

YAPI BİLGİ MODELLEME

ULUSLARARASI HAKEMLİ AKADEMİK DERGİ

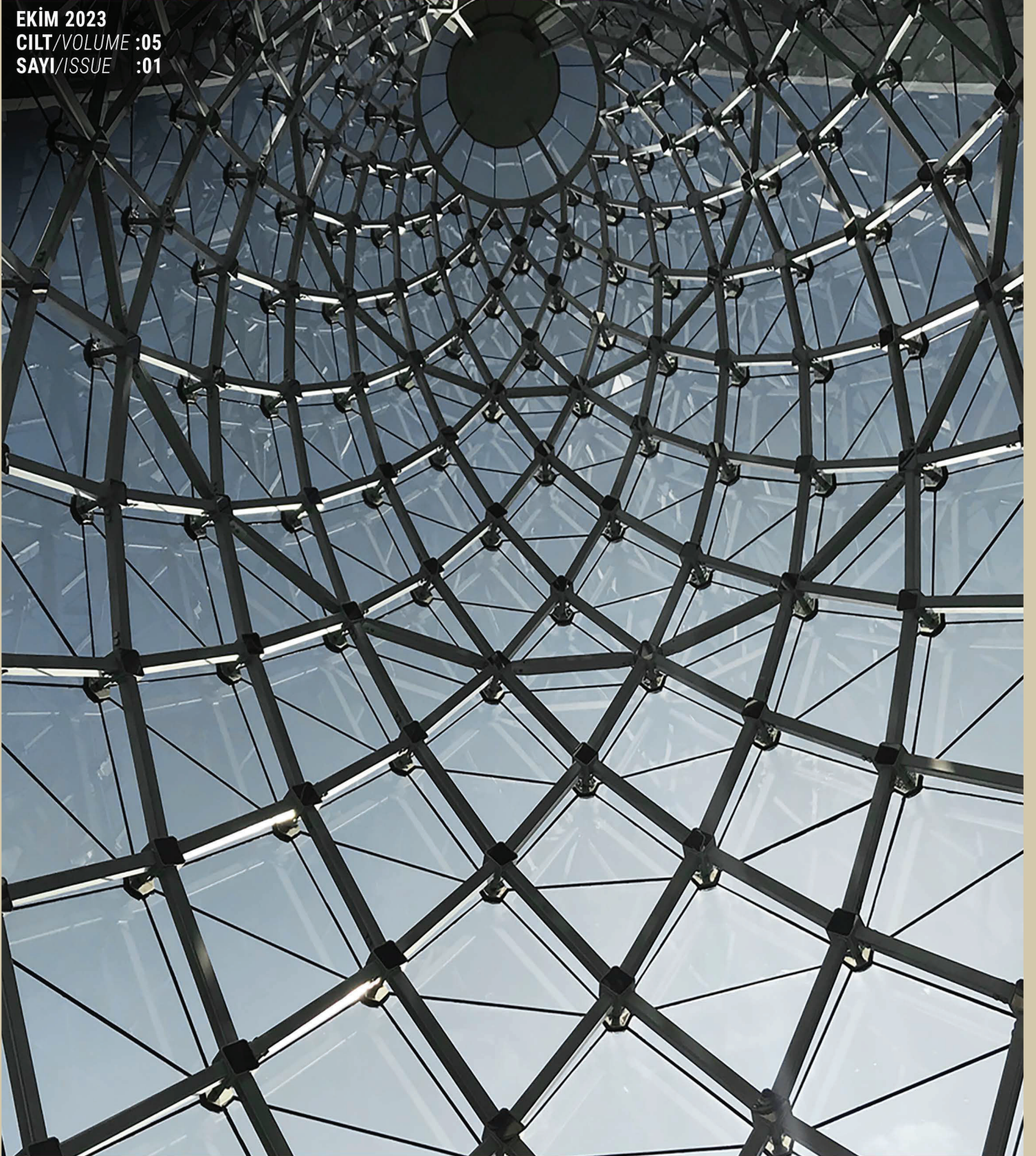


MİMAR SİNAN
GÜZEL SANATLAR
ÜNİVERSİTESİ

EKİM 2023

CİLT/VOLUME :05

SAYI/ISSUE :01



İçindekiler

Editörden...

Metro İstasyonlarında Sürdürülebilir Tesis Yönetimi: BIM Destekli Dijital İkiz Uygulamaları <i>Emre AKDENİZ, Salih OFLUOĞLU</i>	1
Yapı Malzemelerinin Gömülü Karbon Miktarına Etkisi: Örnek Bir Yapı Üzerinden İnceleme <i>Betül KÖKSAL</i>	14
İç Mekanlarda Biyomorfik Yaklaşımlarla Parametrik Tasarım <i>Ebra SUYABATMAZ, İldem AYTAR SEVER</i>	26
Elektro-Mekanik (MEP) Servislerinin Koordinasyonunun Mimari Proje İle İlişkili Yürütülmesi <i>Büşra GÜNAY, Salih OFLUOĞLU</i>	39

Editörden...

Sizlerle Yapı Bilgi Modelleme dergimizin bu sayısını paylaşmanın büyük heyecanı içerisindeyiz. Dergimiz hakemli bilimsel dergi statüsü ile yayınlanmaktadır.

Dergimizde bir yapının ön tasarımından yıkım aşamasına kadar uzanan yaşam döngüsü boyunca gerçekleşen tüm süreçlerde etkin bilgi paylaşımı ve yönetimi sağlamak amacı ile geliştirilen, yapının 3B sayısal ikizi olarak tanımlanan Yapı Bilgi Modeli'nin oluşturulduğu ve Yapı Yaşam Döngüsüne ait farklı tasarım, analiz, hesaplama ve uygulamaların bu model üzerinden gerçekleştirildiği bir yaklaşım olan "Yapı Bilgi Modelleme" yaklaşımı ekseninde yer alan bilimsel araştırmaları yayınlamayı amaçlıyoruz. Bununla birlikte Bu yaklaşım ile yakın ilişki içerisinde olan bilgi sistemleri Yapı Bilgi Modelleme Sistemleri ve Coğrafi Bilgi Sistemlerini odak alanlarımız olarak görüyoruz.

Bu bağlamda dergimizde, sadece mikro (yapı) ve Mimari Enformatik odaklanması ile değil (makro) kent ölçeğinde yer alan, Akıllı Şehir ve Akıllı Yapılı Çevre konularını da kapsayan, Kentsel Enformatik odaklı çalışmalara da yer verme ilkesini benimsiyoruz. Böylece gerek mikro gerek ise makro seviyede bütünlük bir veri ve bilgi yönetiminin sağlayacağı imkânları siz okuyucularımız ile buluşturma şansını kolaylayacağımıza inanıyoruz.

Her ne kadar ismi Yapı Bilgi Modelleme olsa dahi Mimari ve Kentsel Enformatik alanlarında geniş bir bilgi alanını kapsamına alan dergimizin ülkemiz akademik ve bilimsel hayatına katkı sağlamasını umut ediyorum. Bu bağlamda dergimizin, ülkemize, akademik ve bilimsel camiaya hayırlı olmasını diliyor, gelecek sayılarımızda sizlerin de makalelerini yayınlamak dileği ile saygılarımı sunuyorum.

Prof.Dr.Ümit IŞIKDAĞ

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
Enformatik Bölümü

YAPI BİLGİ MODELLEME

Uluslararası Hakemli Akademik Dergi

Ekim 2023
Cilt : 05- Sayı : 01
ISSN 2687-4660

Sahibi

Prof. Dr. Ümit Işıkdag

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Prof. Dr. Ümit Işıkdag

Editörler

Prof. Dr. Ümit Işıkdag

Yardımcı Editör

Doç. Dr. Bülent Onur Turan

Editörler Kurulu

Prof. Dr. Ümit Işıkdag

Doç.Dr. Bülent Onur Turan

Doç.Dr. Seher Başlık

Dr. Öğr. Üyesi Doç.Nazım Ziya Perdahçı

Dr. Öğr. Gör. Sertaç Karsan Erbaş

Yayın Kurulu

Prof. Dr. Ümit Işıkdag

Doç.Dr. Bülent Onur Turan

Dr. Öğr. Gör. Kemal Şahin

Dr. Öğr. Gör. Salih Akkemik

Dr. Öğr. Gör. Sertaç Karsan Erbaş

Hakem Kurulu

Prof. Dr. Salih Ofluoglu

Prof. Dr. Burçin Arabacıoğlu

Prof. Dr. Ümit Işıkdag

Doç.Dr. Bülent Onur Turan

Doç.Dr. Seher Başlık

Doç. Dr. Çetin Tüker

Doç. Dr. Derya Güleç Özer

Doç. Dr. Ozan Özener

Doç. Dr. Levent Arıdag

Dr. Öğr. Üyesi Doç.Nazım Ziya Perdahçı

Dr. Öğr. Üyesi Belinda Torus

Dr. Öğr. Üyesi Türkan İrgin Uzun

Dr. Öğr. Üye. Suzan Girginkaya Akdag

Dr. Öğr. Üye. Tigin Töre

Dr. Öğr. Gör. Kemal Şahin

Kurumsal Kimlik Sorumlusu:

Dr. Öğr. Gör. Salih Akkemik

Dergi Asistanı/Dergi Sekreteri:

Yeşim Sur

Dergi Yayın Koordinatörü:

Doç. Dr. Bülent Onur Turan

Hukuk Kurulu:

MSGSÜ Hukuk Müşavirliği

İngilizce Dil Editörü:

Prof. Dr. Ümit Işıkdag

Görsel Tasarım Sorumlusu:

Dr. Öğr. Gör. Kemal Şahin

İletişim

ADRES: MSGSÜ Enformatik Bölümü

MSGSÜ Bomonti Kampüsü - 6.Kat - Sağ Blok

Cumhuriyet Mh. Silahşör Cd. No: 89

Bomonti - Şişli / İstanbul

TELEFON : 0212 246 00 11 - 6100

E-POSTA : enformatik@msgsu.edu.tr

METRO İSTASYONLARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR TESİS YÖNETİMİ: BIM DESTEKLİ DİJİTAL İKİZ UYGULAMALARI

Emre AKDENİZ (ORCID: 0000-0002-7307-951X)^{1*}, Salih OFLUOĞLU (ORCID: 0000-0002-3185-8275)²

¹.Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü

².Antalya Bilim Üniversitesi, Mimarlık Bölümü

e-posta: 20202109004@ogr.msgsu.edu.tr, salih.ofluoglu@antalya.edu.tr

ÖZET

Bu makale, metro istasyonu yapılarında, sürdürülebilirlik odaklı tesis yönetimi (TY) üzerine yoğunlaşmaktadır. BIM (Yapı Bilgi Modelleme) destekli dijital ikiz (digital twin) yaklaşımının, sürdürülebilir tesis yönetiminde kullanımı ele alınmıştır. Çalışmada, metro istasyonlarının mimari tipolojisi ve kullanılan elektro-mekanik işletme sistemleri hakkında bilgi verilmiş olup, bu sistemlerin BIM ve tesis yönetimi birlikteliği araştırılmıştır. Buna ek olarak; sürdürülebilirlik bakımından başarılı görülen tesis yönetimi vakalarına yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital İkiz, Sürdürülebilirlik, Tesis Yönetimi, Karbon salımı, Raylı sistemler, Metro Yapıları

ABSTRACT

This article focuses on sustainability in facilities management in metro station buildings. The contributions of BIM (Building Information Modeling) supported digital twin approach to sustainable facility management was investigated. In the study, information about the architectural building typology of metro stations and the supporting electro-mechanical operating systems used are examined, and the interoperability of these systems with BIM and facility management is proposed. In addition, relevant facility management cases from the various sources in terms of sustainability were included.

