

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAFİF ÇELİK YAPI PROJELERİNİN TASARIM VE
YAPIM AŞAMALARINDA YBM SÜREÇLERİNİN
UYGULANMASI**

**Hazırlayan
Mehmet BÜYÜKÇELİK**

**Danışman
Doç. Dr. Savaş BAYRAM**

Yüksek Lisans Tezi

**Ocak 2023
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAFİF ÇELİK YAPI PROJELERİNİN TASARIM VE
YAPIM AŞAMALARINDA YBM SÜREÇLERİNİN
UYGULANMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Mehmet BÜYÜKÇELİK**

**Danışman
Doç. Dr. Savaş BAYRAM**

**Ocak 2023
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Mehmet BÜYÜKÇELİK



“Hafif Çelik Yapı Projelerinin Tasarım ve Yapım Aşamalarında YBM Süreçlerinin Uygulanması” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Mehmet BÜYÜKÇELİK

Danışman

Doç. Dr. Savaş BAYRAM



İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. A. Alper ÖNER

TEŞEKKÜR

Tez çalışmama katkı ve desteklerinden dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Savaş BAYRAM'a, bugünlere gelmemde sonsuz emekleri olan annem, babam, ağabeyim ve yengeme, her durumda beni cesaretlendiren değerli eşime teşekkür ederim.

Mehmet BÜYÜKÇELİK

Ocak 2023, KAYSERİ

HAFİF ÇELİK YAPI PROJELERİNİN TASARIM VE YAPIM AŞAMALARINDA YBM SÜREÇLERİNİN UYGULANMASI

Mehmet BÜYÜKÇELİK

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2023
Danışman: Doç. Dr. Savaş BAYRAM**

ÖZET

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) kullanımının tüm inşaat projelerinde olduğu gibi hafif çelik yapı projelerinde de birçok faydası vardır. Fakat henüz yeni olan YBM konseptinin, giderek yaygınlaşan hafif çelik yapım yönteminde kullanımına yönelik bilgiler kısıtlıdır.

Hafif çelik yapılarda neden YBM kullanılması gerektiği çalışmada genel hatlarıyla özetlenmiştir. YBM kullanılması planlanan hafif çelik yapılar için projeden projeye değişmeyen bilgiler hazırlanmış ve bu kullanım için genel bir yol haritası oluşturulmuştur. Bu bilgiler YBM için kilit noktası sayılabilecek YBM yürütme planı (BEP) üzerinden hazırlanmıştır. Literatür çalışması ve vaka analizleri bu bilgilerin dayanak noktalarıdır. Projenin farklı adımları ve farklı YBM kullanımları için yazılım önerileri yapılmıştır. Hazırlanan bilgi ve öneriler ışığında tasarımdan teslim aşamasına kadar örnek bir uygulama projesi incelenmiştir.

Çalışmada hafif çelik yapı projesine katılması beklenen paydaşların hangi YBM kullanımlarını tercih edeceği, kullanımların hangi öncelik sıralamasında olduğu, bu kullanımların inşaatın hangi fazlarında kullanıldığı ve hangi sorunları çözdüğüne yönelik bulgular elde edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular literatürle kıyaslanmıştır.

Çalışma sonucunda YBM kullanılmak istenen bir hafif çelik yapı projesi için genel bir yol haritası oluşturulmuştur. Projede kullanılması beklenen bilgiler için referans bilgiler hazırlanmıştır. Tasarımdan teslim aşamasına kadar hafif çelik yapı projesinde YBM kullanımı uygulama projesinde gösterilmiştir. Çalışmadaki kısıtlar ve elde edilen veriler doğrultusunda öneriler son bölümde paylaşılmıştır.

Çalışmanın YBM kullanılacak hafif çelik yapılarda kullanımını kolaylaştırması ve söz konusu yapılar için rehber niteliğinde bir çalışma olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapı Bilgi Modellemesi, Hafif Çelik Yapılar, Soğukta Şekillendirilmiş Çelik, YBM



APPLICATION OF BUILDING INFORMATION MODELING PROCESSES AT THE DESIGN AND CONSTRUCTION PHASES OF A COLD-FORMED STEEL STRUCTURE PROJECT

Mehmet BÜYÜKÇELİK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, January 2023

Supervisor: Asst. Prof.Dr. Savaş BAYRAM

ABSTRACT

The use of Building Information Modeling (BIM) has many benefits in light steel construction projects as well as in all construction projects. However the informations about use of BIM as a new concept on increasingly widespread construction method cold-formed steel structures are still limited.

The reason why BIM should be used in cold-formed steel structure project is summarized in general terms in the study. Information that does not change from project to project has been prepared for light steel structures that are planned to be used with BIM, and a general roadmap has been created for this use. This information has been prepared over the BIM Execution Plan (BEP), which can be considered the key point for BIM. Literature review and case studies are the mainstays of this information. Software recommendations were made for different steps of the project and for different BIM uses. In the light of the information and suggestions prepared, a sample application project was examined from the design to the delivery stage.

In the study, findings were obtained regarding which BIM usages the stakeholders expected to participate in the cold-formed steel structure would prefer, in which priority order the uses were, in which phases of the construction these uses were used and which problems they solved. The findings obtained from the study were compared with the literature.

As a result of the study, a general roadmap was created for a cold-formed steel strucre project that is planned to use BIM. Reference information has been prepared for the information expected to be used in the project. The use of BIM in the cold-formed steel structure project from the design to the delivery stage has been demonstrated in the

application project. In line with the limitations of the study and the data obtained, suggestions are shared in the last section.

It is expected that the study will facilitate the use of BIM for cold-formed steel structures and will be a guide for these structures.

Keywords: Building Information Modeling, Light Gauge Steel Structures, Cold-Formed Steel, BIM



İÇİNDEKİLER

HAFİF ÇELİK YAPI PROJELERİNİN TASARIM VE YAPIM AŞAMALARINDA YBM SÜREÇLERİNİN UYGULANMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
TABLO LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM).....	4
1.2. Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Yapılar.....	12
1.3. Literatür Çalışması	18

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Proje Paydaşları	22
2.2. YBM Yürütme Planı (BEP)	22
2.3. YBM Kullanımları	23
2.3.1. Yapı Bakım Planlama	24
2.3.2. Bina Sistemlerinin Analizi.....	24
2.3.3. Varlık Yönetimi.....	25
2.3.4. Alan Yönetimi ve Takibi.....	25
2.3.5. Acil Durum Yönetimi.....	25
2.3.6. Kayıtların Modellenmesi	25
2.3.7. Saha Kullanımının Planlanması	26
2.3.8. İnşa Sisteminin Tasarlanması	26
2.3.9. Dijital Fabrikasyon	27

2.3.10. 3B Kontrol (Dijital Yerleşim) ve Planlama.....	27
2.3.11. 3B Koordinasyon.....	27
2.3.12. Tasarım/Modelleme	28
2.3.13. Mühendislik Analizi	28
2.3.14. Enerji Analizi.....	28
2.3.15. Yapısal Analiz.....	28
2.3.16. Aydınlatma Analizi	29
2.3.17. Sürdürülebilirlik Analizi	29
2.3.18. Yönetmeliğe Uygunluk Analizi	30
2.3.19. Tasarım Onaylama/İnceleme	31
2.3.20. Programlama	31
2.3.21. Saha Analizi	31
2.3.22. 4B Modelleme/Planlama	31
2.3.23. Maliyet Tahmini	32
2.3.24. Mevcut Koşulların Modellenmesi.....	32
2.4. YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu.....	33
2.5. Gelişim Seviyesi (LOD).....	34
2.6. YBM Yürütme Planı Süreç Haritaları.....	35
2.6.1. Birinci Düzey Haritalar	35
2.6.2. İkinci Düzey Haritalar	36
2.7. Yazılımlar.....	37

3. BÖLÜM

UYGULAMA

3.1. Projeye Dâhil Olması Muhtemel Paydaşların YBM Kullanımları ve Hedefleri.....	38
3.1.1. Ana Yüklenici	39
3.1.2. Çelik Karkas Yüklenicisi.....	40
3.1.3. Kuru Duvar Yüklenicisi	41
3.1.4. Elektromekanik Sistemler Yüklenicisi.....	43
3.1.5. Tasarım Ofisi	44
3.2. Standart Projede Kullanılması Beklenen Ürün Aileleri ve Ürün Ailelerinin Gelişim Seviyeleri.....	46

3.3. Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Yapıların Örnek Tasarım ve Analiz İş Akış Haritası.....	48
3.4. Önerilen Paket Programlar.....	49
3.5. Hafif Çelik Yapılar için Örnek Bir YBM Süreci	51
3.5.1. Örnek Yapı Hakkında Genel Bilgiler.....	51
3.5.2. Yapısal Analiz Modeli.....	52
3.5.3. Mimari Model.....	55
3.5.4. 3B Koordinasyon ve Tasarım Onaylama	58
3.5.5. Hafif Çelik Fabrikasyonu	60
3.5.6. Çelik Karkas Kurulumu.....	65
3.5.7. Saha Kurulumu ve Yapı Teslimi	68
4. BÖLÜM	
TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER	
4.1. Tartışma ve Bulgular	72
4.2. Sonuçlar ve Öneriler	74
KAYNAKÇA	76
EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	82

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1.	Ana Yüklenici YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu	40
Tablo 3.2.	Ana Yüklenici Yüklenicisi için İnşaat Fazlarındaki BIM Kullanımları Tablosu.....	40
Tablo 3.3.	Hafif Çelik Karkas Yüklenicisi YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu.....	41
Tablo 3.4.	Hafif Çelik Karkas Yüklenicisi için İnşaat Fazlarındaki BIM Kullanımları Tablosu.....	41
Tablo 3.5.	Kuru Duvar Yüklenicisi YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu.....	43
Tablo 3.6.	Kuru Duvar Yüklenicisi Yüklenicisi için İnşaat Fazlarındaki BIM Kullanımları Tablosu	43
Tablo 3.7.	Elektromekanik Sistemler Yüklenicisi YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu.....	43
Tablo 3.8.	Kuru Duvar Yüklenicisi Yüklenicisi için İnşaat Fazlarındaki BIM Kullanımları Tablosu	44
Tablo 3.9.	Tasarım Ofisi BIM Kullanımı ve Hedefler Tablosu	45
Tablo 3.10.	Tasarım Ofisi Yüklenicisi için İnşaat Fazlarındaki BIM Kullanımları Tablosu.....	45
Tablo 3.11.	Hafif Çelik Yapı Projelerinde LOD Kullanımı.....	47
Tablo 3.12.	Farklı Kullanımlar için Yazılım Önerileri	49

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1.	ABD’de Yıllara Göre Sektörel İşçi Verimliliği	5
Şekil 1.2.	İnşaat Sektöründeki Yenilikler ve Beklenen Etkisi	6
Şekil 1.3.	Çeşitli Adımlarda Örnek YBM Kullanımları	7
Şekil 1.4.	YBM Proje Yaşam Döngüsü	8
Şekil 1.5.	Gelişim Seviyeleri Örneği	9
Şekil 1.6.	Geometri, Veri ve YBM İlişkisi	11
Şekil 1.7.	Galvanizli Rulo Sac	12
Şekil 1.8.	Abkant Büküm İşlemi	13
Şekil 1.9.	Örnek Roll Form Şekillendirme Diyagramı	13
Şekil 1.10.	Hafif Çelik Yapıda Kullanılan Profiller.....	14
Şekil 1.11.	Hafif Çelik Yapı Örneği	14
Şekil 1.12.	Hafif Çelik Yapı Karkas Kurulumu.....	15
Şekil 1.13.	Hafif Çelik Yapı Merdiveni.....	15
Şekil 1.14.	Hafif Çelik Yapı Vidalı Bağlantı Örneği.....	15
Şekil 1.15.	Hafif Çelik Yapı Kaynaklı Bağlantı Örneği	16
Şekil 1.16.	Panel Sistemli Hafif Çelik Yapı Kurulumu	17
Şekil 2.1.	BEP Uygulama Adımları	23
Şekil 2.2.	Bakım Planlamada YBM kullanım örneği.....	24
Şekil 2.3.	YBM’de Kule Vinç - Saha Entegrasyon Modeli	26
Şekil 2.4.	3B Koordinasyon Örneği	27
Şekil 2.5.	YBM Aydınlatma Analizi Örneği.....	29
Şekil 2.6.	YBM Sürdürülebilirlik Aracının Örnek Kullanımı	30
Şekil 2.7.	YBM Programlama Örneği.....	32
Şekil 3.1.	TBDY 2019’da Yapı Kesme Kuvvetlerinin Karşılmasına Yönelik Kategorizasyon	42
Şekil 3.2.	TBDY 2019’da Panel Sistem Hafif Çelik Yapıya Dair Uygulama Detayları.....	42
Şekil 3.3.	Tasarım Sürecinde Hafif Çelik Yapı Örneği (Abu-Hamd, 2015).....	45
Şekil 3.4.	Hafif Çelik Duvar Paneli İçin Örnek LOD Görseli (BIMforum, 2021)	46
Şekil 3.5.	Hafif Çelik Yapı Tasarımı Kapsamında YBM Süreçleri Haritası	48
Şekil 3.6.	SCIA Engineer’da Hafif Çelik Analiz Model Perspektifi Örneği	50

Şekil 3.7.	SCIA Engineer’da Hafif Çelik Analiz Model Veri Girişi Örneği	50
Şekil 3.8.	SCIA Engineer’da Hafif Çelik Analiz Model Plan Örneği	51
Şekil 3.9.	Hafif Çelik Yatakhane Planı	52
Şekil 3.10.	Hafif Çelik Kesitlerin Girilmesi	53
Şekil 3.11.	Duvar Panellerinin Modellenmesi	53
Şekil 3.12.	Duvar ve Çatı Modelinin Tamamlanması.....	53
Şekil 3.13.	Yapıya Etkiyen Yüklerin Tanımlanması	54
Şekil 3.14.	Yapının Maruz Kaldığı Yüklerin Yapıya Girilmesi	54
Şekil 3.15.	Sistemin Analizi ve Eurocode’a Göre Kontrolü	54
Şekil 3.16.	Analiz Modelinden Mimariye Aktarılan Çelik Karkas Görüntüsü - 1	55
Şekil 3.17.	Analiz Modelinden Mimariye Aktarılan Çelik Karkas Görüntüsü - 2	56
Şekil 3.18.	Analiz Modelinden Mimariye Aktarılan Çelik Karkas Görüntüsü - 3	56
Şekil 3.19.	BIMobject’ten Alınan Örnek Tasarım Grupları	57
Şekil 3.20.	Mimari Model	57
Şekil 3.21.	Mimari Modelden Metraj Elde Etme.....	57
Şekil 3.22.	Elektrik Projesi	58
Şekil 3.23.	3B Koordinasyon için Modellerin Eklenmesi	58
Şekil 3.24.	3B Koordinasyon Çelik Modeli.....	59
Şekil 3.25.	3B Koordinasyon Mimari Model.....	59
Şekil 3.26.	3B Koordinasyon Elektrik Modeli.....	59
Şekil 3.27.	3B Koordinasyon Modeli Üzerinde Örnek Revizyon Talebi	60
Şekil 3.28.	C Kesit Büküm Planı	60
Şekil 3.29.	Kapılı Hafif Çelik Panel	61
Şekil 3.30.	Panel Elemanları İçin Eleman İmalat Çizimleri	61
Şekil 3.31.	Kapılı Panel İmalat Çizimi	62
Şekil 3.32.	Giyotin Makas ile Yaprak Sac Ebatlanması	62
Şekil 3.33.	Abgant Pres ile Malzeme Bükümü	63
Şekil 3.34.	Bükülmüş U ve C Profiller	63
Şekil 3.35.	Boylara Göre ve Montaja Göre Hazırlanmış Profiller.....	64
Şekil 3.36.	Hafif Çelik Panel İmalatı	64
Şekil 3.37.	Hafif Çelik Duvar Panelleri	65
Şekil 3.38.	Hafif Çelik Çatı Makası.....	65
Şekil 3.39.	İlk Kurulan Hafif Çelik Duvar Panelleri - 1	66

Şekil 3.34.	Hafif Çelik Duvar Panelleri - 2	66
Şekil 3.41.	Montajı Tamamlanmış Hafif Çelik Duvar Panelleri.....	67
Şekil 3.42.	Hafif Çelik Çatı Makaslarının Hazırlanması	67
Şekil 3.43.	Hafif Çelik Çatı Makas Montajı - 1	67
Şekil 3.44.	Hafif Çelik Çatı Makas Montajı - 2	68
Şekil 3.45.	Hafif Çelik Çatı Makas Montajı – 3	68
Şekil 3.46.	Çatı ve Kuruduvar Kaplamalarının Kaplama - 1	69
Şekil 3.47.	Kuruduvar Kaplama.....	69
Şekil 3.48.	Çatı ve Kuruduvar Kaplama - 2	70
Şekil 3.49.	Elektrik Tesisat Çekimi - 1	70
Şekil 3.50.	İç ve Dış Kapı Montajı.....	71
Şekil 3.51.	Pencere Montajı	71

GİRİŞ

Çelik yapılar; malzemenin öngörülebilir davranışı, üretimdeki kalite sürekliliği, zorlu koşullarda yapılabilme, kısa sürede tamamlanma, depreme dayanıklılık gibi özellikleriyle sıklıkla kullanılan bir yapı türüdür. Soğukta şekillendirilen çeliğin yapılarda kullanılması, çelik yapıları daha ekonomik ve kullanışlı hale getirmiştir. Hafif çelik yapılar, konut ve benzeri yapılarda en yaygın yapı türü olan betonarme yapılara güçlü birer alternatif konumundadır.

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), son zamanlarda adından sıklıkla bahsedilen bir kavramdır. YBM, inşaat sektörünün gelişen teknolojiye uyum sağlamasında öncü rol oynamaktadır. Verimsizliklerin önlenmesi, zamanında teslim, projenin öngörülen maliyetlerde tamamlanması, iş tekrarlarının önlenmesi ve daha birçok çözümüyle YBM, inşaat sektörünün karakteristik sorunlarına çözümler sunmaktadır.

Hafif çelik yapıların hızlı yapılarak konut ihtiyacına cevap vermesi, yapı hafifliği ve malzeme özellikleri bakımından deprem kuşağında olan ülkemize depreme daha dayanıklı yapı üretme fırsatı vermesi, metal sanayinin ülkemizde nispeten gelişmiş ve yaygın olması, daha çevreci malzemelerin kullanılması ve daha birçok nedenden dolayı hafif çelik yapılar, ülkemiz için kullanışlı bir yapı sistemidir. Ayrıca YBM'nin hafif çelik yapılarda kullanılması, bu yapıım sisteminden son derece ekonomik ve kaliteli çıktılar alınmasına yardımcı olmaktadır.

YBM kullanımı, inşaatın hemen hemen her alanında olduğu gibi hafif çelik yapılara da birçok avantaj sunmaktadır. Fakat henüz yeni bir kavram olan YBM'nin uygulanmasında birtakım zorluklar da yaşanmaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, hafif çelik yapı projelerinde YBM kullanımı için projeden projeye değişmeyecek referans bilgiler oluşturup hafif çelik yapılarda YBM kullanımını kolaylaştırmak ve yaygınlaştırmaktır.

Bu kapsamda hazırlanacak olan bilgilerin bundan sonraki çalışmalara ışık tutması beklenmektedir.

Tez çalışmasının birinci bölümünde YBM kavramı ele alınmıştır. Sektörün YBM'den beklentisi, YBM kullanımının standartlaşması, YBM kullanılan projelerde bilinmesi gereken kavramlar incelenmiştir. Ayrıca genel olarak hafif çelik yapılardan da bahsedilmiştir. Bölümü sonunda, bugüne kadar yapılan hafif çelik yapılarda YBM kullanımına dair literatür taraması da yer almaktadır. Literatürden özetle, hafif çelik yapılarda neden YBM kullanılması gerektiği maddeler halinde sunulmuştur.

İkinci bölümde, tezin amacına yönelik hazırlanacak bilgiler için materyal ve yöntem detaylarına yer verilmiştir. YBM kullanımının ilk adımı olan YBM yürütme planı için uygulama bölümünde referans olarak kullanılacak olan YBM uygulama planı (BIM Execution Plan, BEP) tanıtılmıştır. YBM projelerinde sıklıkla kullanılan gelişim seviyelerinden (Level of Development, LOD) ve uygulamada referans alınan vaka analizlerinden de bu bölümde bahsedilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümü, uygulama bölümüdür. Bu bölümde standart bir hafif çelik yapı projesinde bulunması beklenen proje paydaşları ve bu paydaşların projedeki görevleri belirlenmiştir. BEP rehberindeki standart tablolar referans alınarak, her bir paydaş için YBM hedefleri, bu hedefleri karşılayan YBM kullanımları ve her bir kullanımın inşaatın hangi fazında kullanılacağını gösteren tablolar hazırlanmıştır. Projede kullanılması beklenen ürün ailelerinin farklı gelişim seviyelerindeki karşılıkları tablo olarak sunulmuştur. Yine BEP rehberi referans alınarak, hafif çelik yapı tasarımı için ikinci seviye harita oluşturulmuştur. YBM kullanımı için yazılım önerileri yapılmıştır. Son olarak, örnek bir hafif çelik yapının tasarım ve yapım süreci ele alınmıştır.

Dördüncü bölüm bulgular ve tartışma bölümüdür. Uygulama bölümünden elde edilen bulgular incelenmiş ve literatür ile kıyaslanarak benzerlikleri ve farklılıkları ele alınmıştır.

Beşinci ve son bölümde, çalışmanın sonuçları, kısıtlılıkları ve sonraki çalışmalar için öneriler paylaşılmıştır.

Çalışmada kullanılan kaynaklar ve ek olarak sunulan referans alınan tablolar ile çalışma tamamlanmıştır.



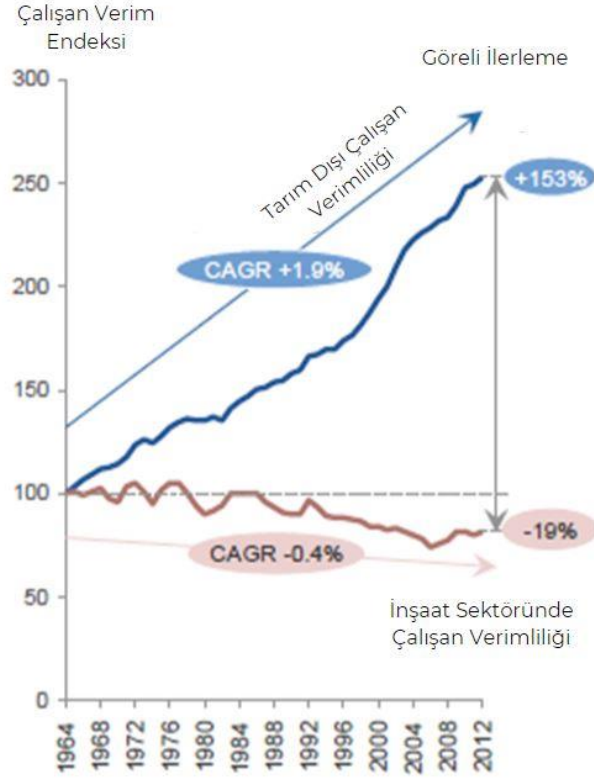
1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM)

Son 50 yılda, birçok ülkede inşaat sektöründeki verimliliği arttırma çalışmaları diğer sektörlerle kıyasla yetersiz kalmıştır. İnovasyon yaratmadaki eksiklik ve inovasyonların benimsenmesinde isteksizlik, süreçleri yönetmede gerekli titizliğin gösterilmemesi, projeden projeye bilgi aktarımının yetersiz kalması, proje takip eksiklikleri, taraflar arasındaki iş birliği eksiklikleri, yeniliğe kapalı şirket alışkanlıkları, yetiştirilecek eleman sayısındaki kıtlık gibi nedenlerin bu verimsizliğe sebep olduğu söylenebilir (WEF, 2016).

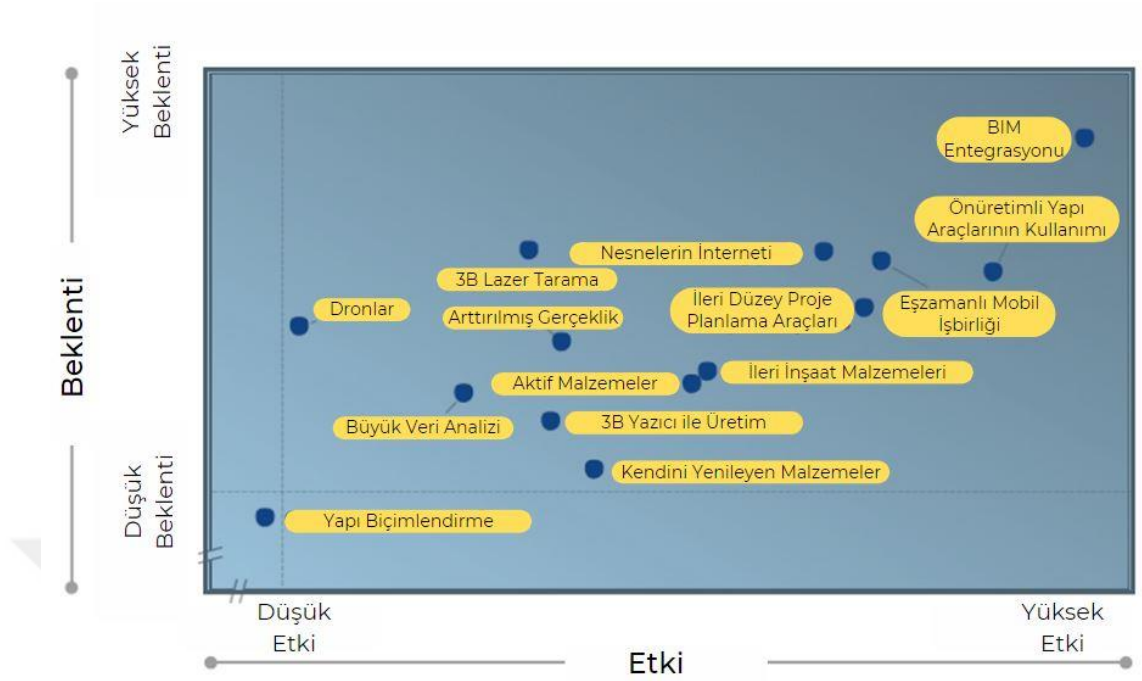
ABD’de 1964 ve 2012 yılları arasındaki 49 yıllık süreçte, tarım dışı sektörlerdeki işgücü verimliliğinin inşaat sektöründeki işgücü verimliliği ile kıyaslandığında söz konusu verimliliklerin ne derece zayıf kaldığı Şekil 1.1’de görülmektedir.



