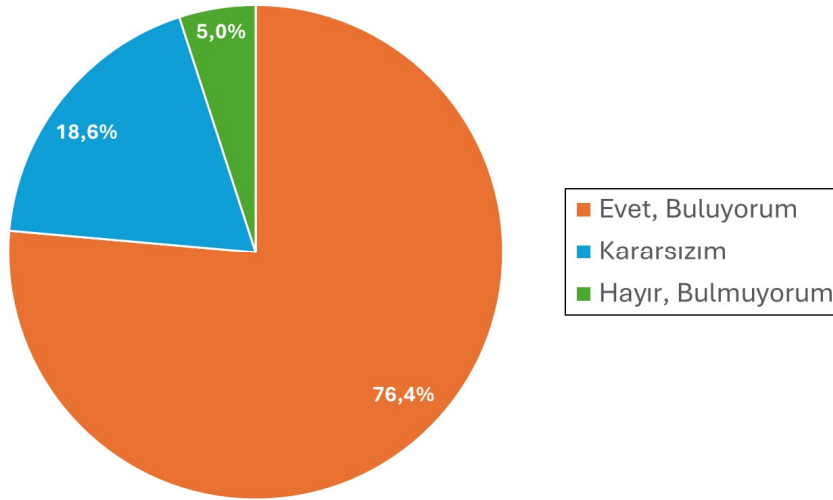
Şekil 5.24 İnşaat projelerinde en sık karşılaşılan çakışma türü

Bu soru, inşaat projelerinde en sık karşılaşılan çakışma türlerini belirlemeyi ve bu çakışmaların BIM süreçleri üzerindeki etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Sert çakışmalar (Hard Clashes), yumuşak/boşluk çakışmaları (Soft/Clearance Clashes) ve zaman/4D çakışmaları (Time/4D Clashes) gibi farklı çakışma türlerinin projelerdeki yaygınlığını ortaya koyarak, BIM tabanlı koordinasyonun etkinliğini değerlendirmek için veri sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, proje yönetiminde hangi çakışma türlerinin daha büyük zorluklara yol açtığını ve BIM uygulamalarının bu sorunların çözümündeki etkinliğini ortaya koyabilir. Bu bağlamda, soruya verilen yanıtlar, teze BIM'in inşaat projelerindeki çakışma yönetimi süreçlerindeki rolü ve önemi hakkında kanıt sunarak katkı sağlamaktadır.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %25,7'si "Sert Çakışmalar", %27,1'i "Yumuşak/Boşluk Çakışmaları", %12,1'i "Zaman/4D Çakışmaları", %29,3'ü "Hepsiyle Eşit Derecede" ve %5,7'si "Çakışma Yok" olarak yanıt vermiştir (Bkz. Şekil 5.24).

Bu durum, tezin ana savını destekler niteliktedir ve BIM'in, inşaat projelerindeki çakışma yönetimi süreçlerinde önemli bir rol oynadığını kanıtlamaktadır. Bu bağlamda, BIM uygulamalarının erken tasarım aşamasında çakışmaların yönetimindeki etkisi, projelerin zaman, maliyet ve kalite üzerinde olumlu bir etki yaratacak şekilde değerlendirilmelidir.

Soru 22- EIR (İşverenin Bilgi Gereksinimleri), işveren tarafından belirlenen ve proje için gerekli olan bilgi gereksinimlerini ve teslimat standartlarını sağlar. EIR konseptini erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu için önemli buluyor musunuz?



Şekil 5.25 EIR'in MEP koordinasyonu için önemi

Bu soru, işverenin bilgi gereksinimlerinin (EIR) erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu için önemini sorgulamaktadır. EIR, projelerde işveren tarafından belirlenen bilgi gereksinimlerini ve teslimat standartlarını tanımlayarak, MEP süreçlerinin erken aşamada doğru ve etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar.

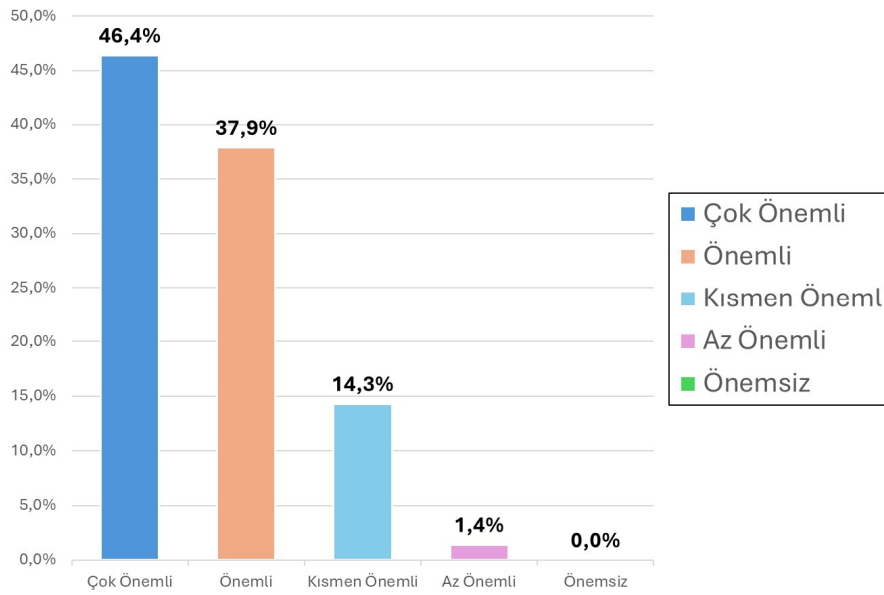
Bu anket sorusu, tezin özellikle MEP süreçlerinin BIM destekli yönetimi ve erken tasarım aşamasındaki önemini inceleyen bölümünü desteklemektedir. Erken

aşamada EIR'nin MEP süreçleri için kritik bir unsur olarak görülmesi, bu konseptin projelerin başarılı bir şekilde planlanması ve koordinasyonunun sağlanmasında neden önemli olduğunu vurgulamak için kullanılmaktadır. Tezin, MEP süreçlerinin etkin yönetimi ve bilgi akışının düzenlenmesi konularında EIR'nin rolü ve etkilerini tartışan kısmını desteklemektedir.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %76,4'ü "Evet, Buluyorum", %18,6'sı "Kararsızım" ve %5'i "Hayır, Bulmuyorum" yanıtlarını vermiştir (Bkz. Şekil 5.25).

Anket sonuçları, tezin temel hipotezini destekler niteliktedir. Katılımcıların büyük bir kısmının EIR'nin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu için önemli olduğunu belirtmesi, EIR'nin MEP süreçlerinin etkin yönetimi üzerindeki kritik rolünü vurgulayan tezi doğrulamaktadır.

Soru 23- Sizce BIM Yöneticisinin projenin BIM Uygulama Planının (BEP) detaylandırılması ve koordine edilmesindeki rolü inşaat projelerinin başarısı için ne ölçüde önemlidir?



Şekil 5.26 BIM yöneticisinin BEP detaylandırılması ve koordinasyonundaki rolünün önemi

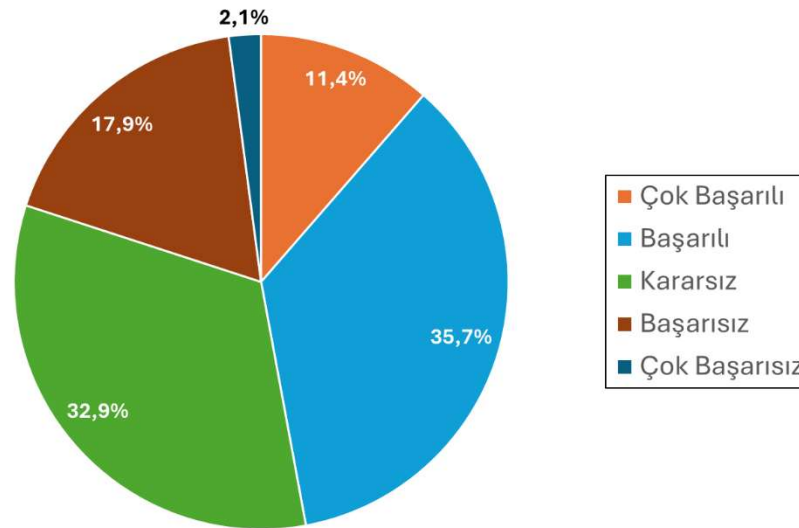
Bu soru, tezin BIM Yöneticisinin projelerdeki rolünü ve BEP'in (BIM Execution Plan) detaylandırılması ve koordinasyonunun inşaat projelerinin başarısına olan etkisini inceleyen bölümlerini desteklemek amacıyla sorulmuştur. Tezde, MEP süreçlerinin BIM destekli yönetiminin ve erken tasarım aşamasındaki rolünün

maliyet ve zaman yönetimi üzerindeki etkileri ele alındığından, BIM Yöneticisinin bu süreçlerdeki kritik rolü ve BEP'in etkin yönetiminin proje başarısına olan katkısı anlaşılmak istenmiştir. Bu sorunun yanıtları, BIM Yöneticisinin proje süresince koordinasyon sağlamadaki önemini ve bu rolün proje başarısına yansımalarını değerlendirmek için kullanılmıştır.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %46,4'ü BIM Yöneticisinin BEP'in detaylandırılması ve koordinasyonundaki rolünü "Çok Önemli", %37,9'u "Önemli", %14,3'ü "Kısmen Önemli" ve %1,4'ü "Az Önemli" olarak değerlendirmiştir. "Önemsiz" seçeneği katılımcılar tarafından işaretlenmemiştir (Bkz. Şekil 5.26).

Bu bulgu, tezde savunulduğu üzere, BIM Yöneticisinin projelerdeki merkezi rolünün, projelerin başarılı yönetimi ve MEP süreçlerinin etkinliği üzerindeki katkısını güçlü bir şekilde doğrulamaktadır.

Soru 24- MEP (Mekanik, Elektrik ve Sıhhi Tesisat) yüklenicilerinin hızlandırılmış projelerde karşılaştıkları zorluklara uyum sağlamaları ne kadar başarılı?



Şekil 5.27 MEP yüklenicilerinin hızlandırılmış projelerde zorluklara uyum sağlama başarısı

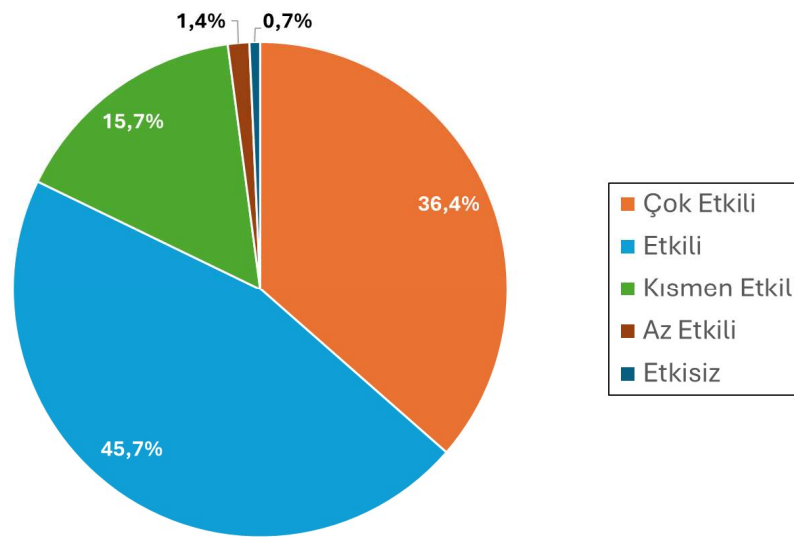
Bu soru, MEP yüklenicilerinin hızlandırılmış projelerde karşılaştıkları zorluklara uyum sağlama kapasitelerini ve bu sürecin ne kadar başarılı olduğunu değerlendirmek için sorulmuştur. Teze katkı olarak, MEP yüklenicilerinin adaptasyon yetenekleri ve bu adaptasyonun projelerin başarısını nasıl etkilediği

konusundaki anlayışın derinleştirilmesini sağlar. Bu veriler, hızlandırılmış projelerde MEP yüklenicilerinin karşılaştığı zorlukları ve bu zorlukların BIM tabanlı süreçlerle nasıl yönetilebileceğini ortaya koyarak, MEP süreçlerinin yönetiminde BIM'in rolünü ve önemini daha iyi anlamamıza yardımcı olur.

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %35,7'si MEP yüklenicilerinin hızlandırılmış projelerde karşılaştıkları zorluklara uyum sağlama becerilerini "Başarılı", %32,9'u "Kararsız", %17,9'u "Başarısız" ve %11,4'ü "Çok Başarılı" olarak değerlendirmiştir. Bunun yanında, %2,1'i ise bu uyum sağlama kapasitesini "Çok Başarısız" olarak nitelendirmiştir (Bkz. Şekil 5.27).

Bu bulgu, katılımcıların genel olarak MEP yüklenicilerinin hızlandırılmış projelerdeki uyum sağlama kapasitesini başarılı olarak değerlendirdiklerini desteklemektedir ve tezin bu konudaki varsayımlarını doğrulamaktadır.

Soru 25- Tasarım aşamasından inşaat aşamasına geçişteki zorlukları azaltmak için MEP (Mekanik, Elektrik, Sıhhi Tesisat) tasarım süreçlerinde BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) kullanımının etkinliğini nasıl değerlendiriyorsunuz?