Keywords : Digital Twin, Sustainability, Facility Management, Carbon Emission, Railway Systems, Metro Stations

1. GİRİŞ

Gelişen şehir yapısında, kent içi ulaşımında metroların tercih edilmesi, şehir sakinlerine zaman ve hız kazandırması sebebiyle önemlidir. Kentin

büyüklüğüne göre, metro sistemindeki hatların ve istasyonların sayısı artış gösterebilmektedir. Metro ile yolcu taşınması, karayolu ve deniz hatları trafiğinin hafifletilmesine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca fosil yakıt ile çalışan kara ve denizyolu taşıtlarının daha az tercih edilmesi yakıt tüketiminin düşmesini ve egzoz gazlarının atmosfer üzerindeki olumsuz etkilerinin azalmasını sağlamaktadır. Bu yönüyle metro sistemi, kent için sürdürülebilirlik açısından önemli bir değerdir.

Metro istasyonlarında, bir kısmı tüm hattın araç trafiğini sağlayan sinyalizasyon sistemi ile tümleşik çalışan, bazıları ise yalnızca istasyonun elektro-mekanik ve emlak işletmesini sağlayan sistemler bulunmaktadır. Mimarlık ve inşaat faaliyetlerinin yürütülmesi için kullanılan BIM süreci metro istasyonlarının tasarım ve imalat (3D,4D,5D,6D) aşamalarında kullanılmakta ve uygulama sonrasında BIM ile tesis yönetimine (7D) yönelik örnekler de bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. BIM Boyutları (Autodesk, 2022)

Farklı disiplinlerde elektro-mekanik sistem bileşenlerini tek bir merkezde toplayan metro istasyonlarının tasarım kriterlerinden bir tanesi ISO 14001 standardı olan Çevresel Yönetim Sistemi'dir ve yönetilen tesisin sürdürülebilirlik özellikleri sağlama yönünde bazı düzenlemeler getirmektedir (metroistanbul, 2021). Raylı sistem yapılarında, sürdürülebilir tesis yönetimi niteliklerinin artırılabilmesi amacıyla, BIM destekli dijital ikiz yaklaşımının uygulandığı örnekler görülmektedir.

1.1. Sürdürülebilirlik

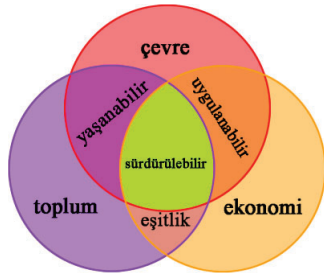
Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün 2014 yılı raporuna göre 2012 yılında dünya üzerinde 7 milyon

insan, hava kirliliği ile ilişkili sebeplerle yaşamını yitirmiştir (KTÜ, 2018). Isınma, motorlu taşıtlar ve sanayi kaynaklı karbon salımına bağlı olarak artan hava kirliliği, insan sağlığına ve ekolojik dengeye zarar vermektedir. Doğal düzenin korunması ve aynı zamanda insan toplumuna ait gereksinimlerin doğa ile uyum içinde sürdürülmesinin sağlanabilmesi amacıyla Birleşmiş Milletler Çevre ve Dünya Gelişim Komisyonu tarafından 1987 yılında uluslararası bir girişim başlatılmıştır. Adını, dönemin Norveç Başbakanı Gro Harlem Brundtland'ın girişimi olması sebebiyle kendisinin soyadından alan Brundtland Raporu ile "sürdürülebilirlik" kavramı ilk kez ortaya atılmış ve uygulanması yönünde kararlar alınmıştır (Brundtland Report, 1987). Almanya, Japonya, Kanada, Zimbabve, Hindistan, Suudi Arabistan, İtalya, Çin ve diğer bazı ülke temsilcileri tarafından kabul edilen rapor; sürdürülebilirlik (sustainability) sözcüğünün sembol haline gelmesini sağlamıştır.

Şekil 2'de 1987 Brundtland Raporu'nda yer alan sürdürülebilirlik ölçütleri, şema olarak verilmiştir. Toplum, çevre ve ekonomi bileşenlerinin, birbirlerini -olumsuz yönde- etkilemeyecek şekilde varlıklarını sürdürmesi esasına dayanmaktadır.

- **Toplum**, yaşadığı çevreye zarar vermeden yaşanabilirlik sınırlarını sağlamalıdır.
- **Ekonomi**, imalat ve gelirler dengesi, çevreye zarar vermeyecek şekilde tasarlanmalıdır.
- **Toplumda, ekonomik açıdan eşitlik** sağlanmalıdır.

Bu dengelerin sağlanması durumunda küresel ısınma, çevre ve hava kirliliği, karbon salımı gibi olumsuz sonuçların engellenebileceğine dikkat çekilmektedir (Brundtland Raporu,1987).



Şekil 2. Sürdürülebilirlik ölçütleri (Saad ve ark.,2014)

1.2. Tesis Yönetimi

Tesis yönetimi, bir yapının, ait olduğu organizasyonun amaçlarına en uygun şekilde hizmet edebilmesi için uygulanan kurallar bütünüdür (YKS,2020). 1960'lı yıllarda önem kazanmaya başlayan tesis yönetimi olgusu, kamusal yapılarda

verimliliğin artırılması gereksiniminden doğmuştur (Nor ve ark.,2014). Tesis Yönetimi kavramı, söz konusu tesisteki **emlak**, **varlık/mekan** ve **bakım** bileşenlerinin yönetimini gerçekleştirmektedir (Ofloğlu,2020). Şekil 3'te söz konusu bileşenler ve ilişkileri görülmektedir.

- **Emlak:** Tesisin mimari ve yapısal sistem olarak fiziksel bütünlüğünü kapsar.
- **Varlık-mekan:** Tesisin barındırdığı mahaller ve bu mahallerdeki elektro-mekanik ekipmanlar ile teknik olmayan tüm varlıkların nitelik/nicelik bakımından tüm özelliklerini ve kontrolünü içerir.
- **Bakım:** Tesiste bulunan elektro-mekanik olan ve olmayan tüm varlıklara ait verimliliğin sağlanması konularını içerir.



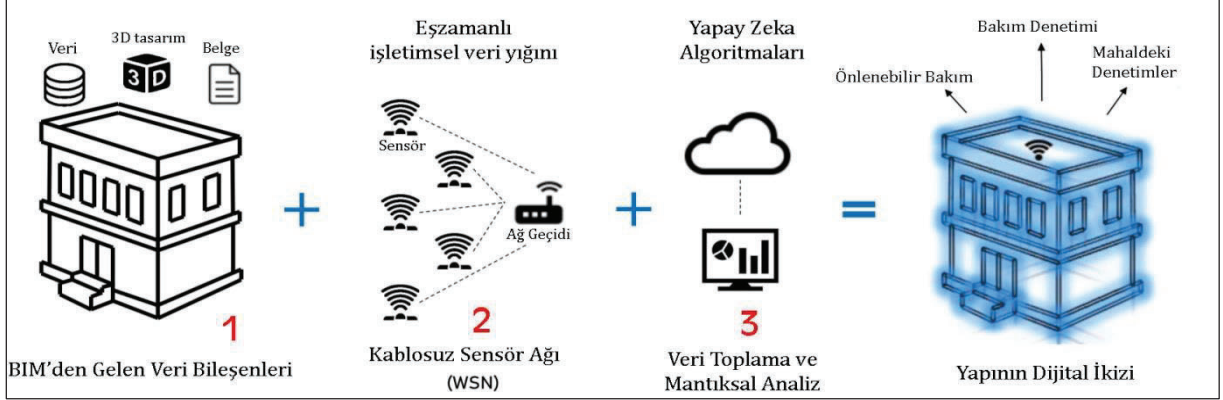
Şekil 3. Tesis Yönetimi Şeması (Windesk, 2020)

1.3. Tesis Yönetiminde Sürdürülebilirlik

Dünya genelinde oluşan karbon salımının %66'dan fazlası binaların işletme sürecinde ortaya çıkmaktadır (Li ve ark.,2013) ve karbon salımı, iklim değişikliğinin en etkin sebeplerinden biridir (Watson,2001). Tesis yönetimi verimli bir şekilde yapılamadığı durumda enerji tüketimi artmakta ve karbon salım değerlerinin yükselmesine sebep olmaktadır. BIM ile tesis yönetimine geçilmesiyle, harcanan enerji miktarının düştüğü gözlemlenmiştir (Motawa ve Almarshad, 2012). Tesisler tarafından üretilen gaz ve atıkların olumsuz etkilerinin önlenmesi amacıyla çok sayıda kuruluş üretim ve işletme tekniklerinde bir takım düzenlemeler gerçekleştirmişlerdir. Bu yaklaşımla, BIM öncesi uygulanan tesis yönetimi faaliyetlerinin nitelikleri artırılmış ve sürdürülebilirlik şartlarını kapsamı sağlanmıştır (Teicholz,2020). 1980 yılında kurulan, Uluslararası Tesis Yönetimi Derneği IFMA (International Facility Management Association), dünyada faaliyet gösteren önemli tesis yönetimi kuruluşlarından biridir. IFMA, 2020 yılında yayınladığı bir raporda; 20.yy.ın son çeyreğinden itibaren meydana gelen küresel ısınma ve hava

kirliliğine dikkat çekerek, bu olumsuz sonuçların, fosil yakıt temelli enerji tüketiminin artışından kaynaklandığını belirtmiştir. IFMA, bünyesinde bir sertifika programı başlatarak veri tabanlı sistemlerin

kullanıldığı ve detaylı bir sürdürülebilirlik yaklaşımı içeren bir tesis yönetimi hedeflendiğini açıklamıştır (IFMA,2020).



Şekil 4. BIM destekli dijital ikizin temel bileşenleri (Khajavi ve ark.,2019)

1.4. BIM Destekli Dijital İkiz

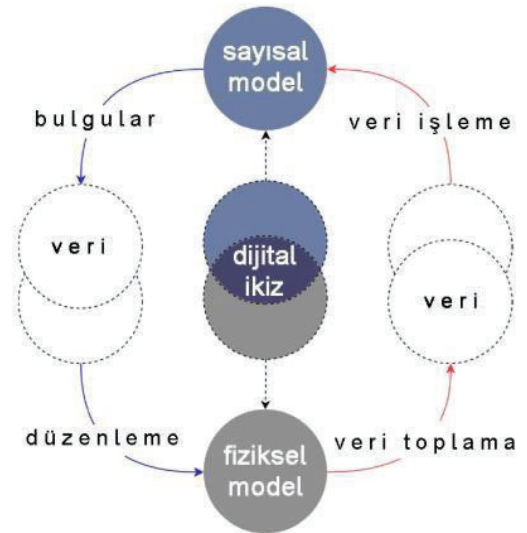
BIM destekli dijital ikiz, içinde barındırdığı tüm varlıklarla birlikte BIM modeli üretilmiş bir tesisin sayısal ortamda, dijital ikizi destekleyen yazılımlarla birlikte, fiziksel aslı gibi davranmasını konu alır. Fiziksel modeller üzerine yerleştirilen sensörlerin, o varlıktan olabildiğince yüksek yoğunlukta veriyi toplaması ve yapay zeka yazılımına göndermesi sağlanmaktadır. Yapay zeka, veri analizinden elde edilen bilgiyi, gerçek dünyadaki sistemin etkin şekilde çalışabilmesi için kullanır. Özet olarak sistem **önleyici bakım**, **bakım denetimi** ve **mahaldeki denetimler** gibi işlevleri gerçekleştirmekte ve meydana gelebilecek herhangi bir arızanın öngörüsünü yapabilmektedir (Ofluoğlu,2020). Dijital ikizin verdiği geri beslemeler ile aşağıda listelenen çıkarımlara ulaşılabilir.

- Sistemin yapısını kavramak
- Sistem optimizasyonunu sağlamak
- Enerji tüketimini düşürmek
- Atık yönetimini oluşturmak
- Bakım-onarım maliyetlerini düşürmek
- Kullanıcı etkileşimini arttırmak
- Bilgi teknolojilerini kaynaştırmak
- Yaşam döngüsünü uzatmak

Bu sonuçlar -dolaylı olarak- sürdürülebilir bir tesis yönetimi yapılabilmesi için önemli geri beslemelerdir (Tao ve ark., 2019).