Şekil 1.1. ABD’de Yıllara Göre Sektörel İşçi Verimliliği (WEF, 2016)

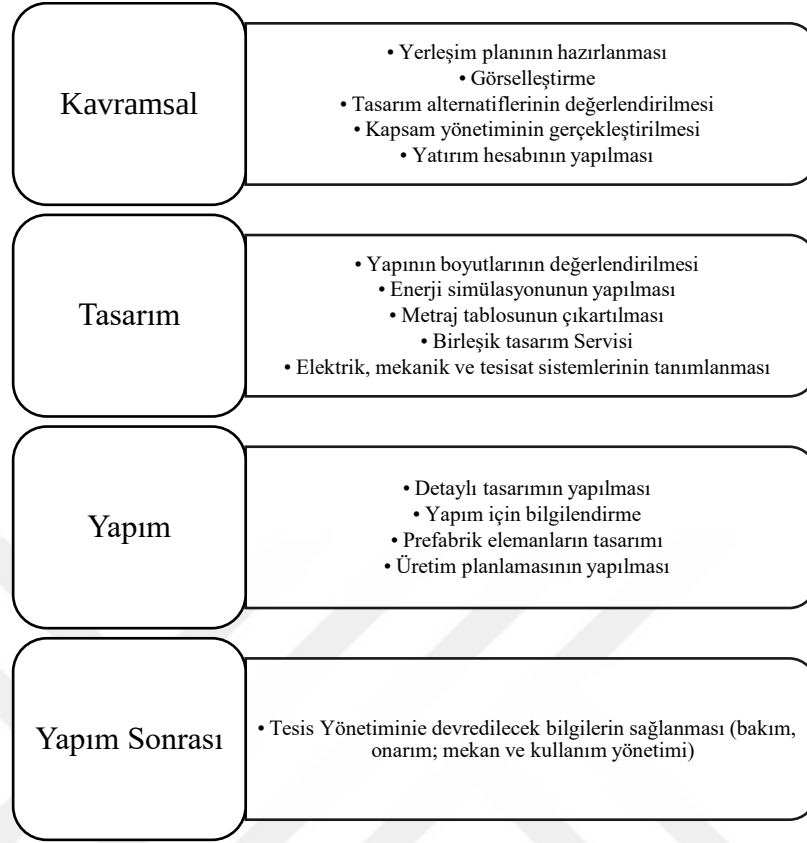
Verimsizlikler, inşaat projelerinin ilk adımı olan ön tasarım sürecinden son adımı olan yok etme sürecine kadar farklı ağırlıklarla yaşanmaktadır. Buradan insan, hammadde, zaman, para gibi birçok kaynağın israf edildiği sonucu da çıkarılabilir. Küresel inşaat sektörünün 2030 yılına kadar 15,5 trilyon dolar büyüklüğe ulaşması tahmin edilmektedir (Robinson, 2019). Sektör projelerini verimlileştirmek için birçok yöntem denenmiştir. Yapı bilgi modellemesi (YBM) ise son yıllarda adından çokça bahsedilen ve özellikle gelişmiş ülkelerde birçok projede kullanılan bir konsepttir (Teicholz, 2004).

Dünya Ekonomik Forumu (World Economic Forum, WEF) tarafından düzenlenen ve sektör uzmanlarına yöneltilen bir anket çalışmasında, inşaat sektöründe verimliliğin artırılması için gelecek vaat eden çeşitli araçların sektör üzerindeki etkileri incelenmiştir. Anket sonuçlarına göre, sektörde en çok verimliliği arttırması beklenen aracın YBM olduğu ortaya çıkmıştır. Anket sonucu Şekil 1.2’de paylaşılmıştır.



Şekil 1.2. İnşaat Sektöründeki Yenilikler ve Beklenilen Etkisi (McKinsey, 2017)

Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü (National Institute of Building Sciences, NIBS), YBM kavramını; “yapının tasarım, inşaat ve işletme süreçlerinde alınacak kararları kolaylaştırmak ve bu kararlara güvenilir bir zemin oluşturmak için yapının dijital bir temsilinin oluşturulması” olarak tanımlamaktadır (NIBS, 2015). Kavram olarak YBM; mühendislik, mimarlık, inşaat ve tesis yönetimi sektörlerinde bilgi teknolojilerinin kullanılmasını esas almaktadır. YBM yalnız bir teknoloji ürünü olarak kalmak yerine, yapının tasarım adımından başlayarak yapının ömrünü tamamlamasına kadarki bütün işlemlerde bilginin sistematik olarak kullanılmasını öngören bir yaklaşımdır. Çok geniş yelpazede bilgi içeren modelin kullanımı; yalın inşaat, yeşil binalar ve bütünleşik proje teslimi vb. kavramlar ile doğrudan ilişkilendirilebilir (Khosrowshahi ve Arayıcı, 2012). YBM’nin çeşitli adımlarda kullanımı Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Çeşitli Adımlarda Örnek YBM Kullanımları (Özorhon, 2018)

İnşaat projeleri; birçok disiplinin projeye dâhil olması, çok büyük kaynakların kullanılması, insan kaynağına bağımlılığın yüksek olması ve varyansların büyüklüğü gibi etmenlerle diğer büyük projelerden ayrılmaktadır. YBM ise bu gibi etmenleri hesaba katarak, projenin her adımında projeye katkı sunmayı amaçlamaktadır. Ortak çalışma, maliyet ve zaman tahminleri, dijital ikiz gibi kavramlar bu konseptte öne çıkmaktadır.



Şekil 1.4. YBM Proje Yaşam Döngüsü (Bensalah, 2017)

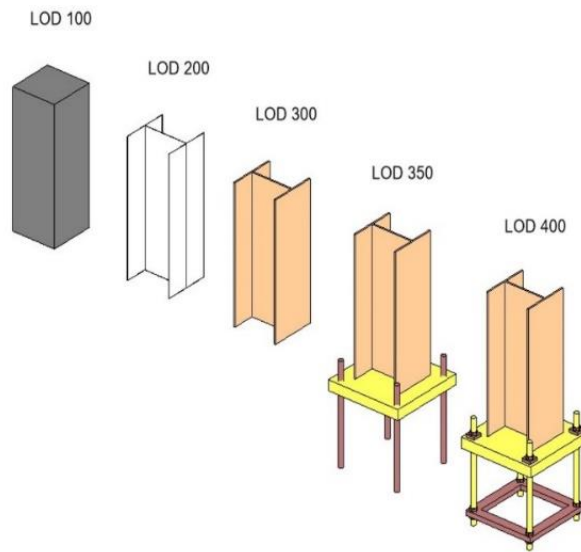
YBM ile birlikte en çok öne çıkan kavramlardan birisi de ortak çalışmadır. Fakat YBM’ye dair hem uygulamada hem kullanımda birçok farklı yaklaşım vardır. YBM kullanımıyla, hedeflenen verimliliklere ulaşmak için YBM yaklaşımının standartlaşması gerekmektedir. Gerek ulusal, gerekse uluslararası çaptaki çalışmaların geleceği YBM’de görülmektedir. Bu nedenle, ortak bir standart kullanımı şarttır. Standartlaşma adımlarını ise dört ana kategoride toplamak mümkündür (NBS, 2013). Bu kategoriler genel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- BIM Kılavuzları: Ortak çalışmaya yönelik icra ve yönetim kurallarını, sözleşmenin çerçevesini ortaya koyan rehberler.
- Nesne Kütüphaneleri: YBM projelerinde kullanılacak ürünlerin kullanım amacına yönelik tüm bilgilerinin açık şekilde bulunduğu kataloglar.
- Süreç ve Veri Alışverişi: Projenin ilk adımından son adımına kadar verileri ve süreçlerin kullanıldığı ortam ve yöntemler.
- Model ve Çerçeve: Bütün olarak yapının ele alınacağı, analiz ve değerlendirmelerin yapılacağı ortam.

Sözleşmeler ve yasal konular YBM için standartlaşması gereken önemli konulardan birisidir. Bunun nedeni, projeye çok sayıda paydaşın dahil olması, yasal sorumluluklarda

bırakılan açık kapılar, zamanında ve kaliteli bilgiye duyulan zorunluluk ve proje bedellerinin büyüklüğü olarak ifade edilebilir (Özorhon, 2018). Amerikan Mimarlar Enstitüsü (The American Institute of Architects, AIA) paydaşlar arasında bağlayıcı ilişki kuran, bilgi detaylandırma seviyelerini içeren ve fikri mülkiyet haklarını içeren YBM sözleşme şartlarını geliştirmiştir (CIBER, 2012). YBM kullanılan projelerin artmasıyla birlikte; FIDIC, NEC ve JCT gibi uluslararası standart sözleşmelerde de YBM'den bahsedilmeye başlanmıştır (Winfield & Rock, 2018).

YBM kapsamında gelişim düzeyleri; “Gelişim Seviyesi” (Level of Development, LOD) olarak ifade edilmektedir. LOD, YBM modelindeki bir bileşenin tahmini olarak en düşük detay seviyesinden en yüksek temsil seviyesine kadar değişen ayrıntılarla temsil edilmesini sağlar (Leite ve ark., 2011). Özel olarak sayılarla belirtilen gelişim seviyeleri, bileşenin YBM kapsamında hangi bilgileri (geometrik veya geometrik olmayan veriler) içermesi gerektiğini açıklar. Ek olarak; gelişim seviyeleri, belli görevleri yapmak için modeldeki hangi bilgi öğelerinin güvenle kullanılabilir olduğunu gösterdiğinden, limitlerin ve kullanılabilirliğin tanımlanmasına olanak tanır (Latiffi ve ark., 2015). Gelişim seviyesi kavramı, ilk olarak Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA) tarafından 2008 yılında tanımlanmıştır. Sonraları BIMforum tarafından bu tanımlamalar örnekli açıklamalar eklenerek genişletilmiştir (BIMforum, 2021).



Şekil 1.5. Gelişim Seviyeleri Örneği (BIMForum, 2015)

Bir projede YBM kullanılabilmesi için ilk adımlardan birisi, bir YBM Yürütme Planı (BIM Execution Plan, BEP) hazırlanmasıdır. YBM'nin en önemli unsuru “bilgi”dir.

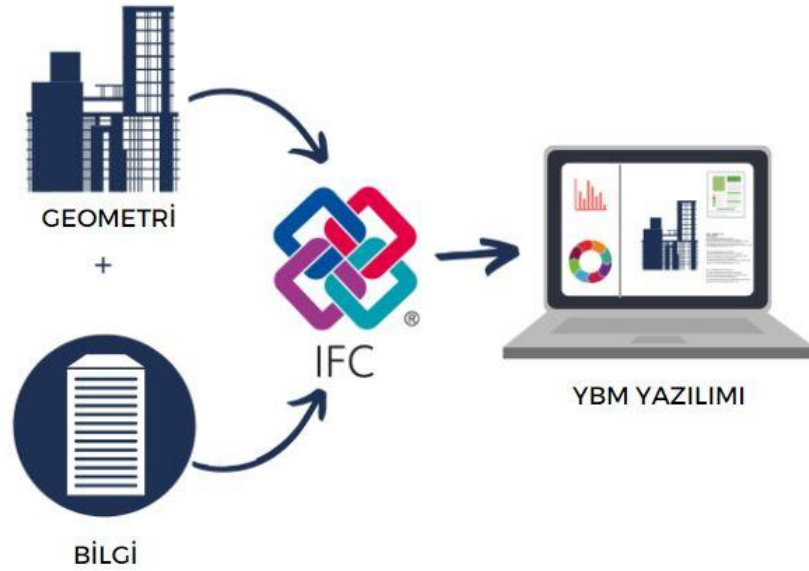
YBM Yürütme Planı, bir projenin “Bilgi Modelleme” bölümünün nasıl yürütüldüğünü kolaylaştırmak için hazırlanan plan olarak da tanımlanabilir. YBM Yürütme Planı, YBM sürecinin merkezinde yer alır ve herhangi bir yeni inşaat geliştirme projesinin ayrılmaz bir parçasıdır. BEP, proje ekibine proje süresi boyunca uygulama detaylarıyla birlikte genel vizyonunu sunmaktadır (BCA, 2013). Bir YBM yürütme planında bulunması gereken başlıklar Bilgisayara Entegre İnşaat Araştırma Grubu (Computer Integrated Construction Research Group, CICRG) tarafından yapılan çalışmada aşağıdaki gibi listelenmiştir (Messner, 2019):

- YBM Yürütme Projesi Genel Açıklaması,
- Projedeki Kilit İsimlerin İletişim Bilgileri,
- YBM Kullanımları ve Hedefleri,
- Roller ve Sorumluluklar,
- YBM Süreç Tasarımı,
- YBM Alışverişi,
- YBM ve İşletmeye Yönelik Veri Gereksinimleri,
- İş birliği Prosedürleri,
- Kalite Kontrol,
- Teknik Altyapı İhtiyacı,
- Model Yapılanması,
- Proje Teslimi,
- Teslim Stratejisi ve Sözleşme,
- Ekler.

Projede kullanılacak nesneler; geometri, montaj bilgisi, maliyet, diğer parçalarla etkileşim, enerji tüketimi, demontaj ve bakım, temin süresi gibi birtakım bilgiler içermektedir. Bu nesneler kimi zaman doğrudan üretici veya kimi zaman da proje ekibi tarafından üretilmektedir. Bu ürünlerin bulunduğu ve proje için temin edildiği veritabanına “kütüphane” denilmektedir. Bu nesnelere kolayca ulaşmak ve nesnelerin organize bilgiler içermesi, YBM kullanımını oldukça kolaylaştırmaktadır (Özorhon,

2018). Dünya genelinde BIMobject ve NBS tarafından bu kütüphaneler ücretsiz olarak sunulmaktadır.

Bir YBM projesi için veri oluşturmak kadar paydaşlar arasında veri alışverişi de önemli bir konudur. Küresel inşaat sektörü ele alındığında; binlerce farklı yazılımdan ve dolayısıyla uzantıdan bahsetmek mümkündür. Farklı programlardan elde edilen çıktılarla ortak çalışma ve bu çıktıları bir araya getirmek büyük bir problemidir. Farklı programlardan elde edilecek çıktıları standartlaştırmak için BuildingSMART tarafından ortak dosya formatı geliştirilmiştir. Bu formatta, Endüstri Temel Sınıfları (Industry Foundation Classes, IFC) adlı çıktılar elde edilmektedir. Bunların çalışma prensibi, verilerin düz metin olarak elde edilme esasına dayanır. Benzer şekilde, bilgilerin nasıl elde edilip nasıl iletilmesi gerektiğine dair de bir standartlaşma, ABD Ordusu Mühendisler Birliği (US Army Corps of Engineers, USACE) tarafından geliştirilmiştir. Bu sisteme “İnşaat Operasyonları Bina Bilgi Değişimi” (Construction Operations Building Information Exchange, COBie) denilmektedir. COBie, projede kullanılacak veriler için bir kalıp sunmaktadır.



Şekil 1.6. Geometri, Veri ve YBM İlişkisi

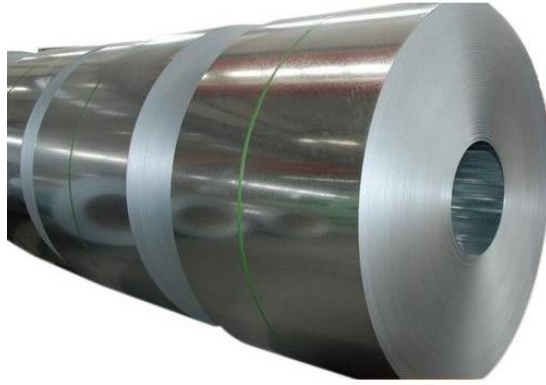
ABD’de bulunan Stanford Üniversitesi’nde bulunan Entegre Tesis Mühendisliği Merkezi (Center for Integrated Facilities Engineering, CIFE) biriminin 2007 yılında YBM kullanan 32 büyük çaplı proje üzerindeki araştırmaları sonucunda, YBM’nin faydaları kısaca şöyle raporlanmıştır (Akkoyunlu, 2015):

- Bütçedeki değişimlerin %40 oranında azalması,
- Maliyet tahminlerinin %3 hata payı ile yapılabilmesi,
- Maliyet tahminlerinin oluşturulmasında %80'in üzerinde daha az zaman harcanması,
- Yapısal elemanların çakışmalarından kaynaklanan ve sözleşmeden doğan para kayıplarının %10 oranında azalması,
- Tüm proje zamanının %7 oranında azalması.

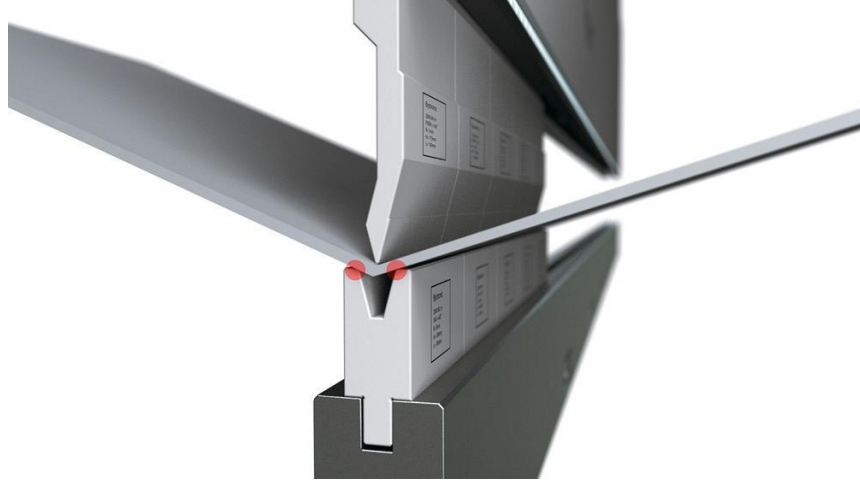
YBM kullanımı, mega projelerde verimliliği arttırıp birçok yarar sağladığı gibi küçük projeler için de faydalı olmaktadır (Klaschka, 2014). Mega projelerde kaynakların verimli kullanılması, iş tekrarlarının önlenmesi gibi faydalar öne çıkarken; küçük projelerde maliyet tahminleri ve katma değer için görsellik gibi faydalar öne çıkmaktadır.

1.2. Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Yapılar

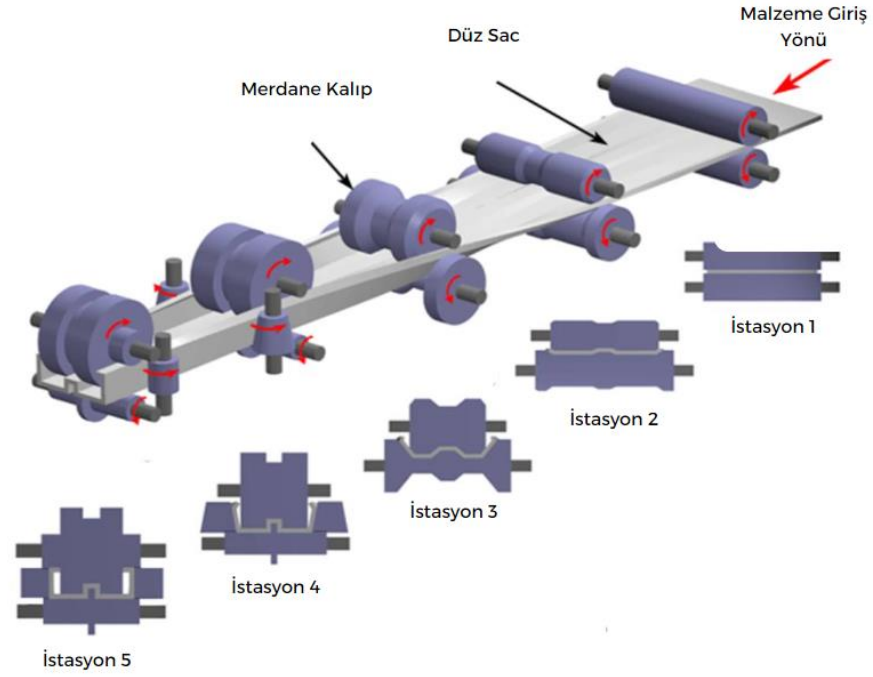
Çelik yapılarda taşıyıcı sistem elemanları iki ana gruptan oluşmaktadır. Birincisi sıcakta şekillendirilmiş çelik profillerden veya bu profillerin bir araya getirilmesiyle elde edilen yapma kesitlerdir. Diğeri ise çelik sacların, panellerin veya plakaların oda sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda şekillendirilmesiyle elde edilen profillerdir. Bu şekillendirme işlemi genellikle roll form veya abkant pres makineleriyle yapılmaktadır. Kalınlıkları 0,378 mm'den başlayarak 6,35 mm'ye uzanan çelik saclar soğukta şekillendirilerek yapısal çelik olarak başarıyla kullanılmaktadır (Yu ve ark., 2020).



Şekil 1.7. Galvanizli Rulo Sac

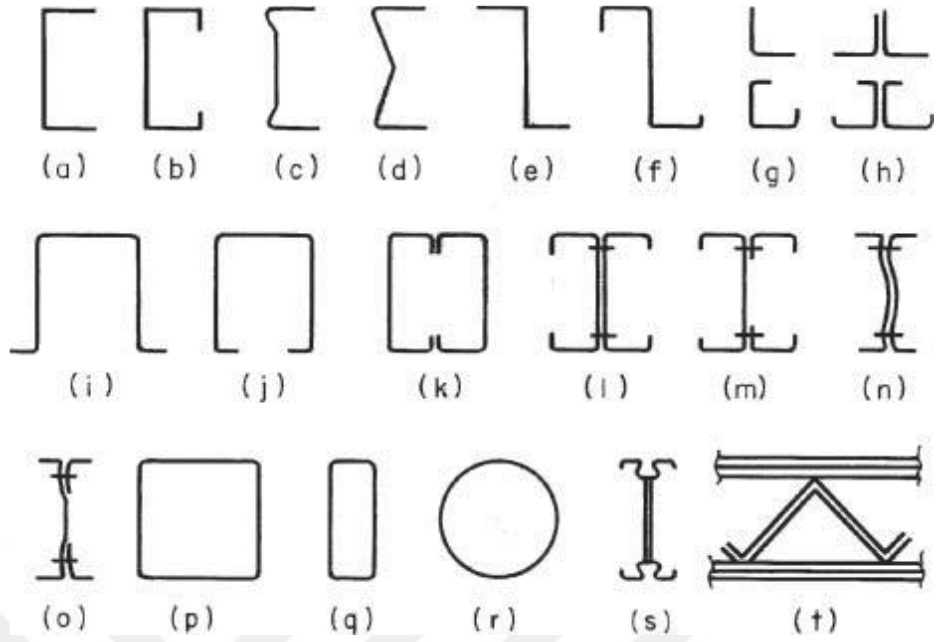


Şekil 1.8. Abkant Büküm İşlemi



Şekil 1.9. Örnek Roll Form Şekillendirme Diyagramı

U, C, Z, Sigma gibi şekillerde bükülen saclar, inşaat sektöründe birçok alanda kullanılmaktadır. Soğukta şekillendirilmiş çelik profiller, sıcakta şekillendirilmiş çelik profillerin tercih edildiği yükün ve açıklığın büyüklüğünden görece daha düşük olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Bu profillerin görece hafifliklerinden dolayı; soğukta şekillendirilmiş çelik profiller, hafif çelik profiller olarak anılmaktadır.



Şekil 1.10. Hafif Çelik Yapıda Kullanılan Profiller (Yu ve ark., 2020).

Soğukta şekillendirilmiş çelik profillerin yapılarda kullanılması, 1850’lerde ABD ve İngiltere’de başlamıştır; fakat 20. yüzyılın ortalarına kadar yaygın kullanım imkânı olmamıştır (Yu ve ark., 2020). 1946’da ABD’de ‘‘Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Yapı Elemanlarının Tasarım Şartnamesi’’nin Amerikan Demir Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute, AISI) tarafından yayımlanmasından sonra, hafif çelik yapıların kullanımı hızlanmaya başlamıştır (Yu ve ark., 1996; AISI, 2007).

Hafif çelik yapılar, zamanla gelişmiş ülkelerde yaygınlaşmaya başlamıştır. ABD’de 1992 ile 1994 yılları arasında, üç yıl gibi kısa bir sürede, yeni yapılan hafif çelik yapı sayısı 25 kat artmıştır. Diğer ülkelerde ise artış hızları gelişmiş ülkelere kıyasla daha yavaştır (Pekoz, 1999).



Şekil 1.11. Hafif Çelik Yapı Örneği



Şekil 1.12. Hafif Çelik Yapı Karkas Kurulumu



Şekil 1.13. Hafif Çelik Yapı Merdiveni

Hafif çelik yapılarda vida, perçin, cıvata gibi kaynaklız bağlantılar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bağlantılar için söz konusu elemanların standart olmasına ve üreticinin sağladığı ya da bağımsız laboratuvarlardan alınacak birtakım bilgilere ihtiyaç vardır. Ayrıca, yapıda kullanılacak kaplama malzemelerinin dayanımları da hesaplamalara dâhil edilebilmektedir (Yu ve ark., 2020).



Şekil 1.14. Hafif Çelik Yapı Vidalı Bağlantı Örneği



Şekil 1.15. Hafif Çelik Yapı Kaynaklı Bağlantı Örneği

Hafif çelik yapılar, yapım kurgusuna göre; doğrusal taşıyıcı sistemler, panel sistemli taşıyıcılar ve hücresel yapılar olmak üzere üç gruba ayrılırlar (Rhodes, 1992).

Soğukta şekillendirilmiş çelik elemanların şantiyede birleştirildiği sistemler, doğrusal taşıyıcı sistemli yapılardır. Ancak galvaniz kaplamanın zarar görmesi, imalat hataları, tedarik zorluğu ve diğer sistemlere kıyasla montaj sürelerinin uzun olması vb. nedenlerden dolayı tercih edilmemektedir. Bu tür yapılarda, soğukta şekillendirme işlemi çoğunlukla rollform makineleri yardımıyla sahada yapılır.

Panel sistemler; duvar, çatı, döşeme gibi yapı elemanlarının çerçeveler halinde fabrika ortamında üretildiği sistemlerdir. Çerçeveler sahaya sevk edilerek yapı sahada kurulur. Sahaya kıyasla temiz ve güvenli üretim ortamı, düşük imalat hataları ve hızlı kurulum imkânları ile panel sistemler, dünyada en çok tercih edilen hafif çelik yapım yöntemidir (Terim, 2006).

Soğukta şekillendirilmiş elemanlardan oluşan kafes sistemin fabrika ortamında kurulduğu sistemler hücreli yapılardır. Bu sistemde, bütün olarak tamamlanmış birim yapılar mevcuttur. Yapının bütünü, birim yapıların bir araya getirilmesiyle meydana gelir. Ön üretimin toplam üretime oranı %90'lara kadar ulaşabilir. Bu sistemde inşaat süreleri çok kısadır ve sistem, plan tekrarlarının çok olduğu yapılarda tercih edilir (Terim, 2006).