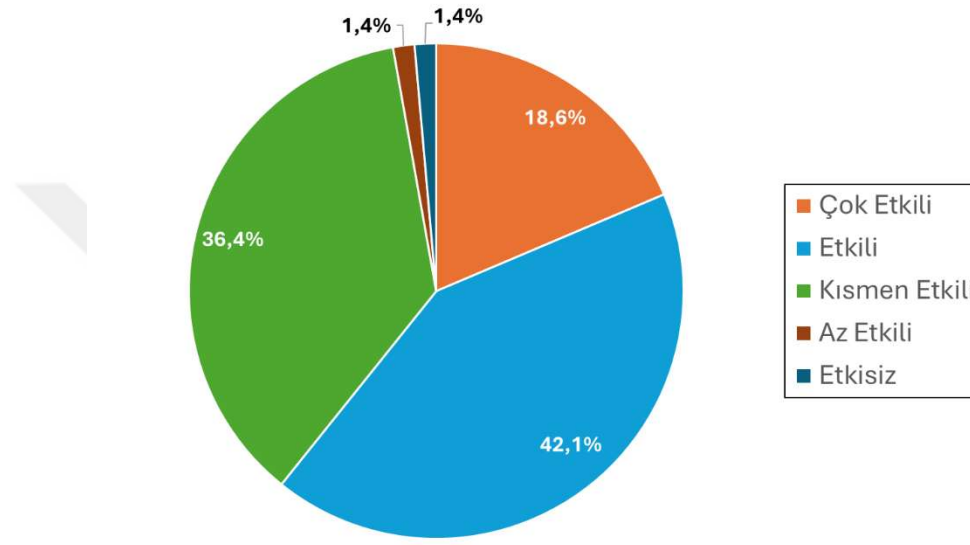


Şekil 5.28 MEP süreçlerinde tasarımdan inşaat geçişte BIM etkinliği

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %36,4'ü BIM'in MEP tasarım süreçlerinde tasarımdan inşaat geçişteki zorlukları azaltmada "Çok Etkili" olduğunu belirtmiştir. %45,7'si "Etkili", %15,7'si "Kısmen Etkili" ve %1,4'ü "Az Etkili" yanıtını vermiştir. %0,7'si ise BIM'i "Etkisiz" bulmuştur (Bkz. Şekil 5.28).

Anket sonuçlarına göre, katılımcıların %82,1'i, tasarım aşamasından inşaat aşamasına geçişte yaşanan zorlukları azaltmada MEP süreçlerinde BIM kullanımını etkili bulmaktadır. Bu bulgu, katılımcıların BIM'i MEP tasarım süreçlerinde etkin bir araç olarak değerlendirdiğini ve tezde savunulduğu gibi BIM'in proje süreçlerinde kritik bir rol oynadığını desteklemektedir.

Soru 26- BIM projelerinde DEMA (Veri Değişim Matris Analizi) kullanımının veri akışı ve paylaşımının etkinliği üzerindeki etkisini nasıl değerlendiriyorsunuz?



Şekil 5.29 BIM projelerinde DEMA kullanımı ve paylaşımının etkinliği

BIM projelerinde DEMA (Veri Değişim Matris Analizi) kullanımının veri akışı ve paylaşım etkinliği üzerindeki etkisini değerlendiren katılımcıların %42,1'i "Çok Etkili", %36,4'ü "Etkili", %18,6'sı "Kısmen Etkili", %1,4'ü "Az Etkili" ve %1,4'ü "Etkisiz" bulmuştur (Bkz. Şekil 5.29).

Bu sonuçlar, DEMA'nın, BIM projelerinde veri paylaşımı ve iş birliği süreçlerinde etkili bir araç olarak algılandığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, DEMA'nın BIM projelerinde disiplinler arası koordinasyonu artırarak süreçlerin daha verimli bir şekilde yönetilmesine katkı sağladığı ve erken aşamada bilgi paylaşımını optimize ederek proje çıktıların kalite, zaman ve maliyet açısından olumlu etkilenmesine olanak tanıdığı değerlendirilmektedir. Bu bulgular, BIM projelerinde DEMA kullanımının daha yaygın ve sistematik bir şekilde uygulanmasının gerekliliğini desteklemektedir.

5.3 Bulgular

5.3.1 Tanımlayıcı İstatistikler

Araştırmaya katılan 140 katılımcının mesleki deneyim, BIM deneyimi, koordinasyon tercihleri, proje yönetim yöntemleri, erken tasarım aşaması entegrasyonu ve MEP tasarımı gibi konulardaki görüş ve deneyimlerine ilişkin bilgiler Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9 Görüş ve deneyime ilişkin bilgiler

		N	%
Mesleki Deneyim	5 Yıldan Az	25	17,9%
	5-10 Yıl	27	19,3%
	11-15 yıl	25	17,9%
	15 Yıldan Fazla	63	45,0%
	Toplam	140	100,0%
BIM Deneyimi	2 Yıldan Az	30	21,4%
	2-4 Yıl	32	22,9%
	5-7 Yıl	27	19,3%
	8-10 Yıl	24	17,1%
	10 Yıldan Fazla	27	19,3%
	Toplam	140	100,0%
MEP koordinasyonunda paralel koordinasyonun mu yoksa adım adım koordinasyonunun mu daha etkili olduğunu düşünüyorsunuz?	Paralel Koordinasyon	59	42,1%
	Adım Adım Koordinasyon	23	16,4%
	Her ikisi de Etkilidir	46	32,9%
	Her ikisi de Etkili Değil	1	0,7%
	Kararsızım	11	7,9%
	Toplam	140	100,0%
İnşaat projelerinin başarılı ve verimli yönetimi için en etkili yöntemin hangisi olduğunu düşünüyorsunuz?	Yap-İhale Et-İnşa Et (DBB)	39	27,9%
	Tasarla-İnşa Et (DB)	28	20,0%
	Entegre Proje Teslimi (IPD)	47	33,6%
	Bunlardan Hiçbiri / Kararsızım	26	18,6%
	Toplam	140	100,0%
Erken tasarım aşamasında yapı mühendisleri ve MEP tasarımcıları arasında entegrasyon olması gerektiğine katılıyor musunuz?	Hayır, Katılmıyorum	5	3,6%
	Evet, Katılıyorum	135	96,4%
	Toplam	140	100,0%

Tablo 5.9 Görüş ve deneyime ilişkin bilgiler (devamı)

BIM kullanımının MEP tasarımının erken aşamalarda entegrasyonunu kolaylaştırdığını düşünüyor musunuz?	Hayır, Kolaylaştırmıyor	6	4,3%
	Kararsızım	15	10,7%
	Evet, Kolaylaştırıyor	119	85,0%
	Toplam	140	100,0%
İş akışınızda, beton ve çelik için MEP rezervasyonları oluşturma süreci erken tasarım aşamasına dahil ediliyor mu?	Hayır	42	30,0%
	Evet	98	70,0%
	Toplam	140	100,0%
Proje için gerekli olan işveren tarafından belirlenen bilgi gereksinimleri ve teslim standartlarının MEP tasarımının teslim süresini, formatını ve yöntemini etkilediğini düşünüyor musunuz?	Hayır	1	0,7%
	Evet	113	80,7%
	Biraz	26	18,6%
	Toplam	140	100,0%
Kurduğunuz BIM sözleşmelerinde, erken tasarım aşamasında alt yükleniciler tarafından kullanılacak dosya formatlarını tanımlıyor musunuz?	Hayır	17	12,1%
	Evet	123	87,9%
	Toplam	140	100,0%
BIM ve simülasyon/optimizasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun mevcut durumu ve gelecekteki potansiyeli hakkında ne düşünüyorsunuz?	Yetersiz	17	12,1%
	Kısmen Yeterli	83	59,3%
	Yeterli	40	28,6%
	Toplam	140	100,0%

Tablo 5.9 Görüş ve deneyime ilişkin bilgiler (devamı)

İnşaat projelerinde en sık karşılaştığınız çakışma türü hangisidir?	Çakışma Yok	8	5,7%
	Yumuşak / Boşluk Çakışmaları	38	27,1%
	Zaman / 4D Çakışmaları	17	12,1%
	Sert Çakışmalar	36	25,7%
	Hepsiyle Eşit Derecede	41	29,3%
	Toplam	140	100,0%
EIR işveren tarafından belirlenen ve proje için gerekli olan bilgi gereksinimlerini ve teslimat standartlarını sağlar. EIR konseptini erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu için önemli buluyor musunuz?	Hayır, Bulmuyorum	7	5,0%
	Kararsızım	26	18,6%
	Evet, Buluyorum	107	76,4%
	Toplam	140	100,0%

Araştırmaya katılan 140 kişinin %17,9'u 5 yıldan az, %19,3'ü 5-10 yıl, %17,9'u 11-15 yıl ve %45,0'ı 15 yıldan fazla mesleki deneyime sahiptir. Kişilerin %21,4'ü 2 yıldan az, %22,9'u 2-4 yıl, %19,3'ü 5-7 yıl, %17,1'i 8-10 yıl ve %19,3'ü 10 yıldan fazla BIM deneyimine sahiptir. Katılımcıların %42,1'i paralel koordinasyonu, %16,4'ü adım adım koordinasyonu, %32,9'u her ikisini de etkili bulurken, %0,7'si hiçbirini etkili bulmamış, %7,9'u ise kararsız olduğunu belirtmiştir. Kişilerin %27,9'u DBB yöntemini, %20,0'si DB yöntemini, %33,6'sı IPD yöntemini en etkili bulurken, %18,6'sı kararsızdır veya diğer yöntemleri tercih etmiştir. %96,4'ü erken tasarım aşamasında entegrasyonu desteklerken, %3,6'sı bu duruma katılmamaktadır. BIM kullanımının entegrasyonu kolaylaştırdığını düşünenlerin oranı %85,0, kararsız olanlar %10,7 ve kolaylaştırmadığını düşünenler %4,3'tür. %70,0'ı erken tasarım aşamasında MEP rezervasyonlarının yapıldığını belirtirken, %30,0'ı bunun yapılmadığını ifade etmiştir. İşveren tarafından belirlenen bilgi gereksinimlerinin MEP tasarımına etkili olduğunu düşünenlerin oranı %80,7, kısmen etkili olduğunu belirtenler %18,6 ve etkili olmadığını düşünenler %0,7'dir.

BIM sözleşmelerinde dosya formatlarını tanımladığını belirtenlerin oranı %87,9 iken, %12,1 bu durumu gerçekleştirmemektedir. BIM entegrasyonunu kısmen yeterli bulanlar %59,3, yeterli bulanlar %28,6 ve yetersiz bulanlar %12,1'dir. İnşaat projelerinde en sık karşılaşılan çakışma türü olarak %29,3'ü hepsiyle eşit derecede olduğunu belirtirken, %27,1'i yumuşak/boşluk çakışmalarını, %25,7'si sert çakışmaları, %12,1'i zaman/4D çakışmalarını ve %5,7'si çakışma olmadığını ifade etmiştir. Katılımcıların %76,4'ü EIR konseptinin MEP koordinasyonunda önemli olduğunu belirtirken, %18,6'sı kararsız, %5,0'i ise önemli olmadığını ifade etmiştir

5.3.2 Normallik Sınaması

Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğinin alt boyutlarının normal dağılıp dağılmadığının belirlenmesi amacıyla normallik testi yapılmıştır. Normallik testi sonuçlarına göre; fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı, stratejik BIM koordinasyonu algısı değişkenlerinin gruplar arası karşılaştırmaların yapılmasında parametrik veya nonparametrik testlerden hangisinin yapılacağı belirlenecektir. Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğinin alt boyutlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 5.10'da, Kolmogorov-Smirnov normallik testi sonuçları Tablo 5.11'de gösterilmiştir.

Tablo 5.10 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğinin alt boyutlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

	Fayda ve Zorluk Algısı	Etkinlik ve Maliyet Algısı	Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı
Ort.	4,3548	4,2357	3,7905	4,1714
Medyan	4,3333	4,3333	3,6667	4,0000
Mod	5,00	4,00	4,00	4,00
SS.	,57278	,61619	,61599	,62551
Min.	2,67	2,33	2,00	2,50
Max.	5,00	5,00	5,00	5,00
Skewness (Çarpıklık)	-,800	-,656	-,261	-,363
Kurtosis (Basıklık)	,329	,089	,143	-,428

Tablo 5.11 Kolmogorov-Smirnov normallik testi

	Kolmogorov-Smirnov		
	İstatistik	sd.	p
Fayda ve Zorluk Algısı	,164	140	,000
Etkinlik ve Maliyet Algısı	,165	140	,000
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	,135	140	,000
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	,165	140	,000

Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu ölçeğinin alt boyutlarına uygulanan Kolmogorov-Smirnov testi sonuçlarına göre; fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı, stratejik BIM koordinasyonu algısı değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerlerinin 0,05'in altında olması verilerin normal dağılıma sahip olmadığını gösterirken, verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığının belirlenmesinde sadece Kolmogorov-Smirnov testi yeterli değildir. "Tabachnick ve Fidell'e göre Skewness (Çarpıklık) ve Kurtosis (Basıklık) değerlerinin +1,5 ile -1,5 arasında olması ve aritmetik ortalama, mod, medyan değerlerinin birbirine yakın değerler olması verilerin normal dağılıma sahip olduğunu göstermektedir." Bu duruma göre; fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı, stratejik BIM koordinasyonu algısı değişkenleri için tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde; bu değişkenlerin çarpıklık ve basıklık değerlerinin +1,5 ile -1,5 arasında olduğu ve aritmetik ortalama, mod, medyan değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Bu sebeple; fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı, stratejik BIM koordinasyonu algısı değişkenlerinin normal dağılıma sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple araştırmada; fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı, stratejik BIM koordinasyonu algısının gruplar arası farklılıkların incelenmesine ilişkin karşılaştırmalarda parametrik analizler uygulanacaktır (B.G. Tabachnick, 2013).