Şekil 4'te BIM destekli dijital ikiz bileşenlerine ait öğeler gösterilmiştir. Yapının imalat sürecinde oluşturulan üç boyutlu bilgi modeli, dijital ikizin birinci bileşenidir. Tesis içinde yer alan elektromekanik olan ve olmayan tüm varlıklara eklenen sensörler ile elde edilen veri yığını ikinci bileşen

olarak değerlendirilmektedir. Veri yığını, bir ağ geçidi (gateway) kanalı ile üçüncü bileşen olan ve yapay zeka algoritmalarının çalıştığı sunucuya (server) aktarılır. Yapay zeka yazılımı veriyi toplar ve bilgi model ile eşleştirerek mantıksal analizler gerçekleştirir. Bu sistemin dinamik bir şekilde çalışmaya devam etmesi dijital ikizi meydana getirmektedir. Elde edilen bilgi, fiziksel modelin işletme ve bakım programında kontrol amaçlı kullanılır. Gerektiğinde fiziksel modelin sisteminde düzenlemeler yapılır ve fiziksel-dijital arası veri akışı tekrarlanır. Şekil 5'te ifade edilen bu döngü aralıksız devam eder.

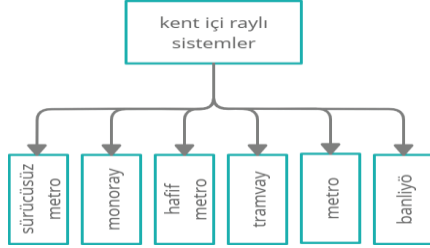


Şekil 5. Dijital ikiz iş döngüsü (Boje ve ark., 2020)

2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER

Kent sınırlarının zaman içinde genişlemesi, şehir nüfusunun artması ve şehir sakinlerinin trafik sorunu

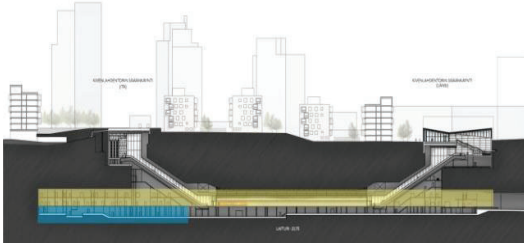
yaşamadan taşınabilmesi; raylı sistemlerin tercih edilme sebebi olmuştur. Kent içi yolcu taşımada kullanılan sistemler; metro, tramvay, hafif metro, banliyö, monoray ve sürücüsüz metrolar (AGT-Automated Guideway Transit) olarak 6 başlıkta toplanmaktadır (Şekil 6). Bu makale, kent içi raylı sistemler dahilinde metro istasyonları üzerine odaklanmaktadır.



Şekil 6. Kent için raylı sistemler (Öztürk,2017)

2.1. Metro İstasyon Mimarisi

Metro hatları ve istasyonları genellikle yer altında uygulanırlar (Şekil 7). Metro hattındaki araçların sayısı, sefer sıklığı, taşıma kapasitesi ve süresi; hattın tasarım aşamasında yapılan yolcu projeksiyonları ile belirlenmektedir. Metro istasyonlarının tasarımındaki en önemli veri yolcu sayılarıdır. Kent içi raylı sistem binaları, mimari ve estetik özelliklerinden çok, elektro-mekanik ekipmanlar için tasarlanmış tesislerdir. Buna bağlı olarak yapı içindeki alanların büyük kısmı; elektrik ve mekanik sistemlerin yürütüldüğü mahallerdir. Raylı sistem istasyon mimarisi yolculu alanlar, personel mahalleri ve ekipman mahalleri olmak üzere temelde üç bölümden oluşmaktadır.



Şekil 7. Örnek Metro İstasyonu kesiti
(Lansimetro.fi,2018)



Şekil 8. Expo Metro İstasyonu Bilet Holü, Singapur
(Archnet.com, 2000)



Şekil 9. Bank Station Peronu Londra
(Wilksoneyre.com, 2011)

2.1.1. Yolculu Alanlar

Yolcuların istasyona girişi, tren ile taşınması ve ulaşmak istediği istasyondaki çıkış noktasına kadar kullandığı mahaller yolculu alanlardır. Şekil 8'de görülen Bilet Holü Katı ve Şekil 9'de yer alan Peron Kat mahalleri yolculu alanlar kapsamındadır. Çıkış yapıları ile bilet turnikeleri (Şekil 8) arasında bulunan bölge *Kontrolsüz Alan* olarak nitelendirilmektedir. Bilet / kart satış gişeleri veya otomatik bilet makineleri ile yolcu tuvaletleri genellikle *Kontrolsüz Alan*'da yer alır. Turnikeden ödemesini yaparak geçen yolcu *Kontrollü Alan*'a ulaşmaktadır. Acil bir tıbbi gereksinim durumunda kullanılmak üzere sağlık odası ve çocuklu annelerin ihtiyaç duyabileceği bebek odası gibi mahaller *Kontrollü Alan*'da bulunurlar.

2.1.2. Personel Mahalleri

İstasyonda çalışan teknik personelin kullanımına açık olan mekanlardır. Personel Dinlenme Odası, Personel Tuvaletleri, Temizlik Odası, Ofis, Personel Soyunma Odaları, İstasyon Kontrol Odası bu gruba dahildir. Her metro istasyonunda o istasyona ait tüm işletim sistemlerinin gözlemlendiği bir *İstasyon Kontrol Odası* bulunmaktadır. Yalnızca yetkili teknik personelin erişim izni olan bu mahal, istasyona ait CCTV (Kapalı devre tv sistemi) kayıtlarının, perona yaklaşan ve ayrılan araçlara ait sinyalizasyon sisteminin, tesise ait tüm elektrik ve mekanik verilerin izlendiği SCADA sisteminin takip edildiği bir merkez birimdir. Bilet Holü Katı'nda, *Kontrollü* ve *Kontrolsüz Alanları* aynı anda görebilecek şekilde konumlanmıştır. Tüm istasyonun kontrolü, izlenmesi ve tesis yönetimi bu mahalden yapılmaktadır.

2.1.3. Ekipman Mahalleri

Yalnızca teknik personel tarafından erişim izni bulunan havalandırma odaları, fanlar, trafolar, akü, elektrik pano odaları, pompa odaları, sinyalizasyon ve haberleşme sistemlerine ait cihazların yer aldığı

odalar, ekipman mahalleri kapsamındadır. Şekil 10'da trene güç sağlayan trafoların bulunduğu mahal görülmektedir. Şekil 11'de görülen TVF (Tunnel Ventilation Fan-Tünel Havalandırma Fanı) Odası, metro istasyonunda temiz-kirli hava dengesini sağlayan fanların yer aldığı mahaldir. İşletme ve bakım güvenlik kuralları sebebiyle yukarıda bahsi geçen teknik mahallere yalnızca o mahal için erişim izni tanımlanmış statüdeki teknik personel ulaşabilmektedir. Her bir personelin sahip olduğu kişiye özel manyetik kartlar ile mahallere giriş sağlanmaktadır. Tüm mahal erişimleri, SCADA sistemi tarafından izlenmekte ve yürütülmektedir.



Şekil 10. Trafo Odası, Washington DC/ABD
(c3mpowersystems.com, 2019)

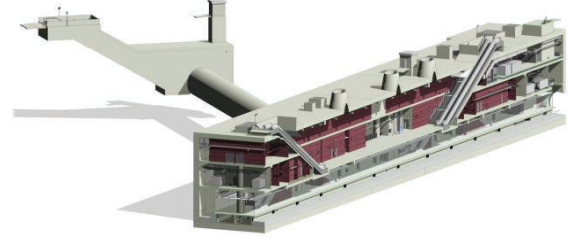


Şekil 11. Fan Odası, Spadina, Toronto, Kanada
(blogto.com, 2015)

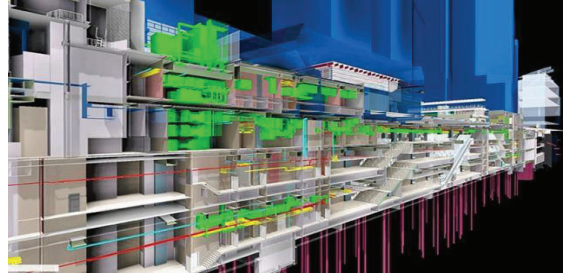
2.2. Metro İstasyon Mimarisi ve BIM

Türkiye'de 2022 yılı itibarıyla tüm ulaşım projeleri için BIM uygulama zorunluluğu getirilmiştir (UAB, 2022). BIM kullanımlarının 2022 yılı öncesinde, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından metro inşaatı projelerinde kullanılması kararlaştırılmıştır (İBB, 2017). Türkiye'de BIM uygulaması yapılan ilk raylı sistem projesi, 2013 yılında başlayan Mecidiyeköy-Mahmutbey ve 2016'da uzatılan (Şekil 12) Kabataş Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı'dır (Öner,2019). BIM uygulanan raylı sistem bina projelerinde, hazırlanan üç boyutlu modellerin büyük bir bölümünü elektro-mekanik cihazlar ve buldukları mahaller oluşturmaktadır. Yapının tasarım sürecinde eş zamanlı olarak üretilen elektrik ve mekanik projelerde; havalandırma fanları, elektrik trafoları ve sinyalizasyon sistemine ait

cihazlar gibi teknik donanım modelleri de hazırlanmaktadır (Şekil 13).



Şekil 12. Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey projesine ait bir istasyon BIM modeli (Prota,2016)



Şekil 13. Exhibition Metro İstasyonu, Hong Kong
(ARUP, 2015)

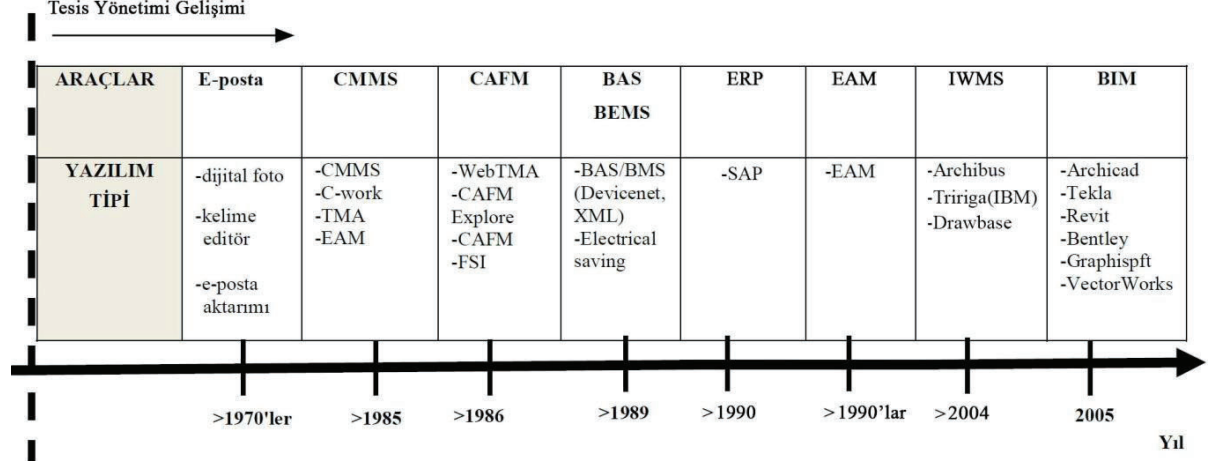
3. METRO İSTASYONLARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR TESİS YÖNETİMİ

1960-1970 yılları öncesinde yürütülen tesis yönetimi, işletme faaliyetlerinin amacına uygun bir şekilde yürütülmesi hedefini kapsamaktaydı. Buna bağlı olarak varlık, enerji, maliyet kontrolleri gibi kavramlar henüz oluşmamıştı. Sayısal teknolojinin gelişmesiyle birlikte tesislerin etkin kullanım ölçütleri oluşturulmuş ve buna bağlı olarak bölüm 1.2.de detaylandırılan *emlak yönetimi*, *varlık yönetimi*, *mekan yönetimi* ve *bakım yönetimi* bileşenleri, terimsel olarak tanımlanmıştır. Sayılan bu öğelerin her biri için ayrı ya da tümüne birden hizmet edebilecek türde tesis yazılımları mevcuttur.