Şekil 1.16. Panel Sistemli Hafif Çelik Yapı Kurulumu

Dünyada 1946 yılı öncesinde, hafif çelik yapılar için bir yönetmelik bulunmamaktaydı. Fakat ABD’de bulunan Cornell Üniversitesinde yapılan dayanım araştırmaları, yönetmeliklerin oluşturulmasına önayak olmuştur. Amerikan Demir Çelik Enstitüsü (AISI) 1946 yılında söz konusu araştırmaları standartlaştırarak ilk yönetmeliği yayınlamıştır ve devamında sıklıkla güncellenmiştir (Yu ve ark., 2020). Kanada Standartlar Birliği (Canadian Standards Association, CSA) ve AISI’nin ortak olarak hazırladıkları “Kuzey Amerika için Soğukta Şekillendirilmiş Yapısal Çelik Elemanların Tasarım Yönetmeliği”, yani günümüzde ABD’de ve Kanada’da kullanılan yönetmelik, bu yönetmeliğin en güncel halidir.

Çeşitli ülkelerde hafif çelik yapılar için farklı yönetmelikler de bulunmaktadır. Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde Eurocode, Avustralya’da AS/NZS4600 standartları kullanılmaktadır. Japonya, Hindistan gibi küresel inşaat sektöründe büyük payı olan ülkelerde de hafif çelik yapı tasarımı için ulusal standartlar bulunmaktadır.

“Hafif çelik yapı” kavramı, ülkemizde 1999 yılında yaşanan İzmit-Adapazarı depreminden sonra duyulmaya başlamıştır. Mevcut yapıların depreme dayanıklılığının sorgulanmasıyla farklı yapı tekniklerine yönelim artmıştır (Terim, 2006). Görece daha az yapı ağırlığı, hızlı üretim ve montajı, dayanıklılığı, geri dönüştürülebilirliği ve ticari rekabet avantajı vb. özellikleri ile betonarme yapılara en güçlü alternatiflerden biri olmuştur.

Türkiye’de 1980 yılından beri kullanımda olan “TS648- Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” ile 2016 yılında yürürlüğe giren “Çelik Yapılar Hakkında Yönetmelik (ÇYHY 2016)” kapsamında hafif çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım kurallarına yer verilmemiştir. Bu nedenle, üretilen hafif çelik yapıların tasarım, yapım ve montajı yasal zemin üzerinde yer bulamamış ve kontrol dışı kalmıştır. Ancak 2019 yılı ocak ayı itibari ile yürürlüğe giren “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2019)” kapsamında hafif çelik yapılar ile ilgili bir bölüm oluşturulmuştur. TBDY-2019’un üçüncü bölümü kapsamında yer bulan hafif çelik yapılar kapsamındaki hafif çelik binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri; kaplamalı panel sistemler ve çaprazlı panel sistemler olmak üzere iki şekilde ele alınmıştır.

1.3. Literatür Çalışması

YBM’nin, inşaat sektörünün gündemine girmesi itibariyle yeni bir kavram olduğunu söylemek mümkündür. YBM’ye ait kavramlar ve düzenlemeler de sıklıkla geliştirilip güncellenmektedir. Dünyada YBM araştırmalarına ve uygulamalarına ABD’nin ve İngiltere’nin öncülük yaptıkları söylenebilir. ABD’deki Genel Hizmetler İdaresi (General Service Administration, GSA) tarafından kamu projelerinde YBM kullanımı zorunlu kılınmıştır (Khemlani, 2012). Aynı şekilde İngiltere’de de 2011 yılında tüm kamu projelerinde YBM kullanımını zorunlulaştıracak bir düzenleme yapılmıştır (Cabinet Office, 2011). Kuzey Avrupa ülkelerinde, Japonya ve Singapur’da da benzer şekilde YBM kullanımını yaygınlaştıracak adımlar atılmaktadır (BuildingSmart Australasia, 2012). Bu tür düzenlemelerin artmasıyla, özellikle demiryolu, metro, havalimanı gibi büyük ölçekli projelere özel YBM kullanımına yönelik akademik çalışmalar yapılmıştır. Aynı zamanda YBM’nin görece küçük ölçekli projelerde ve KOBİ’ler tarafından kullanılmasına yönelik araştırmalar da son zamanlarda revaçtadır (Tezel ve ark., 2020).

Hafif çelik yapı sistemleri üzerine en yoğun çalışmalar ise ABD ve Kanada’da yapılmaktadır. Amerikan Demir Çelik Enstitüsü (AISI) başta olmak üzere Hafif Çelik Mühendisleri Birliği (LGSEA), Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Mühendisleri Enstitüsü (CFSEI) ve Çelik Çerçeve Endüstrisi Birliği (SFIA) gibi kurumların öncülüğünde hafif çelik alanındaki kişiler ve kurumlar bir araya getirilerek gerekli standartların ortaya çıkmasına ve yeni tekniklerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle orta yükseklikteki yapıların inşası ile ilgili ABD’de bazı özel firmalar da bu kurumlar ve

üniversitelerle ortak çalışmalar sürdürmektedirler. Hafif çelik yapılar konusunda ayrıca Japonya’da Japon Demir Çelik Federasyonu (JISF) bu konuda kurulmuş çeşitli kurumları bir araya getirerek hafif çelik yapı sistemlerinin deprem performanslarının belirlenmesi üzerine deneysel çalışmalar yürütmektedir. Ülkemizde bu konu üzerine özel sektörün gerçekleştirdiği projeler dışında çalışmalar sınırlı sayıdadır (Öncü, 2010).

Hafif çelik yapı projelerinde YBM kullanımına yönelik çalışmaların da YBM çalışmaları gibi eskilere dayandığı söylenemez. Barrett ve arkadaşları tarafından 2013 yılında YBM’nin gelişimi ve hafif çelik yapı endüstrisine nasıl katkıda bulunabileceği araştırılmıştır. Araştırma ekibi, Birleşik Krallığın en büyük hafif çelik yapı tasarımcı/üreticilerinden biriyle yapılan iş birliği yaparak iki önemli sonuç elde etmiştir. Birincisi, 2016 yılına kadar “Hükümet İnşaat Stratejisi” kapsamında tüm kamu projeleri için geleneksel süreçler yerine YBM’ye geçiş için hafif çelik firmalarına devlet tarafından layıkıyla destek verilmesi gerektiğidir. İkincisi ise YBM’den en etkili biçimde yararlanmak için yalnız hafif çelik firmalarının değil, bütün inşaat sektörünün YBM kullanmasının gerekliliğidir (Berrett ve ark., 2013). Abu-Hamd (2015), hafif çelik yapılarda YBM aracı olarak tasarımın, yapısal analizin ve dijital fabrikasyonun nasıl kullanılması gerektiğiyle ilgili genel bir çalışma yapmıştır (Abu-Hamd, 2015). 2016 Yılında Johnson ve arkadaşları, hafif çelik yapılar için YBM kullanımını geliştirmek amacıyla en yaygın modelleme yazılımlarından birisi olan Autodesk Revit ile örnek uygulama çalışması yapmışlardır. Bunun sebebi ise Revit kütüphaneleri içinde hafif çelik yapı tasarım için tasarım gruplarının (family) ve bu gruplardaki bilgi yetersizliği olarak gösterilmiştir. Çalışma iki faz olarak yapılmıştır. İlk fazda hafif çelik yapılar için tasarım grupları geliştirilmiştir. Endüstri standartlarına göre dikme, alt ve üst kanal gibi parçalar oluşturulup gerekli parametreler eklenerek hem teorik, hem de pratik bilgilerin var olduğu tasarım grupları üretilmiştir. İkinci fazında ise ilk fazda oluşturulan tasarım grupları ile hafif çelik sistemli yapı bütün olarak modellenmiştir (Johnson ve ark., 2016).

YBM’nin hafif çelik yapı projelerinde neden kullanılması gerektiği SFIA’nın hafif çelik kolu olan Buildsteel tarafından 2017 yılında bir e-kitapta yayınlanmıştır. Çalışmada; önerilen programlar, eğitimler, ekip kurma, model kütüphaneleri, YBM yazılım araçları gibi yardımcı kaynaklar için genel önerilerden bahsedilmiştir (Buildsteel, 2017). 2018 yılında Liu ve arkadaşları, hafif çelik yapılarda malzemelerin verimli kullanılması ve israfının önlenmesi için YBM kullanımıyla ilgili bir çalışma yapmışlardır. Uygulamada

ve planlamada optimumu bulmak için kural tabanlı tasarım algoritmaları geliştirilip Revit aracılığıyla YBM'ye entegre edilmiştir. Geliştirilen sistem, örnek çerçeve üzerinde test edilmiştir. Çalışmada malzeme israfının geliştirilen sistemin YBM aracılığıyla en aza indirilebildiği sonucuna ulaşılmıştır (Liu ve ark., 2018). Khosakitchalert ve arkadaşları tarafından 2020 yılında, kuru duvar metrajlarının YBM yoluyla elde edilme yöntemi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, detaylı hafif çelik projeleri olmayan projelerde kuru duvar metrajının, yalnız uygulanacak yüzeylerden yararlanılarak hesaplanması yöntemi geliştirilmiştir. Kuru duvar yüzeyi bilinen yapıdan hafif çelik iskelet hesabına geçildiğinde, modelden elde edilen hafif çelik miktarı ile gerçekte uygulanan arasında %0,11 ile %0,30 arasında bir sapma olduğu belirtilmiştir (Khosakitchalert ve ark., 2020). Rashidi ve arkadaşları 2022 yılında hafif çelik yapı projelerinde sanal gerçeklik teknolojisini 4B modelleme ile YBM entegrasyonunu araştırmıştır. Bu araştırmada sözkonusu yenilikçi yöntem geleneksel yöntemle kıyaslanmış ve üstünlükleri ortaya koyulmuştur (Rashidi ve ark., 2022).

Söz konusu alan için ülkemizde spesifik bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu açıdan literatürde boşluk bulunmaktadır. Mevcut tez çalışması, bu yönüyle öncü bir çalışma niteliğinde değerlendirilmektedir.

YBM, hafif çelik yapılar için; başta çelik sistemin tasarım adımlarında ve sonrasında sahaya kurulum ve tüm imalat adımlarında, bilginin kullanımını optimize ederek verimlilikleri arttırmak ve sunduğu görselleştirmelerle projeye katma değer eklemek için mükemmel bir araçtır. Soğukta şekillendirilmiş çelik yapı projelerinde YBM kullanmanın faydaları, literatürden aşağıdaki gibi derlenmiştir:

- Hafif çelik yapıların taşıyıcı sistemi için sayısız kombinasyon çıkarılabilir. YBM'nin sunduğu estetik ve pratik görseller en iyi seçeneğin bulunmasına yardımcı olmaktadır.
- Hafif çelik yapılarda genellikle panel sistemler kullanılmaktadır. YBM, yapının panel sisteme göre kurgulanmasına ve imalat resimlerinin üretilmesinde kolaylık sağlamaktadır.

- YBM, hafif çelik üreticileri ve diğer proje paydaşları arasında çıkabilecek anlaşmazlıkların en aza indirilmesine ve sorunları çözülmesine yardımcı olmaktadır.
- Projede dâhil olan diğer paydaşlar model kullanmasalar bile YBM, hafif çelik yapı tasarımcıları ve atölyeleri tarafından sıklıkla kullanılmaktadır.
- YBM, malzemelerin ve üretimin optimize edilmesinde işleri kolaylaştırmaktadır. İsrafı en aza indirmektedir.
- Potansiyel müşteriler için YBM, çok kullanışlı bir pazarlama aracıdır.
- Duvar kaplama malzemeleri hafif çelik yapılarda kesme kuvvetlerini karşılamak üzere kullanılabilir. Bu kullanım için kaplama malzemesi ve malzeme-duvar bağlantılarıyla ilgili birçok detay paylaşılmaktadır. Bu hesap ve optimizasyon YBM yardımıyla daha kolay halledilebilmektedir.
- Çelik sacların soğukta şekillendirilme yöntemi; projede hesap kabullerinin, maliyetin, üretim süre ve kapasitesinin değişmesine yol açmaktadır. Fabrikasyon süreçlerinin de YBM'ye dâhil edildiği projelerde verim artmaktadır.
- Kalite güvence ve kalite kontrol süreçleri YBM sayesinde daha kısa zamanda ve daha hızlı şekilde yürütülebilir.

Bu tez çalışması, önceki çalışmalardan farklı olarak; (i) hafif çelik yapı projelerinde neden YBM kullanılması gerektiğini detaylı olarak incelemeyi, (ii) YBM kullanımında hafif çelik yapılar için standart olarak kullanılması beklenen bilgiler için referans oluşturmayı ve (iii) YBM'yi pratik olarak kullanmak için öneriler sunmayı, hedef edinmiştir. Böylelikle, çalışmanın hafif çelik yapılarda YBM kullanımını kolaylaştırma adına standartlaştırılmış bir kılavuz olması beklenmektedir.

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

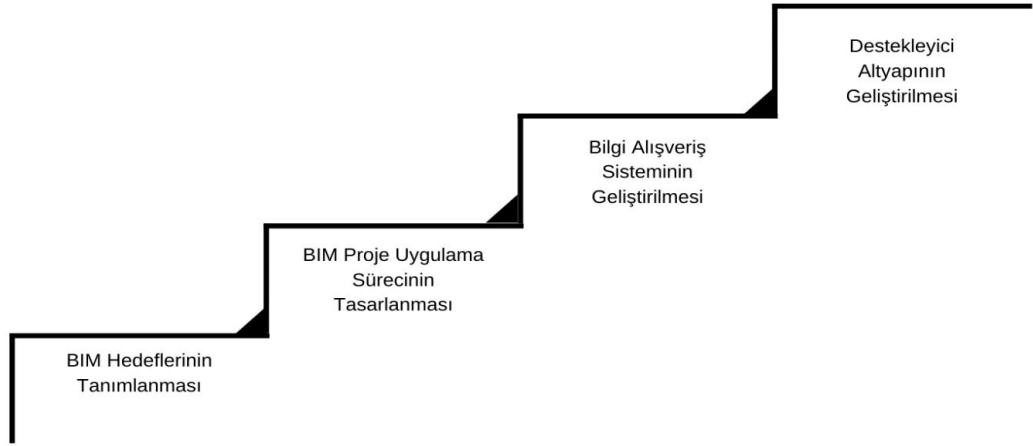
2.1. Proje Paydaşları

Projeye katılması beklenen paydaşlar, uygulama bölümünde ayrı ayrı listelenmiştir. Proje Yönetimi Bilgi Birikimi Kılavuzu (Project Management Body of Knowledge, PMBOK), ayırma işleminin her proje kapsamında farklı yapılmasını önermektedir (PMBOK, 2021). Hafif çelik yapı projelerinde ise bu ayırma işlemini yapmak için Çelik Çerçeve Endüstrisi Birliği (Steel Framing Industry Association, SFIA), Çelik Çerçeveleme Birliği (Steel Framing Alliance, SFA) ve Kanada İnşaatta Yassı Çelik Otoritesi (Canada Sheet Steel Building Institute, CSSBI) tarafından yayınlanan vaka analizlerinden yararlanılmıştır. Projedeki iş bölümü, yüklenicilerle yapılan sözleşmeler ve iş süreleri bu ayırmanın yapılmasında temel kriterler olarak göz önüne alınmışlardır.

Her bir paydaşın neden ve inşaatın hangi fazında YBM kullanması gerektiği ise BEP rehberinde sunulan standart tablolarda ayrı ayrı gösterilmiştir. Hedeflenen amaçlar için potansiyel YBM kullanımları da önem katsayısıyla birlikte tablolar halinde sunulmuştur.

2.2. YBM Yürütme Planı (BEP)

YBM yürütme planı, proje süresince proje ekibinin vizyonunu ve projeye dair uygulama detaylarını özetlemektedir. Etkili ve doğru YBM kullanımı için henüz projenin ilk adımlarında, proje ekibi tarafından bir BEP oluşturması proje açısından gereklidir. Çoğunlukla BEP projenin başlangıcında oluşturulur ve sonradan projeye katılan paydaşların katılımını kolaylaştırır. BEP oluşturulabilmesi için gereken dört adım Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. BEP Uygulama Adımları (Messner, 2019)

BEP hazırlamak, YBM kullanılacak hafif çelik yapı projelerinin de ilk adımı olmalıdır. Hafif çelik yapı projesinde YBM kullanımı için hazırlanacak BEP kapsamında standart olarak kullanılması beklenen bilgiler, bu çalışmanın uygulama bölümünde sunulmuştur.

BEP için ABD’de bulunan Pensilvanya Eyalet Üniversitesi bünyesinde yer alan Bilgisayara Entegre İnşaat Araştırma Grubunun (CICRG) hazırladığı BEP rehberi (BIM Execution Planning Guide, BEP Guide) günümüzde en çok kullanılan şablonlardan biridir. Bu çalışmada, BEP için söz konusu şablonun 2019 yılında yayımlanan 2.2. versiyonu kullanılmıştır. Bu kaynak, bundan sonra “BEP rehberi” olarak anılacaktır. Bu kapsamda, proje paydaşları tarafından projede kullanılması beklenen YBM kullanımları ve hedefleri standart tablolar halinde hazırlanacaktır.

2.3. YBM Kullanımları

Proje ekibi, YBM aracılığıyla gerçekleştirmek istediği uygun YBM kullanımlarını belirlemelidir. YBM kullanımlarının seçim prosedürü, başlangıçta genel süreç için istenen sonuçlara odaklanmalıdır. Bu nedenle YBM kullanımlarının belirlenme işlemine son adımdan başlanarak, ilk adım olan tasarım adımına gelinmelidir. Her bir kullanım seçilirken de kullanımın projedeki önemi düşük, orta veya yüksek olarak belirtilmelidir (Messner, 2019).

Projeye sunduğu katkılar göz önünde bulundurulursa, YBM’nin sayısız kullanımı vardır. Fakat proje planlanması aşamasında YBM kullanımlarının da planlanması

gerekmektedir. BEP rehberinde YBM kullanımları; sektör uzmanlarıyla yapılan görüşmeler, vaka analizleri ve literatür taraması sonucunda 24 madde halinde özetlenmiştir. Bu maddeler aşağıda alt başlıklar halinde sıralanmıştır (Messner, 2019).

2.3.1. Yapı Bakım Planlama

Yapı elemanlarının (duvar, döşeme, çatı vb.) ve binaya hizmet eden ekipmanların (mekanik, elektrik, sıhhi tesisat vb.) işlevselliğinin bir tesisin işletme ömrü boyunca sürdürüldüğü kullanımdır. Başarılı bir bakım programı, bina performansını iyileştirecek, onarımları azaltacak ve genel bakım maliyetlerini azaltacaktır.



Şekil 2.2. Bakım Planlamada YBM kullanım örneği (Accasoftware, 2022)

2.3.2. Bina Sistemlerinin Analizi

Yapıda kullanılması planlanan sistemlerin projeye özel tasarımıyla nasıl performans göstereceğinin analizidir. Bu kullanım, mekanik sistemin nasıl çalıştığını ve bir binanın ne kadar enerji kullandığını içerir. Bu analizin diğer yönleri arasında, bunlarla sınırlı olmamak üzere; havalandırılmalı cephe çalışmaları, aydınlatma analizi, dâhili ve harici hava akışı ve güneş enerjisi analizi yer alır.

2.3.3. Varlık Yönetimi

Bir tesisin ve varlıklarının bakımına ve işletilmesine etkin bir şekilde yardımcı olmak için organize bir yönetim sisteminin kayıt modeline çift yönlü olarak bağlandığı kullanımdır. Fiziksel bina, sistem, çevre ve ekipmandan oluşan bu varlıklar hem yapı sahibini hem de kullanıcıları en uygun maliyetle tatmin edecek bir verimlilikle geliştirilmeli ve kullanılmalıdır. Finansal karar vermede, kısa vadeli ve uzun vadeli planlamada ve planlanmış çalışma düzenleri oluşturmada yardımcı olur.

2.3.4. Alan Yönetimi ve Takibi

Bir tesis içindeki uygun alanları ve ilgili kaynakları etkin bir şekilde dağıtmak, yönetmek ve izlemek için YBM'den faydalanan bir kullanımdır. Bu tür uygulamalar, özellikle bina bölümlerinin dolu kalacağı bir projenin yenilenmesi sırasında kullanışlıdır. Alan yönetimi ve takibi, tesisin ömrü boyunca mekânsal kaynakların uygun şekilde tahsis edilmesini de sağlar. Bu kullanım, kayıt modelinin kullanımından yararlanır. Bu uygulama genellikle mekânsal izleme yazılımı ile entegrasyon gerektirir.

2.3.5. Acil Durum Yönetimi

Acil müdahale ekiplerinin bir model ve bilgi sistemi biçiminde kritik bina bilgilerine erişebileceği bir kullanımdır. YBM, müdahalenin verimliliğini artıracak ve güvenlik risklerini en aza indirecektir. Müdahale ekiplerine kritik bina bilgileri sağlayacaktır. Dinamik bina bilgileri bir bina otomasyon sistemi (Building Automation Systems, BAS) tarafından sağlanırken, kat planları ve ekipman şemaları gibi statik bina bilgileri YBM modelinde yer alacaktır. Bu iki sistem kablolu bir bağlantı aracılığıyla entegre edilecek ve acil müdahale ekipleri genel bir sisteme bağlanacaktır. BAS ile birleştirilmiş YBM, acil durumun bina içinde nerede olduğunu, bölgeye olası yolları ve bina içindeki diğer zararlı yerleri açıkça gösterebilecektir.

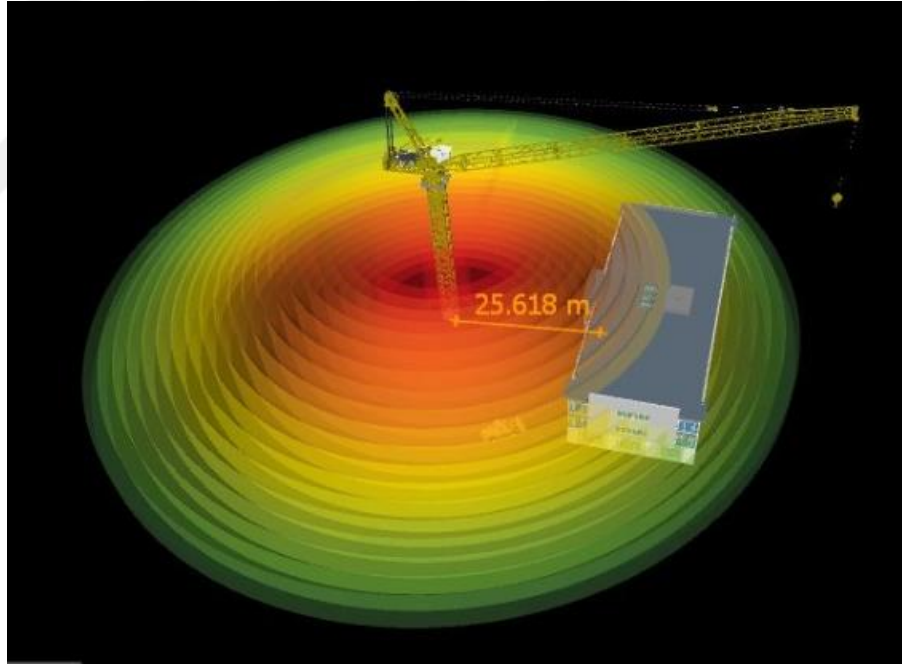
2.3.6. Kayıtların Modellenmesi

Kayıt modelleme; bir tesisin fiziksel koşullarının, çevresinin ve varlıklarının doğru bir temsilini göstermek için kullanılan süreçtir. Kayıt modeli asgari olarak; ana mimari, yapısal ve elektromekanik sistem unsurlarıyla ilgili bilgileri içermelidir. Kayıt modeli oluşturmak için işletme, bakım ve varlık verilerini uygulanmış proje modeline (tasarım,

inşaat, 4B koordinasyon modellerinden ve alt yüklenici imalat modellerinden oluşturulan) bağlama dâhil olmak üzere proje boyunca tüm YBM modellemesinin doruk noktasıdır.

2.3.7. Saha Kullanımının Planlanması

YBM'nin sahada hem kalıcı hem de geçici tesisleri grafiksel olarak temsil etmek için kullanıldığı bir yöntemdir. Alan ve işlem sıralamasının gereksinimlerini iletmek için proje yönetim programıyla bağlantılı da olabilir. Modele dâhil edilen ek bilgiler, işgücü kaynaklarını, ilgili teslimatlarla birlikte malzemeleri ve ekipmanın konumunu içerebilir. 3B model bileşenleri doğrudan programa bağlanabildiğinden, görselleştirilmiş planlama, kısa vadeli yeniden planlama ve kaynak analizi gibi site yönetimi işlevleri, farklı mekânsal ve zamansal veriler üzerinden analiz edilebilir. Saha kullanımına örnek olarak kule vincin saha ile olan ilişkisinin modeli Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. YBM'de Kule Vinç - Saha Entegrasyon Modeli (Sardari, 2016)

2.3.8. İnşa Sisteminin Tasarlanması

İnşaat sürecinin planlamasını iyileştirmek amacıyla bina sistemlerinin yapımını tasarlamak ve analiz etmek için 3B sistem tasarım yazılımlarından yararlanılan kullanımdır.

2.3.9. Dijital Fabrikasyon

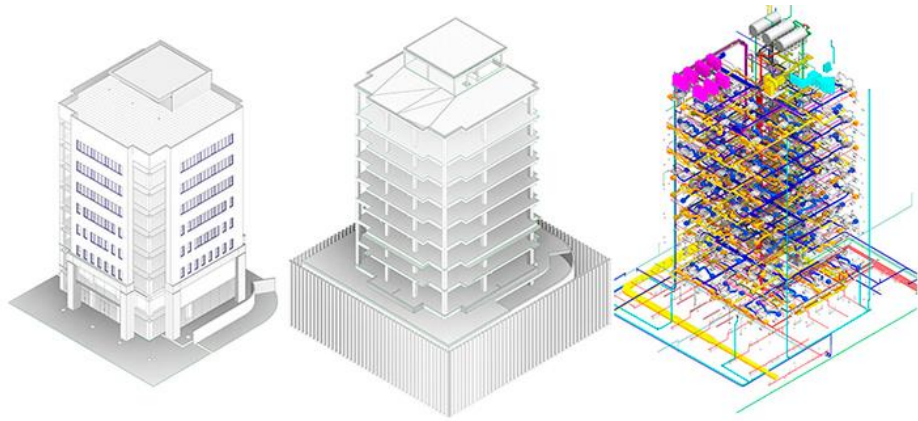
İnşaat malzemelerinin veya montajlarının imalatını kolaylaştırmak için sayısallaştırılmış bilgileri kullanan bir süreçtir. Dijital imalatın bazı kullanımlarında, sac metal imalatında, yapısal çelik imalatında, boru kesmede, tasarım amacı incelemeleri için prototip oluşturmada vb. görülebilir. İmalatın aşağı akış aşamasının minimum belirsizlik ve minimum atıkla imal edilmesi için yeterli bilgiye sahip olmasını sağlamaya yardımcı olur. Üretilen parçaları nihai montajda birleştirmek için uygun teknolojilerle bir bilgi modeli de kullanılabilir.