5.3.3 Erken Tasarım Aşamasın MEP Koordinasyona Yönelik Algılara İlişkin Farklılıkların İncelenmesi

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna ilişkin farklılıklarının incelenmesinde; iki grup arasındaki farkı bağımsız örneklem t-testi, ikiden fazla grup olduğunda parametrelerin gruplar arası karşılaştırmalarında “One Way Anova” testi kullanılmıştır. Anova testi sonucunda anlamlı farklılığın bulunduğu değişkenlerde ise; Post-Hoc LSD testi kullanılarak her bir grubun diğer gruplara göre farklılıkları belirlenmiştir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “Deneyim Süresi” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla “One Way ANOVA” testi uygulanmıştır. Tablo 5.12’de ANOVA testine ilişkin F test istatistikleri ve olasılık (p) değerleri ve ANOVA testi sonucunda anlamlı farklılığın bulunduğu değişkenlere ilişkin Post-Hoc LSD testi sonuçları verilmiştir. ANOVA testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1A}: Kişilerin fayda ve zorluk algıları deneyim süresine göre farklılaşmaktadır.

H_{2A}: Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı deneyim süresine göre farklılaşmaktadır.

H_{3A}: Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı deneyim süresine göre farklılaşmaktadır.

H_{4A}: Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı deneyim süresine göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.12 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların deneyim süresine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları

Bağımlı Değişken	Deneyim Süresi	N	Ort.	SS.	F	p	Post-Hoc LSD
Fayda ve Zorluk Algısı	a) 5 Yıldan Az	25	3,9867	,64176	4,947	,003	b>a
	b) 5-10 Yıl	27	4,3704	,51750			c>a
	c) 11-15 yıl	25	4,5333	,48113			d>a

Tablo 5.12 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların deneyim süresine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları (devamı)

Etkinlik ve Maliyet Algısı	d) 15 Yıldan Fazla	63	4,4233	,54938	2,464	,065
	Toplam	140	4,3548	,57278		
	a) 5 Yıldan Az	25	4,0000	,58531		
	b) 5-10 Yıl	27	4,1358	,61505		
	c) 11-15 yıl	25	4,2533	,64031		
	d) 15 Yıldan Fazla	63	4,3651	,59783		
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	Toplam	140	4,2357	,61619	2,840	,040
	a) 5 Yıldan Az	25	3,4933	,54535		
	b) 5-10 Yıl	27	3,9630	,70610		
	c) 11-15 yıl	25	3,8400	,48228		
	d) 15 Yıldan Fazla	63	3,8148	,62153		
	Toplam	140	3,7905	,61599		
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	a) 5 Yıldan Az	25	4,0000	,61237	2,342	,076
	b) 5-10 Yıl	27	4,1667	,66506		
	c) 11-15 yıl	25	4,0000	,62915		
	d) 15 Yıldan Fazla	63	4,3095	,59180		
	Toplam	140	4,1714	,62551		

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının deneyim süresine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; “Etkinlik ve Maliyet Algısı, Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{2A} ve H_{4A} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin etkinlik ve maliyet algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının deneyim süresine göre farklılık göstermediği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir. “Fayda ve Zorluk Algısı, Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin altında olduğundan H_{1A} ve H_{3A} hipotezleri kabul edilir. Bu hipotezlerin kabul edilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının ve

detay seviyesi ve adaptasyon algılarının deneyim süresine göre değişiklik gösterdiği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu anlamına gelmektedir.

Kişilerin fayda ve zorluk algılarının ve detay seviyesi ve adaptasyon algılarının deneyim süresine göre ortalama farklılıklarının belirlenmesine yönelik yapılan Post-Hoc LSD testi sonuçlarına göre:

Kişilerin fayda ve zorluk algılarının deneyim süresine göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; 5-10 yıl, 10-15 yıl ve 15 yıldan fazla süredir deneyimi olan kişilerin fayda ve zorluk algıları, 5 yıldan az süre deneyimi olan kişilerden daha yüksektir.

Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algılarının deneyim süresine göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; 5-10 yıl, 10-15 yıl ve 15 yıldan fazla süredir deneyimi olan kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algıları, 5 yıldan az süre deneyimi olan kişilerden daha yüksektir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “BIM Deneyimi” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla “One Way ANOVA” testi uygulanmıştır. Tablo 5.13’te ANOVA testine ilişkin F test istatistikleri ve olasılık (p) değerleri ve ANOVA testi sonucunda anlamlı farklılığın bulunduğu değişkenlere ilişkin Post-Hoc LSD testi sonuçları verilmiştir. ANOVA testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1B}: Kişilerin fayda ve zorluk algıları BIM deneyimine göre farklılaşmaktadır.

H_{2B}: Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı BIM deneyimine göre farklılaşmaktadır.

H_{3B}: Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı BIM deneyimine göre farklılaşmaktadır.

H_{4B}: Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı BIM deneyimine göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.13 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların BIM deneyimine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları

Bağımlı Değişken	BIM Deneyimi	N	Ort.	SS.	F	p	Post-Hoc LSD
Fayda ve Zorluk Algısı	a) 2 Yıldan Az	30	4,1333	,50742	3,206	,015	d>a e>a,c
	b) 2-4 Yıl	32	4,3437	,58954			
	c) 5-7 Yıl	27	4,2346	,56094			
	d) 8-10 Yıl	24	4,5278	,63639			
	e) 10 Yıldan Fazla	27	4,5802	,47675			
	Toplam	140	4,3548	,57278			
Etkinlik ve Maliyet Algısı	a) 2 Yıldan Az	30	4,0778	,61702	,780	,540	
	b) 2-4 Yıl	32	4,2396	,48810			
	c) 5-7 Yıl	27	4,2346	,67187			
	d) 8-10 Yıl	24	4,3056	,72176			
	e) 10 Yıldan Fazla	27	4,3457	,60257			
	Toplam	140	4,2357	,61619			
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	a) 2 Yıldan Az	30	3,4333	,61370	6,549	,000	c>a d>a,b e>a,b
	b) 2-4 Yıl	32	3,6458	,64999			
	c) 5-7 Yıl	27	3,8272	,47475			
	d) 8-10 Yıl	24	4,0694	,55586			
	e) 10 Yıldan Fazla	27	4,0741	,52569			
	Toplam	140	3,7905	,61599			
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	a) 2 Yıldan Az	30	4,0167	,59427	1,240	,297	
	b) 2-4 Yıl	32	4,0781	,62359			
	c) 5-7 Yıl	27	4,2037	,66880			
	d) 8-10 Yıl	24	4,2917	,64127			
	e) 10 Yıldan Fazla	27	4,3148	,59076			

Tablo 5.13 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların BIM deneyimine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları (devamı)

Toplam	140	4,1714	,62551
--------	-----	--------	--------

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının BIM deneyimine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; “Etkinlik ve Maliyet Algısı, Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{2B} ve H_{4B} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin etkinlik ve maliyet algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının BIM deneyimine göre farklılık göstermediği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir. “Fayda ve Zorluk Algısı, Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin altında olduğundan H_{1B} ve H_{3B} hipotezleri kabul edilir. Bu hipotezlerin kabul edilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının ve detay seviyesi ve adaptasyon algılarının BIM deneyimine göre değişiklik gösterdiği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu anlamına gelmektedir.

Kişilerin fayda ve zorluk algılarının ve detay seviyesi ve adaptasyon algılarının BIM deneyimine göre ortalama farklılıklarının belirlenmesine yönelik yapılan Post-Hoc LSD testi sonuçlarına göre:

Kişilerin fayda ve zorluk algılarının BIM deneyimine göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; 8-10 yıl ve 10 yıldan fazla süredir deneyimi olan kişilerin fayda ve zorluk algıları, 2 yıldan az deneyimi olan kişilerden daha yüksektir. 10 yıldan fazla deneyimi olan kişilerin fayda ve zorluk algıları, 2-4 yıl deneyimi olan kişilerden daha yüksektir.

Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algılarının BIM deneyimine göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; 5-7 yıl, 8-10 yıl ve 10 yıldan fazla süredir deneyimi olan kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algıları, 2 yıldan az deneyimi olan kişilerden daha yüksektir. 8-10 yıl ve 10 yıldan fazla deneyimi olan kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algıları, 2-4 yıl deneyimi olan kişilerden daha yüksektir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “MEP Koordinasyon Türü” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla “One Way ANOVA” testi uygulanmıştır. Tablo 5.14’te ANOVA testine ilişkin F test istatistikleri ve olasılık (p) değerleri ve ANOVA testi sonucunda anlamlı farklılığın bulunduğu değişkenlere ilişkin Post-Hoc LSD testi sonuçları verilmiştir. ANOVA testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1C}: Kişilerin fayda ve zorluk algıları MEP koordinasyon türüne göre farklılaşmaktadır.

H_{2C}: Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı MEP koordinasyon türüne göre farklılaşmaktadır.

H_{3C}: Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı MEP koordinasyon türüne göre farklılaşmaktadır.

H_{4C}: Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı MEP koordinasyon türüne göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.14 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların MEP koordinasyon türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları

Bağımlı Değişken	MEP koordinasyonun da paralel koordinasyonun mu yoksa adım adım koordinasyonun un mu daha etkili olduğunu düşünüyorsunuz ?	N	Ort.	SS.	F	p	Post - Hoc LSD
Fayda ve Zorluk Algısı	a) Paralel Koordinasyon	59	4,4407	,47722	1,763	,140	
	b) Adım Adım Koordinasyon	23	4,2899	,65369			
	c) Her ikisi de Etkilidir	46	4,3623	,57874			
	d) Her ikisi de Etkili Değil	1	4,6667				
	e) Kararsızım	11	3,9697	,75210			

Tablo 5.14 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların MEP koordinasyon türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları (devamı)

	Toplam	14 0	4,35 48	,57278		
Etkinlik ve Maliyet Algısı	a) Paralel Koordinasyon	59	4,30 51	,55117		
	b) Adım Adım Koordinasyon	23	4,20 29	,56621		
	c) Her ikisi de Etkilidir	46	4,23 91	,68010	1,7 08	,152
	d) Her ikisi de Etkili Değil	1	5,00 00			
	e) Kararsızım	11	3,84 85	,68902		
	Toplam	14 0	4,23 57	,61619		
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	a) Paralel Koordinasyon	59	3,79 66	,53968		
	b) Adım Adım Koordinasyon	23	3,68 12	,45481		
	c) Her ikisi de Etkilidir	46	3,84 06	,75601	,26 3	,901
	d) Her ikisi de Etkili Değil	1	3,66 67			
	e) Kararsızım	11	3,78 79	,71915		
	Toplam	14 0	3,79 05	,61599		
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	a) Paralel Koordinasyon	59	4,16 10	,63951		
	b) Adım Adım Koordinasyon	23	4,26 09	,65487		
	c) Her ikisi de Etkilidir	46	4,20 65	,61079	,65 4	,625
	d) Her ikisi de Etkili Değil	1	4,00 00			
	e) Kararsızım	11	3,90 91	,58387		
	Toplam	14 0	4,17 14	,62551		

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının MEP koordinasyon türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; “Fayda ve Zorluk Algısı, Etkinlik ve Maliyet Algısı, Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı, Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri

için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{1C} , H_{2C} , H_{3C} ve H_{4C} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının, etkinlik ve maliyet algılarının, detay seviyesi ve adaptasyon algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının MEP koordinasyon türüne göre farklılık göstermediği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “MEP Proje Türü” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla “One Way ANOVA” testi uygulanmıştır. Tablo 5.15’te ANOVA testine ilişkin F test istatistikleri ve olasılık (p) değerleri ve ANOVA testi sonucunda anlamlı farklılığın bulunduğu değişkenlere ilişkin Post-Hoc LSD testi sonuçları verilmiştir. ANOVA testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1D} : Kişilerin fayda ve zorluk algıları MEP proje türüne göre farklılaşmaktadır.

H_{2D} : Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı MEP proje türüne göre farklılaşmaktadır.

H_{3D} : Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı MEP proje türüne göre farklılaşmaktadır.

H_{4D} : Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı MEP proje türüne göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.15 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların MEP proje türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları

Bağımlı Değişken	İnşaat projelerinin başarılı ve verimli yönetimi için en etkili yöntemin hangisi olduğunu düşünüyorsunuz?	N	Ort.	SS.	F	p	Post-Hoc LSD
Fayda ve Zorluk Algısı	a) Yap-İhale Et-İnşa Et (DBB)	39	4,3761	,54171	,811	,490	

Tablo 5.15 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların
MEP proje türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi
sonuçları (devamı)

	b) Tasarla-İnşa Et (DB)	28	4,2500	,64550			
	c) Entegre Proje Teslimi (IPD)	47	4,4397	,52062			
	d) Bunlardan Hiçbiri / Kararsızım	26	4,2821	,63029			
	Toplam	140	4,3548	,57278			
Etkinlik ve Maliyet Algısı	a) Yap-İhale Et-İnşa Et (DBB)	39	4,2564	,56951			
	b) Tasarla-İnşa Et (DB)	28	4,1310	,78745			
	c) Entegre Proje Teslimi (IPD)	47	4,3546	,55344	1,280	,284	
	d) Bunlardan Hiçbiri / Kararsızım	26	4,1026	,57170			
	Toplam	140	4,2357	,61619			
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	a) Yap-İhale Et-İnşa Et (DBB)	39	3,7265	,52910			
	b) Tasarla-İnşa Et (DB)	28	3,7857	,76019			
	c) Entegre Proje Teslimi (IPD)	47	3,9787	,56639	3,039	,031	c>d
	d) Bunlardan Hiçbiri / Kararsızım	26	3,5513	,58075			
	Toplam	140	3,7905	,61599			
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	a) Yap-İhale Et-İnşa Et (DBB)	39	4,2436	,64758			
	b) Tasarla-İnşa Et (DB)	28	4,1071	,53328			
	c) Entegre Proje Teslimi (IPD)	47	4,1489	,69872	,287	,834	
	d) Bunlardan Hiçbiri / Kararsızım	26	4,1731	,56466			
	Toplam	140	4,1714	,62551			

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının MEP proje türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; “Fayda ve Zorluk Algısı, Etkinlik ve Maliyet Algısı, Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{1D} , H_{2D} ve H_{4D} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının, etkinlik ve maliyet algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının MEP proje türüne göre farklılık göstermediği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı anlamına gelmektedir. “Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı” değişkeni için hesaplanan olasılık (p) değeri 0,05 anlamlılık düzeyinin altında olduğundan H_{3D} hipotezi kabul edilir. Bu hipotezin kabul edilmesi; kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algılarının MEP proje türüne göre değişiklik gösterdiği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu anlamına gelmektedir.

Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algılarının MEP proje türüne göre ortalama farklılıklarının belirlenmesine yönelik yapılan Post-Hoc LSD testi sonuçlarına göre:

Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algılarının MEP proje türüne göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; Entegre Proje Teslimi (IPD) yöntemi kullanan kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algıları, diğer proje türlerini kullanan kişilerden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum IPD yönteminin daha iş birlikçi ve koordineli bir proje yönetim yaklaşımı olmasından kaynaklanabilir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “MEP Yapı Mühendisleri ile MEP Tasarımcıları Arasında Entegrasyon Olması Gerektiği Düşüncesi” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Tablo 5.16’da t testi sonuçları ve p değerleri verilmiştir. T testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1E} : Kişilerin fayda ve zorluk algıları MEP yapı mühendisleri ile MEP tasarımcıları arasında entegrasyon olması gerektiği düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

H_{2E} : Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı MEP yapı mühendisleri ile MEP tasarımcıları arasında entegrasyon olması gerektiği düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

H_{3E}: tasarımcıları arasında entegrasyon olması gerektiği düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

H_{4E}: Kişilerin stratejik Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı MEP yapı mühendisleri ile MEP

BIM koordinasyonu algısı MEP yapı mühendisleri ile MEP tasarımcıları arasında entegrasyon olması gerektiği düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.16 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların MEP yapı mühendisleri ile MEP tasarımcıları arasında entegrasyon olması gerektiği düşüncesine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik bağımsız örneklem T testi sonuçları

Bağımlı Değişken	Erken tasarım aşamasında yapı mühendisleri ve MEP tasarımcıları arasında entegrasyon olması gerektiğine katılıyor musunuz?	N	Ort.	SS	t	p
Fayda ve Zorluk Algısı	Hayır, Katılmıyorum	5	4,4	0,72265	,179	,858
	Evet, Katılıyorum	135	4,3531	0,56978		
Etkinlik ve Maliyet Algısı	Hayır, Katılmıyorum	5	3,7333	0,89443	-1,873	,063
	Evet, Katılıyorum	135	4,2543	0,60018		
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	Hayır, Katılmıyorum	5	4	0,66667	,773	,441
	Evet, Katılıyorum	135	3,7827	0,61534		
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	Hayır, Katılmıyorum	5	4,2	0,67082	,104	,918
	Evet, Katılıyorum	135	4,1704	0,62642		

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının MEP yapı mühendisleri ile MEP tasarımcıları arasında entegrasyon olması gerektiği düşüncesine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan bağımsız örneklem t testi sonuçlarına göre; “Fayda ve Zorluk Algısı, Etkinlik ve Maliyet Algısı, Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı, Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{1E}, H_{2E}, H_{3E} ve H_{4E} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının, etkinlik ve maliyet algılarının, detay seviyesi ve adaptasyon algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının

MEP yapı mühendisleri ile MEP tasarımcıları arasında entegrasyon olması gerektiği düşüncesine göre farklılık göstermediği anlamına gelmektedir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “BIM Kullanımının MEP Tasarımının Erken Aşamalarda Entegrasyonu Kolaylaştırma Düşüncesi” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla “One Way ANOVA” testi uygulanmıştır. Tablo 5.17’de ANOVA testine ilişkin F test istatistikleri ve olasılık (p) değerleri ve ANOVA testi sonucunda anlamlı farklılığın bulunduğu değişkenlere ilişkin Post-Hoc LSD testi sonuçları verilmiştir. ANOVA testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1F}: Kişilerin fayda ve zorluk algıları BIM kullanımının entegrasyon kolaylaştırma düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

H_{2F}: Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı BIM kullanımının entegrasyon kolaylaştırma düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

H_{3F}: Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı BIM kullanımının entegrasyon kolaylaştırma düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

H_{4F}: Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı BIM kullanımının entegrasyon kolaylaştırma düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.17 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların BIM kullanımının MEP tasarımının erken aşamalarda entegrasyonu kolaylaştırma düşüncesine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları

Bağımlı Değişken	BIM kullanımının MEP tasarımının erken aşamalarda entegrasyonunu kolaylaştırdığını düşünüyor musunuz?	N	Ort.	SS.	F	p	Post-Hoc LSD
Fayda ve Zorluk Algısı	a) Hayır, Kolaylaştırmıyor	6	4,2778	,87981	4,440	,014	c>b
	b) Kararsızım	15	3,9556	,57551			
	c) Evet, Kolaylaştırıyor	119	4,4090	,53930			
	Toplam	140	4,3548	,57278			
Etkinlik ve Maliyet Algısı	a) Hayır, Kolaylaştırmıyor	6	3,7778	,91084	2,799	,064	

Tablo 5.17 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların BIM kullanımının MEP tasarımının erken aşamalarda entegrasyonu kolaylaştırma düşüncesine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları (devamı)

	b) Kararsızım	15	4,0444	,51742			
	c) Evet, Kolaylaştırıyor	119	4,2829	,60232			
	Toplam	140	4,2357	,61619			
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	a) Hayır, Kolaylaştırmıyor	6	3,2222	,34427	5,750	,004	c>a, b
	b) Kararsızım	15	3,4667	,62742			
	c) Evet, Kolaylaştırıyor	119	3,8599	,60053			
	Toplam	140	3,7905	,61599			
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	a) Hayır, Kolaylaştırmıyor	6	4,0833	,58452	2,154	,120	
	b) Kararsızım	15	3,8667	,58146			
	c) Evet, Kolaylaştırıyor	119	4,2143	,62630			
	Toplam	140	4,1714	,62551			

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının BIM kullanımının entegrasyon kolaylaştırma düşüncesine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; “Etkinlik ve Maliyet Algısı, Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{2F} ve H_{4F} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin etkinlik ve maliyet algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının entegrasyon kolaylaştırma düşüncesine göre farklılık göstermediği anlamına gelmektedir. “Fayda ve Zorluk Algısı, Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin altında olduğundan H_{1F} ve H_{3F} hipotezleri kabul edilir. Bu hipotezlerin kabul edilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının ve detay seviyesi ve adaptasyon algılarının entegrasyon kolaylaştırma düşüncesine göre değişiklik gösterdiği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu anlamına gelmektedir.

Kişilerin fayda ve zorluk algılarının ve detay seviyesi ve adaptasyon algılarının entegrasyon kolaylaştırma düşüncesine göre ortalama farklılıklarının belirlenmesine yönelik yapılan Post-Hoc LSD testi sonuçlarına göre:

Kişilerin fayda ve zorluk algılarının entegrasyon kolaylaştırma düşüncesine göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; entegrasyonu kolaylaştırdığını düşünenlerin fayda ve zorluk algıları, kararsız olanlardan daha yüksektir.

Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algılarının entegrasyon kolaylaştırma düşüncesine göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; entegrasyonu kolaylaştırdığını düşünenlerin detay seviyesi ve adaptasyon algıları, kararsız olan kişilerden ve kolaylaştırmadığını düşünen kişilerden daha yüksektir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “Beton ve Çelik İçin MEP Rezervasyonlarının Erken Tasarım Aşamasına Dahil Edilme Durumu” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Tablo 5.18’de t testi sonuçları ve p değerleri verilmiştir. T testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1G}: Kişilerin fayda ve zorluk algıları beton ve çelik için MEP rezervasyonlarının erken tasarım aşamasına dahil edilme durumuna göre farklılaşmaktadır.

H_{2G}: Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı beton ve çelik için MEP rezervasyonlarının erken tasarım aşamasına dahil edilme durumuna göre farklılaşmaktadır.

H_{3G}: Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı beton ve çelik için MEP rezervasyonlarının erken tasarım aşamasına dahil edilme durumuna göre farklılaşmaktadır.

H_{4G}: Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı beton ve çelik için MEP rezervasyonlarının erken tasarım aşamasına dahil edilme durumuna göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.18 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların iş akışında beton ve çelik için MEP rezervasyonları oluşturma sürecinin erken tasarım aşamasına dahil edilme durumuna göre farklılıklarının incelenmesine yönelik bağımsız örneklem T testi Sonuçları

Bağımlı Değişken	İş akışınızda, beton ve çelik için MEP rezervasyonları oluşturma süreci erken tasarım aşamasına dahil ediliyor mu?	N	Ort.	SS	t	p
Fayda ve Zorluk Algısı	Hayır	42	4,381	0,59615	,353	,725
	Evet	98	4,3435	0,56523		
Etkinlik ve Maliyet Algısı	Hayır	42	4,2698	0,64282	,428	,670
	Evet	98	4,2211	0,60722		
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	Hayır	42	3,6508	0,76137	-1,543	,128
	Evet	98	3,8503	0,5354		
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	Hayır	42	4,1548	0,66707	-,206	,837
	Evet	98	4,1786	0,61026		

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının beton ve çelik için MEP rezervasyonlarının erken tasarım aşamasına dahil edilme durumuna göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan t testi sonuçlarına göre; “Fayda ve Zorluk Algısı, Etkinlik ve Maliyet Algısı, Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı, Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{1G} , H_{2G} , H_{3G} ve H_{4G} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının, etkinlik ve maliyet algılarının, detay seviyesi ve adaptasyon algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının beton ve çelik için MEP rezervasyonlarının erken tasarım aşamasına dahil edilme durumuna göre farklılık göstermediği anlamına gelmektedir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “Proje İçin Gerekli Standartların MEP Tasarımının Teslim Süresi, Formatı ve Yöntemini Etkilediği Düşüncesi” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla “One Way ANOVA” testi uygulanmıştır. Tablo 5.19’da ANOVA testine ilişkin F test istatistikleri ve olasılık (p) değerleri ve ANOVA testi sonucunda anlamlı

farklılığın bulunduğu değişkenlere ilişkin Post-Hoc LSD testi sonuçları verilmiştir. ANOVA testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1H}: Kişilerin fayda ve zorluk algıları proje için gerekli standartların MEP tasarımının teslim süresi, formatı ve yöntemini etkilediği düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

H_{2H}: Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı proje için gerekli standartların MEP tasarımının teslim süresi, formatı ve yöntemini etkilediği düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

H_{3H}: Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı proje için gerekli standartların MEP tasarımının teslim süresi, formatı ve yöntemini etkilediği düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

H_{4H}: Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı proje için gerekli standartların MEP tasarımının teslim süresi, formatı ve yöntemini etkilediği düşüncesine göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.19 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların proje için gerekli standartların MEP tasarımının teslim süresi, formatı ve yöntemini etkilediğini düşünme durumlarına göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları

Bağımlı Değişken	Proje için gerekli olan işveren tarafından belirlenen bilgi gereksinimleri ve teslim standartlarının MEP tasarımının teslim süresini, formatını ve yöntemini etkilediğini düşünüyor musunuz?	N	Ort.	SS.	F	p	Post-Hoc LSD
Fayda ve Zorluk Algısı	a) Hayır	1	4,0000		,466	,629	
	b) Evet	113	4,3746	,58441			
	c) Biraz	26	4,2821	,53076			
	Toplam	140	4,3548	,57278			
Etkinlik ve Maliyet Algısı	a) Hayır	1	3,3333		1,090	,339	
	b) Evet	113	4,2389	,63538			
	c) Biraz	26	4,2564	,51904			
	Toplam	140	4,2357	,61619			

Tablo 5.19 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların proje için gerekli standartların MEP tasarımının teslim süresi, formatı ve yöntemini etkilediğini düşünme durumlarına göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları (devamı)

Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	a) Hayır	1	3,6667		
	b) Evet	113	3,8083	,61206	
	c) Biraz	26	3,7179	,65110	
	Toplam	140	3,7905	,61599	
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	a) Hayır	1	3,5000		
	b) Evet	113	4,2080	,60032	
	c) Biraz	26	4,0385	,72004	
	Toplam	140	4,1714	,62551	

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının proje için gerekli standartların MEP tasarımının teslim süresi, formatı ve yöntemini etkilediği düşüncesine göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; “Fayda ve Zorluk Algısı, Etkinlik ve Maliyet Algısı, Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı, Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{1H} , H_{2H} , H_{3H} ve H_{4H} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının, etkinlik ve maliyet algılarının, detay seviyesi ve adaptasyon algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının proje için gerekli standartların MEP tasarımının teslim süresi, formatı ve yöntemini etkilediği düşüncesine göre farklılık göstermediği anlamına gelmektedir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “BIM Sözleşmelerinde Alt Yükleniciler Tarafından Kullanılan Dosya Formatlarını Tanımlama Durumu” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Tablo 5.20’de t testi sonuçları ve p değerleri verilmiştir. T testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{11} : Kişilerin fayda ve zorluk algıları BIM sözleşmelerinde alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlama durumuna göre farklılaşmaktadır.

H₂₁: Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı BIM sözleşmelerinde alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlama durumuna göre farklılaşmaktadır.