E-posta: 1970'li yıllarda, tesis yönetimi kapsamında, *e-posta* kullanıldığı görülmektedir (Aziz ve ark., 2016). Varlık ve mekan yönetiminde, tesisteki arıza tespitinin kayıt altına alınabilmesi amacıyla, yazım programı ve dijital fotoğraf kullanılmıştır. Bildirimler e-mail ile yapılmıştır.

CMMS: Computerized Maintenance Management Software (Bilgisayarlı Bakım Yönetimi). 1960'lı yılların ortalarında görülmeye başlanmıştır. Cihaz ve varlıkların işletme ve bakım (O&M) faaliyetlerine yönelik kullanılan bir tesis yönetim türüdür ve tablo tabanlı bir arayüzle aşağıdaki işlemleri yürütür (O'Brien, 2014).

- Cihaz/varlık bakım kayıtlarının açılması
- Cihaz/varlığın yedek parça temini ve bakımı
- Cihaz/varlık çalışma düzeni ve arşivi
- Envanter kontrolü
- Çalışma düzeni, iş takvimi, faaliyet programı
- Proje yönetim planı geliştirilmesi
- Teknik Personel yönlendirilmesi
- Satın alma
- Tablo ve rapor oluşturulması



Şekil 14. Tesis Yönetimi Programları Tarihçesi (Aziz ve ark., 2016)
(Makalede bahsi geçen sayısal tesis yönetim sistemleri orijinal tabloya eklenerek güncelleştirilmiştir)

CAFM: Computer Aided Facility Management (Bilgisayar Destekli Tesis Yönetimi). Yazım programı, çizelge hazırlama, e-posta desteği ve veri tabanı sorgulama özellikleri destekler Birlikte çalışabilirlik özelliği yüksek bir tesis yönetim türüdür ve aşağıdaki işlemleri yürütür (Elmualim ve ark.,2009).

- Cihaz/varlık bakım ve onarım organizasyonu
- Tesis bütçe hesaplaması
- İnşaat ve proje yönetim desteği vermesi
- Mahal envanter ve yönetimi
- Mimari ve iç mekan planlaması
- Mekan öngörüsü yapması
- İletişim ve kablolama yönetimi
- Kiralama ve emlak yönetimi
- Varlık yönetimi

BEMS: Building Energy Management (Bina Enerji Yönetimi). Elektro-mekanik işletmeye,

BAS: Building Automation System (Bina Otomasyon Sistemi). Elektro-mekanik ve otomasyona yönelik tesis yönetim türüdür ve aşağıdaki işlemleri yürütür (Elmualim ve Pelumi-Johnson, 2009).

- Isıtma, havalandırma ve soğutma (HVAC) işlevlerini ve zamanlamasını sağlar.
- Binalardaki enerji tüketim miktarı ve konfor koşullarını düzenler.
- Bina otomasyonu
- Telekomünikasyon
- Bilgisayarlı bina yönetimi

ERP: Enterprise Resource Planning (Kurumsal Kaynak Planlama). Bir işletmenin tüm kaynaklarının birleştirilerek verimli bir şekilde kullanılması için tasarlanmış sistemlere denir. Veritabanı üzerinden sürekli ve güncel iş yönetim planlaması gerçekleştiren bir yönetim sistemidir ve aşağıdaki işlemleri yürütür (Bahadır, 2021).

- İş emri yönetimi
- Envanter yönetimi
- Faaliyet yönetimi

EAM: Enterprise Asset Management (Kurumsal Varlık Yönetimi). Tesisteki varlıkların (ekipman, araç, bina ve altyapı) yaşam döngüsü boyunca bakım ve yönetimini kapsayan bir yönetim sistemidir ve aşağıdaki işlemleri yürütür (Wang ve ark., 2015).

- Varlık yönetimi
- Kullanıcı-işçi yönetimi
- Önleyici bakım yönetimi
- Onarım ve işletme yönetimi
- Maliyet yönetimi
- Güvence yönetimi
- Servis-kontrat yönetimi

IWMS: Integrated Workplace Management System (Tümleşik İşyeri Yönetim Sistemi). İşyeri kaynaklarını düzenlenmesi, emlak yönetimi, alt yapı ve tesis varlıkları yönetimini sağlayan, işveren odaklı ve paydaşlar için geniş kapsamlı bir tesis yönetim sunan bir sistemidir. Aşağıdaki işlemleri yürütür (Knops, 2014; Mehdi, 2019; Verdantix, 2020).

- Emlak yönetimi
- Maliyet ve bütçe planlaması
- Tesis yönetimi
- Bakım yönetimi
- Sürdürülebilirlik ve enerji yönetimi

Tablo 1. Tesis Yönetim Sistemleri ile BIM + Dijital İkiz karşılaştırması

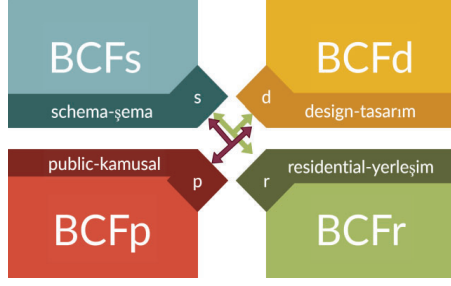
Yöntemler	Olumlu Özellikleri	Olumsuz Özellikleri	Emlak	Varlık	Mekan	Bakım	Sürdürülebilirlik
e-mail	"eski sistem"	"eski sistem"	✓	✓	✓	✓	X
CMMS	BIM'den aldığı tesis verilerini veritabanına işleyebilmektedir (Akcamete ve ark.,2010)	istenilen çalışma alanını görüntüleme ve görselleştirme özelliği yoktur (Akcamete ve ark.,2010)	X	✓	X	✓	X
CAFM	BIM ile birlikte çalıştığı durumda; farklı onarım faaliyetinin yapıldığı mekanları ilişkilendirerek ortaya çıkabilecek sorunlar hakkında tesis yöneticisine analitik arar verme desteği sunar. (Golabchi ve Akula,2013)	2D (iki boyutlu) çizim ve görselleştirme açısından tesis yöneticisini kısıtlamaktadır. (Golabchi ve Akula,2013)	✓	✓	✓	✓	X
BEMS BAS	CMMS, CAFM ve BIM ile entegre olabilmektedir. (Elmualim & Pelumi-Johnson, 2009)	Yalnızca elektro-mekanik ve otomasyon disiplinlerini yönetir	X	✓	X	✓	✓
ERP	Geniş kapsamlı bir uygulama ağı mevcuttur.	Tamamen bir tesis yönetim disiplini olarak kabul edilemez. Destek bir uygulamadır.	-	-	-	-	-
EAM	RFID tabanlı IoT ile birlikte çalışabilmektedir	Yalnızca elektro-mekanik ve otomasyon disiplinlerini yönetir	X	✓	X	✓	✓
IWMS	Çok geniş kapsamlı bir yazılım platformudur	X	✓	✓	✓	✓	✓
BIM Dijital İkiz	Bütün disiplinler ile tümleşik çalışabilmektedir	X	✓	✓	✓	✓	✓

Sayılan tesis yönetimi türleri için sürdürülebilirlik, tesis yöneticilerinin uyguladıkları politikalar ile cihazların çalışma programlarında yapılan düzenlemelere bağlı olarak sağlanabilmektedir. BIM ile dijital ikiz yaklaşımında tüm tesisin verimli ve sürdürülebilirlik protokollerine bağlı olarak çalışabilen yapay zekaya dayalı sistemler önemli katkı sağlamaktadır.

4. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÖLÇÜTLERİ

1992 yılında Birleşmiş Milletler (BM) tarafından imzalanan İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (UNFCCC – United Nation Framework Convention on Climate Change) temel olarak, İnsan Kaynaklı Sera Gazları'nın küresel olarak kontrol edilmesi görüşülmüştür (UNFCCC,

1992). BM'e bağlı üye ülkeler tarafından kabul gören ortak karar ise tüm dünyada enerji verimliliğinin sağlanması ve insan kaynaklı karbon üretiminin düşürülmesi yönünde olmuştur. Ayrıca, UNFCCC'de alınan kararlara göre bir 'Karbon Ayak İzi Değerlendirme Metodolojisi'nin (BCF-Building Carbon Footprint Assesment Methodology) hazırlanmasının önemi üzerinde durulmuştur (UNFCCC,1992). Bu yaklaşıma göre bir yapım sürecinde kullanılan malzemelerin üretim-tüketim döngüsü boyunca ortaya çıkan karbon miktarının hesaplanması gereklidir. Örneğin, İngiltere'deki King's Cross İstasyonu'na ait değerlendirmeyi yapan Kaewunruen ve Xu'nun, makalelerinde alıntılama yaptığı Dr. Lin Hsien-Te'ye göre bir inşaat projesinin gelişim aşamalarına göre meydana çıkan karbon ayak izi (BCF – Building Carbon Footprint) için 4 faz tanımlanmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Yapı Karbon Ayak İzi Fazları
(Chiu ve Chen,2017)

- Şema fazı (BCFs)** : projenin çok-erken mali planlama aşamasıdır.
- Tasarım fazı (BCFd)** : mimari tasarımın devam ettiği fakat imalata ait malzeme ve elektro-mekanik ekipmanların henüz hesaba katılmadığı aşamadır.
- Barınma yapıları fazı (BCFr)** : konut türü yapılar için imalat, malzeme ve ekipmanların değerlendirilmeye katılarak detaylı karbon ayak izi hesaplamalarının yapıldığı aşamadır.
- Kamu yapıları fazı (BCFp)** : kamusal yapılar için imalat, malzeme ve ekipmanların değerlendirilmeye katılarak detaylı karbon ayak izi hesaplamalarının yapıldığı aşamadır.

Yapının işlevine göre **a** ve **b** fazlarından sonra **c** veya **d** fazlarına geçiş yapılmaktadır.

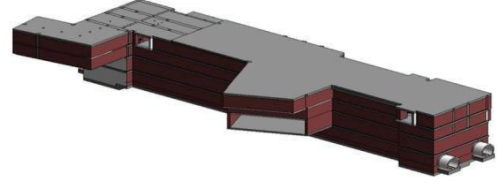
5. VAKA ÇALIŞMALARI

Makalenin bu bölümünde benzer çalışmalardan derlenen ve sürdürülebilirlik özelliklerini sağlayan raylı sistem işletmelerinden örnekler verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

5.1. Dadongmen Metro İstasyonu – Hefei (Çin) (Kaewunruen ve ark., 2020)

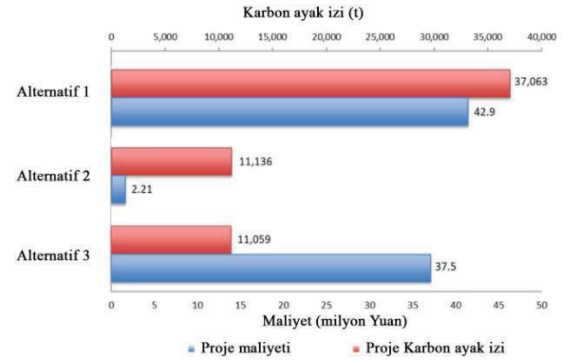
Çin'in Hefei kentindeki Dadongmen istasyonu için Revit model ve dijital ikiz kullanılarak enerji tüketimi ve karbon salım değerlerinin düşürülmesi, böylece sürdürülebilir bir tesis oluşturulması amaçlanmıştır (Şekil 16). Projenin inşaat aşamasındaki maliyeti en yüksek oran olup, toplam bütçenin % 78'ini oluşturmaktadır. Ancak işletme ve bakımdaki karbon salım miktarı, inşaat malzemeleri üretimi sırasındaki miktar,% 67'dir. Bunların arasında yer alan beton malzemenin yalnızca temel imalatında kullanılmasına rağmen, yapı malzemelerinin karbon üretiminin % 43.66'sını oluşturmaktadır. Dijital ikiz, ortaya çıkabilecek risklere yönelik olası çözümlere hazırlanmak için kullanılmıştır. Bu sayede yaşam döngüsü maliyeti ve karbon ayak izi ölçümleri yoluyla, tesisin sürdürülebilirlik ölçütlerine olan uygunluğu değerlendirilmiştir. BIM destekli dijital ikiz

yaklaşımının, yapının yaşam döngüsüne olumlu yönde katkı sağlaması ve küresel ölçekte, raylı sistemlerin dayanıklılığının artırılması düşünülmektedir.