2.3.10. 3B Kontrol (Dijital Yerleşim) ve Planlama

Tesis montajlarını yerleştirmek için bir bilgi modelini kullanan veya ekipmanın hareketinin ve konumunun kontrolünü otomatikleştiren YBM kullanımıdır. Bilgi modeli, montaj düzeninde ayrıntılı kontrol noktaları yardımı oluşturmak için kullanılır. Buna bir örnek, uygun kazı derinliğine ulaşıp ulaşılmadığını belirlemek için noktaları önceden yüklenmiş bir takeometre (total station) kullanan ve/veya GPS koordinatlarını kullanan duvarların yerleşimidir.

2.3.11. 3B Koordinasyon

Bina sistemlerinin 3B modellerini karşılaştırarak alan çakışmalarını belirlemek için koordinasyon sürecinde çakışma tespit yazılımının kullanıldığı YBM kullanımıdır. Çakışma tespitinin amacı, kurulumdan önce büyük sistem çakışmalarını ortadan kaldırmaktır. Örnek bir görsel, Şekil 2.4’de sunulmuştur.



Şekil 2.4. 3B Koordinasyon Örneği (BIMcommunity, 2019)

2.3.1.2. Tasarım/Modelleme

YBM'nin nesne tabanlı parametrik özelliğinin mimarların, mekanikçilerin, elektrikçilerin, tesisatçıların, yapı mühendislerinin ve imalatçıların aynı bina modeli üzerinde çeşitli fonksiyonlara etki etmesini sağlayan kullanımudur. Tasarımdaki hassaslığın artması ve veri paylaşımındaki gelişmeler, maliyet hesabında kullanılmak üzere doğru metrajın çıkartılması açısından önemlidir.

2.3.13. Mühendislik Analizi

Tasarım özelliklerine dayalı en etkili mühendislik yöntemini belirlemek için akıllı modelleme yazılımının YBM kullandığı yöntemdir. Bu bilgilerin geliştirilmesi, bina sistemlerinde kullanılmak üzere mal sahibine ve/veya işletmeciye aktarılacak olanın temelidir (elektrik tesisatı, havalandırma, kanalizasyon vb.). Bu analiz araçları ve performans simülasyonları, tesisin tasarımını ve gelecekteki yaşam döngüsü boyunca enerji tüketimini önemli ölçüde iyileştirebilir.

2.3.14. Enerji Analizi

Tesis enerji analizinde bir veya daha fazla yapının, enerji simülasyon yazılımının mevcut bina tasarımı için enerji değerlendirmeleri yapmak üzere uygun şekilde ayarlanmış bir YBM modeli kullandığı tesis tasarım aşamasındaki süreçtir. Bu YBM kullanımının temel amacı, bina enerji standardı uyumluluğunu denetlemek ve yapının yaşam döngüsü maliyetlerini azaltmak için önerilen tasarımı optimize etme fırsatlarını araştırmaktır.

2.3.15. Yapısal Analiz

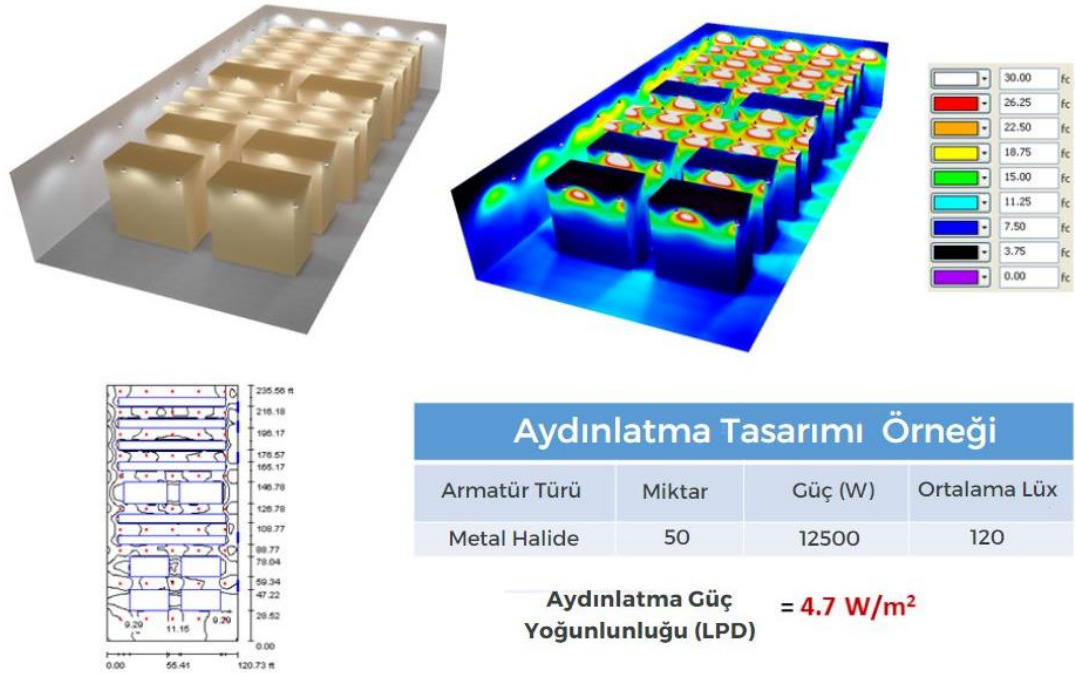
Analitik modelleme yazılımının, belirli bir yapısal sistemin davranışını belirlemek için YBM tasarım geliştirme modelini kullanmasıdır. Modelleme, yapısal tasarım ve analiz için gerekli minimum standartlar optimizasyon için kullanılmaktadır. Bu analize dayanılarak etkili, verimli ve inşa edilebilir yapısal sistemler oluşturulması için yapısal tasarımın daha fazla geliştirilmesi ve iyileştirilmesi gereklidir. Bu bilgilerin geliştirilmesi, dijital imalat ve inşaat sistemi tasarım aşamalarına aktarılacak bilgilerin temelidir.

Bu YBM kullanımının faydalı olması için tasarımın baştan itibaren uygulanmasına gerek yoktur. İmalatı daha hızlı, daha verimli hale getirmek ve inşaat sırasında daha etkin

koordinasyon için genellikle bağlantı tasarımı düzeyinde yapısal analiz uygulanır. Diğer bir uygulama, bunun inşaat sistemi tasarımı ile ilgili ve bağlantılı olmasıdır. Örnekler bunlarla sınırlı olmamak üzere; montaj tasarımını, inşaat araçlarını ve yöntemleri içerir. Bu analiz aracının uygulanması, tesisin yaşam döngüsü boyunca tasarımını, performansını ve güvenliğini önemli ölçüde iyileştirebilecek performans simülasyonlarına izin verir.

2.3.16. Aydınlatma Analizi

Bir alan içindeki bir yüzey veya bir dizi yüzey üzerindeki aydınlatma koşullarının nicel ve estetik bir incelemesini gerçekleştirmek için modelden yararlanılmasını ifade eder. Bu, günışığı analizi veya yapay aydınlatma analizi şeklinde gerçekleştirilebilir.

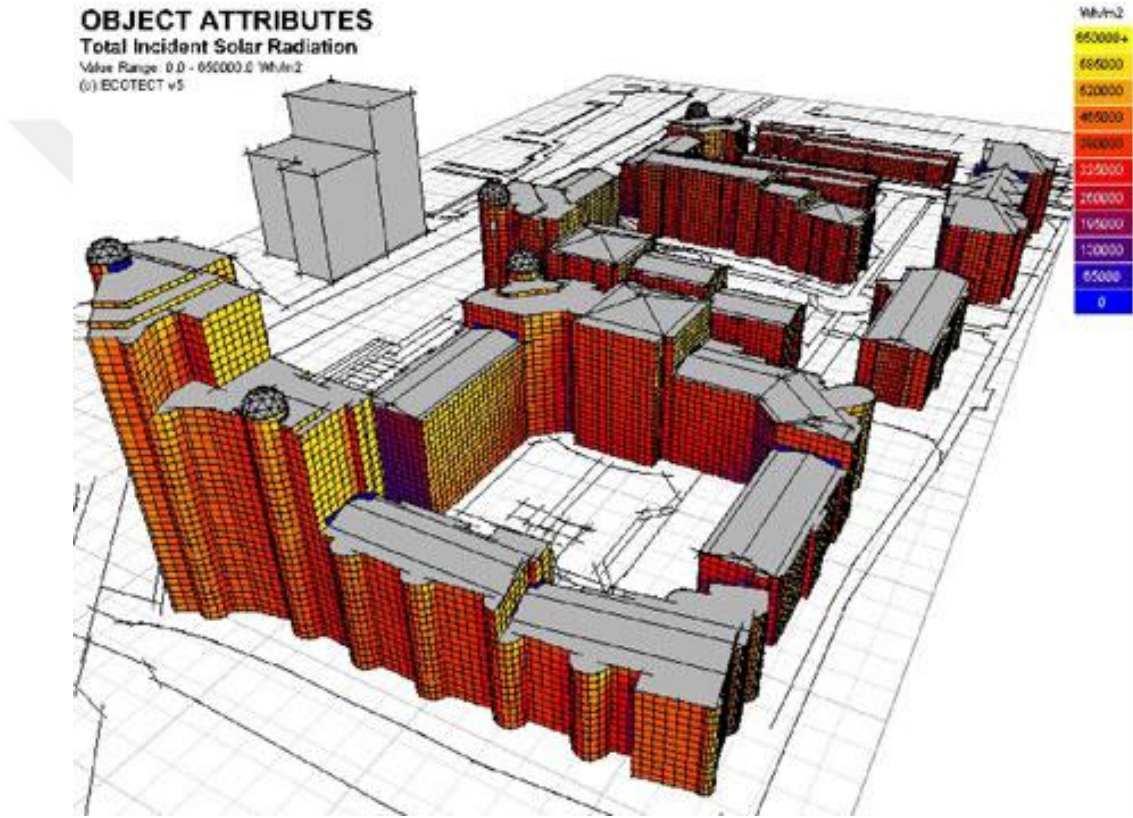


Şekil 2.5. YBM Aydınlatma Analizi Örneği (Green BIM Engineering, 2022)

2.3.17. Sürdürülebilirlik Analizi

Bir YBM projesinin Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (Leadership in Energy and Environmental Design, LEED) veya diğer sürdürülebilir kriterlere göre değerlendirildiği kullanımdır. Bu kullanım; planlama, tasarım, inşaat ve işletme dâhil olmak üzere bir tesis ömrünün tüm aşamalarında gerçekleşmelidir. Bir projeye planlama ve erken tasarım aşamalarında sürdürülebilir özellikleri uygulamak, tasarımı etkileme

yeteneği açısından daha etkili ve maliyete & takvime etkide daha verimlidir. Bu kapsamlı süreç, değerli rler sağlayarak daha fazla disiplinin daha erken etkileşime girmesini gerektirir. Bu entegrasyon, planlama aşamasında sözleşmeye dayalı entegrasyon gerektirebilir. LEED onay sürecine sahip olmak, sürdürülebilir hedeflere ulaşmanın yanı sıra belirli hesaplamalar, belgeler ve doğrulamalar gerektirir. Enerji simülasyonları, hesaplamalar ve dokümantasyon, sorumluluklar iyi tanımlandığında ve açıkça paylaşıldığında bütünleştirici bir ortamda gerçekleştirilebilir.



şekil 2.6. YBM Sürdürülebilirlik Aracının rnek Kullanımı (Amber, 2009)

2.3.18. Yönetmeliğe Uygunluk Analizi

Model parametrelerini projeye özel yönetmeliklere göre kontrol etmek için yönetmelik kontrol yazılımının kullanıldđı yöntemdir. Yönetmelik kontrol analizleri henüz emekleme aşamasındadır ve yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bununla birlikte, model kontrol araçları gelişmeye devam ettikçe; daha fazla standart içeren yönetmelik kontrol yazılımı, tasarım endüstrisinde daha yaygın hale gelmelidir.

2.3.19. Tasarım Onaylama/İnceleme

Paydaşların bir 3B modeli görüntüledikleri ve birden çok tasarım yönünü doğrulamak için geri bildirimlerini sağladığı YBM kullanımıdır. Bu yönler, programı karşılamayı değerlendirmeyi, mekân estetiğini ve düzeni, sanal bir ortamda ön izlemeyi ve yerleşim, görüş çizgileri, aydınlatma, güvenlik, ergonomi, akustik, dokular ve renkler vb. gibi kriterleri belirlemeyi içerir. Bu YBM kullanımı bilgisayar kullanılarak yapılabilir. Yalnızca yazılım veya Bilgisayar Destekli Sanal Ortam (Computer Assisted Virtual Environment, CAVE) ve kapsamlı laboratuvar gibi özel sanal maket olanaklarıyla ve proje ihtiyaçlarına bağlı olarak çeşitli detay seviyelerinde sanal maketler yapılabilmektedir. Bunun bir örneği, tasarım alternatiflerini hızlı bir şekilde analiz etmek ve tasarım ve inşa edilebilirlik sorunlarını çözmek için bir cephe gibi binanın küçük bir bölümünün oldukça ayrıntılı bir modelini oluşturmaktır.

2.3.20. Programlama

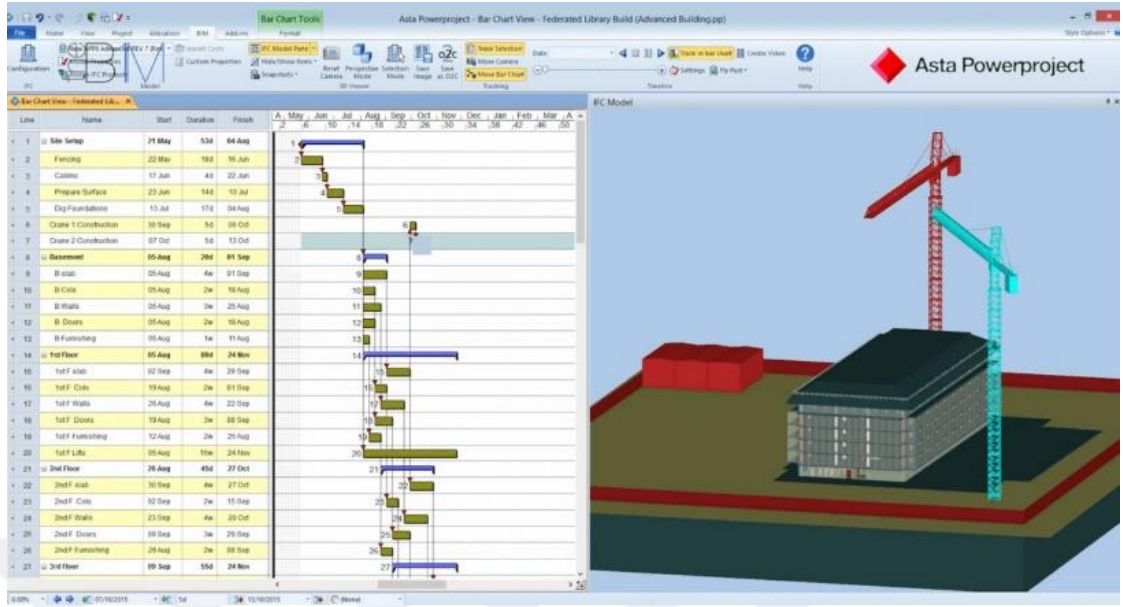
Mekânsal gereksinimler açısından tasarım performansını verimli ve doğru bir şekilde değerlendirmek için bir mekânsal yazılımın kullanıldığı bir süreçtir. Geliştirilen YBM modeli, proje ekibinin alanı analiz etmesine ve alan standartları ve düzenlemelerinin karmaşıklığını çözmesine olanak tanır. Tasarımın bu aşamasında kritik kararlar alınır, müşteri ile ihtiyaçlar/seçenekler tartışıldığında ve en iyi yaklaşım analiz edildiğinde, projeye en fazla değeri getirir.

2.3.21. Saha Analizi

Gelecekteki bir proje için en uygun saha konumunu belirlemek amacıyla belirli bir alandaki özellikleri değerlendirmek için BIM/GIS araçlarının kullanılmasıdır. Toplanan saha verileri önce sahayı seçmek ve ardından yapıyı diğer kriterlere göre konumlandırmak için kullanılır.

2.3.22. 4B Modelleme/Planlama

4B modelleme, proje sahibi de dâhil olmak üzere bir proje ekibine projenin kilometre taşlarını ve inşaat planlarını daha iyi anlamasını sağlayabilecek güçlü bir görselleştirme ve iletişim aracıdır. Yapının daha ekonomik bir şekilde ve zamanında yapılmasını mümkün kılar.



Şekil 2.7. YBM Programlama Örneği (TheB1m, 2016)

2.3.23. Maliyet Tahmini

Bir projenin yaşam döngüsü boyunca doğru metrajların ve maliyet tahminlerinin oluşturulmasına yardımcı olmak için YBM'nin kullanılabileceği bir süreçtir. Bu süreç; proje ekibinin, proje değişiklikleri nedeniyle aşırı bütçe aşımalarını engellemeye yardımcı olabilecek, projenin tüm aşamalarında değişikliklerinin maliyete etkilerini görmelerini sağlar. Özellikle YBM, zamandan ve paradan tasarruf etme potansiyeli ile ekleme ve modifikasyonların maliyet etkilerini sağlayabilir ve bir projenin erken tasarım aşamalarında oldukça faydalıdır.

2.3.24. Mevcut Koşulların Modellenmesi

Proje ekibinin saha, sahadaki tesisler veya bir tesis içindeki belirli bir alan için mevcut koşulların 3B modelini geliştirdiği YBM kullanımıdır. Bu model birden fazla şekilde geliştirilebilir. Neyin istendiğine ve neyin en verimli olduğuna bağlı olarak lazer tarama ve geleneksel ölçme teknikleri buna dâhildir. Model oluşturulduktan sonra, ister yeni inşaat ister modernizasyon projesi olsun, bilgi için sorgulanabilir. Tablo 2.1'de, YBM kullanımlarının yapının ömrü boyunca hangi fazlarda kullanıldığını temsil eden genel bir görünüm verilmiştir.

Tablo 2.1. YBM Kullanımlarının Yapı Yaşam Döngüsündeki Kullanımları (Messner, 2019)

PLANLAMA	TASARIM	İNŞAAT	İŞLETME
MEVCUT KOŞULLARIN MODELLENMESİ			
MALİYET TAHMİNİ			
4D MODELLEME			
SAHA ANALİZİ			
	TASARIM ONAYLAMA		
	TASARIM/MODELLEME		
	ENERJİ ANALİZİ		
	YAPISAL ANALİZ		
	AYDINLATMA ANALİZİ		
	MÜHENDİSLİK ANALİZİ		
	SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ		
	YÖNETİMELİĞE UYGUNLUK ANALİZİ		
	3B KOORDİNASYON		
	SAHA KULLANIM PLANI		
	İNŞAAT SİSTEMİNİN TASARLANMASI		
	DİJİTAL FABRİKASYON		
	3 BOYUTLU KONTROL VE PLANLAMA		
		KAYITLARIN MODELLENMESİ	
		YAPI BAKIM PLANLAMA	
		BİNA SİSTEMİNİN ANALİZİ	
		VARLIK YÖNETİMİ	
		ALAN YÖNETİMİ VE TAKİBİ	
		ACİL DURUM YÖNETİMİ	

2.4. YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu

YBM özel kullanımlarını belirlemeden önce, projede YBM kullanılarak ne elde edilmek istendiği proje ekibi tarafından özetlenmelidir. Örnek YBM Kullanımları tablo 2.2’de verilmiştir. Proje hedefleri projeye özel ve ölçülebilir olmalıdır. Yapının planlama, tasarım, inşaat ve işletme fazlarında başarıyı artırmaya çalışmalıdır. Bu hedefler; proje çizelge süresinin azaltılması, proje maliyetinin düşürülmesi veya projenin genel kalitesinin artırılması dâhil olmak üzere genel proje performansı ile ilgili olabilir. Kalite hedeflerine örnek olarak, enerji modellemesinin hızlı yinelenmesi yoluyla daha enerji verimli bir tasarımın geliştirilmesi, sistemlerin ayrıntılı 3B koordinasyonu yoluyla daha yüksek kaliteli ve kurulu tasarımlar oluşturulması veya performans modelleme ve devreye alma kalitesini artırmak için daha doğru kayıt modelleri geliştirilmesi yer alır.

Tablo 2.2. Örnek YBM Kullanım ve Hedefler Tablosu (Messner, 2019)

Önemi (1-3)	Proje Hedefi	Potansiyel BIM Kullanımı
1= En Önemli		
1	Yüksek kalitede tasarım ve belgelerini oluşturmak.	Tasarım Onaylama, Tasarım/Modelleme, 3B Koordinasyon
2	Saha imalatlarının verimliliğini arttırmak.	3B Koordinasyon, Tasarım/Modelleme
2	İnşaat ilerlemesini tam olarak kontrol edebilmek.	4B Modelleme/Planlama
2	Yenileme/restorasyon işleri için inşaat sonundaki yapıyı tam olarak modellemek.	Kayıt Modelleme, 3B Koordinasyon
1	Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak.	Mühendislik Analizi, Sürdürülebilirlik Analizi.
3	İnşaata zamanında başlamak için tasarımların etkili bir şekilde kontrol edilmesi.	Tasarım/Modelleme
3	Değişikliklerin maliyete olan etkisini zamanında ve tam olarak görmek.	Tasarım Onaylama, Maliyet Tahmini

Hafif çelik yapılar için oluşturulacak YBM kullanım tablolarında, projeye dâhil olması beklenen paydaşların her biri için ayrı ayrı YBM kullanımları ve hedefler tablosu oluşturulacaktır. Tablolar BEP rehberinde sunulan şablon tablolar kullanılarak hazırlanacaktır.

2.5. Gelişim Seviyesi (LOD)

Gelişim seviyesi (Level of Development, LOD) çoğunlukla detay seviyesi olarak adlandırılır. Fakat bu kullanım sağlık değildir. Zira detay seviyesi ifadesi ile ne kadar detay içerdiği ile ilgili kategorizasyon yapılmış olur. Gelişim seviyesinde ise boyut, hacim, ağırlık, yön gibi bilgilerin yanında maliyet, montaj bilgileri, tedarik bilgisi, performans özellikleri gibi geometrik olmayan bilgiler de bulunmaktadır (Özorhon, 2018).

Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA)'nın 2008 yılında yayımladığı YBM gelişim seviyeleri; LOD100, LOD200, LOD300, LOD400 ve LOD500 olarak kategorize edilmiştir. Bu tanımlamalar aşağıda özetlenmiştir. LOD350 eklemiş daha farklı bir sınıflandırma da Şekil 2.8'de sunulmuştur.

- LOD 100: Tasarım modelleri için kavramsal tanımlamalar içerir. İki boyutlu temsil edilen elemanlarda özet bilgiler yer almaktadır.
- LOD 200: Elemanların boyut, konum, yön, ağırlık gibi geometrik bilgilerle yaklaşık olarak temsil edildiği gelişim seviyesidir.
- LOD 300: Model elemanının model içerisinde miktar, boyut, şekil, konum ve yönlendirme açısından belirli bir sistem, nesne veya montaj olarak grafiksel olarak temsil edildiği seviyedir. Bilgi verisi eklenebilir.
- LOD 400: LOD 300 seviyesindeki elemana fabrikasyon ve montaja imkân sağlayacak kadar veri girilmesiyle yakalanan gelişim seviyesidir.
- LOD 500: Elemanların kurulum ve uygulanma şartlarını temsil eder. Tesis yönetimi için de kullanılabilecek bilgileri içerir.



Şekil 2.8. Gelişim Seviyesi (LOD) Türleri (Monarchinnovation, 2021)

Hafif çelik yapı projesinde modellenecek tasarım grupları için gelişim gruplarına göre örnekler sunulmuştur. Bu örnekler için AIA tarafından oluşturulan ve BIMforum'un son halini verdiği gelişim seviyeleri referans alınmıştır.

2.6. YBM Yürütme Planı Süreç Haritaları

YBM kullanımları ve hedefler belirlendikten sonra, her bir YBM kullanımı için uygulama sürecini ve bir bütün olarak projenin uygulama sürecini anlamak önem arz etmektedir. Bu adım; geliştirilen süreç haritasına, ekibin genel YBM sürecini anlamasına, birden fazla taraf arasında paylaşılacak bilgi alışverişlerini belirlemesine ve belirlenen YBM kullanımları için gerçekleştirilecek çeşitli süreçleri açıkça tanımlamasına olanak tanır. Süreç haritalama tekniklerinin kullanılması, ekibin bu adımı etkin bir şekilde gerçekleştirmesini sağlar. Bu süreç haritaları aynı zamanda sözleşme yapısı, YBM teslim edilebilir gereksinimleri, bilgi teknolojisi altyapısı ve gelecekteki ekip üyeleri için seçim kriterleri dâhil olmak üzere diğer önemli uygulama konularının belirlenmesinde temel teşkil etmiş olacaktır. Haritalama tekniği için BEP rehberi, aşağıda bahsi geçen iki grup harita önermektedir.

2.6.1. Birinci Düzey Haritalar

Projenin genel işleyişini gösteren haritalardır. Projede kullanılacak olan YBM kullanımlarının ilişkisini gösterir. Bu süreç haritası, aynı zamanda proje yaşam döngüsü boyunca meydana gelen üst düzey bilgi alışverişlerini de içerir.

2.6.2. İkinci Düzey Haritalar

Gerçekleştirilecek çeşitli süreçlerin sırasını açıkça tanımlamak için projede tanımlanan her bir YBM kullanımı için ayrıntılı YBM kullanım süreç haritaları oluşturulur. Bu haritalar ayrıca; her bir süreçten sorumlu tarafları, referans bilgi içeriğini ve oluşturulacak ve diğer süreçlerle paylaşılacak bilgi alışverişlerini belirler.

Birinci düzey haritalar oluşturulduktan sonra, YBM kullanımları dâhilinde gerçekleştirilecek çeşitli süreçlerin sırasını net bir şekilde tanımlamak için tanımlanan her YBM kullanımı için ayrıntılı YBM kullanım süreç haritası, yani ikinci düzey harita oluşturulmalıdır. Her projenin ve şirketin benzersiz olduğunu anlamak önemlidir, bu nedenle bir ekibin belirli bir süreci başarmak için kullanabileceği birçok potansiyel yöntem olabilir. Bu nedenle, proje ve organizasyonel hedeflere ulaşmak için bu şablon süreç haritalarının proje ekipleri tarafından özelleştirilmesi gerekecektir.