H₃₁: Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı BIM sözleşmelerinde alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlama durumuna göre farklılaşmaktadır.

H₄₁: Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı BIM sözleşmelerinde alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlama durumuna göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.20 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların BIM sözleşmelerinde erken tasarım aşamasında alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlama durumuna göre farklılıklarının incelenmesine yönelik bağımsız örneklem T testi sonuçları

Bağımlı Değişken	Kurduğunuz BIM sözleşmelerinde, erken tasarım aşamasında alt yükleniciler tarafından kullanılacak dosya formatlarını tanımlıyor musunuz?	N	Ort.	SS	t	p
Fayda ve Zorluk Algısı	Hayır	17	4,0196	0,76803	-1,984	,063
	Evet	123	4,4011	0,52784		
Etkinlik ve Maliyet Algısı	Hayır	17	3,8627	0,61304	-2,723	,007
	Evet	123	4,2873	0,60104		
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	Hayır	17	3,549	0,65554	-1,737	,085
	Evet	123	3,8238	0,60557		
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	Hayır	17	3,9706	0,62426	-1,417	,159
	Evet	123	4,1992	0,62312		

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının BIM sözleşmelerinde alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlama durumuna göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan t testi sonuçlarına göre; “Fayda ve Zorluk Algısı, Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı, Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri için p değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin

üzerinde olduğundan H_{1I} , H_{3I} ve H_{4I} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının, detay seviyesi ve adaptasyon algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının BIM sözleşmelerinde alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlama durumuna göre farklılık göstermediği anlamına gelmektedir. “Etkinlik ve Maliyet Algısı” değişkeni için hesaplanan olasılık (p) değeri 0,05 anlamlılık düzeyinin altında olduğundan H_{2I} hipotezi kabul edilir. Bu hipotezin kabul edilmesi; kişilerin etkinlik ve maliyet algılarının BIM sözleşmelerinde alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlama durumuna göre değişiklik gösterdiği anlamına gelmektedir. Kişilerin etkinlik ve maliyet algılarının BIM sözleşmelerinde alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlama durumuna göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; BIM sözleşmelerinde alt yükleniciler tarafından kullanılan dosya formatlarını tanımlayan kişilerin etkinlik ve maliyet algıları, tanımlamayanlara kıyasla daha yüksektir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “BIM ve Simülasyon Araçlarının MEP Tasarım ve İnşaat Süreçlerine Entegrasyonunun Gelecekteki Potansiyeline Yönelik Düşünce” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla “One Way ANOVA” testi uygulanmıştır. Tablo 5.21’de ANOVA testine ilişkin F test istatistikleri ve olasılık (p) değerleri ve ANOVA testi sonucunda anlamlı farklılığın bulunduğu değişkenlere ilişkin Post-Hoc LSD testi sonuçları verilmiştir. ANOVA testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1J} : Kişilerin fayda ve zorluk algıları BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelere göre farklılaşmaktadır.

H_{2J} : Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelere göre farklılaşmaktadır.

H_{3J} : Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelere göre farklılaşmaktadır.

H_{4J}: Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelere göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.21 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelere göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları

Bağımlı Değişken	BIM ve simülasyon/optimizasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun mevcut durumu ve gelecekteki potansiyeli hakkında ne düşünüyorsunuz?	N	Ort.	SS.	F	p	Post-Hoc LSD
Fayda ve Zorluk Algısı	a) Yetersiz	17	4,3922	,64802	,672	,513	
	b) Kısmen Yeterli	83	4,3092	,58152			
	c) Yeterli	40	4,4333	,52406			
	Toplam	140	4,3548	,57278			
Etkinlik ve Maliyet Algısı	a) Yetersiz	17	4,0588	,80135	,812	,446	
	b) Kısmen Yeterli	83	4,2530	,60169			
	c) Yeterli	40	4,2750	,55924			
	Toplam	140	4,2357	,61619			
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	a) Yetersiz	17	3,6863	,66113	3,093	,049	c>b
	b) Kısmen Yeterli	83	3,7149	,58927			
	c) Yeterli	40	3,9917	,62012			
	Toplam	140	3,7905	,61599			
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	a) Yetersiz	17	4,4706	,59871	2,619	,077	
	b) Kısmen Yeterli	83	4,1627	,67222			
	c) Yeterli	40	4,0625	,49598			
	Toplam	140	4,1714	,62551			

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelere göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; “Fayda ve Zorluk Algısı, Etkinlik

ve Maliyet Algısı, Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{1J} , H_{2J} ve H_{4J} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının, etkinlik ve maliyet algılarının ve stratejik BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelere göre farklılık göstermediği anlamına gelmektedir. “Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı” değişkeni için hesaplanan olasılık (p) değeri 0,05 anlamlılık düzeyinin altında olduğundan H_{3J} hipotezi kabul edilir. Bu hipotezin kabul edilmesi; kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algılarının BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelere göre değişiklik gösterdiği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu anlamına gelmektedir.

Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algılarının BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelerine göre ortalama farklılıklarının belirlenmesine yönelik yapılan Post-Hoc LSD testi sonuçlarına göre:

Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algılarının BIM ve simülasyon araçlarının MEP tasarım ve inşaat süreçlerine entegrasyonunun gelecekteki potansiyeline yönelik düşüncelerine göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; entegrasyonun gelecekteki potansiyelini yeterli bulanların detay seviyesi ve adaptasyon algıları, kısmen yeterli bulanlara göre daha yüksektir.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “İnşaat Projelerinde En Sık Karşılaşılan Çakışma Türü” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla “One Way ANOVA” testi uygulanmıştır. Tablo 5.22’de ANOVA testine ilişkin F test istatistikleri ve olasılık (p) değerleri ve ANOVA testi sonucunda anlamlı farklılığın bulunduğu değişkenlere ilişkin Post-Hoc LSD testi sonuçları verilmiştir. ANOVA testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1K} : Kişilerin fayda ve zorluk algıları çakışma türüne göre farklılaşmaktadır.

H_{2K} : Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı çakışma türüne göre farklılaşmaktadır.

H_{3K}: Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı çakışma türüne göre farklılaşmaktadır.

H_{4K}: Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı çakışma türüne göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.22 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların inşaat projelerinde en sık karşılaşılan çakışma türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları

Bağımlı Değişken	İnşaat projelerinde en sık karşılaştığımız çakışma türü hangisidir?	N	Ort.	SS.	F	p	Post-Hoc LSD
Fayda ve Zorluk Algısı	a) Çakışma Yok	8	3,83 33	,6424 2	5,945	,00 0	b>a c>a d>a,b ,e
	b) Yumuşak / Boşluk Çakışmaları	38	4,38 60	,5342 7			
	c) Zaman / 4D Çakışmaları	17	4,37 25	,4696 7			
	d) Sert Çakışmalar	36	4,64 81	,3816 8			
	e) Hepsiyle Eşit Derecede	41	4,16 26	,6460 2			
	Toplam	14 0	4,35 48	,5727 8			
Etkinlik ve Maliyet Algısı	a) Çakışma Yok	8	4,20 83	,6156 0	,299	,87 8	
	b) Yumuşak / Boşluk Çakışmaları	38	4,29 82	,5069 5			
	c) Zaman / 4D Çakışmaları	17	4,19 61	,6672 8			
	d) Sert Çakışmalar	36	4,27 78	,7149 2			
	e) Hepsiyle Eşit Derecede	41	4,16 26	,6151 9			

Tablo 5.22 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların inşaat projelerinde en sık karşılaşılan çakışma türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları (devamı)

Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	Toplam	140	4,2357	,61619			
	a) Çakışma Yok	8	3,5833	,52705			
	b) Yumuşak / Boşluk Çakışmaları	38	3,6754	,56146			
	c) Zaman / 4D Çakışmaları	17	3,7059	,70595			
	d) Sert Çakışmalar	36	3,9722	,57113	1,454	,220	
	e) Hepsiyle Eşit Derecede	41	3,8130	,66269			
	Toplam	140	3,7905	,61599			
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	a) Çakışma Yok	8	3,6250	,69437			
	b) Yumuşak / Boşluk Çakışmaları	38	3,9605	,58566			
	c) Zaman / 4D Çakışmaları	17	4,1765	,63593			
	d) Sert Çakışmalar	36	4,3333	,58554	4,220	,003	c>a d>a,b e>a,b
	e) Hepsiyle Eşit Derecede	41	4,3293	,58747			
	Toplam	140	4,1714	,62551			

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının çakışma türüne göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; “Etkinlik ve Maliyet Algısı, Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{2K} ve H_{3K} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin etkinlik ve maliyet algılarının ve detay seviyesi ve

adaptasyon algılarının çakışma türüne göre farklılık göstermediği anlamına gelmektedir. “Fayda ve Zorluk Algısı ve Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin altında olduğundan H_{1K} ve H_{4K} hipotezleri kabul edilir. Bu hipotezlerin kabul edilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının çakışma türüne göre değişiklik gösterdiği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu anlamına gelmektedir.

Kişilerin fayda ve zorluk algılarının ve stratejik BIM koordinasyonu algılarının çakışma türüne göre ortalama farklılıklarının belirlenmesine yönelik yapılan Post-Hoc LSD testi sonuçlarına göre:

Kişilerin fayda ve zorluk algılarının çakışma türüne göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; sıklıkla sert çakışmalarla karşılaşan kişilerin fayda ve zorluk algıları, çakışma yaşamayan, yumuşak / boşluk çakışmaları yaşayan ve zaman / 4D çakışmaları yaşayan kişilerden daha yüksektir. Yumuşak / boşluk çakışması yaşayan ve zaman / 4D çakışması yaşayan kişilerin fayda ve zorluk algıları, çakışma yaşamayan kişilerden daha yüksektir.

Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algılarının çakışma türüne göre ortalama farklılıkları incelendiğinde; sıklıkla sert çakışma yaşayan ve hepsiyle eşit derecede çakışma yaşayan kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algıları, çakışma yaşamayan ve yumuşak / boşluk çakışması yaşayan kişilerden daha yüksektir. Zaman / 4D çakışmaları yaşayan kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algıları, çakışma yaşamayan kişilerden daha yüksektir. Zaman / 4D çakışmaları yaşayanların ön tasarım aşamasında MEP ilişkilerin geç kurulması projenin maliyetine olumsuz etkisi olduğu göstermektedir. Zaman / 4D çakışmaları yaşayanların BIM Uygulama Planı (BEP) detaylandırma ve koordinasyon konusundaki rolünü daha iyi anlamaktadırlar.

Kişilerin fayda ve zorluk algısı, etkinlik ve maliyet algısı, detay seviyesi ve adaptasyon algısı ve stratejik koordinasyon algısının “EIR Konseptini Erken Tasarım Aşamasında MEP Koordinasyonu İçin Önemli Bulma Durumu” değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla “One Way ANOVA testi uygulanmıştır. Tablo 5.23’te ANOVA testine ilişkin F test istatistikleri ve olasılık (p) değerleri ve ANOVA testi sonucunda anlamlı farklılığın

bulunduğu değişkenlere ilişkin Post-Hoc LSD testi sonuçları verilmiştir. ANOVA testi için sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde kurulmuştur:

H_{1L}: Kişilerin fayda ve zorluk algıları EIR konseptini önemli bulma durumuna göre farklılaşmaktadır.

H_{2L}: Kişilerin etkinlik ve maliyet algısı EIR konseptini önemli bulma durumuna göre farklılaşmaktadır.

H_{3L}: Kişilerin detay seviyesi ve adaptasyon algısı EIR konseptini önemli bulma durumuna göre farklılaşmaktadır.

H_{4L}: Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algısı EIR konseptini önemli bulma durumuna göre farklılaşmaktadır.

Tablo 5.23 Erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algıların EIR konseptini erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu için önemli bulma durumlarına göre farklılıklarının incelenmesine yönelik ANOVA testi sonuçları

Bağımlı Değişken	EIR konseptini erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonu için önemli buluyor musunuz?	N	Ort.	SS.	F	p	Post-Hoc LSD
Fayda ve Zorluk Algısı	a) Hayır, Bulmuyorum	7	4,1905	,60422	2,249	,109	
	b) Kararsızım	26	4,1667	,62716			
	c) Evet, Buluyorum	107	4,4112	,55055			
	Toplam	140	4,3548	,57278			
Etkinlik ve Maliyet Algısı	a) Hayır, Bulmuyorum	7	4,1429	,76636	1,623	,201	
	b) Kararsızım	26	4,0513	,58646			
	c) Evet, Buluyorum	107	4,2866	,60993			
	Toplam	140	4,2357	,61619			
Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı	a) Hayır, Bulmuyorum	7	3,5714	,65868	1,976	,142	
	b) Kararsızım	26	3,6154	,66461			
	c) Evet, Buluyorum	107	3,8474	,59572			
	Toplam	140	3,7905	,61599			
Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı	a) Hayır, Bulmuyorum	7	3,9286	,67259	6,269	,002	c>b
	b) Kararsızım	26	3,8269	,52806			
	c) Evet, Buluyorum	107	4,2710	,61537			
	Toplam	140	4,1714	,62551			

Kişilerin erken tasarım aşamasında MEP koordinasyonuna yönelik algılarının EIR konseptini önemli bulma durumuna göre farklılıklarının incelenmesine yönelik yapılan ANOVA testi sonuçlarına göre; “Fayda ve Zorluk Algısı, Etkinlik ve Maliyet Algısı, Detay Seviyesi ve Adaptasyon Algısı” değişkenleri için hesaplanan olasılık (p) değerleri 0,05 anlamlılık düzeyinin üzerinde olduğundan H_{1L} , H_{2L} ve H_{3L} hipotezleri reddedilir. Bu hipotezlerin reddedilmesi; kişilerin fayda ve zorluk algılarının, etkinlik ve maliyet algılarının ve detay seviyesi ve adaptasyon algılarının EIR konseptini önemli bulma durumuna göre farklılık göstermediği anlamına gelmektedir. “Stratejik BIM Koordinasyonu Algısı” değişkeni için hesaplanan olasılık (p) değeri 0,05 anlamlılık düzeyinin altında olduğundan H_{4L} hipotezi kabul edilir. Bu hipotezin kabul edilmesi; kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algılarının EIR konseptini önemli bulma durumuna göre değişiklik gösterdiği, gruplar arasında anlamlı bir farklılık olduğu anlamına gelmektedir.

Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algılarının EIR konseptini önemli bulma durumuna göre ortalama farklılıklarının belirlenmesine yönelik yapılan Post-Hoc LSD testi sonuçlarına göre:

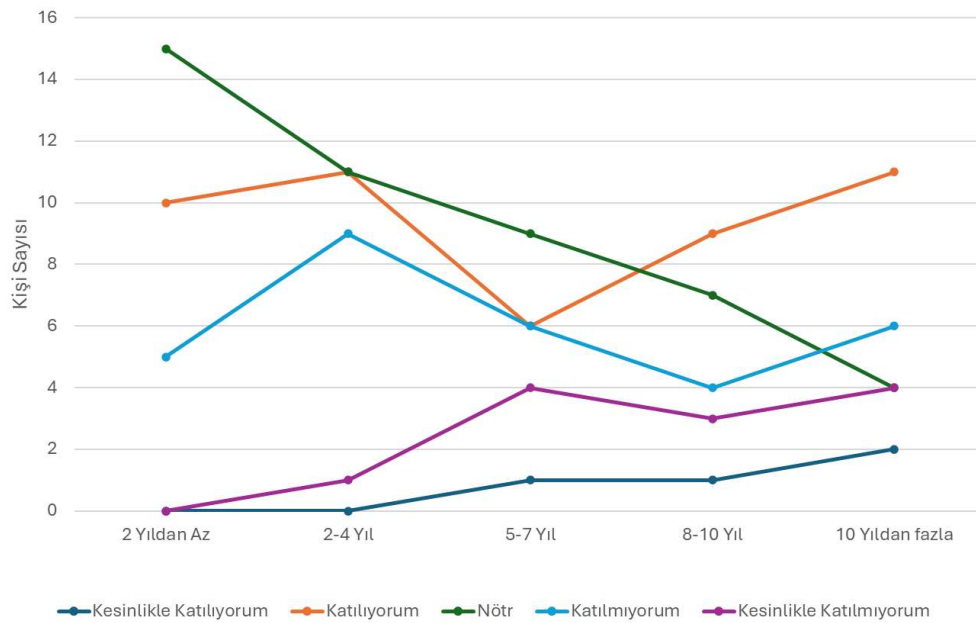
Kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algılarının EIR konseptini önemli bulma durumuna göre ortalama farklılıklar incelendiğinde; EIR konseptini önemli bulan kişilerin stratejik BIM koordinasyonu algıları, kararsız olan kişilerden daha yüksektir.

5.4 Anket Sonuçlarının Değerlendirmesi

Bu çalışma, BIM destekli MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında entegrasyonunun proje maliyetleri, süresi ve kalite üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla yürütülmüştür. 600 BIM profesyoneline ulaşılan anket çalışmasında, 140 gönüllü katılımcının yanıtları detaylı istatistiksel analizlerle değerlendirilmiş ve literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bulguları, BIM’in erken tasarım aşamasında etkin kullanımıyla MEP süreçlerinde maliyet ve zaman açısından önemli tasarruflar sağlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca, disiplinler arası koordinasyonun iyileştirilmesiyle çakışmaların büyük ölçüde önlenilebileceği ve BIM tabanlı iş akışlarının, geleneksel yöntemlere kıyasla proje yönetimine daha fazla kontrol ve esneklik sunduğu ortaya konulmuştur.

Anket sonuçları, MEP koordinasyonunun erken tasarım aşamasında tamamlanmasının, proje maliyetlerine doğrudan etki ettiğini göstermiştir. Katılımcıların %78'i, erken koordinasyonun malzeme israfını ve gereksiz iş gücü harcamalarını azalttığını belirtmiştir. Ayrıca, %65'lik bir kesim, BIM tabanlı erken entegrasyonun değişiklik taleplerini azalttığını ve maliyet öngörülerini iyileştirdiğini ifade etmiştir. Bu bulgular, MEP süreçlerinin erken planlanmasının, proje bütçesi üzerindeki belirsizlikleri azalttığını ortaya koymaktadır. Çalışma, BIM süreçlerinin yalnızca görselleştirme değil, aynı zamanda maliyet yönetimi açısından da kritik bir araç olarak değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Çalışmada BIM deneyim süresinin artması ile birlikte erken tasarım aşamasındaki MEP entegrasyondaki maliyet – BIM ilişkisinin öneminin daha net anlaşıldığı görülmektedir (Bkz. Şekil 5.30).



Şekil 5.30 MEP Süreçlerin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkisi – BIM deneyimi karşılaştırılması

Zaman yönetimi açısından, katılımcıların %72'si BIM destekli MEP süreçlerinin proje sürecinde zaman tasarrufu sağladığını bildirmiştir. Bu tasarruf, MEP rezervasyonlarının önceden tanımlanması, çakışmaların azaltılması ve revizyon süreçlerinin minimize edilmesiyle ilişkilendirilmiştir. BIM'in getirdiği 4D

planlama yetenekleri sayesinde, MEP süreçlerinde tahmini zaman çizelgelerinin daha doğru bir şekilde oluşturulabildiği görülmüştür. Çalışmanın sonuçları, BIM tabanlı proje yönetiminin, inşaat sahasında karşılaşılan belirsizlikleri azaltarak iş akışlarını hızlandırdığını desteklemektedir.

Çalışmada ayrıca, MEP süreçlerinde BIM kullanımına yönelik algılar da incelenmiştir. Katılımcıların büyük bir kısmı, BIM tabanlı koordinasyonun erken aşamada yapılmasının inşaat sahasındaki hata oranlarını düşürdüğünü belirtmiştir. Bununla birlikte, bazı katılımcılar BIM süreçlerinin henüz tam anlamıyla standartlaşmadığını ve her proje için özelleştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu durum, BIM tabanlı MEP süreçlerinde sektör genelinde bir standardizasyon ihtiyacını ortaya koymaktadır. Özellikle alt yükleniciler arasında BIM kullanımına dair farkındalığın artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anket sonuçları ayrıca, BIM projelerinde EIR (Employer's Information Requirements) ve BEP (BIM Execution Plan) dokümanlarının net bir şekilde tanımlanmasının, MEP koordinasyonunun başarısını doğrudan etkilediğini göstermiştir. Katılımcıların %68'i, açık bir BIM sözleşme yapısının projede rol ve sorumlulukları daha net belirlediğini belirtmiştir. BIM yöneticilerinin, MEP süreçlerinin entegrasyonunu sağlamak adına daha detaylı veri alışverişi prosedürleri oluşturması gerektiği görülmüştür.

Bu çalışmanın bulguları, literatürde yer alan mevcut çalışmalarla da örtüşmektedir. Önceki araştırmalar, BIM tabanlı iş akışlarının çakışma tespiti ve proje planlamasında avantaj sağladığını ortaya koymuştur (Khanzode & Fischer, 2008; Hartmann, 2008). Ancak bu çalışma, BIM kullanımının yalnızca çakışma tespiti ile sınırlı olmadığını, aynı zamanda MEP süreçlerinde maliyet tahminleri, iş gücü planlaması ve disiplinler arası veri yönetimi açısından da kritik rol oynadığını göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, literatürdeki boşlukları doldurarak, BIM'in MEP süreçlerine entegrasyonu üzerine yeni bir bakış açısı sunmaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda şu öneriler geliştirilebilir:

- BIM tabanlı MEP koordinasyon süreçlerinin daha geniş bir standardizasyon çerçevesine oturtulması.
- BIM sözleşmelerinde MEP süreçlerinin erken aşamada daha detaylı ele alınması.

- MEP yüklenicilerinin BIM konusunda daha fazla eğitim almasının teşvik edilmesi.
- BIM destekli çakışma analizlerinin, tasarım aşamasında detaylandırılarak proje sürecine dahil edilmesi.

Sonuç olarak, bu çalışma, BIM'in erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin yönetimi üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymuş, maliyet, zaman ve kalite yönetimi açısından BIM'in sağladığı avantajları istatistiksel verilerle desteklemiştir. Çalışmanın sonuçları, BIM destekli iş akışlarının yalnızca tasarım sürecinde değil, inşaat ve işletme süreçlerinde de projenin başarısını artırdığına işaret etmektedir. BIM süreçlerinin standartlaşması ve yaygınlaşması, inşaat sektöründe daha düşük maliyetli, daha hızlı ve daha az hata içeren projelerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Bu tezde, MEP süreçlerinin BIM destekli yönetiminin erken tasarım aşamasında süre, maliyet ve kaliteye olan etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmada, erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin entegrasyonunun maliyet, zaman ve kalite üzerindeki olumlu etkileri ortaya çıkmıştır. Literatür taraması, anketler ve mülakatlar aracılığıyla elde edilen bulgular, ön tasarım aşamasında MEP koordinasyonu konusunda önemli eksikliklerin olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Erken tasarım aşamasında BIM destekli MEP süreçlerinin etkin yönetimi, çakışma tespitinin erken sağlanmasını ve revizyon gerekliliklerini azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, inşaat sürecinde ortaya çıkabilecek ek maliyetleri önlemekte ve zaman yönetiminde iyileşmeler sağlamaktadır.

Araştırma bulguları, MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında BIM ile bütünleşik yönetilmesinin, toplam proje maliyetini düşürdüğünü göstermektedir. Özellikle tekrar eden tasarım değişikliklerinin azaltılması ve saha koordinasyonunun iyileştirilmesi sayesinde, ek maliyetler minimize edilmiştir. Bu sonuçlar, anket verileri ile de desteklenmektedir. Katılımcıların %63'ü, BIM destekli MEP süreçlerinin proje bütçesi üzerindeki olumlu etkilerini belirtmiş ve %57'si, BIM kullanımının tasarım revizyonlarını azalttığını ifade etmiştir. Literatürde, Khanzode (2008) tarafından yapılan çalışmalarda, BIM ile yönetilen projelerde, MEP süreçlerinin entegrasyonu sayesinde maliyetlerin %10 ila %15 arasında düşürüldüğü gösterilmektedir. Bu bulgular, tez kapsamında yürütülen anket sonuçları ile paralellik göstermektedir.

BIM tabanlı iş akışlarının, MEP disiplinleri arasında daha iyi koordinasyon sağladığı ve proje teslim sürelerini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Bu durum, proje yöneticilerinin ve yüklenicilerin daha kesin zaman planlaması yapmasına olanak tanımaktadır. Çalışma kapsamında yürütülen anketlerde, MEP süreçlerinin

erken tasarım aşamasında BIM destekli yönetiminin etkinliğini ölçmek amacıyla detaylı bir ölçek oluşturulmuş ve geniş bir örneklem grubu ile uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, BIM destekli MEP süreçlerinin maliyet, kalite ve zaman yönetiminde olumlu etkilerini ortaya koymuş, katılımcıların büyük çoğunluğu bu entegrasyonun faydalarını vurgulamıştır. Özellikle katılımcıların %71'i, BIM kullanımının MEP süreçlerinde koordinasyonu artırdığını ve iş akışlarını hızlandığını belirtmiştir.

Bu çalışma, BIM destekli süreçlerin, daha yüksek model doğruluğu ve veri bütünlüğü sunduğunu ortaya koymuştur. MEP sistemlerinin doğru modellenmesi sayesinde, saha uygulamalarında hata oranları düşmüş ve kalite standartları artmıştır. Bu sonuç, özellikle tekrar eden işçilik ve saha revizyonlarını minimize eden BIM teknolojilerinin, geleneksel yöntemlere kıyasla ne kadar büyük bir avantaj sağladığını göstermektedir. BIM yazılımlarının sunduğu çakışma tespit araçlarının, MEP tasarımlarında çakışmaları önceden belirlemede etkin olduğu gözlemlenmiştir. Katılımcıların %52'si, BIM'in sahada yaşanan çakışmaları büyük oranda azalttığını ifade etmiştir. Bu bulgular, Eastman (2011) tarafından yapılan araştırmalarla da desteklenmektedir. Çalışmalar, BIM tabanlı çakışma tespit sistemlerinin, hata oranlarını %30'un üzerinde azalttığını göstermektedir.

Erken tasarım aşamasında BIM kullanımının, sözleşmesel netlik sağladığı ve taraflar arasında bilgi paylaşımını standardize ettiği görülmüştür. Bu, proje kapsamının daha iyi anlaşılmasını ve taraflar arasında güvenin artmasını sağlamıştır. Anket sonuçlarında, katılımcıların %45'i, BIM süreçlerinin proje başında tanımlanmasının taraflar arasındaki bilgi akışını artırdığını ve yönetsel belirsizlikleri azalttığını belirtmiştir. Hardin & McCool (2015) tarafından yürütülen çalışmalar, proje başlangıcında iyi tanımlanmış BIM süreçlerinin, inşaat sırasında yaşanacak çakışmaları %25 oranında azalttığını göstermektedir. Bu bağlamda, BIM kullanımının proje sözleşmelerinde net bir şekilde tanımlanması, süreçlerin daha sağlıklı yönetilmesine katkı sağlayacaktır.