Şekil 16. Dadongmen Metro İstasyonu Revit Modeli
(Kaewunruen ve ark., 2020)

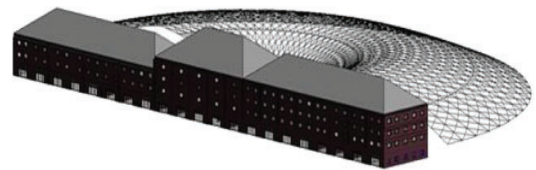
Revit model yardımıyla, yapıda bulunan inşaat malzemelerinin metrajı yapılmış ve her bir malzemenin 1 kg'ının ürettiği karbon miktarı değeri ile çarpılmış ve sonuçlar toplanmıştır. Projede 3 adet tadilat alternatifinin tümü için ayrı revit modeller çalışılmıştır ve maliyet analizi ile birlikte yapının sahip olduğu karbon ayak izleri hesaplanmıştır. Oluşturulan değerler bir karşılaştırma tablosunda sunulmuştur (Şekil 17).



Şekil 17. Dadongmen Metro İstasyonu 3 alternatif
(Kaewunruen ve ark., 2020)

5.2. King Cross Tren İstasyonu – Londra (BK) (Kaewunruen ve Xu, 2018)

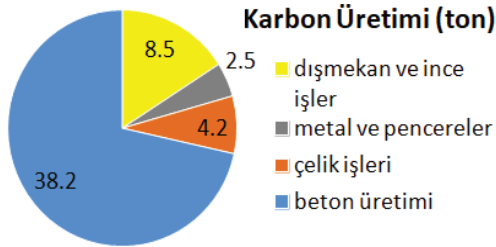
Dijital ikiz ile tesis yönetimi uygulamasının kullanıldığı örneklerden biri de 1852 yılından bu yana kullanılan Londra King Cross Tren İstasyonu'na ait renovasyon projesidir. Yapının taşıyıcı sistemi, mimarisi ve tüm ekipmanlar dahil olmak üzere elektro-mekanik projeleri Revit programı ile hazırlanmıştır (Şekil 18). BIM süreci ile yürütülen projede öncelikli amaç sürdürülebilirliğin sağlanması olmuştur (Kaewunruen ve Xu, 2018).



Şekil 18. King's Cross Tren İstasyonu - Londra

İstasyonun dijital ikizi üretildikten sonra, sürdürülebilirlik şartlarına bağlı olarak karbon salımının ölçüm tahmin çalışmaları yapılmıştır. King's Cross projesinde, bölüm 3'te bahsi geçen aşamalardan ikincisi olan BCFd (Building Carbon Footprint design) fazı, ölçüm için esas alınmıştır. Kaewunruen ve Xu, BCFd'yi tercih etmelerinin sebebinin; BIM tabanlı tesis yönetiminde, *anlık karbon salım* değerinin hesaplanabilir olması şeklinde açıklamışlardır. İstasyonun karbon salım hesaplamaları için Revit API yazılımı kullanılmıştır.

King's Cross İstasyonu tesis yönetimi kapsamında, sayısal modele uygulanan testler sonucunda, gerekli görülen noktalarda yangın dayanımlı kapı ve pencereler yerleştirilmesi, iç mekânlarda çift katman giydirme cam cephe oluşturulması, boşluklu duvarlarda yangın bariyeri uygulanması kararları alınmıştır. Gerçekleştirilen enerji analizlerinde, istasyonun yenilenmiş, var olan ve yıkılmış bölümleri modellenerek enerji kaybına sebep olan bölgeler belirlenmiş, tadilat projesinde en düşük değerlerde karbon üretimi yapacak çözümler aranmıştır. Karbon salım hesaplamalarında, İngiltere kaynaklı Department of Business Innovation & Skills tarafından hazırlanan rapor kullanılmıştır (BIS,2010). Şekil 19.'de yer alan pasta grafikte, dış mekân ile ince işler, metal doğramalar ve pencereler, çelik işleri ve beton malzemenin ürettiği karbon miktarı ton biriminde paylaşılmıştır.



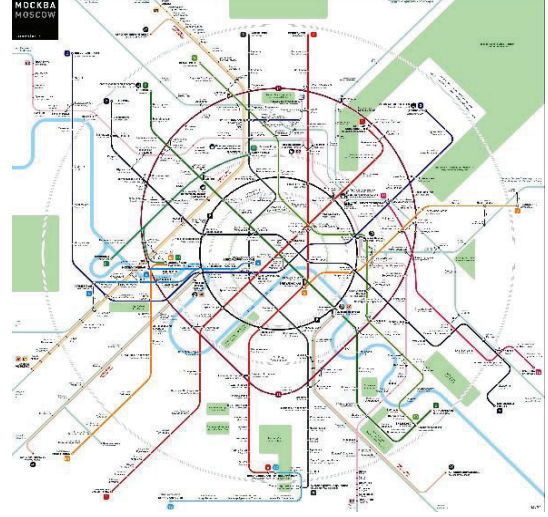
Şekil 19. Malzemelerin Ton Biriminde Karbon Salımları (Kaewunruen ve Xu, 2018)

5.3. Moskova Metrosu – Moskova (Rusya Fed.) (Pokusaev ve ark., 2021)

2021 yılında yapılan çalışmada, Moskova'daki Metro hatları için hazırlanmış bir dijital ikiz uygulamasına yer verilmiştir. Araştırmada, Moskova Metrosu bünyesindeki tüm istasyonlar ve ray hatları sayısallaştırılarak hatlardaki yolcu yüklerinin tespit edilmesi ve yolcu sayılarında ileriye yönelik öngörüde bulunulması amaçlanmıştır.

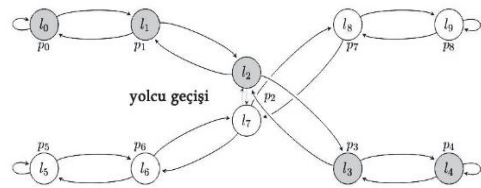
Ulaşım ağında, farklı hatları birbirine bağlayan iç ve dış çember hatlar bulunmaktadır (Şekil 20). Metro hatları ile çember hatların kesişim noktaları, birer istasyon değil, aktarma durakları olarak nitelendirilmektedir (Şekil 21). Her bir istasyon ve

aktarma durağında, yolcuların cep telefonlarına sinyal hizmeti veren baz istasyonları bulunmaktadır. Bu sinyaller takip edilerek, istasyon ya da durak noktalarındaki yolcu sayılarına ulaşılabilmektedir. Bu veri yardımıyla, farklı istasyonlarda, saatlere göre yolcu sayısı grafikte görülmektedir (Şekil 22).

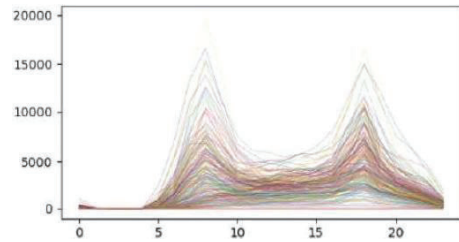


Şekil 20. İç ve Dış Çember hatları ile Moskova Metrosu (inat.fr, 2023)

Metro hatları ile çember hatların kesişim noktaları, birer istasyon değil aktarma durakları olarak nitelendirilmektedir (Şekil 21). Her bir istasyon ve aktarma durağında, yolcuların cep telefonlarına sinyal hizmeti veren baz istasyonları bulunmaktadır. Bu sinyaller takip edilerek istasyon ya da durak noktalarındaki yolcu sayılarına ulaşılabilmektedir. Toplanan veri yardımıyla, farklı istasyonlarda, saatlere göre yolcu sayısı grafikte görülmektedir (Şekil 22).



Şekil 21. İki Ayrı Hat ve İstasyonların Gösterimi (Pokusaev ve ark., 2021)



Şekil 22. Farklı İstasyonlara Göre Saatlik Kullanım (Pokusaev ve ark., 2021)

Dijital ikiz uygulamasıyla, aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- Seçilen herhangi bir alandaki yolcu sayısının tespit edilmesi
- İstasyon giriş ve çıkış noktalarındaki yolcu sayısı
- Seçilen bir istasyondaki yolcu sayısı
- Belirlenen bir aktarma noktasındaki yolcu sayısı

Elde edilen bulguların acil durum anında kriz yönetimi için kullanılması planlanmaktadır. Buna ek olarak hatların mevsimlere göre kullanım durumları hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Örneğin, yaz aylarında çok sayıda şehir sakini banliyölerdeki yerleşim yerlerine taşınmakta ve böylece metro istasyonlarının kullanım sıklığı değişim göstermektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İncelenen benzer çalışmalar ve yapılan araştırmalar sonucunda uygulama sayısı azlığına rağmen, BIM destekli dijital ikiz yaklaşımının, sürdürülebilir tesis yönetimini sağlamada başarılı olduğu görülmektedir. Fiziksel modelin yapısına uygun sensörlerin seçilmesi ve sanal model ile ilişkilendirilmesi sonucunda; sürdürülebilirlik hedeflerine yaklaşılacağı kanıtlanmıştır. Konu ile ilgili olarak, daha fazla çalışmanın yapılması gereklidir.

Bina ve İnşa Edilmiş Varlıklar İçin Hizmet Ömrü Planlaması standardı olan ISO 15686 içeriğinde yer alan Bölüm 5, Yaşam Döngüsü Maliyeti hakkındadır. Bu standarda göre, bir yapının işletme ve bakım maliyetleri, inşaat maliyetlerinden daha yüksektir (Ofloğlu, 2020). Ayrıca işletme esnasında açığa çıkan karbon miktarının, inşaat sırasında oluşan karbon üretiminden yüksek olması, bu konuda daha çok çalışma yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Dijital ikiz uygulamaları ile sürdürülebilirliğin önemi, devletler tarafından özendirilmeli ve teşvik edici politikalar ile yaygın hale getirilmelidir.

Kısa adı GSA olan Amerika Birleşik Devletleri Genel Hizmetler İdaresi, devlet binalarının uygulama ve işletmesinden sorumlu bir devlet kurumudur (GSA, 2023a). GSA, iklim kriziyle mücadele amacıyla atmosfere salınan inşaat kaynaklı zehirli gaz miktarının düşürülmesi için BIM destekli çalışmalar yapmaktadır. Bu hedefe ulaşılması için 2030 yılına kadar yeni binalarda, 2050 yılına kadar ise tüm yapılarda ve işletmelerde gerekli önlemlerin alınması için bir Federal Sürdürülebilirlik Planı yayınlamıştır (GSA, 2023b).

Avrupa Birliği, üye ülkeler ile Destination Earth (Hedef Dünya) adlı bir proje geliştirmektedir. İklim

değişikliği konusunda çalışmalar yapabilmek, doğayı koruyabilmek ve sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla, dünyanın bir dijital ikizinin yaratılması planlanmaktadır. Bu sayede doğal yaşam ve insan etkinlikleri hakkında öngörüler yapılabileceği düşünülmektedir (EC, 2023).

Türkiye Cumhuriyeti 22 Nisan 2016 tarihinde imzaladığı Paris Anlaşması ile sürdürülebilirlik konusunda belli adımlar atmaya başlamıştır. Türkiye, sıfır emisyon hedefi için 2053 yılını belirlediğini açıklamıştır (MFA, 2023). Buna ek olarak, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistemler İşletmesini yapan Metroİstanbul kuruluşu, 2022 yılı faaliyet raporunda, İstanbul'daki raylı sistem ağını kapsayan bir dijital ikiz projesi başlattığını duyurmuştur (metroistanbul, 2022). Yayımlanan raporda dijital ikiz uygulamalarının SCADA sistemi ile entegre edileceği ve önleyici bakım, öngörülebilir bakım gibi işlemlerde kolaylıklar sağlanacağı belirtilmiştir.