Tablo 2.3. YBM Süreç Haritaları Lejantı (Messner 2019)

UNSUR	AÇIKLAMA	SEMBOL
Aktivite	Aktiviteleri gösterir. Üç tür aktivite vardır. Başlangıç, orta ve bitiş.	
İşlem	Dikdörtgen ile temsil edilen işlem kişilerin gerçekleştirdiği iş veya aktivitelerdir.	
Hareket Noktası	İşlem sırasını kontrol etmek için hareket noktaları kullanılmaktadır.	
İşlem Sırası	Bir işte gerçekleştirilecek aktivitelerin sırasını göstermek için işlem sıraları kullanılmaktadır.	
İlişki	İlişkiler bilgileri ve işlemleri veri nesnesi olarak bağlamak için kullanılırlar. Ok işaretli ilişki uygun olduğu zaman akışın yönünü göstermektedir.	
Havuz	Havuzlar bir dizi aktiviteyi diğer diziden ayırmak için ayraç görevi görürler.	
Şerit	Şeritler havuz içindeki aktiviteleri organize ve kategorize etmeye yararlar. Havuz içinde hem yatay hem de dikey olarak kullanılabilirler.	
Veri	Veri nesneleri aktivitelere ilişkilerle bağlanırlar. Verinin aktivitelere hangi mekanizmayla üretildiğini göstermektedir.	
Grup	Gruplar bilgi kategorilerini simgelerler. Gruplar işlem sıralarına etki etmezler. Dokümantasyon ve analiz amacıyla hazırlanırlar.	

YBM kullanılacak hafif çelik yapı projelerinde projeden projeye değişmeyecek adımlar için standart bir YBM süreçleri haritası, bu çalışmanın uygulama bölümünde sunulmuştur. Bu haritalar için de BEP rehberinin şablon olarak sunduğu ve notasyonları Tablo 2.3’de gösterilen haritalar kullanılacaktır.

2.7. Yazılımlar

YBM’nin inşaat sektöründe yaygınlaşmasıyla birlikte YBM yazılımlarının adedi ve çeşitliliği de artmaktadır. Her bir YBM kullanımına yönelik farklı bir YBM yazılım çözümü geliştirilmektedir. Bununla birlikte, doğru yazılımın seçilmemesi vakit, maliyet ve iş tekrarı gibi olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Hangi YBM kullanımı hedefleniyorsa ona yönelik yazılımların seçilmesi proje için kritiktir (Özorhon, 2018)

Çalışmanın uygulama bölümünde, iki grupta yazılım önerisinde bulunulmuştur. Birincisi, projeye dâhil olacak paydaşlar için yazılım önerisidir. Bu öneride, kullanım amaçları da tabloda başlık olarak sunulmaktadır. İkinci grupta ise hafif çelik yapı analizini YBM’ye entegre olarak gerçekleştirebilecek yazılım önerisi yapılmıştır. Bu öneri için en bilinir üç hafif çelik yazılımının üç temel kriter üzerinden kıyaslanması referans alınmıştır.

3. BÖLÜM

UYGULAMA

Yapı bilgi modellemesi (YBM) kavramının hem köklü bir geçmişinin olmaması hem de hâlihazırda hızla gelişmeye, dolayısıyla değişmeye devam etmesinden dolayı birçok standart kullanımı vardır. YBM'nin kullanımıyla hedeflenen ortak çalışma ve verimlilik hedeflerine ulaşmak için YBM'ye dair dağınık yaklaşımlardan kaçınılarak küresel standartların kullanılması gerekmektedir (NBS, 2013).

YBM kullanılmak istenen bir hafif çelik yapı projesinde; projeden projeye değişmeyen, tekrar eden, birçok süreç ve bilgi bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, bu bilgiler ışında YBM kullanılmak istenen hafif çelik yapı projeleri için referans bilgiler oluşturulmuştur. YBM kullanımının ilk adımı olan ve bütün süreci özetleyen bir YBM uygulama planı (BEP) hazırlanması, çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır.

BEP, her proje için özel olarak üretilmelidir. Hafif çelik yapılar için hazırlanacak BEP kapsamında kullanılması beklenen bilgileri bir araya getirmek, karar verme adımlarını kolaylaştırmak ve standartlaştırabilmek amacıyla aşağıda dört alt başlıkta sunulmuştur.

3.1. Projeye Dâhil Olması Muhtemel Paydaşların YBM Kullanımları ve Hedefleri

Bir yapı projesinde, genellikle iş kırım yapısının (Work Breakdown Structure, WBS) yüklenicilerle imzalanan sözleşmelere göre belirlenmesi beklenmektedir (PMBOK,2021). Hafif çelik yapı projelerine dâhil olması beklenen yüklenici grupları aşağıdaki gibi listelenebilir;

- Ana Yüklenici,
- Çelik Karkas Yüklenicisi,

- Kuru Duvar Yüklenicisi,
- Elektromekanik Sistemler Yüklenicisi,
- Tasarım Ofisi.

Her bir yüklenicinin projede aldığı görevlerin farklı olması gibi YBM kullanımları ve amaçları da farklıdır. Sağlıklı ve verimli bir YBM kullanımı için projeye dâhil olan tüm paydaşların ne amaçla, hangi aşamada ve öncelik sıralamasıyla YBM kullanımını açıkça belirtmeleri gerekmektedir. Her bir proje, doğası nedeniyle eşsizdir. Fakat her projede olduğu gibi birçok işlem ve amaçlar projeden projeye değişmez. Herhangi bir projede BEP hazırlanırken, yüklenicilerin hazırlaması gereken ilk bilgiler proje hedefleri ve olası YBM kullanımlarıdır.

Bu kapsamda, yukarıda listelenen ve her bir yüklenici için projeden projeye değişmeyen YBM kullanım hedefleri hazırlanmıştır. Sunulan tabloların yükleniciler için referans olması amaçlanmaktadır. Tabloların hazırlanmasında, Pensilvanya Devlet Üniversitesi Bilgisayara Entegre İnşaat Araştırma Programı (Computer Integrated Construction Resarch Group - CICRG, Penn State University) tarafından hazırlanan ‘BIM Execution Planning Guide V 2.2’ kitabı referans alınmıştır (Messner, 2019).

3.1.1. Ana Yüklenici

Ana yüklenici, genellikle projenin mimarı veya mühendisinin tavsiyesi üzerine bir müşteri tarafından istihdam edilen bir inşaat yöneticisidir (Shakhar, 2015). Ana yüklenici, projenin inşası için gerekli tüm malzeme, işçilik, ekipman (mühendislik araçları, aletleri vb.) ve hizmetleri sağlamaktan sorumludur. Bir ana yüklenici, inşaat işinin tamamını veya bir kısmını gerçekleştirmek için genellikle işi alt yüklenicilere bölüştürür. Alt yüklenicilerin varlığında ana yüklenici, herhangi bir işçi ve taşeron tarafından yapılan tüm işlerin kalitesini denetlemekten sorumludur. Hafif çelik yapılarda ana yüklenici, inşaat öncesinde, sırasında ve sonrasında sorunsuz bir süreç sağlamak için tasarımcılar, yapı sahipleri ve yüklenicilerle birlikte çalışır. Tüm paydaşlar arasında koordinasyonu sağlamak, yapı sahibinin taleplerini en iyi şekilde karşılamak ve en ekonomik ve kaliteli çıktıları almak amaçları kapsamında, YBM ana yüklenici için kullanışlı bir araçtır. Tablo 3.1’de ana yüklenicinin YBM kullanım amacı, amaçlar için önem sırası ve bu amaca

ulaşmak için potansiyel YBM kullanımı verilmiştir. Bu amaç ve kullanımlar tablodakilerle sınırlı kalmamakla birlikte, genellikle her projede kullanılması beklenen verilerdir. Tablo 3.2’de ise ana yüklenicinin potansiyel YBM kullanımının, yapının fazlarına göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 3.1. Ana Yüklenici YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu

Önem Sırası (1-3)	Projedeki YBM Kullanım Amacı	Potansiyel YBM Kullanımı
1 = En Önemli		
1	Tasarımdan teslim kade kadar projenin en verimli şekilde yürütülmesi	4B Modelleme/Planlama, Saha Kullanımının Modellenmesi
1	Yapı maliyetinin hesaplanması	Maliyet Tahmini, 4B Modelleme/Planlama
2	Projede 3B Model ile katma değeri oluşturulması	Tasarım/Modelleme, 3B Koordinasyon
2	Sürdürülebilirliğin sağlanması ve standartlaştırılması.	Sürdürülebilirlik Analizi

Tablo 3.2. Ana Yüklenici için İnşaat Fazlarındaki YBM Kullanımları Tablosu

Planlama	Tasarım	Yapım	İşletme
	4B Modelleme/Planlama	4B Modelleme/Planlama	
Maliyet Tahmini	Maliyet Tahmini	Maliyet Tahmini	
	Saha Kullanımının Modellenmesi		
3B Koordinasyon	3B Koordinasyon	3B Koordinasyon	
Sürdürülebilirlik Analizi	Sürdürülebilirlik Analizi		

3.1.2. Çelik Karkas Yüklenicisi

Mimari tasarıma göre hafif çelik sistemin tasarlanması, sacların soğukta şekillendirme işlemi, profillerin birleştirilmesi ve yapının kurulması adımları, hafif çelik yüklenicisi tarafından gerçekleştirilmektedir. YBM tasarımı, üretim ve inşaat fazlarında yer alan çelik karkas üreticisi için birçok iş tekrarının ve verimsizliklerin engellenmesi adına kullanışlı bir araçtır. Tablo 3.3’de çelik karkas üreticisinin YBM kullanım amacı, bu amaçlar için önem sırası ve bu amaca ulaşmak için potansiyel YBM kullanım tablosu verilmiştir. Bu amaç ve kullanımlar tablodakilerle sınırlı kalmamakla birlikte, genellikle her projede kullanılması beklenen verilerdir. Tablo 3.4’de ise çelik karkas yüklenicisinin potansiyel YBM kullanımının, yapının fazlarına göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 3.3. Hafif Çelik Karkas Yüklenicisi YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu

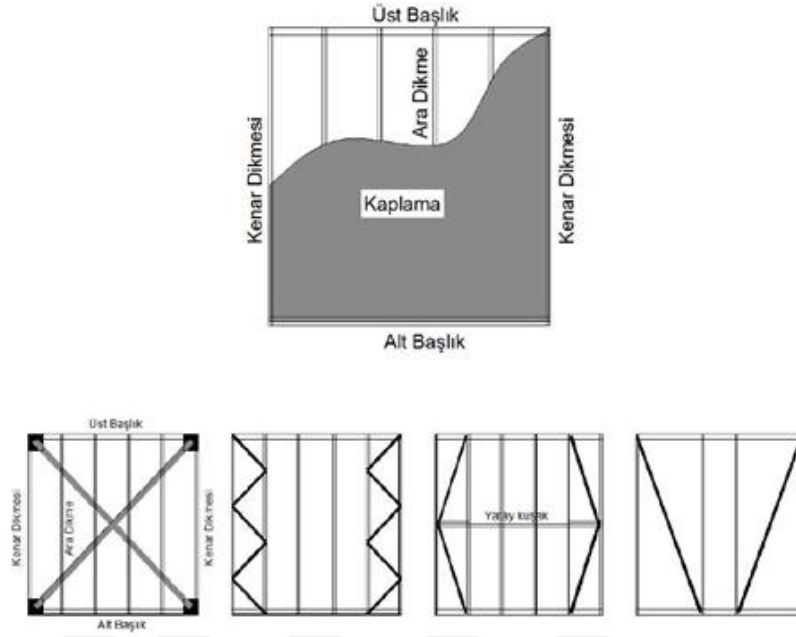
Önem Sırası (1-3)	Projedeki YBM Kullanım Amacı	Potansiyel YBM Kullanımı
1 = En Önemli		
1	Hafif çelik karkas üretm ve kurulumunda konstrüktif detayların doğru uygulanması.	3B Koordinasyon, Yönetmeliğe Uygunluk Analizi
1	Yapım yönteminin belirlenerek şekillendirme ve statik kurallara uygun üretim yapmak.	İnşaat Sisteminin Tasarlanması
1	Tasarım, saha koşulları, üretim kabiliyetlerini göz önünde tutarak en iyi tasarımı bulmak.	Yapısal analiz
2	Malzeme, makine ve imalat ölçüleri arasında en ekonomik ilişkiyi bulmak.	3B Koordinasyon, Dijital Fabrikasyon

Tablo 3.4. Hafif Çelik Karkas Yüklenicisi için İnşaat Fazlarındaki YBM Kullanımları Tablosu

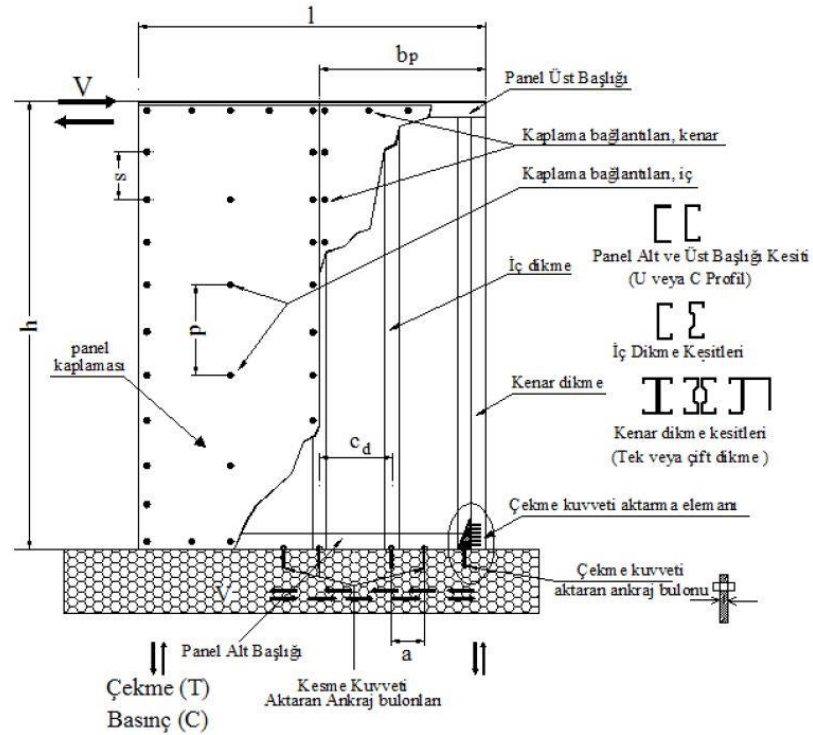
Planlama	Tasarım	Yapım	İşletme
	Yönetmeliğe Uygunluk Analizi	Yönetmeliğe Uygunluk Analizi	
3B Koordinasyon	3B Koordinasyon	3B Koordinasyon	
	İnşaat Sisteminin Tasarlanması	İnşaat Sisteminin Tasarlanması	
	Yapısal analiz		
	Dijital Fabrikasyon	Dijital Fabrikasyon	

3.1.3. Kuru Duvar Yüklenicisi

Kuru duvar sistemleri; kolay ve hızlı uygulanabilirlik, dayanıklılık, fabrikasyonluk, ekonomik lojistik ve estetiklik gibi üstün özellikleriyle hafif çelik yapılarda sıklıkla kullanılan yapı malzemeleridir. Hafif çelik yapıların sık kullanılan dikme parçaları, bu malzemenin montajını kolaylaştırıp yapıyı ekonomikleştirmektedir. Ayrıca; yönlendirilmiş yonga levha (oriented strand board, OSB), sac, lamine ahşap gibi malzemelerin dayanımlarının hafif çelik sistemin dayanımında hesaba katılabilme olanağı, bu malzemelerin uluslararası yönetmeliklerde yer edinmelerine sebep olmuştur. Örneğin 2019 yılı Ocak ayı itibari ile yürürlüğe giren “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2019)” kapsamında yer alan hafif çelik yapılarda kaplama malzemelerinin kullanımına dair tasarım ve uygulama detayları, Şekil 3.1 ve 3.2’de gösterilmiştir (TBDY, 2019).



Şekil 3.1. TBDY 2019'da Yapı Kesme Kuvvetlerinin Karşılmasına Yönelik Kategorizasyon



Şekil 3.2. TBDY 2019'da Panel Sistem Hafif Çelik Yapıya Dair Uygulama Detayları

Tablo 3.5'de kuru duvar yüklenicisinin YBM kullanım amacı, amaçlar için önem sırası ve bu amaca ulaşmak için potansiyel YBM kullanım tablosu verilmiştir. Bu amaç ve kullanımlar tablodakilerle sınırlı kalmamakla birlikte, genellikle her projede kullanılması

beklenen verilerdir. Tablo 3.6’da ise ana yüklenicinin potansiyel YBM kullanımının, yapının fazlarına göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 3.5. Kuru Duvar Yüklenicisi YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu

Önem Sırası (1-3)	Projedeki YBM Kullanım Amacı	Potansiyel YBM Kullanımı
1 = En Önemli		
1	Kaplama malzemelerinin hafif çelik destek elemanı olarak kullanılabilirlik şekilde saha imalatını yapmak.	İnşaat Sisteminin Tasarlanması
1	Firesiz malzeme planlaması ve uygulaması yapmak.	3B Koordinasyon
2	Kusursuz malzeme birleşimleri ve uygulanması yapmak. Isı köprülerini ve nem sorunlarını engellemek. Estetik imalat yapmak.	Yönetmeliğe Uygunluk Analizi

Tablo 3.6. Kuru Duvar Yüklenicisi için İnşaat Fazlarındaki YBM Kullanımları Tablosu

Planlama	Tasarım	Yapım	İşletme
	İnşaat Sisteminin Tasarlanması	İnşaat Sisteminin Tasarlanması	
3B Koordinasyon	3B Koordinasyon	3B Koordinasyon	
	Yönetmeliğe Uygunluk Analizi	Yönetmeliğe Uygunluk Analizi	

3.1.4. Elektromekanik Sistemler Yüklenicisi

İncelenen vaka analizlerinde, elektromekanik sistemlerin; uygulamada kullanılan ekipmanların farklılığı, yapı tasarımının sistemlerle olan ilişkisi, tahmini projeyi tamamlama sürelerinden sapma gibi sorunlarla karşılaştıkları tespit edilmiştir. Bu sorunlar, öngörülen yapı maliyetlerinin aşılmasına ve yapının hesaplanandan daha uzun sürede teslim edilmesine sebep olmaktadır. Bu sorunların projenin ilk adımlarında tespit edilerek önlenmeleri için YBM mükemmel bir araçtır. Tablo 3.7’de elektromekanik sistemler yüklenicisinin YBM kullanım amacı, amaçlar için önem sırası ve bu amaca ulaşmak için potansiyel YBM kullanım tablosu verilmiştir. Bu amaç ve kullanımlar tablodakilerle sınırlı kalmamakla birlikte, genellikle her projede kullanılması beklenen verilerdir. Tablo 3.8’de ise ana yüklenicinin potansiyel YBM kullanımının, yapının fazlarına göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 3.7. Elektromekanik Sistemler Yüklenicisi YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu

Önem Sırası (1-3)	Projedeki YBM Kullanım Amacı	Potansiyel YBM Kullanımı
1 = En Önemli		
1	Seçilen malzeme türleri ve eleman konumlarına göre ekipman ve yöntem planını çıkarmak. İşçilik maliyetlerini ekonomik tutmak.	3B Koordinasyon, 4B Modelleme/Planlama
1	Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak	Bina Sistemlerinin Analizi, Aydınlatma Analizi, Enerji Analizi
2	Tasarımda çakışmaları engellemek.	Tasarım/Modelleme, 3B Koordinasyon
2	Sistemlerin optimum koşullarda çalışmasını sağlamak.	Tasarım/Modelleme, Mevcut Koşulların Modellenmesi

Tablo 3.8. Elektromekanik Yüklenicisi için İnşaat Fazlarındaki YBM Kullanımları Tablosu

Planlama	Tasarım	Yapım	İşletme
3B Koordinasyon	3B Koordinasyon	3B Koordinasyon	
	4B Modelleme/Planlama	4B Modelleme/Planlama	
Mevcut Koşulların Modellenmesi			
	Enerji Analizi		
	Aydınlatma Analizi		
	Bina Sistemlerinin Analizi		

3.1.5. Tasarım Ofisi

Hafif çelik yapı projesinde mimari tasarımdan sorumlu paydaştır. Yapılacak tasarımı yapı sahibine en iyi şekilde sunmak ve istenilen ihtiyacı tam olarak gidermek için, YBM tasarımcılara büyük avantajlar sunmaktadır.



Şekil 3.3. Tasarım Sürecinde Hafif Çelik Yapı Örneği (Abu-Hamd, 2015).

Tablo 3.9’da tasarım ofisinin YBM kullanım amacı, amaçlar için önem sırası ve bu amaca ulaşmak için potansiyel YBM kullanım tablosu verilmiştir. Bu amaç ve kullanımlar tablodakilerle sınırlı kalmamakla birlikte, genellikle her projede kullanılması beklenen verilerdir. Tablo 3.10’da tasarım ofisinin potansiyel YBM kullanımının, yapının fazlarına göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 3.9. Tasarım Ofisi YBM Kullanımı ve Hedefler Tablosu

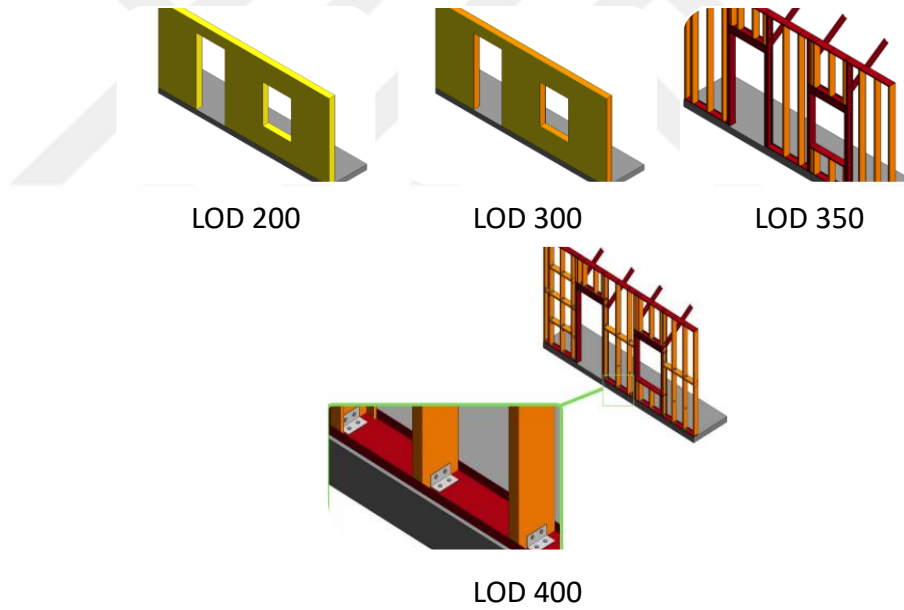
Önem Sırası (1-3)	Projedeki YBM Kullanım Amacı	Potansiyel YBM Kullanımı
1 = En Önemli		
1	Optimum Tasarım Kombinasyonunu Bulmak	Tasarım/Modelleme, Koordinasyon 3B
1	Çakışmaları Önlemek.	3B Koordinasyon

Tablo 3.10. Tasarım Ofisi için İnşaat Fazlarındaki YBM Kullanımları Tablosu

Planlama	Tasarım	Yapım	İşletme
Tasarım/Modelleme	Tasarım/Modelleme		
3B Koordinasyon	3B Koordinasyon	3B Koordinasyon	

3.2. Standart Projede Kullanılması Beklenen Ürün Aileleri ve Ürün Ailelerinin Gelişim Seviyeleri

Doğru gelişim seviyelerini henüz proje başlarındayken belirlemek proje için kritiktir. Çünkü bu işlemin YBM uygulamalarının ilerlemesine çok geniş etkileri vardır (Leite et al., 2011). Ancak uygulamada hangi gelişim seviyesinin tercih edileceği konusunda anlaşmak standart bir süreç değildir. Ayrıca gelişim seviyelerinin tanımlanmasında kullanılan belirsiz terimler nedeniyle gelişim seviyelerinin tanımında henüz fikir birliğine varılamamıştır (Van Berlo et al., 2014). Gelişim seviyelerinin ayrıntılı olarak tanımlanması gerektiği çeşitli araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır. Ancak gelişim seviyelerinin uygulamada nasıl tanımlandığı ve bu tanımın proje performansı üzerindeki etkileri hakkında henüz yeterli sonuçlar elde edilememiştir (Fischer ve Kunz, 2003; Liecht ve Messner, 2007; Staub-French ve Khanzdoe, 2007).



Şekil 3.4. Hafif Çelik Duvar Paneli İçin Örnek LOD Görseli (BIMforum, 2021)

Gelişim seviyelerinin genel tanımı ve tanımlanan seviyelerin hafif çelik yapılar için örnekleri, Tablo 3.11’de verilmiştir.