Yapılan çalışma doğrultusunda öneriler şu şekildedir: BIM destekli MEP süreçlerinin etkinliğini artırmak için tüm paydaşlar arasında erken entegrasyon sağlanmalıdır. Proje başlangıcında, BIM tabanlı iş akışları ve MEP koordinasyonu detaylı bir şekilde planlanmalı, bilgi paylaşımı ve veri yönetimi için ortak platformlar kullanılmalıdır. Eğitim programları ve BIM uygulama kılavuzları ile

proje ekiplerinin BIM araçlarına aşinalığı artırılmalıdır. Anket sonuçları, katılımcıların %58'inin BIM kullanımına yönelik daha fazla eğitime ihtiyaç duyduğunu gösterdiğinden, bu konuda sektörel farkındalığın artırılması gerekmektedir. Erken tasarım aşamasında kullanılan veri setleri standartlaştırılmalı ve sözleşmesel bağlamda güvence altına alınmalıdır. BIM süreçlerinin başarılı olabilmesi için proje paydaşlarının, BIM yöneticileri ve MEP mühendislerinin bir arada çalışmasını sağlayacak disiplinler arası koordinasyon mekanizmaları oluşturulmalıdır.

Bu çalışma, inşaat sektöründe BIM destekli MEP süreçlerinin yönetimi konusunda rehber niteliğinde olup, gelecekte yapılacak araştırmalara ışık tutmaktadır. Gelecek çalışmalarda, farklı BIM entegrasyon modelleri üzerine odaklanarak, sektörde karşılaşılan temel sorunların çözümüne yönelik yeni yaklaşımlar geliştirilebilir. Ayrıca, BIM uygulamalarının inşaat projelerindeki rolünü daha iyi analiz edebilmek adına, farklı proje türleri ve ölçekleri üzerinden karşılaştırmalı analizler yapılabilir. Çalışmanın sonuçları, BIM tabanlı MEP yönetiminin inşaat sektöründe yaygınlaştırılması adına sektörel farkındalığın artırılması gerektiğini ve bu alanda daha kapsamlı politikaların geliştirilmesinin önem arz ettiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu tezde yapılan analizler, erken tasarım aşamasında BIM destekli MEP süreçlerinin maliyet, zaman ve kalite açısından önemli avantajlar sunduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, BIM'in proje yönetimindeki rolünü güçlendirmek adına yeni stratejiler geliştirilmesine zemin hazırlamakta ve inşaat sektörü için uygulanabilir öneriler sunmaktadır. BIM'in MEP süreçlerine entegrasyonu ile sağlanan maliyet avantajları ve zaman yönetimi, gelecekteki projelerde daha verimli iş akışlarının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Tezin sunduğu bulgular, sektörde BIM'in daha etkin kullanılması için yol gösterici bir çerçeve sunmakta ve gelecekteki araştırmalar için önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Abotaleb, M. M. (2020). Integrating building information management (BIM) in civil infrastructure coordination: application at LUSAIL plaza. *In International Conference on Civil Infrastructure and Construction (CIC 2020)*. Doha, Katar. doi:10.29117/cic.2020.0032
- Afzal, M. (2021). BIM 7D - research on applications for operations & maintenance. *BIM A+ International Conference*. University of Minho.
- Ahmad, D. M. (2024). The role of BIM in managing risks in sustainability of bridge projects: a systematic review with meta-analysis. *Sustainability*, 16(3). doi:https://doi.org/10.3390/su16031242
- Ahmadpanah, H. (2023). *BIM and machine learning integration in the design phase, using ML to reduce the irrelevant clashes in clash detection report*. Liverpool: University of Liverpool.
- AIA. (2013). *AIA Document G202™ – 2013*. American Institute of Architects.
- Akponeware, A. O. (2017). Clash detection or clash avoidance? an investigation into coordination problems in 3D BIM. *Buildings*, 7(75). doi:https://doi.org/10.3390/buildings7030075.
- Aktuna, A. (2017). *Tarım sektöründe çalışanların iş sağlığı ve güvenliği çerçevesinde bilgi, tutum ve algı düzeyleri: Tekirdağ Süleymanpaşa örneği*. Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Çalışma İktisadi Anabilim Dalı.
- Al-Smadi, S. A. (2021). A comparison between the (design-build DB) and (design-bid-build DBB) approaches used in the jordanian construction sector and clarify the risks associated with each approach.

- Arayıcı, Y. C. (2012). Building information modelling (BIM) implementation and remote construction projects: issues, challenges and critiques. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, s. 75-92. <http://www.itcon.org/2012/5> adresinden alındı
- Autodesk. (2023, 12 02). [www.autodesk.com: https://www.autodesk.com/solutions/aec/bim/mep#:~:text=MEP%20engineers%20are%20under%20more,and%20firms%20one%20step%20ahead](https://www.autodesk.com/solutions/aec/bim/mep#:~:text=MEP%20engineers%20are%20under%20more,and%20firms%20one%20step%20ahead) adresinden alındı
- B.G. Tabachnick, L. F. (2013). *Using multivariate statistics*. Boston.
- Bedrick, J. &. (2022). *Level of development (LOD) specification 2021 supplement*. BIMForm.
- Beşiroğlu, Ş. (2022). BIM ortamında bina yangın emniyet önlemlerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*.
- BIM Cafe. (2023, 08 16). *LOD & LOI in BIM*. 10 4, 2023 tarihinde LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/lod-loi-bim-bim-cafe> adresinden alındı
- BIMForum. (2022). *Level of development (LOD) specification 2021 supplement*. www.bimforum.org/lod adresinden alındı
- Bosché, F. A. (2015). The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components. *Automation in Construction*(49), s. 201-213.
- Boyd, M. &. (2015). *Investigation into maturity management for Building Information Modelling*. School of Science and Technology, Middlesex University.
- Brewer, G. G. (2012). *Building information modelling (BIM): an introduction and international perspectives*. Newcastle: School of Architecture and Built Environment.
- Broers, A. A. (2016). *Calculation and analytical methods for MEP/HVAC components*. ISSO.

- Building and Construction Authority. (2013). *BIM essential guide – for MEP consultants*. Singapur: Building and Construction Authority.
- Cerny, P. &. (2020). Redeeming BIM's promise in practice: integrative planning with hilti as a partner. *ptBIM 2020 – 3º Congresso Português de Building Information Modelling*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Chen, C. (2019, Haziran 17). Heterogeneous integration of BIM with low-cost indoor mobile laser scanning method for building fabric maintenance in China. *Doktora Tezi*.
- Chiu, W. Y. (2020). Building information modelling for building services engineering: benefits, barriers and conducive measures. *Engineering Construction and Architectural Management*. doi:0.1108/ECAM-10-2018-0460
- Datta, S. D. (2023). Effectiveness of using building information modeling (BIM) tools in project management: A case study. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*, 22(2), s. 306-320.
- Dossick, C. S. (2008). How leadership overcomes organizational divisions in BIM-enabled commercial construction. *LEAD '08*.
- Doumbouya, L. G. (2017). Application of BIM technology in design and construction: A case study of pharmaceutical industrial base of amino acid building project. *Engineering for Rural Development*, (s. 1495-1500). Jelgava. doi:<https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N338>
- Fazeli, A. D. (2020). An integrated BIM-based approach for cost estimation in construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(8), s. 1-27. doi:<https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2020-0027>
- Foster, L. L. (2008). Legal issues and risks associated with Building Information modeling technology. Kansas Üniversitesi Mimarlık Mühendisliği.
- Gerçek, M. (2018, 4 18). Yöneticiler İçin psikolojik sözleşme ölçeği: Bir ölçek geliştirme, geçerlilik ve güvenilirlik çalışması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, s. 193-212. doi:10.18037/ausbd.552712

- Gharouni Jafari, K. S. (2021). BIM-based integrated solution for analysis and management of mismatches during construction. . *Journal of Engineering Design and Technology*.
- Guangbin, W. X. (2011). Research on some critical problems of contracting for building information model. IEEE.
- Habib, U. E. (2022). BIM roles and responsibilities in developing countries: a dedicated matrix for design-bid-build projects. *Buildings*, 12(1752). doi:10.3390/buildings12101752
- Hamdi, O. F. (2014). Conflicting side of building information modeling implementation in the construction industry. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*.
- Han, S. L.-M. (2011, 04 08). Identification and quantification of non-value-adding effort from errors and changes in design and construction projects. doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000406
- Han, S. L.-M. (2012). Identification and quantification of non-value-adding effort from errors and changes in design and construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(1), s. 98-109. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000406
- Hanna, A. S. (1999, Mayıs). The effect of orders for changes in mechanical construction. *Civil Engineering and Management*, 125(5), s. 176-184.
- Hartmann, T. &. (2008). Applications of BIM and hurdles for widespread adoption of BIM 2007 AISC-ACCL econstruction roundtable event report. *Building Information Modeling Development of An Integrated Construction Management System For Building Estimation* (s. 62-77). içinde Stanford University.
- Hassanain, M. A.-A. (2018). Interdisciplinary design checklists for mechanical, electrical and plumbing coordination in building projects. *Built Environment Project and Asset Management*. doi:https://doi.org/10.1108/BEPAM-01-2018-0009

- Hood, G. (2023, 03 06). *What is MEP coordination in BIM?* thecadroom: <https://www.thecadroom.com/what-is-mep-coordination-in-bim/> adresinden alındı
- Hu, Z.-Z. T.-L.-W.-P. (2018). BIM-based integrated delivery technologies for intelligent MEP management in the operation and maintenance phase. *Advances in Engineering Software*(115), s. 1-16.
- Husin, A. E. (2020). Improving the cost performance of mechanical electrical and plumbing (MEP) works buildings in hotel based on building information modeling (BIM) 5D. *CSID Journal of Infrastructure Development*, 3(2), s. 228-236. doi:<https://doi.org/10.32783/csid-jid.v3i2.168>
- Indovance. (2023, 12 02). [www.indovance.com: https://www.indovance.com/knowledge-center/advantages-of-bim-in-mep-engineering/](https://www.indovance.com/knowledge-center/advantages-of-bim-in-mep-engineering/) adresinden alındı
- Insiter. (2016). Calculation and analytical methods for MEP/HVAC components. European Union H2020 Framework Programme.
- Jimenez, P. T. (2001). 3D collision detection: a survey. 25, s. 269-285.
- Kaya, M. &. (2013). *Sürdürülebilir kalkınmaya yönelik tutum ölçeği geliştirme çalışması*. Marmara Coğrafya Dergisi. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/marucog/issue/475/3929> adresinden alındı
- Kermanshahi, E. K. (2020). Implementation of building information modeling for construction clash detection process in the design stage: a case study of malaysian police headquarter building. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 476. doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012009>
- Kermanshahi, E. K. (2020). Implementation of building information modeling for construction clash detection process in the design stage: a case study of malaysian police headquarter building. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 476.
- Keskin, B. O. (2019). BIM implementation in mega projects: challenges and enablers in the Istanbul grand airport (IGA) project. *In Proceedings of the*

35th CIB W78 2018 Conference: IT in Design Construction. Springer Nature Switzerland AG. doi:10.1007/978-3-030-00220-6_106

- Khanzode, A. F. (2008). Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing (MEP) systems on a large healthcare project. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 13(22), s. 324-342.
- Kim, S. L. (2024). Employing ontology and machine learning for automatic clash detection and classification in multi-disciplinary BIM models. *The 10th International Conference on Construction Engineering and Project Management*. doi:<https://dx.doi.org/10.6106/ICCEPM.2024.0566>.
- Kocakaya, M. (2022). *Yapı bilgi modelle (BIM) entegre edilmiş inşaat sözleşme tipi önerisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa.
- Korman T. M., S. L. (2008). Using building information modeling to improve the mechanical, electrical, and plumbing coordination process for buildings. In *AEI 2008: Building Integration Solutions*. American Society of Civil Engineers.
- Korman, T. M. (2006). Prototype tool for mechanical electrical and plumbing coordination. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 20(1), s. 38-48. doi:10.1061/(ASCE)0887-3801(2006)20:1(38)
- Korman, T. S. (2010). How building information modelling has changed the MEP coordination process. *Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Constructio*, s. 959-963.
- Kouhestani, S. (2019). Integration of building Information modeling (BIM) and process mining for design authoring processes. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Krezel, Z. A.-S. (2016). Towards Integration of BIM into construction management curriculum learning activities. czech journal of civil engineering. *Czech Journal of Civil Engineering*, 2.
- Kutmen.com. (2022). <https://www.kutmen.com/ept> adresinden alındı

- Langstaff, C. J. (2018). Application of mechanical electrical and plumbing contractor's BIM practices to the cal poly san luis obispo construction management program. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Lee, G. K. (2014). Parallel vs. sequential cascading MEP coordination strategies: a pharmaceutical building case study. *Automation in Construction*, 43, s. 170-179.
- Lee, J. Y. (2020). BIM-based preliminary estimation method considering the life cycle cost for decision-making in the early design phase. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, s. 384-399. <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1748635> adresinden alındı
- Lim, C. H.-K. (2016). Automatic rebar estimation algorithms for integrated project delivery. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 13(3), s. 411-418. doi:<https://doi.org/10.3130/jaabe.15.411>
- Liu, H. L.-H. (2014). BIM-based integrated framework for detailed cost estimation and schedule planning of construction projects. *31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining. ISARC2014*. doi:<https://doi.org/10.22260/ISARC2014/0038>
- Lu, Q. &. (2019, 03 07). A BIM-based approach to automate the design and coordination process of mechanical electrical and plumbing systems. *HKIE Transactions*, 25(4), s. 273-280. doi:10.1080/1023697X.2018.1537813
- MacLeamy. (2004). *Collaboration, Integrated Information and the project lifecycle in building design, construction and operation*. Construction Users Roundtable (CURT).
- MEPBIM. (2023, 11 29). MEPBIM: <https://www.mepbim.com/building-information-modeling/bim-level-of-development/> adresinden alındı
- Motiejunas, V. (2016). Improving the MEP coordination using BIM technologies - a case study based on observations and interviews. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Muhammad, M. Z. (2020). A review of facilities information requirements towards enhancing building information modelling (BIM) for facilities management (FM). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 884. doi:10.1088/1757-899X/884/1/012033

- Nguyen, L. (2022). Digital optimisation workflow in early project phases and what it can bring when looking at the MacLeamy curve. Bauer Spezialtiefbau GmbH.
- Parn, E. A. (2018). Origins and probabilities of MEP and structural design clashes within a federated BIM model. *Automation in Construction*, 85, s. 209-219. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.010>
- Parti, R. H. (2019). Process model for BIM-based MEP design. IOP Conference Series: earth and environmental science. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323. doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012045>
- Perić, R. &. (2022). The importance of project management in the early stages of a BIM-led project: a case study of the construction of judicial square in zagreb. *6th IPMA SENET Project Management Conference: Digital Transformation and Sustainable Development in Project Management*.
- Ranathunga, J. D. (2024, 08 9-10). Augmenting performance of prefabricated MEP modular systems via BIM integration. s. 251-264. doi:<https://doi.org/10.31705/WCS.2024.20>
- Santos, R. C. (2017). Bibliometric analysis and review of building information modelling literature published between 2005 and 2015. *Automation in Construction*, 80, s. 118-136.
- Scottish Futures Trust. (2013). 12 02, 2023 tarihinde www.bimportal.scottishfuturestrust.org.uk:
<https://bimportal.scottishfuturestrust.org.uk/page/what-is-bim> adresinden alındı
- Seo Jung-Ho, L. B.-R.-H.-J. (2012). Collaborative process to facilitate BIM-based clash detection tasks for enhancing constructability. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 12(3). doi:10.5345/JKIBC.2012.12.3.299
- Sheikh, M. &. (2021). Review paper on application of building information modeling in construction projects coordinated with digital transformation.