Dünyadan ve ülkemizden verilen örnekler, bu konulardaki çalışmaların arttığını göstermektedir. 2030 ve 2050 hedeflerine ulaşılabilmesi için BIM destekli uygulamaların yalnızca devlet projelerinde değil, tüm kamusal ve özel işletme faaliyetlerinde zorunlu hale getirilmesi gerekmektedir. Dijital ikiz, Tesis Yönetimi ve sürdürülebilirlik uygulamalarının gelişen teknolojilerle daha verimli kullanılması sağlanmalıdır. Bu sayede doğal yaşamın korunacağı ve insanlığa ait olan kültürel birikimin gelecek nesillere faydalı bir şekilde aktarılacağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

Akcamete, A., Akinci, B., Garrett, J. H., & Jr., 2010. Potential utilization of building information models for planning maintenance activities. In W. Tizani (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (p. 151). UK: Nottingham Uni Press

Archnet.org, 2000. Expo Metro İstasyonu, Singapur.
https://archnet.org/sites/5120/media_contents/3853_0, Son Erişim Tarihi: 20.06.2023

ARUP, 2015. 2015 Autodesk Excellence in Infrastructure Global Winners, Exhibition Metro Station-1st Prize
<https://informedinfrastructure.com/17410/2015-autodesk-excellence-in-infrastructure-global-winners-announced/>
Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Autodesk, 2022. Digital Project Management: Lean, Integrated Project Delivery Process, 7 Dimensions of BIM Execution Plan, <https://www.autodesk.com/autodesk-university/de/node/130694>, Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Aziz, N.D., Nawawi, A.H., Ariff, N.R.M., 2016. ICT Evolution in Facilities Management (FM): Building Information Modeling (BIM) as the Latest Technology, *ASEAN Turkey ASLI Conferences on Quality of Life 2016*

Bahadır, T., 2021. Metro İstanbul (İBB) Çalışanı ile Kişisel Görüşme

BIS, 2010. Estimating the Amount of CO2 Emissions that the Construction Industry Can Influence. *London: Department for business innovation and skills*

Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., Rezgui, Y., 2020. Towards A Semantic Construction Digital Twin: Directions For Future Research, *Automation In Construction*, 2020. 114/103179

Brundtland Report, 1987. Report of the World Commission on Environment Development: *Our Future*

BS EN 50126-1, 2017. British Standarts, *Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*, BSI Standards Publication

C3mpowersystems.com, 2019. Cer Gücü Odası – Trafolar, Washington DC, ABD. <https://www.c3mpowersystems.com/metro-traction-power>, Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Chiu, Y.C., Chen, P.H., 2017. Building Carbon Footprint (BCF) Evaluation for Social Amenities and Education Center Taipei, *IAARC Publications*, 2017. Proceedings of the 34rd ISARC, Taipei, Taiwan, ISBN 978-80-263-1371-7, pp.560-564

EC, 2023. Avrupa Birliği Faaliyetleri resmi internet sayfası, Shaping Europe's Digital Future, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/destination-earth-new-digital-twin-earth-will-help-tackle-climate-change-and-protect-nature> Son Erişim Tarihi: 03.07.2023

Elmualim, A., Pelumi-Johnson, A., 2009. Application of computer-aided facilities management (CAFM) for intelligent buildings operation. *Facilities*, 27(11/12), 421–428. doi:10.1108/02632770910980718

Ermehan, C., 2018. SCADA Sistemi Nedir ?, *HMI Blog*. <https://www.hmi.com.tr/10-scada-sistemi-nedir?-blog-detay> , Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Golabchi, A., Akula, M. V. R. K., 2013. Leveraging BIM for automated fault detection in operational. *In Proceedings of the 30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), International Association for Automation and Robotics in Construction* (pp. 1–11). Montreal.

GSA, 2023a. U.S. General Services Administration resmi internet sayfası, About Us, <https://www.gsa.gov/about-us?topnav=about-us> Son Erişim Tarihi: 03.07.2023

GSA, 2023b. U.S. General Services Administration resmi internet sayfası, Federal Sustainability Plan, <https://www.gsa.gov/system/files/EO14057%20Overview%20for%20GAP%20FAC%20Acquisition%20Workforce%20Subcommittee.pdf> Son Erişim Tarihi: 03.07.2023

Gündoğdu, F., Açıkbaş, S., 2007. Raylı Sistemlerde Emniyet Standartları ve Makas Otomasyon Sistemi Uygulanması, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı Bildirileri*,

İBB, 2017. Yapı Bilgi Modellemesi YBM Teknik Şartname Taslağı. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul

IFMA, 2020. IFMA Foundation Launches Eric Teicholz Sustainability Facility Professional (SFP) Scholarship Program. <https://foundation.ifma.org/6266-2/> , Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

inat.fr, 2023. INAT Mapping and Wayfinding Consultancy, *Moscow Metro Map*, <http://www.inat.fr/metro/moscow/>, Son Erişim Tarihi: 02.07.2023

Jayasena, N., Mallawarachchi, H., 2019. Environmental Sustainability of Facilities Management: Analytical Hierarchy Process (AHP) Based Model For Evaluation, *Built Environment Project And Asset Management*, 2019/10

Kaewunruen, S., Xu, N., 2018. Digital Twin Sustainability Evaluation of Railway Station Buildings. *Transportation and Transit Systems: A Section Of The Journal Frontiers In Built Environment*

Kaewunruen, S., Peng, S., Phil-Ebosie, O. 2020. Digital Twin Aided Sustainability and Vulnerability Audit for Subway Stations, *Sustainability* 12, no. 19: 7873. <https://doi.org/10.3390/su12197873>

Khajavi, S.H., Motlagh, N.H., Jaribon, A., Werner, L.C., Holmström, J., 2019. Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries and Creation for Buildings, *IEEE Access Journal*, DOI:10.1109/Access.2019.2946515

Khalvati, M., 2019. What An Integrated Workplace Management System Needs To Have. *Axxerion USA*. <https://axxerionusa.com/software/iwms/> Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Knops, J., 2014. What is IWMS? Planon Software <https://planonsoftware.com/us/glossary/iwms/> , Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

KTÜ, 2018. Orman Koruma Ders Notları, Orman Mühendisliği Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Lansimetro.fi, 2018. How is a metro station built? <https://www.lansimetro.fi/en/construction/construction-phases/how-is-a-metro-station-built/>, Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Li, D., Chen, H., Hui, E.C., Zhang, J., Li, Q., 2013. A Methodology for Estimating the Life-Cycle Carbon Efficiency of a Residential Building, *Building and Environment*, vol. 59, pp. 448-455

Metroİstanbul, 2021. İstanbul Belediyesi Kent İçi Raylı Sistemler İşletmeciliği, Sürdürülebilirlik Raporu, pp. 36-37, https://www.metro.istanbul/Dosyalar/efqm/surdurebilirlik_raporu.pdf, Son Erişim Tarihi: 26.06.2023

Metroİstanbul, 2022. İstanbul Belediyesi Kent İçi Raylı Sistemler İşletmeciliği, 2022 Faaliyet Raporu, pp. 75-76, https://www.metro.istanbul/Content/assets/uploaded/2022_faaliyetraporu.pdf Son Erişim Tarihi: 03.07.2023

MFA, 2023. Ministry of Foreign Affairs, T.C. Dış İşleri Bakanlığı resmi sitesi, *Paris Anlaşması*, <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa#:~:text=Anla%C5%9Fma%2C%2005%20Ekim%202016%20itibariyle,y%C3%BCr%C3%BCr%C3%BCr%C4%9Fe%20giren%20ilk%20k%C3%BCresel%20anla%C5%9Fmad%C4%B1r>, Son Erişim Tarihi: 03.07.2023

Motawa, I., Almarshad, A., 2012. A Knowledge-Based BIM System for Building Maintenance, *Automation in Construction*, pp. 173-182

Nor, N.A.M., Mohammed, A.H., Alias, B., 2014. Facility Management History and Evolution, *International Journal of Facility Management* vol:5, No:1-Nov 1014.

O'Brien J., 2014. The evolution of Affordability and Accessibility in CMMS Software <https://www.americanmachinist.com/enterprise-data/article/21898450/the-evolution-of-affordability-and-accessibility-in-cmms-software#:~:text=The%20evolution%20of%20CMMS%20started.those%20with%20the%20biggest%20computers>. Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Ofluoğlu, S., 2020. BIM ve Tesis Yönetimi, *Bimfili Webinar*, 2020/08. <https://www.youtube.com/watch?v=FsrST5LWz8E&t=3272s> , Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Öner, F., 2019. İBB Raylı Sistem Projelerinde BIM Uygulamaları sunumu. <https://www.ibb.istanbul/Uploads/2019/10/1.-FAHRETTİN-ÖNER---İBB-RAYLI-SİSTEM-PROJELERİNDE-BİM-UYGULAMALARI.pdf> , Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Öztürk, Ö., 2017. Raylı Sistemler Araçları ve Özellikleri. <https://www.muhandisbeyinler.net/rayli-sistem-araclari-ve-ozellikleri/> , Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Pokusaev, O., Chekmarev, A., Namiot, D., 2021. On Digital Twin for Metro System, 2021 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Batumi, Georgia, 2021, pp. 1-5, DOI: 10.1109/EWDTS52692.2021.9581028

Prota, 2016. Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey <http://bim.prota.com.tr/design-services-istanbul-kabatas-mahmutbey-metro-line-project-pick-speed/> Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Saad, S.M., Adnan, Y.M., Hamzah, H., Daud, N., Alias A., Dali, M., 2014. City Development Concepts for Sustainable Development, *International Surveying Research Journal*, Vol.4 No:2, 2.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Değerlendirme Raporu, 2019. TC Strateji ve Bütçe Başkanlığı 2019 Raporu

Tao, F., Zhang, M., Nee, A.Y.C., 2019. Digital Twin Driven Smart Manufacturing. eBook ISBN:9780128176313, Academic Press Publishing

Tay, L., Ooi, J.T.L., 2001. Facilities Management: Jack of All Trades, *Facilities Journal* 2001/19, pp.357-362

Teicholz, E., 2020. IFMA Foundation Launches Eric Teicholz Sustainability Facility Professional (SFP) Scholarship Program.
<https://foundation.ifma.org/6266-2/>
Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Turan, B., 2020. Dijital İkiz Teknolojisi, *İTÜ Arı Teknokent Webinar*, 2020/06.
<https://www.youtube.com/watch?v=jwTYEtzVfv8&t=1109s>
Son Erişim Tarihi: 06.06.2023

UAB, 2022. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, *BIM Teknik Şartnamesi ve İhale Dokümanları*,
<https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/stratejik-yonetim/bim-teknik-sartnamesi-rev-no-03-02-09-2022.pdf>, Son Erişim Tarihi: 26.06.2023

UNFCCC, 1992. United Nation Framework Convention on Climate Change.
https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convention.pdf, Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Verdantix, 2019. Green Quadrant Integrated Workplace Management Systems.
<https://research.verdantix.com/report/smart-buildings/green-quadrant-integrated-workplace-management-systems>
Son Erişim Tarihi: 28.06.2023

Wang, M., Tan, J., Li, Y. 2015. Design and Implementation of Enterprise Asset Management System Based on IOT Technology. *2015 IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*.
doi:10.1109/iccsn.2015.7296188

Watson, R.T., 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report, *International Panel on Climate Change*.