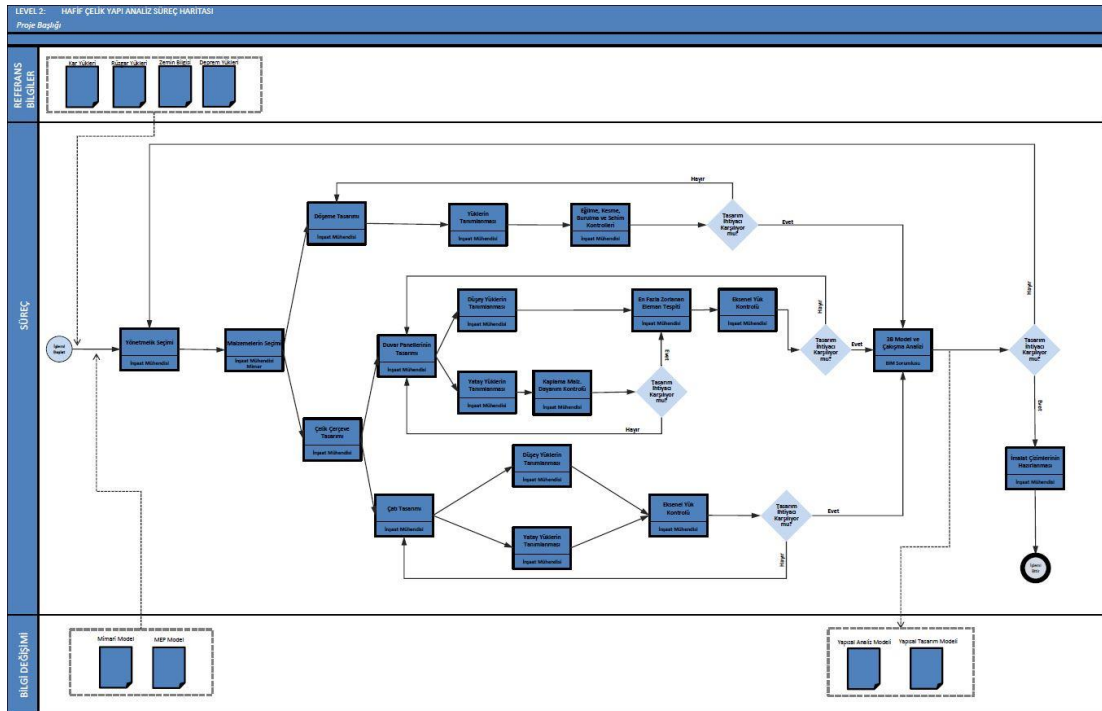
Tablo 3.11. Hafif Çelik Yapı Projelerinde LOD Kullanımı

LOD	Genel Tanımı	Hafif Çelik Yapı Projelerinde Kullanım Örnekleri
100 - Konsept Tasarım	Montaj ile ilgili bilgilendirici içerik. Elemanları ölçüsü, büyüklüğü ve konumu hala esneklik.	Tahmini hafif çelik karkas ölçüleri ölçülebilir ve metrekareye düşen hafif çelik maliyeti hesaplanabilir.
200 – Şematik Tasarım	Yaklaşık miktar, boyut, şekil, konum ve yönlendirme bilgilerine sahip genel montajlar için grafiksel içerik. Grafik dışı bilgiler içerebilir.	Kabaca hafif çelik malzeme miktarları ve eleman ölçüleri. Hafif çelik elemanlar arası arzu edilen boşluklar. Malzeme türüne göre ayrılmış kaplama malzemeleri (OSB, çimento yonga levha vb.).
300 – Detaylı Tasarım	Özel montajlar için görsel içerikler. Modelden kesin olarak ölçülebilen malzeme miktarı, büyüklüğü, konumu ve yönlendirme bilgileri.	Net hafif çelik kesit geometrileri, malzeme miktarları, elemanlar arası boşluklar ve elemanların konum bilgileri. Kapı, pencere gibi büyük duvar açıklıkların ölçüsü. LOD 300 tipik hafif çelik karkas koordinasyonu için yaygındır.
350 – Uygulama Projeleri	Bir elemanın LOD 300 seviyesindeki bilgilerine ek diğer bileşenlerle olan ilişkisinin ve bağlantısının kesin olarak belirtildiği bilgiler.	Duvarların dört yüzünde hassas bir şekilde modellenmiş tüm hafif çelik elemanlar. Köprüleme, çaprazlar, berkitmeler ve diğer destekler dâhil. Kaplama malzemelerinin dayanımı yanal yüklerin karşılanmasında hesaba katılıyorsa kaplamaların çelik karkasa bağlantı detayları. Elektromekanik, kuru duvar gibi sistemlerin montajı için profildeki deliklerin büyüklüğü ve konumunu ve sistemlerin diğer elemanlarla olan koordinasyonunu içerir.
400 – Fabrikasyon ve Montaj	Yapının veya sistem elemanının fabrikasyonu için yeterli detaya ve kesinliğe gereksinim duyar. Bu veriler objelerin üretilebilmesi için montaj yapabilmeye olanak tanıyan bilgileri barındırmalıdır.	Soğukta şekillendirme yöntemi, panelizasyon ve montaj bilgileri. Fabrikasyon parça numaraları. Kaynak, vida, cıvata gibi bağlantı bilgileri. Hafif çelik sistemin kurulumunu tamamlamak için tüm bilgiler.
500 – Gerçekleşen Projeler	Montajların sahada doğrulanabilen miktar, boyut, şekil, konum ve hizalama bilgileri. LOD 500 yapının bittikten sonraki halini gösteren çizimler (as-built) olarak düşünülebilir. Eleman geometrilerinin daha yüksek bir seviyesi olması gerekmez.	Çoğunlukla hafif çelik fabrikasyon ve kurulumlarının geliştirilmesi LOD 400 olarak yapıldığı için LOD 500 görece hafif çelik sistemler için az tercih edilir. Ancak LOD 500 sözleşmelerde talep edilebilir. Bu yapı sahibine gelecekte hafif çelik hakkında kritik bilgiler sağlayacaktır.

3.3. Soğukta Şekillendirilmiş Çelik Yapıların Örnek Tasarım ve Analiz İş Akış Haritası

İş akış haritaları; projeye dâhil olan tarafların ve proje ekibinin YBM işlemlerini genel olarak anlamasına, projeye dâhil olan taraflar arasında yapılacak bilgi alışverişinin tanımlanmasına ve tanımlanan YBM kullanımları için gerçekleştirilecek süreçlerin açıkça gösterilmesine yardımcı olur. İş akış haritaları iki adımda oluşturulmalıdır. İlk olarak tarafların hangi YBM kullanımlarını uygulayacaklarını gösteren genel şemalar oluşturulmalıdır. Sonrasında her bir YBM kullanımı için detaylı uygulama şemaları çıkartılmalıdır.

Önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi; genel uygulamayı gösteren şemalar “Birinci Düzey YBM Haritaları”, detaylı işlemleri gösteren şemalar “İkinci Düzey YBM Haritaları” olarak adlandırılmaktadır (Messner, 2019). Birinci düzey haritaların hafif çelik kullanımları, projeye dâhil olan taraflar ve ihtiyaçları çok farklılık göstermektedir. Dolayısıyla standart bir kullanım önermek zordur. Fakat ikinci düzey haritaları standartlaştırmak mümkündür. Şekil 3.5’de, hafif çelik yapıların taşıyıcı tasarımları için oluşturulmuş harita gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Hafif Çelik Yapı Tasarımı Kapsamında YBM Süreçleri Haritası

3.4. Önerilen Paket Programlar

Yazılımlar, YBM kullanımı için vazgeçilmez araçlardır. YBM'nin hemen hemen her kullanımı için farklı ve amacına uygun yazılımlar geliştirilmiştir. Hafif çelik yapılar kapsamında, projeden bağımsız olarak farklı kullanım alanları için öneriler, Tablo 3.12'de sunulmuştur.

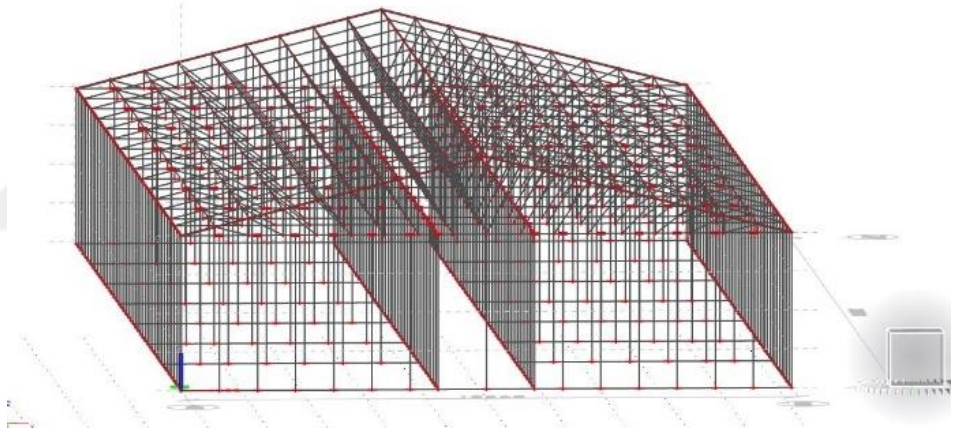
Tablo 3.12. Farklı Kullanımlar için Yazılım Önerileri

Mekanik, Elektrik ve Sıhhi Tesisat	Autodesk Revit MEP Bentley Hevacomp Mechanical Designer CADMEP (CADduct/CADmech) Gehry Technologies - Digital Protect MEP Systems Routing Nemetschek Allplan AX3000 4MSA FineHVAC, FineLIFT, FineELEC ve Fine SANI	Tesis Yönetimi	Bentley Facilities EcoDomus FM: Systems FM: Interact Nemetschek Allplan Alfa Onuma System Vintocon ArchiFM Accasoftware
Mimari	Autodesk Revit Architecture Bentley Architecture CADsoft Envisioneer Graphisoft ArchiCAD Gehry Technologies - Digital Protect Designer Nemetschek Allplan Architecture Nemetschek Vectorworks Architect RhinoBIM Softtech Spirit 4MSA IDEA Architectural Design (IntelliCAD)	Yapı	Autodesk Revit Structure Autodesk Robot Structural Analysis Bentley RAM, STAAD ve Prosteel Bentley Structural Modeler CypeCAD Graytec Advance Design Nemetschek SCIA Nemetschek Allplan Strucute StructureSoft Metal Wood Framer Tekla Structures 4MSA Strad ve Steel Vertex
Yapım Simülasyonu ve Analizi	Autodesk Navisworks Bentley ConstrucSim Glue Innovaya Solibri Model Checker Synchro Professional Trimble Connect Vela Field BIM Vico Office Suite	Sürdürülebilirlik	Autodesk Ecotect Analysis Autodesk Green Building Studio Bentley Hevacomp Bentley Tas Simulator DeisgnBuilder Graphisoft EcoDesigner IES Solutions Virtual Environment VE-Pro

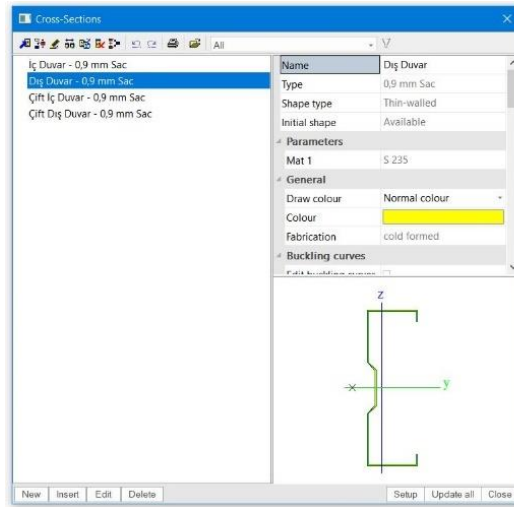
Amaç farklılıkları, işleri kolaylaştırmakla beraber birtakım zorlukları da beraberinde getirmiştir. Dosya formatlarının farklılığı, YBM modelinde buluşmadaki zorluklar, YBM kullanılmak istenilen araçların ihtiyaca cevap verememesi gibi hususlar, bu zorluklara örnek teşkil edebilir.

Ortak çalışma sorununa çözüm için, buildingsmart tarafından bir IFC formatı geliştirilmiştir (buildingsmart, 2017). Bu format uluslararası düzeyde kabul gördükten sonra, ilk olarak 2013 yılında 16739:2013 numarası ile International Organization for Standardization (ISO) standardı olarak kabul edilmiştir. Beş yılda bir güncellenen standart, günümüzde ISO 16739-1:2018 adıyla kullanılmaktadır (ISO 16739-1, 2018).

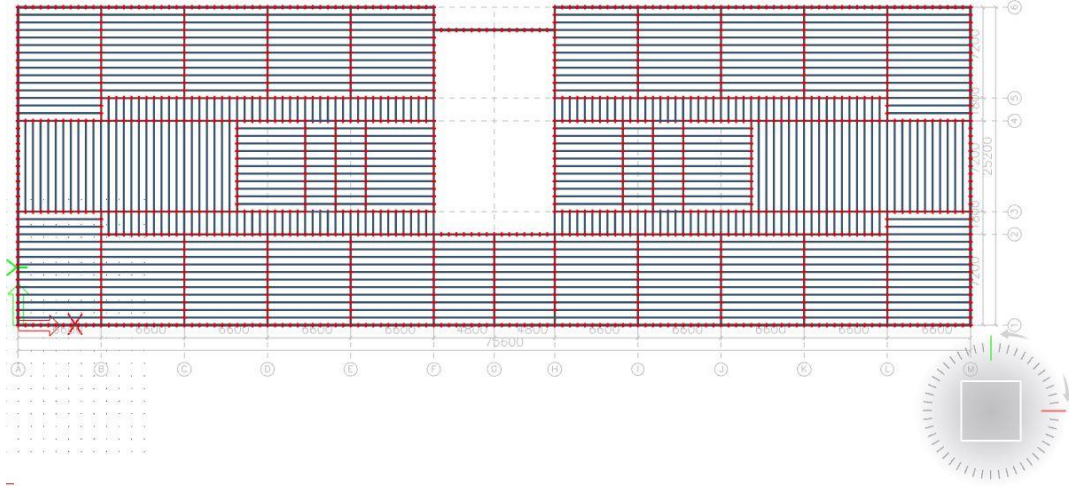
Hafif çelik projelerde kullanılacak yazılımın seçilmesinde ilk şart, ortak çalışılabilir formatta çıktılar almaktır. Sonrasında modelleme ve analizin yapılabileceği bir yazılım seçilmelidir. Metrekare düzeyinde çok sayıda yapısal elemanın olması ve karmaşık geometrili kesitlerin bulunması, hafif çelik analiz yazılımı için zorlayıcı etmenlerdir. Dolayısıyla özellikle analiz için yazılım seçimi önemli bir adım olarak görülmelidir.



Şekil 3.6. SCIA Engineer’da Hafif Çelik Analiz Model Perspektifi Örneği



Şekil 3.7. SCIA Engineer’da Hafif Çelik Analiz Model Veri Girişi Örneği



Şekil 3.8. SCIA Engineer 'da Hafif Çelik Analiz Model Plan Örneği

2013 yılında, ABD’de bulunan John Hopkins Üniversitesinde;

- Modellemenin 3B olarak yapılabilmesi,
- Karmaşık geometrilerde kesit modellenebilmesi,
- Çoklu yük kombinasyonlarının yapılabilmesi,

kriterleri baz alınarak ve dört farklı yazılım kullanılarak karşılaştırmalı bir değerlendirme çalışması yapılmıştır. Bu yazılımlar; Nemetschek Scia, LGBeaner, CFS ve AISIWIN olarak seçilmişlerdir. Kıyaslama sonucunda %72,2 puanla Nemetschek Scia ilk sırada yer almıştır (SCIA, 2022).

3.5. Hafif Çelik Yapılar için Örnek Bir YBM Süreci

Çalışmanın bu bölümünde hafif çelik yapıların tasarım, imalat ve inşaat adımlarını içeren örnek bir projede YBM kullanımı incelenecektir.

3.5.1. Örnek Yapı Hakkında Genel Bilgiler

Projede genel yüklenicilik ve hafif çelik yükleniciliği aynı firma tarafından yapılmıştır. Tasarım işleri ise farklı yüklenici firma tarafından üstlenilmiştir. Hem yapının kendisinin

küçük hem de elektromekanik sistemlerinin basit olmasından dolayı kurduvar ve diğer sistem işleri ana yüklenici tarafından yapılmıştır.

Yapı toplu konut projesinde çalışacak elemanlar için yatakhane olarak kullanılacaktır. Ana yüklenici, yapı sahibi ve tasarım ofisi ile yapılan toplantılar sonunda ihtiyaçların belirlenmesi ve ihtiyaçlar doğrultusunda 2 boyutlu çizim taslak üzerinde anlaşılmasıyla proje başlamış kabul edilmektedir.

Hızlı üretim, işi bitince sökülebilmek, dayanıklılık ve ekonomiklik özellikleriyle hafif çelik projenin tercih sebebi olmuştur.

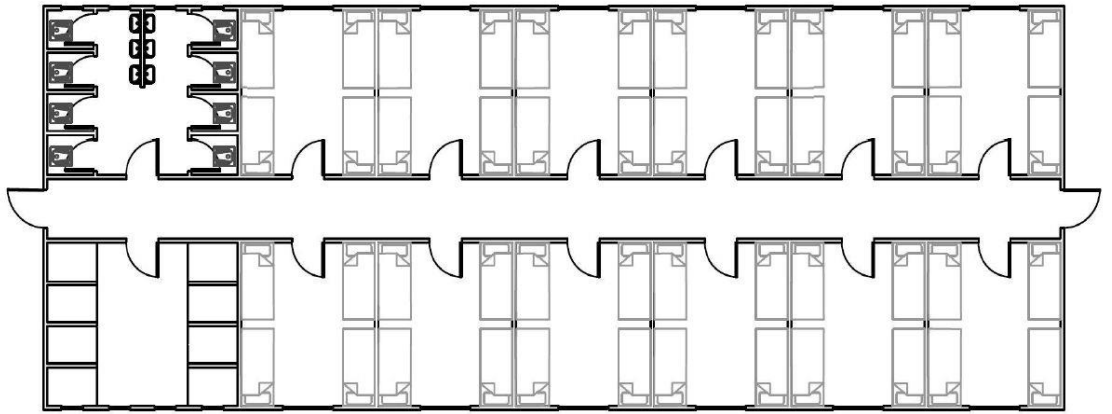
Yapı Dış Ölçüleri: 10,5x29m

Yapının Yapıldığı Yer: Kayseri, Melikgazi

Soğukta Şekillendirilme Yöntemi: Abkant Pres

Saha Montaj Sistemi: Panel Sistem

Kullanılan Paket Programlar: SCIA Engineer, Revit, Trimble Connect, Tekla



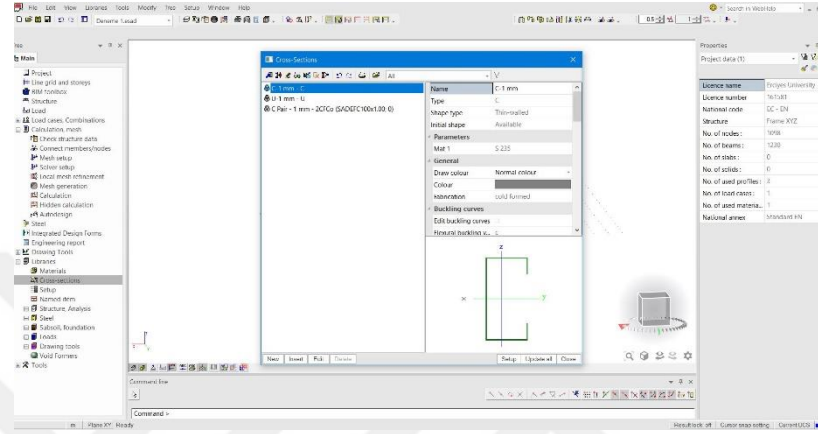
Şekil 3.9. Hafif Çelik Yatakhane Planı

3.5.2. Yapısal Analiz Modeli

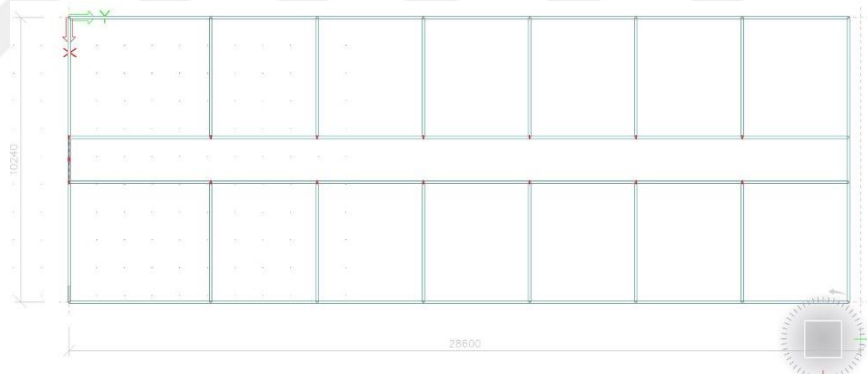
Yapı analizi için SCIA Engineer yazılımı tercih edilmiştir. Tasarım kriterleri için Eurocode 3 ve TBDY 2019 referans alınmıştır. Kesme kuvvetlerinin karşılanması için

hafif çelik destek elemanları kullanılmıştır. Kaplama malzemelerinin dayanıma katkısı ihmal edilmiştir. Şekillendirme yöntemi olarak abkant pres ile şekillendirme seçilmiştir.

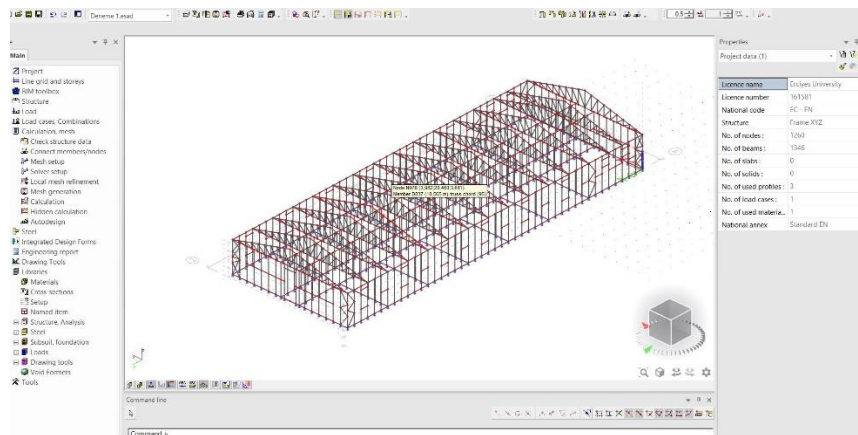
Hafif çelik analiz modelinde işlem adımları için bölüm 3.3'te önerilen 2. düzey haritanın işlem adımları takip edilmiştir.



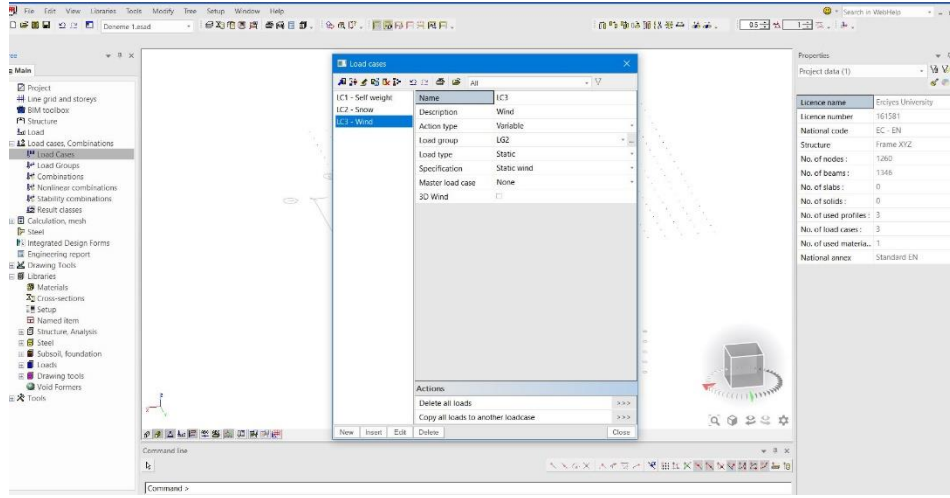
Şekil 3.10. Hafif Çelik Kesitlerin Girilmesi



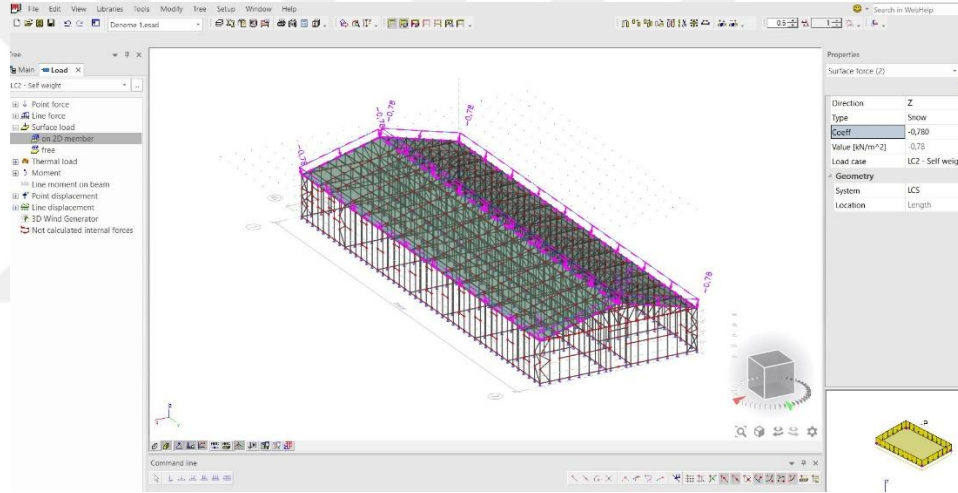
Şekil 3.11. Duvar Panellerinin Modellenmesi



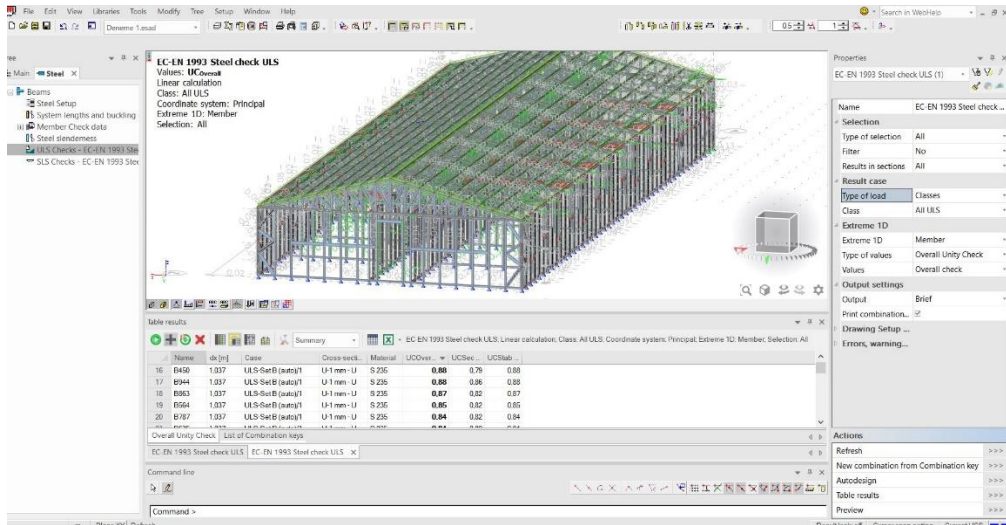
Şekil 3.12. Duvar ve Çatı Modelinin Tamamlanması



Şekil 3.13. Yapıya Etkiyen Yüklerin Tanımlanması



Şekil 3.14. Yapının Maruz Kaldığı Yüklerin Yapıya Girilmesi

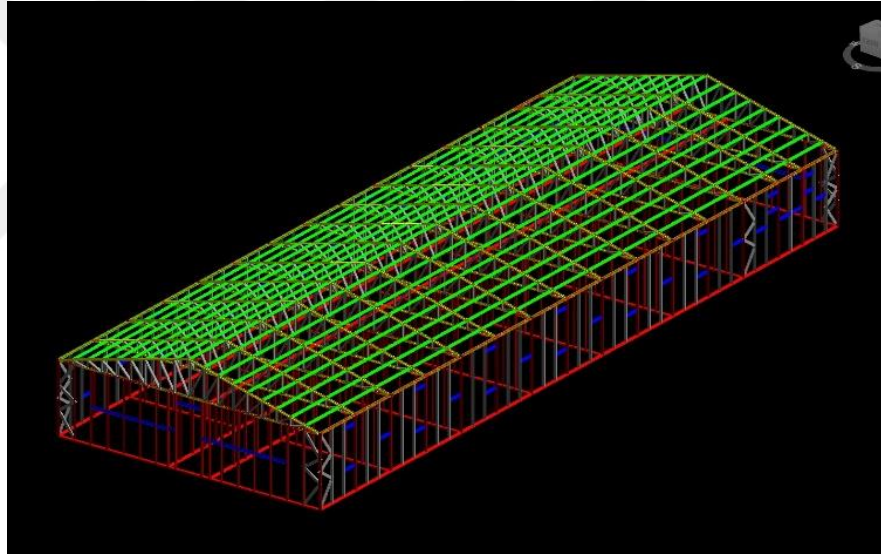


Şekil 3.15. Sistemin Analizi ve Eurocode'a Göre Kontrolü

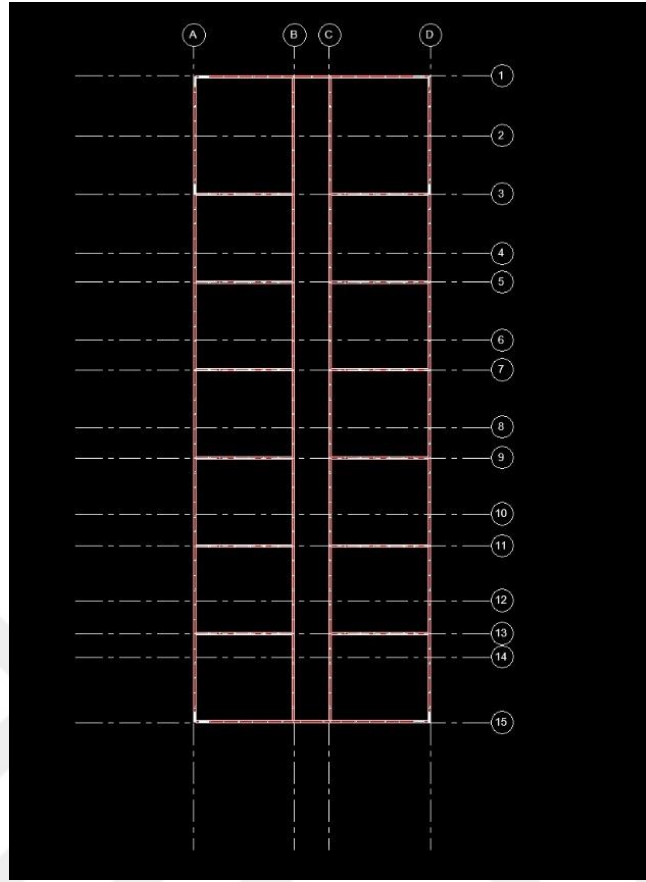
3.5.3. Mimari Model

Mimari model için Revit yazılımı tercih edilmiştir. Analizden elde edilen çelik modeli doğrudan IFC dosya özelliğiyle Revit'e aktarılmıştır. Kapı, pencere, kaplama ve yalıtım malzemelerinin modelleri doğrudan üreticilerin kendi modellerini paylaştığı malzeme kütüphanesi BIMobject'ten alınmıştır. Malzeme listesi ve metraj Revit modeli üzerinden yapılmıştır. Mimari model LOD 300 gelişim seviyesine detay bilgileri içermektedir.