International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM), 3(10), s. 280-285. doi:10.35629/5252-0310280285

Siliconlic. (2018, 07 07). *MEP coordination shop drawing service USA - MEPF, mechanical, electrical & plumbing*. [www.slideshare.net: https://www.slideshare.net/siliconllc/mep-coordination-shop-drawing-service-usa-mepf-mechanical-electrical-plumbing-104645312?from_search=2](https://www.slideshare.net/siliconllc/mep-coordination-shop-drawing-service-usa-mepf-mechanical-electrical-plumbing-104645312?from_search=2) adresinden alındı

Singh, H. (2021, 11 30). *hitechcadd.substack.com*. https://hitechcadd.substack.com/p/10-tips-for-a-successful-bim-workflow?subscribe_prompt=free adresinden alındı

Tabesh, A. R.-F. (2006). Modeling and coordinating building systems in three dimensions: a case study. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33, s. 1490-1504. doi:10.1139/L06-124.

Tao, W. K. (2001). Mechanical and electrical in buildings. *Prentice Hall*.

Tatum, C. B. (2000, Aralık). Coordinating building systems: process and knowledge. *Journal of Architectural Engineering*, s. 116-121.

Teo, Y. H. (2022). Enhancing the MEP coordination process with BIM technology and management strategies. 22, s. 4936. *Sensors*.

Tommelein, I. D. (2012). Root causes of clashes in building information models. *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 510, s. 10. San Diego.

Vurğun Çelikel, S. (2021). Enhanced project delivery from construction to operations and BIM use in facility management: istanbul airport case study. *Yüksek Lisans Tezi*.

Wang, B. Y. (2021). Fully automated generation of parametric BIM for MEP scenes based on terrestrial laser scanning data. *Automation in Construction*, 125.

Wang, J. C. (2014). BIM-Enabled Design Collaboration for Complex. *Cooperative Design, Visualization, and Engineering*, s. 238-244.

- Wang, J. W. (2016). Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability. *Automation in Construction*(61), s. 134–146.
- www.bimteknoloji.com*. (2019). bimteknoloji: <https://www.bimteknoloji.com/wp-content/uploads/2019/04/BIMtek-12-1.jpg> adresinden alındı
- Yaşlıoğlu, M. M. (2017). Sosyal bilimlerde faktör analizi ve geçerlilik: keşfedici ve doğrulayıcı faktör analizlerinin kullanılması. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, s. 74-85. <https://dergipark.org.tr/en/pub/iuisletme/issue/32177/357061> adresinden alındı
- Yemez, İ. (2016). Doğrulayıcı faktör analizi ile sosyal medya reklamlarına yönelik tutum ölçeğinin yapı geçerliliğinin incelenmesi: Cumhuriyet Üniversitesi İİBF’de bir uygulama. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 17(2), s. 97-118.
- Zhang, S. L.-K. (2011). Integrating BIM and safety: an automated rule-based checking system for safety planning and simulation. *School of civil and environmental engineering*.

Thank you for kindly participating in this questionnaire. Your feedback is very important and will be used for my master dissertation. This research focuses on BIM supported management MEP process and cost impacts in early design phase.

What is your profession?

.....

What is your role in the Project?

If you are not working on a specific project, please indicate your area of expertise

.....

1-How many years of professional experience do you have?

- Less than 5 years
- 5-10 years
- 11-15 years
- More than 15 years

2-How many years of BIM experience do you have?

- Less than 2 years
- 2-4 years
- 5-7 years
- 8-10 years
- More than 10 years

3-Do you agree with the following statements? (Please indicate the degree of agreement)

Did you have difficulty in BIM integration?

- Strongly Agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Strongly Disagree

4- How do you evaluate the effectiveness of BIM (Building Information Modeling) technology in your MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) projects?

- Strongly Agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Strongly Disagree

5- The impact of completing MEP processes in the early design stage on project costs is significant?

- Strongly Agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Strongly Disagree

6- In which of the following stages do you encounter difficulties when integrating MEP coordination into BIM processes?

- Tender Stage
- Contract Stage
- Design Stage
- Intellectual Property Issues
- Data Security Concerns
- Dispute Resolution
- Clash Detection
- Managing Change Orders
- Health and Safety Compliance
- Operating the Facility
- Maintenance of the Facility

7- In projects utilizing Building Information Modeling (BIM), the delayed establishment of MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) relationships during the preliminary design phase has negative impacts on the Project.

- Strongly Agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Strongly Disagree

8-Do you agree that the concepts of LOD (Level of Detail) and LOI (Level of Information) are important for managing information flow and ensuring coordination at various stages of a project?

- Strongly Agree
- Agree

- Neutral
- Disagree
- Strongly Disagree

9- Do you agree that you are knowledgeable about the varying levels of LOD (Level of Detail) and LOI (Level of Information) in the MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) process?

- Strongly Agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Strongly Disagree

10-Do you agree that the completion of MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) processes in the early design stage has a specific impact on project costs?

- Strongly Agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Strongly Disagree

11- In MEP coordination, do you think parallel coordination or sequential step coordination is more effective?"

- Parallel Coordination
- Sequential Cascading Coordination
- Both are Effective
- None of Them Are Effective
- I'm ambivalent

12- Among the project delivery methods, Design-Bid-Build (Dec), Design-Build (Dec) and Integrated Project Delivery (IPD), which do you think is the most effective method for successful and efficient management of construction projects?"

- Design-Bid-Build (DBB)
- Design-Build (DB)
- Integrated Project Delivery (IPD)
- None of Them / I'm Undecided

13-Do you agree that there should be integration between structural engineers and MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) designers in the early design stage?

- Yes, I agree
- No, I disagree

14- Do you think that the use of BIM (Building Information Modeling) facilitates the integration of MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) design in the early stages?

- Yes, it facilitates
- I am undecided
- No, it does not facilitate

15- In your workflow, is the process of creating MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) reservations for concrete and steel included in the early design stage?

- Yes
- No

16- Do you think that the information requirements and delivery standards set by the employer, which are necessary for the project, affect the delivery time, format, and method of MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) design?

- Yes
- Somewhat
- No

17- In the BIM contracts you establish, do you define the file formats to be used by subcontractors in the early design stage?

- Yes
- No

18- What do you think about the current status and future potential of the integration of BIM and simulation/optimization tools into MEP design and construction processes?

- Adequate
- Partially sufficient
- Insufficient

19- How would you rate the benefits of applying the BIM model to MEP design and operation processes?

- Very Beneficial
- Useful

- Neither Useful nor Useless
- Less Useful
- Useless

20- Do you think BIM provides cost efficiency in MEP coordination processes?

- Definitely Yes
- Partially Yes
- Undecided
- Not Very
- Absolutely not

21- Which is the most common type of conflict you encounter in construction projects?

- Hard Conflicts
- Soft/Open Conflicts
- Time/4D Conflicts
- All Equal Degree
- No Conflict

22- The EIR (The Employer's Information Requirements) provides the information requirements and delivery standards set by the employer and required for the project. Do you find the EIR concept important for MEP coordination in the early design phase?

- Yes, I do.
- Undecided
- No I do not find it

23- In your opinion, to what extent is the role of the BIM Manager in detailing and coordinating the BIM Execution Plan (BEP) of the project important for the success of construction projects.

- Very important
- Important
- Partly Important
- Less Important
- Insignificant

24- How successful is it for MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) contractors to adapt to the challenges they face in accelerated projects.

- Very Successful

- Successful
- I'm ambivalent
- Unsuccessful
- Very Unsuccessful

25-How do you assess the effectiveness of the use of BIM (Building Information Modeling) in MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) design processes to reduce the difficulties in the transition from the design stage to the construction stage?"

- Very Effective
- Effective
- Moderately Effective
- Less Effective
- Ineffective

26- How do you assess the impact of the use of DEMA (Data Exchange Matrix Analysis) in BIM projects on the effectiveness of data flow and sharing?"

- Very Effective
- Effective
- Moderately Effective
- Less Effective
- Ineffective

EK 2 – MÜLAKAT GÖRÜŞME ONAM FORMU

GÖRÜŞME ONAM FORMU

Merhaba,

Ben Burak Barlas. Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaktayım. Tez danışmanım Doç. Dr. Serhat Başdoğan ile birlikte **“MEP Süreçlerinin BIM Destekli Yönetimi ve Erken Tasarım Aşamasında Maliyete Etkileri”** başlıklı tez üzerinde çalışmaktayız. Bu tezin amacı, BIM projelerinde erken tasarım aşamasında MEP tasarımının tamamlanmasına yönelik iş akışları geliştirmek ve bu süreçlerin maliyet üzerindeki etkilerini incelemektir.

Bu araştırma kapsamında, BIM kullanan şirketlerle görüşmeler gerçekleştirmekteyiz. Görüşme sırasında paylaşılan tüm bilgiler yalnızca bu araştırma çerçevesinde kullanılacak ve kişisel bilgiler tamamen gizli tutulacaktır.

Görüşme yaklaşık **45 dakika** sürecektir. Görüşmenin, izniniz dahilinde ses kaydı alınması planlanmaktadır. Bu şekilde zamanı daha verimli kullanmayı hedeflemekteyiz.

Araştırmamıza katılmayı kabul ettiğiniz için şimdiden teşekkür ederiz. Görüşmeye başlamadan önce sormak istediğiniz bir soru varsa, bunları yanıtlamaktan memnuniyet duyarız. İzin verirsiniz görüşmeye başlayabiliriz.

Katılımcının Onayı

- Araştırmaya katılmayı kabul ediyorum.
- Görüşme sırasında verilen bilgilerin gizli tutulacağına dair bilgilendirildim.
- Görüşmenin ses kaydı alınmasına izin veriyorum.

Katılımcının Adı Soyadı:

İmza:

Tarih:

MÜLAKAT SORULARI

1. Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanmasının proje maliyetleri üzerindeki etkileri nelerdir ve bu etkiler nasıl ölçülebilir?
2. BIM kullanımı, MEP tasarımının erken aşamalarda entegrasyonunu nasıl kolaylaştırır ve bu entegrasyon proje kalitesine nasıl katkıda bulunur?
3. MEP süreçlerinin erken tasarım aşamasında tamamlanmasının zaman yönetimi üzerindeki etkileri nelerdir ve bu etkileri azaltmak için hangi stratejiler uygulanabilir?
4. Projede farklı disiplinler arasındaki koordinasyon ve iletişimde karşılaşılan en büyük zorluklar nelerdir ve BIM bu zorlukların üstesinden gelmekte nasıl bir rol oynar?
5. Erken tasarım aşamasında MEP tasarımında LOD kavramının kullanımının önemi nedir ve bu yaklaşım MEP tasarım sürecini ve sonuçlarını nasıl etkiler?
6. Erken tasarım aşamasında MEP entegrasyonunun proje sonuçlarına etkisi nasıl izlenir ve değerlendirilir?
7. BIM kullanan inşaat projelerinde MEP süreçlerinin erken entegrasyonunun karşılaştığı en büyük engeller nelerdir ve bu engeller nasıl aşılabılır?
8. Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanması, projenin ilerleyen aşamalarında karşılaşılabilecek hangi potansiyel sorunları önleyebilir?
9. Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin tamamlanması ve BIM kullanımı, inşaat sözleşmelerinde nasıl ele alınmalı ve bu yaklaşım proje süreçlerini nasıl etkiler?
10. Erken tasarım aşamasında MEP süreçlerinin entegrasyonu, proje yöneticileri ve mimarlar için hangi avantajları ve zorlukları beraberinde getirir?

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Barlas, B., Arisoy, M. B., & Başdoğan, S. (2024, Haziran 6). BIM Supported Management of MEP Processes and Cost Impacts in Early Design Phase. *8th International Project and Construction Management Conference (IPCMC 2024)*, İstanbul.