Wilkinsonyre.com, 2011. Bank Station Peron Katı, Londra, İngiltere.
<https://www.wilkinsonyre.com/projects/bank-station-capacity-upgrade>
Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

Windesk, 2020. Signumtte Tesis Yönetimi Bilişim Hizmetleri Şti.
<http://www.signumtte.com/en/service-and-facility-management> , Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

YKS, 2020. Tesis Yönetimi Nedir ?
<http://www.yks.com.tr/tr/kurumsal/4/tesis-yonetimi-nedir> , Son Erişim Tarihi: 27.06.2023

YAPI MALZEMELERİNİN GÖMÜLÜ KARBON MİKTARINA ETKİSİ: ÖRNEK BİR YAPI ÜZERİNDEN İNCELEME

Betül KÖKSAL (ORCID:0009-0008-4096-3107)¹

1.Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü
e-posta: betul.koksal@outlook.com.tr

ÖZET

Bu makale gömülü karbon miktarının örnek bir yapı modeli üzerinden tespitine dair bir çalışmadır, bu çalışmada bir BIM yazılımı ile oluşturulan bir yapı biriminin malzeme seçiminin değişmesiyle gömülü karbon miktarının nasıl değiştiği analiz edilmiştir.

Literatür taraması sonucunda mevcut konuyla alakalı kısıtlı sayıda kaynak bulunmaktadır. Bu çalışma aracılığı ile ilgili konuya dair literatüre katkı sağlamak ve gömülü karbon hesaplamasının yöntemi konusunda bir örnek model oluşturmak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Net Sıfır Karbon; Enerji Analizi; Sürdürülebilirlik; Gömülü Karbon; Bina Bilgi Modelleme.

ABSTRACT

This article is a study on the determination of the amount of embodied carbon through a sample structure model, in this study, how the amount of embodied carbon changes with the change of material selection of a structural unit created with a BIM software has been analyzed.

As a result of the literature review, a limited number of resources related to the current subject have been reached. Through this study, it is aimed to contribute to the literature on the subject and to create an exemplary model for the method of embodied carbon calculation.

Key Words: Net Zero Carbon; Embodied Carbon; Sustainability; Building Information Modelling; Energy Tools; Revit; Analysis.

1.GİRİŞ

İklim değişikliği, sıcaklıklarda ve hava modellerinde uzun vadeli değişimleri ifade eder. Bu değişimler güneş döngüsündeki değişiklikler gibi doğal ve kozmolojik sebeplerle olabileceği gibi insan faaliyetlerinden de kaynaklanabilir. Özellikle 1800'lerden bu yana, Sanayi Devrimi sonrasında, kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtların tüketiminin yaygınlaşması ve çeşitlenmesi nedeniyle insan faaliyetleri iklim değişikliğinin itici gücü olmuştur. Fosil yakıtların tüketimi güneş ısınımı hapseden ve sıcaklıkları yükselten sera gazı emisyonu üretir. Küresel ısınmayı artıran ve iklim değişikliğine yol açan sera gazı emisyonları sonucunda dünya, kayıtlı tarihin en hızlı ısındığı dönemi yaşamaktadır. Bu, insanlar ve dünyadaki diğer tüm yaşam biçimleri için birçok risk oluşturmaktadır. Sera gazı emisyonunun ana kaynakları arasında enerji, sanayi, ulaşım, binalar, tarım ve arazi kullanımı yer almaktadır (BM İklim Eylemi, 2022).

BM İklim Eylemi 2022 raporuna göre, iklim değişikliği üzerine çok taraflı yürütülen bilimsel çalışmalar sonucunda iklim değişikliğinin en kötü etkilerinden kaçınmak ve yaşanabilir bir gezegeni korumak için küresel sıcaklık artışının sanayi öncesi seviyelerinin 1,5°C üzerinde sınırlandırılması gerektiği ortaya konmaktadır. Ancak, yine BM İklim raporu (2022)'na göre bilimsel çalışmalar göstermektedir ki dünya 1800'lerin sonlarında olduğundan yaklaşık 1,1°C daha sıcaktır. Bununla beraber, emisyonlar artmaya devam etmektedir. Küresel ısınmayı önlemek amacıyla 2015 yılında Paris İklim Anlaşması imzalanmış ve 193 ülkenin taraf olduğu bu anlaşmada küresel ısınmayı 2°nin altında ve hatta mümkünse 1,5° ile sınırlı tutmak için emisyonların 2030'a kadar %45 oranında azaltılması ve 2050'ye kadar Net Sıfır'a ulaşması gerektiği taraf ülkeler tarafından teyit edilmiştir. Birleşmiş Milletler'ce yürütülen İklim Eylem Planı kapsamında hükümetler iklim değişikliği ile mücadele kapsamında bazı taahhütlerini yerine getirmeleri beklenmektedir. Taraf ülkelerden Net Sıfır'a ulaşmak için Ulusal Belirlenmiş Katkı(INDC) belgelerini sunması beklenmektedir.

Süreç, henüz hedeflenen ölçüde ilerleme kaydetmemiş olsa da bu eylemlerin ortak amacı sera gazı emisyonlarını azaltarak Net Sıfır emisyon düzeyine ulaşmak ve bu sayede küresel ısınmayı 1,5°C ile sınırlı tutmayı başararak iklim değişikliğinin dünyadaki yaşamsal risklerinin en aza indirmektir (BM İklim Eylemi, 2022). Bilimsel araştırmalar küresel ısınmayla mücadelenin ivediliğini göstermektedir. Hesaplamalara göre sera gazı emisyonları son 2 milyon yılın en yüksek seviyelerine ulaşmış durumdadır. Öyle ki 2010'lu yıllar kaydedilen en sıcak yıllardır (UNEP, 2022).

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar küresel sera gazı emisyonlarının yüzde 75'inden fazlasını ve tüm karbondioksit emisyonlarının yaklaşık yüzde 90'ını oluşturarak, küresel iklim değişikliğine açık ara en büyük sebebi olarak yer almaktadır. İklim değişikliğine neden olan unsurlara bakıldığında; enerji üretimi, imalat sanayi, ormansızlaşma, ulaşım kullanımları, gıda üretimi, yüksek tüketim ve binalar öne çıkmaktadır (IPCC, 2021).

UNEP'in Karbon Emisyon Açığı Raporu(2022)'na göre yapı sektörünün dönüşümünü hızlandıracak eylemler şunlardır: verimli bina kabuğu oluşturma amacıyla aktif ısıtma ve soğutma ihtiyacını en aza indirmek için bina kabuğunun optimize edilmesi, sıfır emisyonlu ısıtma soğutma teknolojisinin güçlendirilmesi adına hidroflorokarbon içermeyen yüksek verimli klimalar ve ısı pompaları, tesis içinde veya tesis dışında elektrikle sağlanarak yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalıştırılabilir olanların tercih edilmesi, yeni binaların, sıfır karbon kaynaklarıyla karşılanan minimum enerji talebiyle, çalışır durumda sıfır karbon olacak şekilde tasarlanması ve inşa edilmesi, inşaat malzemelerinden kaynaklanan emisyonların çelik ve çimento üretiminin emisyon yoğunluğunu azaltarak ve mümkün olduğunda geri dönüştürülmüş malzemeler de dahil olmak üzere daha düşük karbonlu malzemeleri ikame ederek en aza indirilmesi. Bina operasyonlarından kaynaklanan doğrudan emisyonlar, diğer sektörlerle kıyasla nispeten küçük kalmaktadır ve küresel sera gazı emisyonlarının yüzde 5'i olarak tahmin edilmektedir, ancak bu sayı, elektrik ve ısı tüketiminden kaynaklanan dolaylı emisyonlar hesaba katıldığında yüzde 17'ye çıkmaktadır (IPCC 2022). Doğrudan emisyonlar yılda 3 gigaton CO₂ ile nispeten sabit kalırken, dolaylı emisyonlar 1990'dan bu yana neredeyse iki katına çıktı (IEA 2020).

Bu makalede bina sektöründeki karbon emisyonları dönüşümünün bir parçası olarak yapı malzemelerinin gömülü karbon emisyonlarına odaklanan bir yapı incelemesi yapılmıştır. Bir yapının tasarım aşamasında karar verilirken yapı malzemesinin ikame malzemelerle değişimiyle ortaya çıkan gömülü karbon farkının ortaya konması

ve yapıdaki formun değişimiyle gömülü karbon miktarının gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA KARBON SALINIMI

Sürdürülebilirlik, ekonomi, çevre ve toplum konularını baz alan, yıllardır üzerinde çalışılan ve çalışılmaya devam eden bir araştırma ve uygulama alanıdır. İnsan tüketimine dayalı türlü eylemlerin iklim değişikliği ve sera gazı emisyonlarına büyük ölçüde etki eden inşa etme pratiği sürdürülebilirliğin inceleme alanları arasındadır. Sürdürülebilirlik kavramı uzun yıllardır inşaat endüstrisinde gündemde olmasına rağmen, resmi istatistikler inşaat sektörünün büyük bir enerji tüketicisi olmaya devam ettiğini göstermektedir. (Rode, 2011).

Ürün ve hizmetlere erişim için harcanan enerji miktarını azaltma hedefi için enerji verimliliği kavramı ortaya çıkmıştır (Enerji Verimliliği, 2023). Bu çerçevede sürdürülebilirlik çevre kirliliği ve sera gazlarının azaltılmasını, ekolojik dengenin korunmasını ve enerji ve kaynak verimliliğini zaruri tutmuştur (US Member States, 2012).

1.1) Karbon Emisyonu

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar küresel sera gazı emisyonlarının yüzde 75'inden fazlasını ve tüm karbondioksit emisyonlarının yaklaşık yüzde 90'ını oluşturarak, küresel iklim değişikliğine açık ara en büyük sebebi olarak ortaya çıkmaktadır. İklim değişikliğine neden olan unsurlara bakıldığında; enerji üretimi, imalat sanayi, ormansızlaşma, ulaşım kullanımları, gıda üretimi, yüksek tüketim ve binalar öne çıkmaktadır.

İklim değişikliğinin, küresel ısınmanın ve dünya sıcaklığının artışının en büyük nedenlerinden biri karbon salınımindaki artıştır (Lu, 2019). Bu artışla alakalı olarak dünya çapındaki toplumlara bakıldığında bu sera gazı salınımları konusunda belirgin bir rahatsızlık doğmuştur (Wu, H.J. ve ark., 2012). Sınırlı olan kaynakların giderek azalması ve bunun yanında bu sonlu kaynakların kullanımı sonucu ortaya çıkan karbon emisyonu çevreye geri döndürülemez etkilere sebep olmaktadır (GlobalComissionOnAdaptNow, 2019).

1.2) Karbon Emisyonunda Binaların Etkisi

Küresel ölçekte, konut ve ticari kullanım amaçlı binalar tüm elektriğin önemli bir kısmını tüketmektedir. Isıtma, soğutma, aydınlanma, ev aletleri ve bağlı cihazların kullanımı gibi sebeplerden ötürü binaların elektrik tüketimi yüksek seviyede ve artış eğilimindedir. Ayrıca binaların inşaat süreçleri de ciddi bir sera gazı emisyonuna neden olmaktadır. Dolayısıyla binalar doğrudan ve

dolaylı olarak yüksek düzeyde sera gazı emisyonuna sebep olmaktadır. Bununla beraber, binaların sebep olduğu sera gazı emisyonu temel yaşamsal faaliyetlerin bir sonucudur. İklim değişikliği ile mücadelede Net Sıfır hedeflerine ulaşmak için binalardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının minimuma indirilmesi önem taşır (BM İklim Eylemi, 2022).

Binaların emisyonları iki şekilde ölçülmektedir. Bunlardan ilki aydınlatma, ısıtma ve soğutma gibi günlük enerji kullanımı, ikincisi yapının inşası sırasında kullanılan malzemenin üretilmesi, nakliyesi ve şantiye süreci olarak belirtilmiştir (Global Status Report, 2018).

Mevcut yapıların karbon salınımları kontrol altına alınmadığı sürece 2040 yılında mevcut yapılardan salınan bu gazla Paris anlaşmasında hedeflenen 1.5 derecelik ısı artışı olağan şekilde gerçekleşmiş olacağı bildirilmiştir ve bu durumda ilk hedef mevcut binalardan sıfır emisyon elde etmek için girişimde bulunmak ikinci hedef ise inşa edilecek olan yapılar için (enerji verimliliğini artırmak, fosil yakıt kullanımını ortadan kaldırmak, tam yenilenebilir enerji kaynakları üretilip kullanma vd.) müdahalelerde bulunmaktadır (Architecture 2030, 2023).