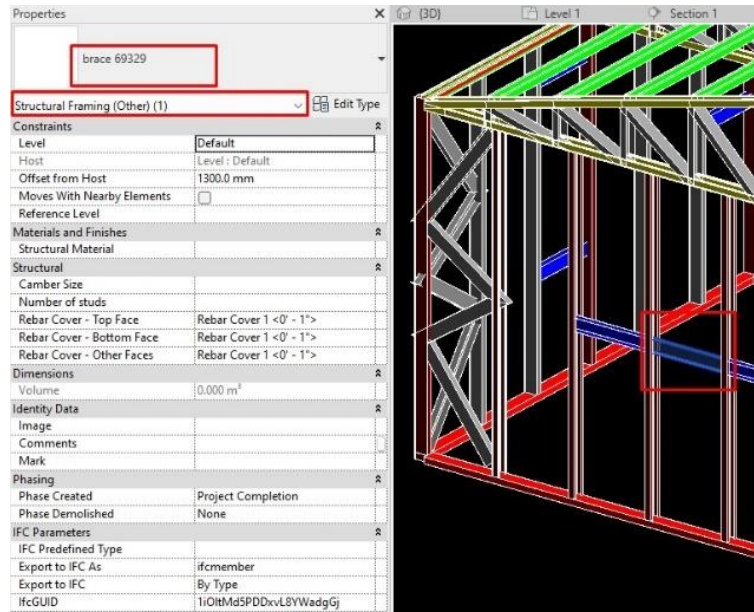
Yapıdaki tüm elektrik sistemi sıva üstü olarak seçilmiştir. Ana girişten panoya gelen enerji koridor boyunca uzanan PVC kablo kanallarıyla odalara ve aydınlatmalara dağılmıştır. Görece basit olan bu sistemin tasarım grupları da BIMobject'ten alınıp ayrı model oluşturulmuştur.



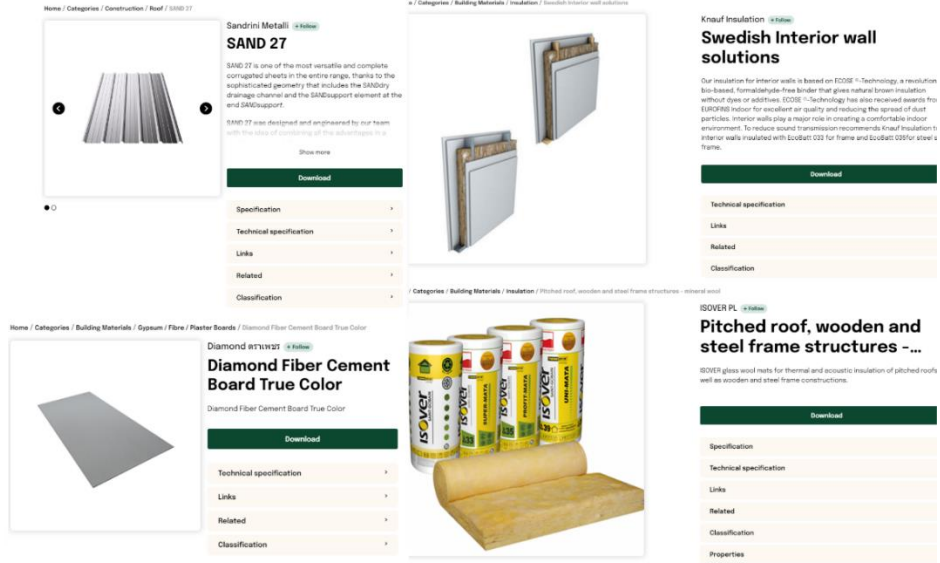
Şekil 3.16. Analiz Modelinden Mimariye Aktarılan Çelik Karkas Görüntüsü - 1



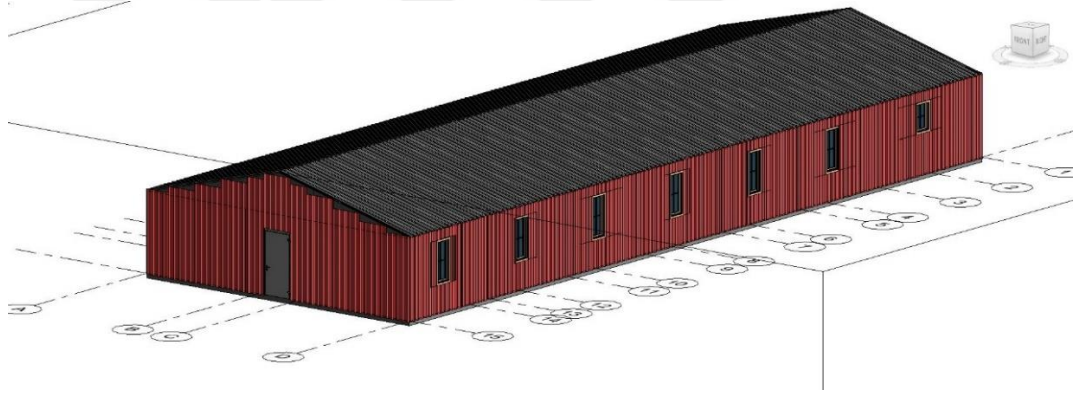
Şekil 3.17. Analiz Modelinden Mimariye Aktarılan Çelik Karkas Görüntüsü - 2



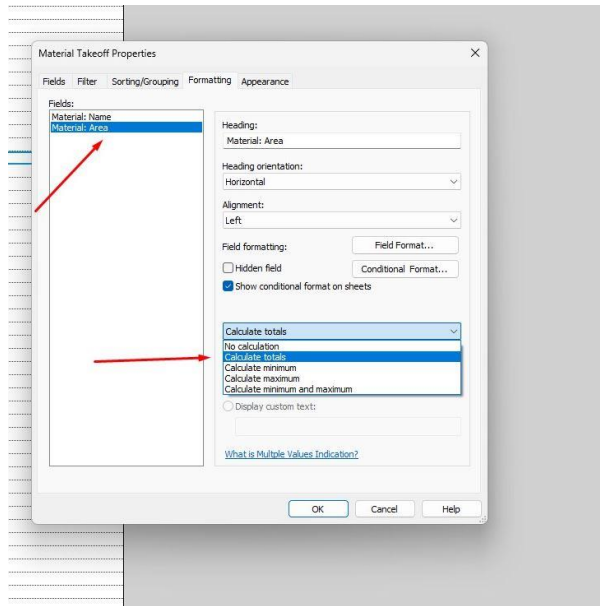
Şekil 3.18. Analiz Modelinden Mimariye Aktarılan Çelik Karkas Görüntüsü - 3



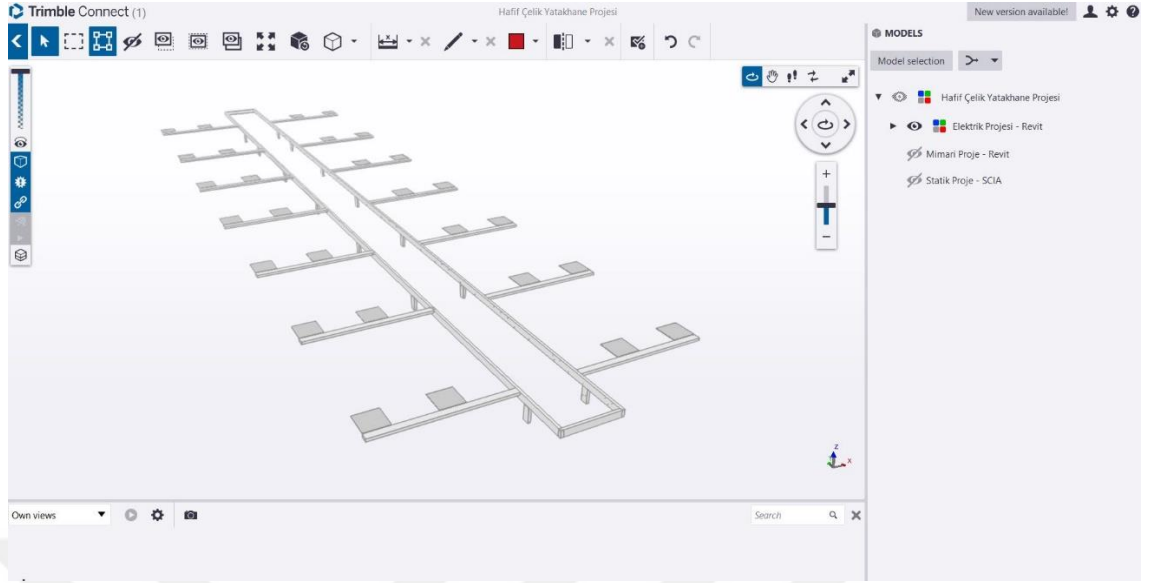
Şekil 3.19. BIMobject'ten Alınan Örnek Tasarım Grupları



Şekil 3.20. Mimari Model



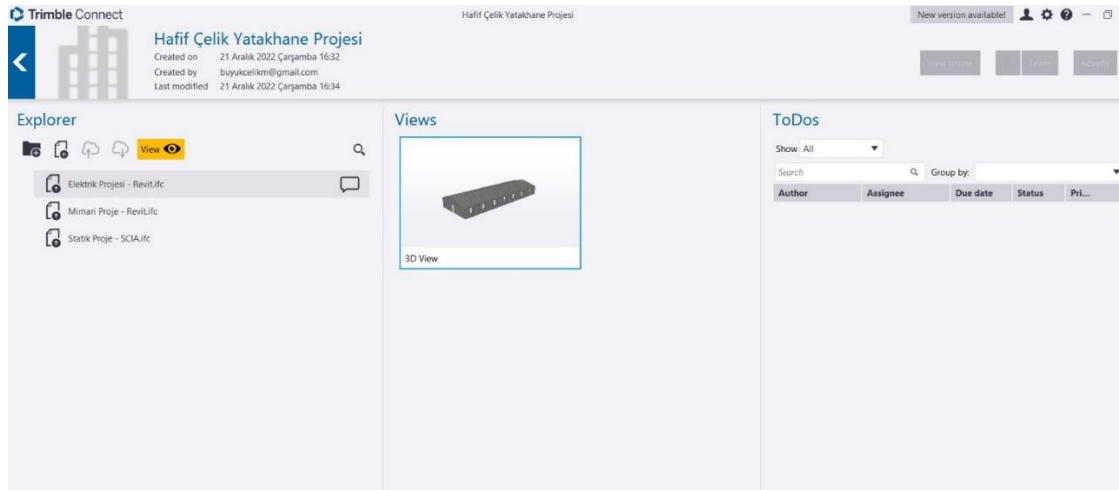
Şekil 3.21. Mimari Modelden Metraj Elde Etme



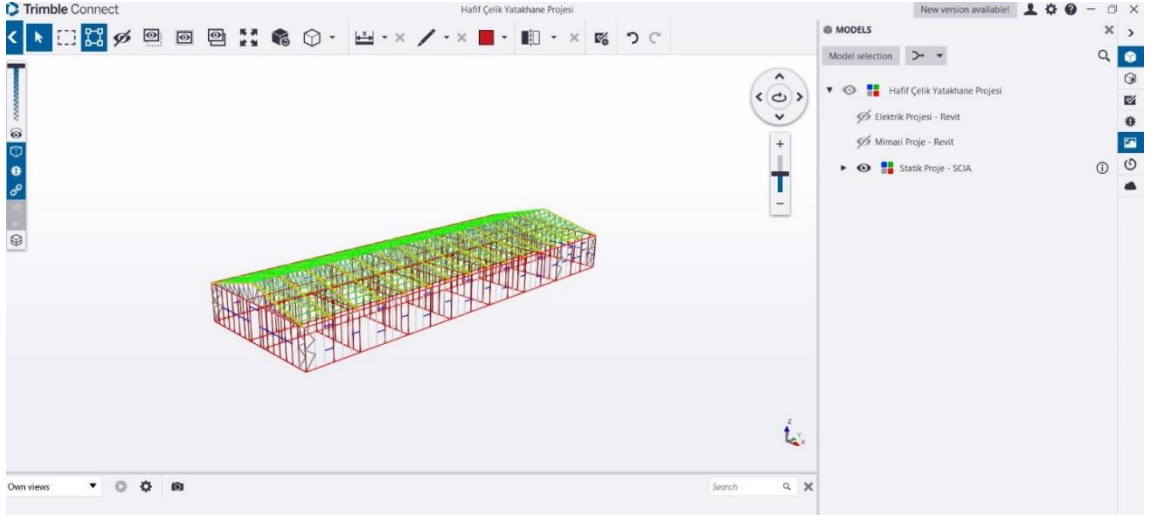
Şekil 3.22. Elektrik Projesi

3.5.4. 3B Koordinasyon ve Tasarım Onaylama

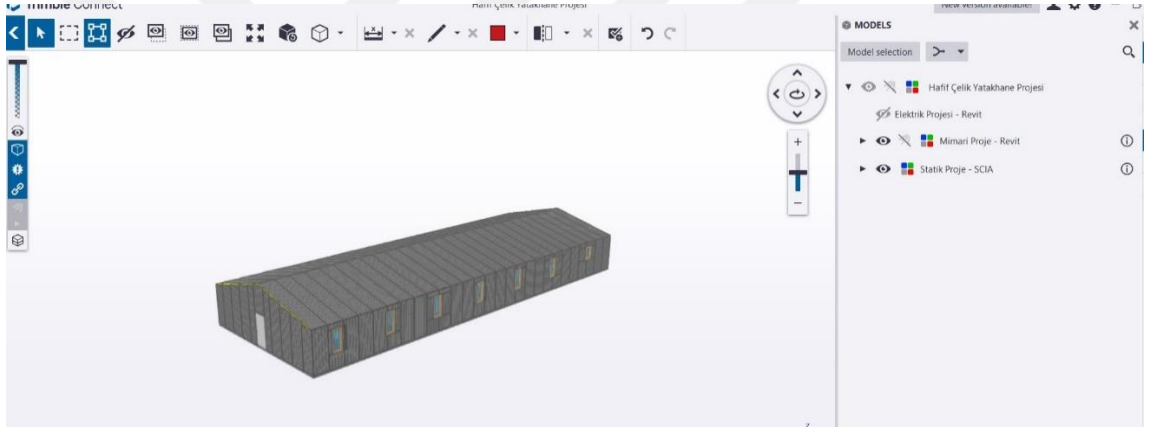
3B koordinasyon için Trimble Connect yazılımı tercih edilmiştir. Revit, SCIA ve Tekla'da hazırlanan tüm dosyalardan IFC uzantılı çıktılar alınarak tek bir modelde birleştirilmiştir. Üretime hazır çıktılar alınana kadar yapılan revizyon takipleri ve tasarım onaylama süreci bu model üzerinden yapılmıştır.



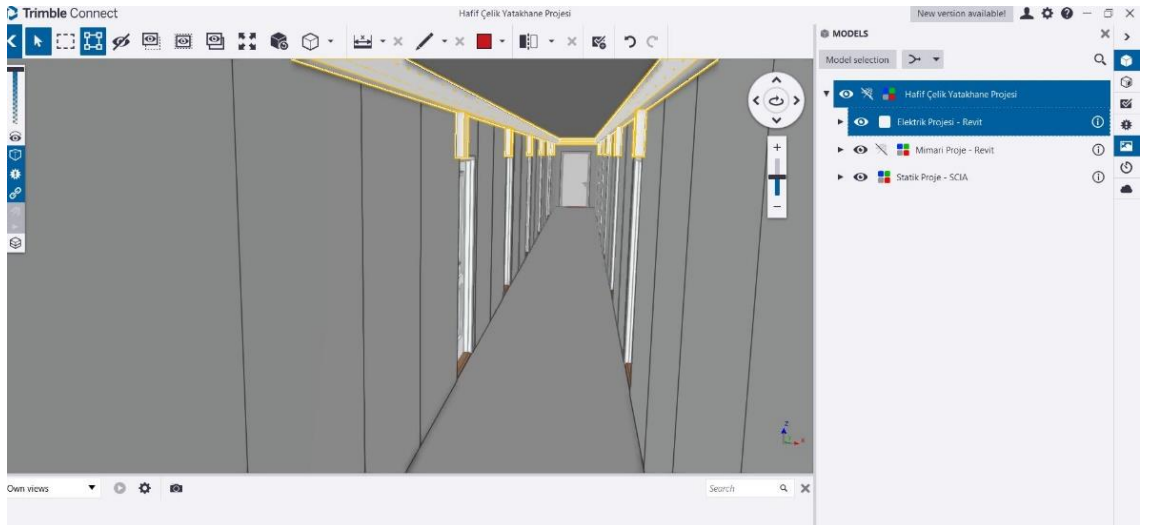
Şekil 3.23. 3B Koordinasyon için Modellerin Eklenmesi



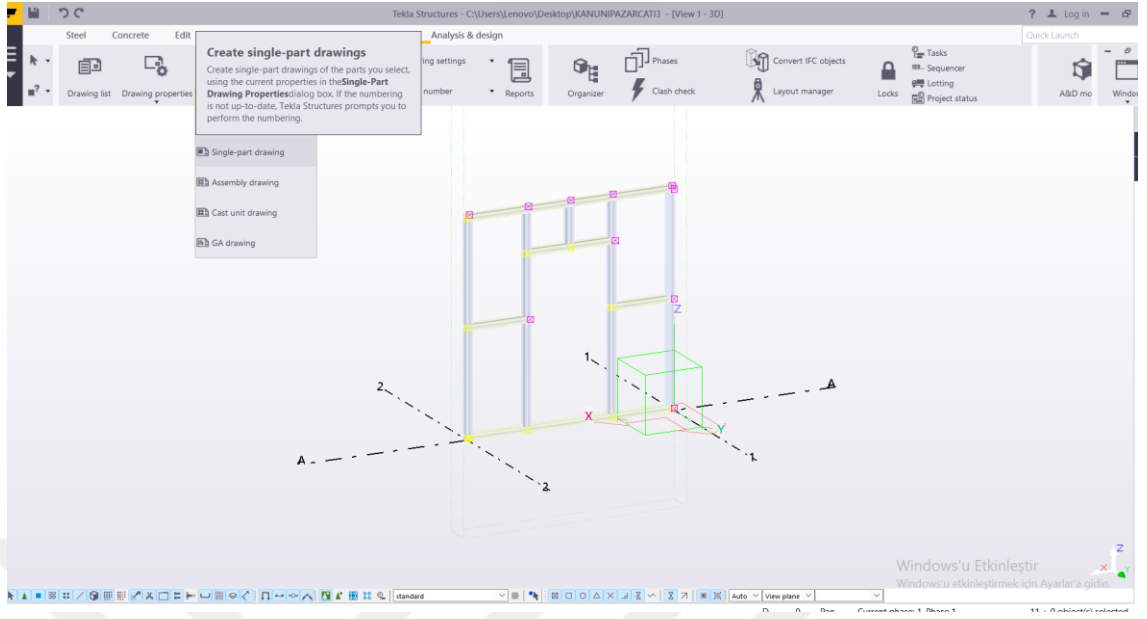
Şekil 3.24. 3B Koordinasyon Çelik Modeli



Şekil 3.25. 3B Koordinasyon Mimari Model



Şekil 3.26. 3B Koordinasyon Elektrik Modeli



Şekil 3.29. Kapılı Hafif Çelik Panel

Drawing List

Enter search criteria: Search in Search Search within the currently visible drawings

Filter select drawing set: Single-part drawings Remove

Issue	Lock	Freeze	Master	Up to...	Changes	Created	Modified	Revis...	Size	Type	Mark	Name	Title 1	Title 2	Title 3	Locke...	Approved By:	Date Ap
21.12.20...						21.12.20...	21.12.20...		287* 200	W	[C1]	STANDARD						
21.12.20...						21.12.20...	21.12.20...		287* 200	W	[C2]	STANDARD						
21.12.20...						21.12.20...	21.12.20...		287* 200	W	[U1]	STANDARD						
21.12.20...						21.12.20...	21.12.20...		287* 200	W	[U2]	STANDARD						
21.12.20...						21.12.20...	21.12.20...		287* 200	W	[U3]	STANDARD						

Filter: Show all Invert Selected Up to date

Model: Select objects By parts

Lock: On Off

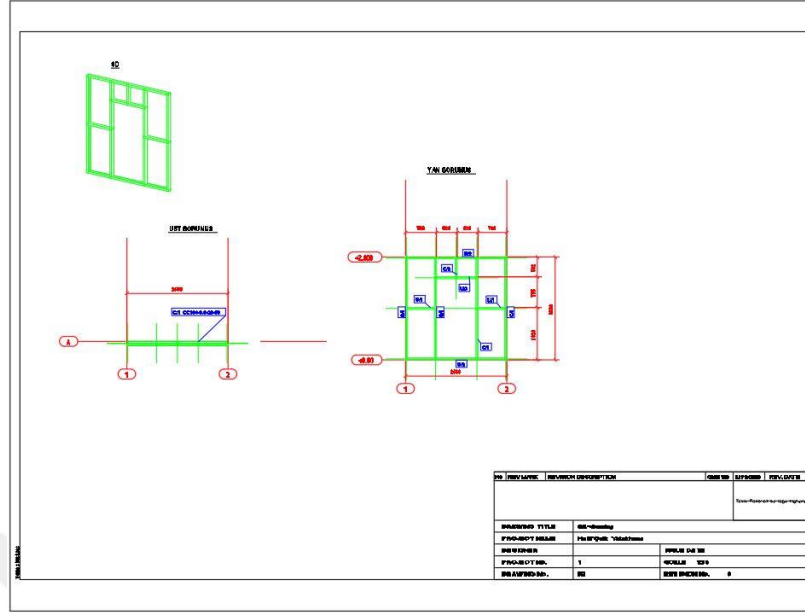
Freeze: On Off

Issue: On Off

Revision: Revision...

Open Update Clone... Delete Snapshots 5 drawings found, 0 selected Cancel

Şekil 3.30. Panel Elemanları İçin Eleman İmalat Çizimleri



Şekil 3.31. Kapılı Panel İmalat Çizimi

Yapı boyu kısa olduğu ve yapıdaki toplam çelik ağırlığı görece az olduğu için hafif çelik profillerde abkant pres büküm kullanılmıştır. Profiller bir araya getirilip hafif çelik paneller oluşturulmuştur. Profilden profile pul başlı matkap uçlu vidalar kullanılmıştır.



Şekil 3.32. Giyotin Makas ile Yaprak Sac Ebatlanması



Şekil 3.33. Abgant Pres ile Malzeme Bükümü



Şekil 3.34. Bükülmüş U ve C Profiller



Şekil 3.35. Boylara Göre ve Montaja Göre Hazırlanmış Profiller



Şekil 3.36. Hafif Çelik Panel İmalatı



Şekil 3.37. Hafif Çelik Duvar Panelleri



Şekil 3.38. Hafif Çelik Çatı Makası

3.5.6. Çelik Karkas Kurulumu

Çelik karkas panel sistem olarak fabrikada imal edilmiştir. Hafif çelik paneller sahada bir araya getirilmiştir. Sahada herhangi bir karkas imalatı olmamıştır. Montajda teknik ekibe 1 adet vinç yardımcı olmuştur. Çelik karkasın kurulumu 2 gün sürmüştür.

Kurulumun ilk adımında terazide, gerekli donatıları yerleştirilmiş ve prizini almış bir betonarme temelin hazır olmalıdır.

Hafif elik kurulumu duvar panellerinin montajıyla başlamaktadır. Yapının zemine sabitlenmesi gerekli uzunluktaki beton vidaları ve kimyasal dübellerle sağlanmıştır.

Duvar panelleri bittikten sonra vinç yardımıyla hafif elik makaslar duvar panellerine sabitlenmiştir. Ardından hafif elik aşıkların makasa sabitlenmesiyle hafif elik sistem kurulumu tamamlanmıştır.



şekil 3.39. İlk Kurulan Hafif elik Duvar Panelleri - 1



şekil 3.40. Hafif elik Duvar Panelleri - 2



Şekil 3.41. Montajı Tamamlanmış Hafif Çelik Duvar Panelleri



Şekil 3.42. Hafif Çelik Çatı Makaslarının Hazırlanması



Şekil 3.43. Hafif Çelik Çatı Makas Montajı - 1



Şekil 3.44. Hafif Çelik Çatı Makas Montajı - 2



Şekil 3.45. Hafif Çelik Çatı Makas Montajı – 3

3.5.7. Saha Kurulumu ve Yapı Teslimi

Çelik karkas kurulumunun tamamlanmasıyla çatı kaplamasının montajı inşaat işleri başladı. İçte fibercement dışta yalıtım trapez sac kaplamasıyla tüm duvarlar kaplandı.

Duvarların kaplanmasıyla PVC Lambiri tavan kaplandı. Böylece kurduvar sistemi tamamen montajlanmış oldu. Son adımda elektrik tesisatının çekilmesi, kapı ve pencerelerin montajıyla yapı tamamlanmıştır.



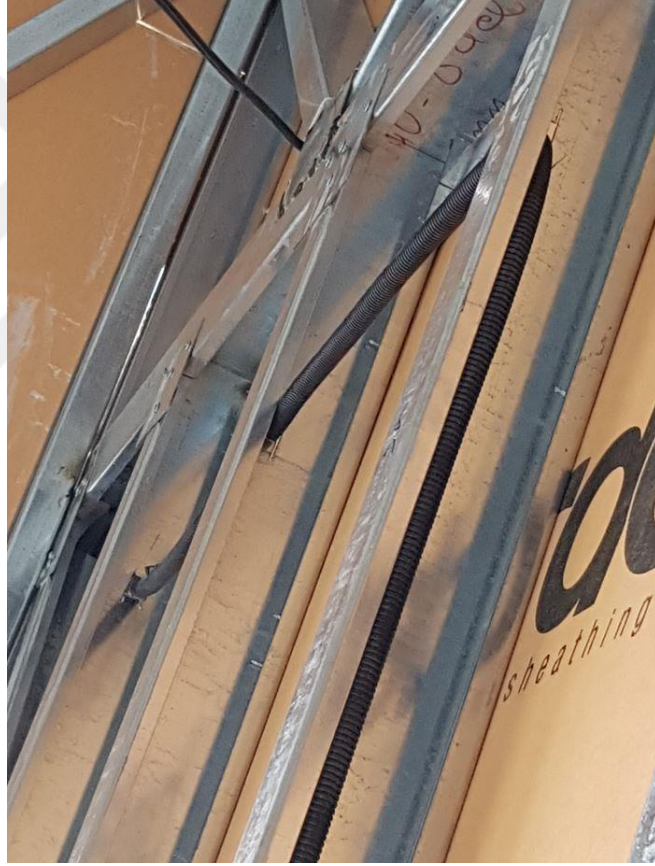
Şekil 3.46. Çatı ve Kurduvar Kaplamalarının Kaplama - 1



Şekil 3.47. Kurduvar Kaplama



Şekil 3.48. Çatı ve Kuruduvar Kaplama - 2



Şekil 3.49. Elektrik Tesisat Çekimi - 1



Şekil 3.50. İç ve Dış Kapı Montajı



Şekil 3.51. Pencere Montajı

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma ve Bulgular

Çalışmadan elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- İnşaat fazından sonraki yapı kullanım fazında projeden projeye değişmeyecek YBM kullanımı bulunmamaktadır. Bu faza ait kullanımlar tesis kullanıma yönelik özel isteklerdir.
- 3B Koordinasyon projeye dahil olan tüm paydaşlar tarafından kullanılan YBM kullanımıdır.
- Hafif çelik yapı projesinde standart olarak kullanılması beklenen YBM kullanımları çoğunlukla tasarım adımındadır.
- Projeye dahil tüm paydaşların projeden projeye değişmeyen YBM kullanım hedeflerinin öncelik sıralamalarında en düşük öncelikte (3) YBM kullanımı yoktur.
- Alternatif yöntemlerle kıyaslandığında hafif çelik yapı projesine dahil olan yüklenici sayısının az olması YBM yürütme planının kolaylaşmasına dolayısıyla YBM kullanımının benimsenmesine yardımcı olmaktadır.
- YBM hafif çelik yapı metrajının çıkartılmasını geleneksel yöntemlere göre hızlandırmaktadır.
- Hafif çelik yapılarda elektromekanik sistemlerin kullanım ve montajı geleneksel sistemlere kıyasla daha karmaşık işlemler içermektedir. YBM bu karmaşıklığa etkili çözümler sunmaktadır.

Hafif elik yapılarda inşa ve tasarım kısmına ait bilgilerin standart bilgiler olması beklenmektedir. Yapının kullanım amacı her yapıya özeldir. Dolayısıyla yapının kullanım amacına yönelik YBM kullanımlarının projeden projeye değışmeyecek bilgilerde bulunmaması doğaldır.

Geleneksel betonarme yapım yönteminde kalıp, demir, beton, duvar, çatı, sıva, kuruduvar, boya, mantolama vb. kalemler için ayrı ayrı işçilik grupları projeye dahil olmaktadır. Her bir işçilik grubunu yönetmek ve koordineli biçimde çalışmak da bir o kadar zor olmaktadır. Ayrıca adedi artan uzmanlık gruplarından her birinin YBM kullanımıyla projeye dahil olmasını beklemek entegrasyonu zorlaştıran bir süreçtir. Hafif elik yapı sistemleri için elik karkas ve kuruduvar yüklenicisi toplam işin büyük kısmını üstlenmektedirler. Az sayıda yüklenicinin çok miktarda iş üstelenmesi YBM'ye geçişı kolaylaştırmaktadır.

Elektromekanik sistemler çoğunlukla geleneksel yapılara göre tasarlanmıştır. Bu tasarıma alışkın saha ekibinin hafif elik yapılarda betonarme yerine metal, tek bir delme yerine sık sık delme işlemleri gibi farklılıklara uyum sağlayamamasına ve yüklenicinin doğru malzeme ve ekipmanı tedarik edememesine yol açmaktadır. Sonuç olarak hesaplanan maliyetlerde sapmalar yaşanmaktadır. YBM çözümleri hem yapı-malzeme uyumu hem de doğru fiyatlama için yüklenicilere avantaj sağlamaktadır.

Genel literatürde hem YBM için hem hafif elik yapılar için ayrı ayrı örnek uygulama ve rehber niteliğinde çalışmalar bulunmaktadır. Fakat YBM kullanılan hafif elik yapı projeleri için örnek bir uygulama üzerinden inceleme açısından mevcut boşluğun doldurulmasında bu çalışma bir iltir. Ayrıca literatür çalışmasında da belirtildiğı üzere ülkemizde YBM'nin kullanıldığı örnek hafif elik yapı çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışma alanında YBM kullanılan ilk hafif elik yapı çalışmasıdır.

Hafif çeliğe ait tasarım gruplarının oluşturulması sırasında literatürde çalışmasında bahsedilen hazır tasarım gruplarının eksikliğine rastlanılmıştır. Özellikle konstrüktif detayların modellenmesi konusunda ciddi eksikliklere tespit edilmiştir. Projeye özel tekrar tekrar modellenen detaylar hem proje süresini uzatmaka hem de yönetmeliğe uygunluk ve kalite kontrol konularında zaafiyet oluşturmaktadır.

4.2. Sonuçlar ve neriler

Bu çalışmada yapı bilgi modelleme konseptinin hafif elik yapılarda kullanılabilirliğine ilişkin genel tanımlar ve zet bilgiler sunulmuştur. YBM'yi standart bir hafif elik projesinde uygulamak için bilinmesi gereken kavramlar ve projeden projeye değişmeyecek bilgiler için referans bilgiler hazırlanmıştır. Nasıl uygulandığına dair hem tasarım hem uygulama bölümlerini içeren bir örnek bir uygulama yapılmıştır. Çalışmanın YBM kullanılması planlanan hafif elik yapı projeleri için yol gösterici çalışma olması, bundan sonraki akademik çalışmalar için uygulamaya yönelik araştırmalara önayak olması beklenmektedir.

Yapı bilgi modellemesinin inşaat projelerinin tasarımdan teslim hatta kullanım aşamalarında birçok verimsizliği önlediği açıktır. Çalışmada da gösterildiği gibi hafif elik yapı projelerinde tasarım hatalarından dolayı iş tekrarlarının, saha ekibinin kurulum sırasında yaşayabileceği sorunların, hedeflenen ve gerçekleşen btce arasında farklılığın engellenmesinde YBM son derece verimli bir araçtır. Söz konusu verimsizlikler farklı YBM kullanımlarıyla çözülebildiği için verimsizliklere yönelik YBM kullanımı araştırmaları konunu daha sağlıklı ele alınmasına yardımcı olacaktır.

YBM modellemesi hafif elik yapılardaki sorunları azaltmakla birlikte 3B koordinasyon ve daha birçok görselleştirme aracıyla proje için katma değer oluşturmaktadır. Özellikle geleneksel yapım yöntemlerinin hafif elik yapım yöntemiyle kıyaslanmasında yapım süresi, kusursuz imalata yakınlık, lojistik avantajı, evrecilik vb. gibi avantajlar daha çok ticari olan 3B model ile elde edilen değerle talandırıldığında hafif elik yapım yönteminin alternatif yöntemlere olan üstünlüğünü daha da belirginleşmektedir. Söz konusu katma değerin rasyonel şekilde araştırılması ve bu değer elde etme yöntemlerinin kolaylaştırılması konusunda çalışmalar yapılmalıdır.

Konstrüktif detaylar hafif elik yapılar için son derece kritik bir konudur. Özellikle hafif elik kesitli elemanların tüm dünyada standart kesitli olmaması saha montajlarını standartlaştırmaktan uzaklaştırmaktadır. Kaplama malzemeleri tarafından karşılanan kesme kuvvetlerinin hesaba katılabilmesi de bu detayların önemini arttırmaktadır. YBM modellemesi tasarım aşamasında planlanan montaj kurgusunun en iyi şekilde saha ekiplerine aktarılabilmesi için birçok kolaylaştırıcı unsurun kullanılmasına olanak

sağlamaktadır. İmalat çizimlerinde YBM otomasyonlarına yönelik araştırmalar bu kullanımların yaygınlaşmasına öncülük etmelidir.

Herhangi bir yapı için hafif çelik yapım yönteminin tercih edilme nedenlerinden biri de ekonomikliktir. Hafif çelik yapılar doğası gereği önüretim yöntemleriyle son derece iç içedir. Dolayısıyla fabrikada üretim avantajı, malzeme davranışı kadar maliyetlerinin de öngörülebilmesine olanak sağlamaktadır. Herhangi bir projenin yaklaşık maliyetinin hesaplanması için fabrikasyon üretimin sağladığı standartlığı YBM otomasyonlarıyla birleştirerek daha hızlı ve daha kesin yaklaşık maliyetler sunmak hafif çelik yapım yöntemini alternatiflerinden bir adım öne çıkaracaktır.

YBM yapının proje adımından yıkım adımına kadar uzanan, yapıya ömrü boyunca hitap eden bir konsepttir. Teknolojinin hızla gelişmesi ve YBM'nin henüz yeni bir konsept sayılması standart kullanımlar hazırlamak için birtakım zorluklar oluşturmaktadır. YBM'yi güncel olarak ele almak ve gelecekteki kullanımlar için de geçerli olabilecek veriler hazırlamak projenin kısıtlarındandır.

Bir diğer kısıt ise hafif çelik yapı projeleri içinde YBM kullanımı için yalnız inşaat adımına odaklanmaktır. YBM kullanımlarından da anlaşılabilceği üzere yalnız tasarım ve inşaat işleri için faydalı değildir. İnşaat sonrası yapı kullanım adımlarında da büyük kolaylıklar sunmaktadır. Projeden projeye değişmeyen veriler için inşa sonrası yapı kullanımını dışarıda tutmak hafif çelik yapıların YBM'den tam olarak faydalanamamasına sebep olmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abu-Hamd, M. 2015. Implementation of BIM into cold-formed steel residential buildings. WIT Transactions on the Built Environment.
- Accasoftware 2022, usBIM facility management, <https://www.accasoftware-.com/en/bim-facility-management-software>, Erişim: 23.10.2022
- Akkoyunlu, T. 2015, Ekim. Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı Önerisi.
- Amber P. "Autodesk announces Ecotect Analysis 2010 and free Guide to Sustainable Design" 01 May 2009. ArchDaily. Accessed 26 Nov 2022. <https://www.archdaily.com/21168/autodesk-announces-ecotect-analysis-2010-and-free-guide-to-sustainable-design> ISSN 0719-8884
- American Iron and Steel Institute: North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, AISI S100-2007, Washington, DC, fish.
- Barrett, S. A. , Spillane, J. P. , & Lim, J. B. P. 2013. Early Implementation of Building Information Modeling into a Cold-Formed Steel Company: Providing Novel Project Management Techniques and Solutions to Industry. **American Journal of Civil Engineering and Architecture**, 1(6), 164-173.
- BCA (Building and Construction Authority) 2013. Singapore BIM Guide: Version 2, Singapore, https://www.corenet.gov.sg/media/586132/Singapore-BIM-Guide_V2.pdf, Erişim: 10.11.2022.
- Bensalah, M., Elouadi, A. & Mharzi, H. 2017. “Optimization of Cost of a Tram through the Integration of BIM: A Theoretical Analysis”, **International Journal of Mechanical and Production Engineering (IJMPE)**, Vol. 5, No. 11, pp. 138-142.
- BIMCommunity 2017. BIM and Sustainability: An Emphasis on Integrated Approach, <https://www.bimcommunity.com/news/load/499/bim-and-sustainability-an-emphasis-on-integrated-approach>, Erişim Tarihi: 24.10.2022
- BIMCommunity 2019. Elements to consider in 3D BIM coordination, <https://www.bimcommunity.com/news/load/1152/elements-to-consider-in-3d-bim-coordination>, Erişim Tarihi: 24.10.2022

BIMForum 2015. "Level of Development Specifications Version 2015," BIM Forum, Arlington, VA, Oct. 1996; reprinted by the Center for Cold-Formed Steel Structures, Rolla, MO, Oct. 1996.

BIMForum 2021: Level of Development Specification Part 1& Commentary. Available online at <http://bimforum.org/lod/>, last accessed: 08 May 2020

BuildingSMART Australasia 2012. National building information modelling initiative. Volume 1: strategy, buildingSMART, Melbourne.

BuildingSMART Türkiye 2017. <https://www.buildingsmartturkiye.org/hakkinda/-buildingsmart-turkiye>, Erişim Tarihi: 25.11.2021

Buildsteel (SFIA) 2017. BIM for Cold-Formed Steel Framed Projects: Benefits, Drawbacks e-book, <https://buildsteel.org/bim-project-ebook/> (Erişim Tarihi: 06.08.2022)

Cabinet Office 2011, Government Construction Strategy, UK Government Report, Cabinet Office, London, May.

Canadian Sheet Steel Building Institute (CSSBI), <https://cssbi.ca/resources/all> (Erişim Tarihi: 06.10.2022)

CIBER (Center for Interdisciplinary Built Environment Research) 2012. "Research Report – Building Information Modelling (BIM): An Introduction and International Perspectives", The University of Newcastle.

Fischer, M. and Kunz, J., 2003. Impact of information technology on facility engineering. **Leadership and Management in Engineering**, 3(2), pp.100-103.

Green BIM Engineering, Artificial & natural lighting analysis, <https://www.greenbim-eng.com/services/artificial-natural-lighting-analysis/>, Erişim Tarihi: 24.10.2022

ISO, International Organizations for Standardization. 2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries (Standard No. 16739-10:2018)

Johnson, Adam; Ramirez, Roni; and Yu, Cheng, "Advancing BIM for Cold-Formed Steel Structures" 2016. CCFSS Proceedings of International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures (1971 - 2018). 5. <https://scholarsmine.mst.edu/isccss/23iccfss/session5/5>

- Khemlani, L. 2012. ‘‘Around the World with BIM, AECbytes’’, www.aecbytes.com/feature/2012/Global-BIM.html, Erişim: 23.10.2022
- Khosakitchalert C., Nobuyoshi Yabuki, Tomohiro Fukuda 2020. Development of BIMbased quantity takeoff for light-gauge steel wall framing systems. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, Vol. 25, pg. 522-544
- Khosrowshahi, F. and Arayici, Y. 2012 ‘‘Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry,’’ **Engineering, Construction and Architectural Management**, 19(6), pp. 610–635.
- Klaschka, R. 2014. Bim in small practices illustrated case studies. NBS.
- Latiffi, A.A., Brahim, J., Mohd, S. and Fathi, M.S., 2015. Building Information Modeling (BIM): Exploring Level of Development (LOD) in Construction Projects. **Applied Mechanics and Materials**, 773, p.933.
- Leicht, R.M. and Messner, J.I., 2007. June. Comparing traditional schematic design documentation to a schematic building information model. In Bringing ITCKnowledge to Work: 2Proceedings of the 24th W78 Conference, Maribor (Vol. 2007). sn.
- Leite, F., Akcamete, A., Akinci, B., Atasoy, G. and Kiziltas, S., 2011. Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. **Automation in Construction**, 20(5), pp.601-609.
- Liu, H., G. Singh, M. Lu, A. Bouferguene, M. Al-Hussein, BIM-based automated design and planning for boarding of light-frame residential buildings, **Autom. ConStruct.** 89 (2018) 235–249.
- McKinsey Global Institute 2017. Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity
- Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., and Zikic, N. 2019. BIM Project Execution Planning Guide, Version 2.2. Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, August, Available at <http://bim.psu.edu>.
- Monarchinnovation 2021, Different Level of Development (LOD) in BIM, <https://www.monarch-innovation.com/bim-level-of-development-lod-300-350-400-500/>, Erişim Tarihi: 25.11.2022

National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance®, National BIM Standard – United States® Version 3 (2015).

Öncü, S. 2010. Hafif Çelik Yapıların Tasarımı ve Deprem Riski Düşük Bölgelerde Orta Yükseklikteki Binalarda Uygulanabilirliği (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.)
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/> adresinden edinilmiştir.

Özorhon, B. 2018. BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) (1. Baskı). Abaküs Kitapevi.

Pekoz, T. 1999. Possible future developments in the design and application of cold-formed steel. Keynote lecture, “ICSAS’99”, 4th Int. Conf. Light-weight Steel and Aluminium Structures. 20–23 June, Espoo, Finland.

Project Management Institute. 2021. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Newtown Square, Pa: Project Management Institute

Rashidi, A., Yong, W. Y., Maxwell, D., & Fang, Y. 2022. Construction planning through 4D BIM-based virtual reality for light steel framing building projects. In Smart and Sustainable Built Environment. Emerald.

Rhodes, J., and R.M. Lawson, Design of Structures Using Cold-Formed Steel Sections, SCI, 1992

Robinson, G. 2019. Global construction market to grow \$8 trillion by 2030: driven by China, US and India. **http://www.cvf.or.kr/uploads/bestpractice/-GC2030_Press_Release.pdf**, Erişim Tarihi: 25.11.2022

Scia Engineer 2022, Scia Engineer Proves To Be Ready To Support Cold Formed Steel In Bim, **<https://www.scia.net/en/company/news/scia-engineer-proves-be-ready-support-cold-formed-steel-bim>**, Erişim tarihi: 22.10.2021

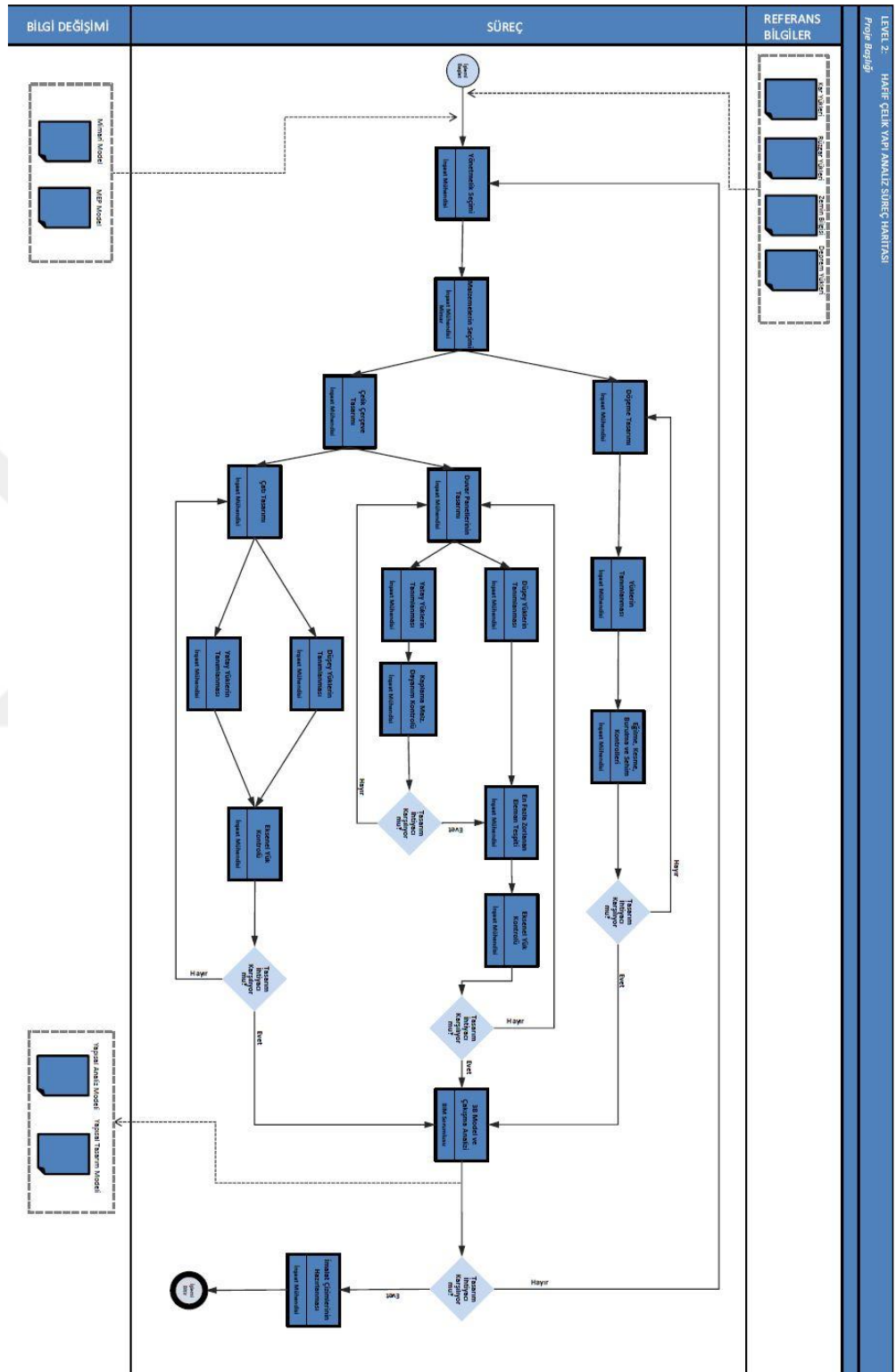
Serdari, S. 2016, How 4D BIM is helping for Site Utilization Planning, **<https://www.linkedin.com/pulse/how-4d-bim-helping-site-utilization-planning-saeed-sardari/>**, Erişim Tarihi: 25.11.2022

Shekhar, R. K.. Academic Dictionary of Architecture. Delhi: Isha Books, 2005. 69. Print.

Staub-French, S. and Khanzode, A., 2007. 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 12(26), pp.381-407. Steel Framing Alliance

- (SFA), Steel Framing Case Studies, <https://www.steel-framing-alliance.com/steel-framing-case-studies> (Erişim Tarihi: 06.10.2022)
- Steel Framing Industry Association (SFIA) Case Studies, <https://www.cfsteel.org/case-studies> (Erişim Tarihi: 06.10.2022)
- TBDY-2019, Türkiye Bina Deprem Ynetmeliği, 2019
- Teicholz, P., Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies, AECbytes Viewpoint #4, 2004.
- Terim, b., 2006. Hafif elik ereve Sistem, Ege Mimarlık dergisi, Sayı: 56, (Ocak 2006) sayfa: 44-47, İzmİr Mimarlar Odası Yayını, İzmİr.
- Tezel, A., Taggart, M., Koskela, L., Tzortzopoulos, P., Hanahoe, J., & Kelly, M. 2020. Lean Construction and BIM in small and medium-sized enterprises (smes) in construction: A systematic literature review. **Canadian Journal of Civil Engineering**, 47(2), 186–201.
- TheB1M 2016, What is 4D BIM? <https://www.theb1m.com/video/what-is-4d-bim>, Erişim Tarihi: 24.10.2022
- Van Berlo, L.A.H.M. and Bomhof, F., 2014. Creating the Dutch national BIM levels of development. In Computing in Civil and Building Engineering (2014) (pp. 129-136).
- Winfield M. & Rock S. 2018. The Winfield Rock Report: Overcoming The Legal And Contractual Barriers Of Bim. Retrived 12 December, 2019, from: <https://www.maber.co.uk/app/uploads/2018/03/The-Winfield-Rock-Report.pdf>
- World Economic Forum, Shaping the Future of Construction A Breakthrough in Mindset and Technology, 2016.
- Yu, Wei-wen; Welford, Don S.; and Johnson, Albert L., "Golden Anniversary of the AISI Specification" 1996. International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures
- Yu, W.-W., LaBoube, R. A., & Chen, H. 2020. Cold-formed Steel Design (Fifth Edition). John Wiley & Sons, Inc.

EKLER



Dosyanın PDF'si için https://drive.google.com/file/d/1R6BtqsIDx1rbK1UyfPzauqD-4v576Aw1/view?usp=share_link

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Mehmet Büyükçelik

Eğitim Durumu

- Lise: Sami 2013, Yangın Anadolu Lisesi
- Lisans: 2018, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- Yüksek Lisans: 2023, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği ABD

Bildiği Yabancı Diller:

- İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri:

- BIM Processes for Light Steel Construction, Paper ID: 93
6th International Project and Construction Management Conference (IPCMC2020), İstanbul, Türkiye, 12 - 14 Kasım 2020
- Kayseri'deki Yeşil Binaların Tasarımı ve Geliştirilmesine Yönelik Alan Çalışması
Uluslararası Mühendislik Tasarım ve Teknoloji Dergisi, cilt.2, no.1, ss.10-23, 2020

İş Deneyimi

Stajlar:

- 2015, YDA İNŞ. SAN. TİC. A.Ş., Kayseri
- 2015, ÖZ-KA İNŞAAT MÜHENDİSLİK MİMARLIK TURİZM SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ., Kayseri
- 2018, GEDES MÜHENDİSLİK LTD. ŞTİ., Ankara

Çalıştığı Kurumlar:

- 04/2018-11/2018, CENTERRA GOLD Inc. / ÖKSÜT MADENCİLİK Sanayi ve Ticaret AŞ, Kayseri
- 11/2018-Devam Ediyor, BÜYÜKÇELİK MÜHENDİSLİK, Kayseri

İletişim

E-Posta Adresi: buyukcelikm@gmail.com