1.3) Karbon Salınımının Bina Süreçlerindeki Durumu

Binalarda yapı yaşam döngüsü, yapıyı oluşturacak her bir bileşenin hammadde aşamasından başlayarak, yapının üretim, kullanım ve yıkım evrelerini de içerecek şekilde tükettiği toplam enerjiyi analiz eder. Bu enerji için tüketilen doğal kaynakların bir sonucu olan çevresel etkileri somut bir şekilde ortaya koyar. Bu analiz sonucunda tasarım yenilenip ilgili analiz tekrarlanabilir, farklı alternatifler üretilip karşılaştırılabilir ve doğal çevreye en uygun seçenek belirlenebilir (Azkur,

2019). Yaşam döngüsü boyunca tüketilen enerji sonucunda çeşitli sera gazı salınımları olur.

Kyoto Protokolüne göre sera gazları, karbondioksit (CO₂), perflorokarbon (PFC'ler), nitroz oksit (N₂O), metan (CH₄), kükürt heksaflorür (SF₆) ve hidroflorokarbonlar (HFCS) olarak tanımlanmaktadır. Bu gazlardan hacimce küresel ısınma gazı emisyonlarının neredeyse %80'i karbondioksittir (CO₂)'dir (Sun, 2020). Binalarda karbon salınımı 3 grupta incelenir: Yaşam döngüsü karbonu, Operasyonel Karbon ve Gömülü Karbondur (Rodrigo, 2019).

1.4) Karbon Salınımına İlişkin Uluslararası Çalışmalar ve İş Birliği

İklim değişikliğinin kritik bir endişe kaynağı olduğunu kabul eden UNFCCC anlaşması, Brezilya'nın Rio de Janeiro kentindeki Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda (1992) kabul edildi. Haziran 1993'e kadar 166 ülke anlaşmayı imzaladı, ancak 21 Mart 1994'e kadar yürürlüğe girmedi. UNFCCC, ana hedefi "atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının iklim sistemine tehlikeli antropojenik müdahaleyi önleyecek düzeyde dengelenmesini başarmak" (UNFCCC Anlaşması, Madde 2) olan uluslararası bir çevre anlaşmasıdır. Temmuz 2022 itibariyle, UNFCCC'nin BM üye devletleri dahil, Filistin ve Vatikan ile toplam 198 taraftarı vardır.

Kyoto protokolü, UNFCCC uluslararası anlaşmasının bir ekidir. Protokol, Aralık 1997'de Japonya'nın Kyoto kentinde kabul edildi ve 16 Şubat 2005'te yürürlüğe girdi. Protokol, 2008'den 2012'ye kadar olan ilk döneminde 36 ülke ve Avrupa Birliği için sera gazı emisyonlarının 1990 seviyelerinin yüzde 5,2 altına düşürülmesi çağrısında bulundu (URL-1). İklim değişikliğini ele almak için belirli hedefler de dahil olmak üzere somut bir eylem planı oluşturduğu için Kyoto Protokolü önemli bir başarıdır (Rowan, 2022). Protokol, raporlanan

Tablo 1. A. Moazzen ve ark.(2019) tarafından yapılan gömülü karbon ve gömülü enerjileri gösteren yapı malzemesi tablosu.

Bileşen	Malzeme katmanları (dışarıdan içeriye)	Isı iletkenlik (W.m ⁻² .K ⁻¹)	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg.m ⁻³)	Alan (m ²)	GE (kWh.kg ⁻¹)	GK (kgCO ₂ .kg ⁻¹)	U-değeri (W.m ⁻² .K ⁻¹)
Dış duvar	Çimento	1.6	0.03	2000	3516.6	0.16	0.09	1.85
	Tuğla	0.72	0.19	1920		2.5	0.22	
	Alçı Sıva	0.51	0.025	1200		0.56	0.12	
Bodrum kat Dış duvar	Çimento	1.6	0.03	2000	1025.8	0.16	0.09	1.43
	Su yalıtımı	0.19	0.002	1100		21.6	1.92	
	Tuğla	0.72	0.3	1920		2.5	0.22	
	Alçı Sıva	0.51	0.025	1200		0.56	0.12	
Çatı	Çimento şapı	1.4	0.04	2000	1573.1	0.44	0.18	3.43
	Betonarme	2.5	0.15	2400		0.55	0.2	
	Alçı Sıva	0.51	0.025	1200		0.56	0.12	
Zemin kat	Beton	1.65	0.15	2200	1587.9	0.36	0.19	1.9
	Çimento şapı	1.4	0.04	2000		0.44	0.18	
	Seramik karolar	0.8	0.01	1700		0.79	0.46	
	Harç	0.88	0.03	2000		0.37	0.19	
	Granit	2.8	0.02	2600		0.99	0.39	
Cam	6mm tek cam	0.9	0.006	2500	596.8	4.42	0.96	5.77
	PVC çerçeve	0.17	0.06	1390		148	39.8	

hedeflerin raporlanması, titiz bir şekilde izlenmesi ve doğrulanması yoluyla UNFCCC'nin faaliyete geçmesinde fayda sağlamıştır.

Paris Anlaşması 12 Aralık 2015 tarihinde Cop21'de 196 tarafça kabul edilmiş ve 4 Kasım 2016'da yürürlüğe girmiştir (URL-2)(Paris Anlaşması Tam Metni, 2015). Anlaşma şu şekildedir:

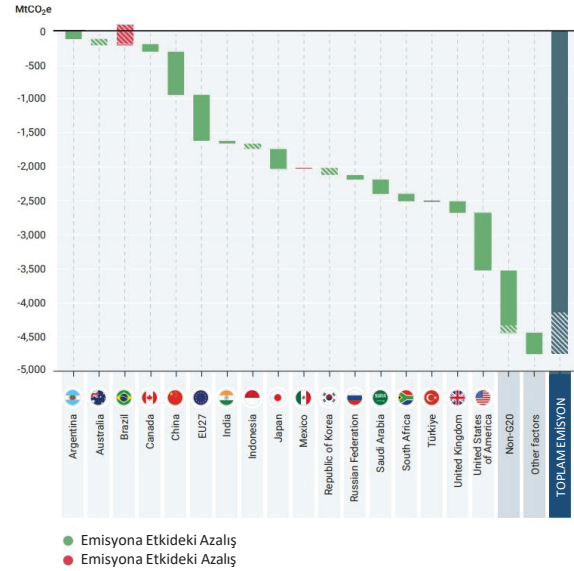
iklim değişikliğini ele alan önemli bir uluslararası anlaşma olarak görülmektedir, iklim değişikliğiyle yüzleşmek ve hafifletmek ve etkilerine uyum sağlamak için tüm ulusları tek bir şemsiye altına almaktadır. Dünya çapındaki tüm ülkelerin belirli bir konuda fikir birliğine varması açısından Paris'te dünya, insan davranışının iklim değişikliğini yönlendirdiği, çevre ve tüm insanlık için varoluşsal bir tehdit olduğu ve sorunu çözmek için küresel eyleme ihtiyaç duyulduğu konusunda topluca hemfikir olmuştur (Rowan, 2022). Paris Anlaşması ayrıca tüm ülkelerin doğrulanabilir emisyon azaltma hedefleri belirlemeleri ve bu eylemleri zaman içinde güçlendirmeleri için bir çerçeve oluşturmuştur. Paris Anlaşması uyarınca, her ülkenin emisyonların azaltılması ve olası sera gazı azaltımı için hedefler belirleyen bir INDC iklim eylem planı hazırlaması bekleniyor. Belli amaçlarla belli aralıklarla toplanan Paris İklim Anlaşmasına taraf ülkelerin INDC'leri açıkladığı ve ortak kararlar aldığı COP'lar (Conference of Parties)'dan COP21 Paris'te, COP24 Katovice'de COP26 Glasgow'da, COP27 ise SharmEl Sheik'te düzenledi.

Karbon emisyonuna ilişkin çalışmalar 1800'lerden bu yana, Sanayi Devrimi sonrasında, kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtların tüketiminin yaygınlaşması ve çeşitlenmesi nedeniyle tartışılmaya başlanmıştır (BM İklim Eylemi, 2022), bu kapsamda yine Birleşmiş Milletler Çevre Programı, 2015 yılında düzenlenen 21. Taraflar Konferansı'nda (COP21) Binalar ve İnşaat için Küresel İttifak (Global Alliance for Buildings and Construction – Global ABC) isimli bir meta-platform kurmuştur.

GlobalABC, Paris Anlaşması'nda belirlenen iklim hedeflerine uyumlu olarak sıfır emisyonlu, verimli ve dirençli bir bina ve inşaat sektörü oluşturmayı hedefleyen uluslararası gönüllü ortaklık olarak birtakım çalışmalar yürütmektedir. 2016 yılından itibaren GlobalABC, yıllık Binalar ve İnşaat için Küresel Durum Raporu yayınlamaktadır. Yayımlanan son raporda küresel ölçekte inşaat ve binalar ve inşaat sektörünün 2050 yılına kadar karbonsuzlaştırmayı başarma yolunda olmadığı ifade edilmiş ve zorunlu bina enerji mevzuatlarının bir an evvel uygulamaya konulmasının aciliyeti vurgulanmıştır (BM İklim Eylemi, 2022).

3.1) INDC Raporları

Paris iklim anlaşması, küresel ısınmayı 2 santigrat derecenin oldukça altında tutmayı ve onu 1,5 santigrat derece ile sınırlamak için çabaların sürdürülmesini amaçlamaktadır. Bunu başarmak için ülkeler, 2020 sonrası iklim eylemlerini özetleyen gönüllü olarak hazırladıkları, amaçlanan Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkıları (INDC'leri) paylaşmaktadır. Mevcut INDC'lerin toplam sera gazı emisyonlarının azaltılması üzerindeki etkisini, bunun Paris iklim anlaşmasının sıcaklık hedefine ulaşma üzerindeki etkilerini ve başarıyı aşmak için potansiyel seçenekleri değerlendiren Rogelj (2016) INDC'lerin 2030 hedefinin emisyondaki azaltmayı sağlamak için çok önemli olduğu vurgulamaktadır ve mevcut politikaların bulunduğu yere kıyasla toplu olarak sera gazı emisyonlarını düşüreceğini, ancak yine de 2100 yılına kadar ortalama 2,6–3,1 santigrat derecelik bir ısınma kaydedileceğini belirtir.



Şekil 1. İlk INDC'lere göre yeni ve güncellenmiş INDC'lerin 2030'daki küresel sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi, (UNEP, 2022).

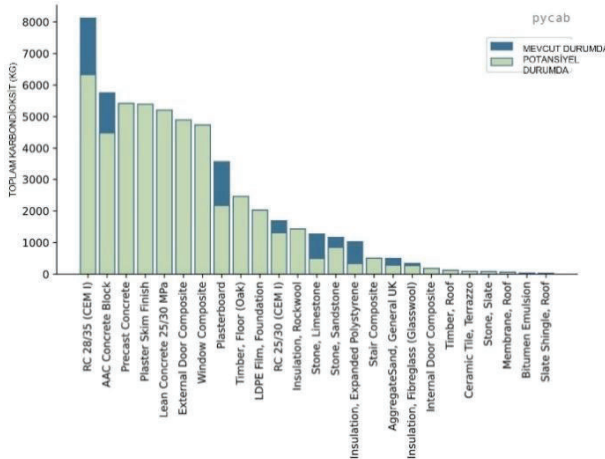
1.5) Operasyonel Karbon

Yaşam döngüsü evreleri(YDE) gömülü, yapım, kullanım ve yıkım enerjilerini içerir. Binada ve bileşenlerinde kullanılan tüm malzemelerin gömülü enerjisi hesaplandıktan sonra, yapım aşamasında harcanan enerji ve daha sonra kullanım aşamasında ihtiyaç duyulan enerji ile yıkım enerjisi de hesaba katılır. Mozazzen ve ark.'a (Moazzen, 2019) göre genel olarak kullanım süresinde tüketilen enerjinin, binaların YDE'sinin yaklaşık %80 – 90'ı kadar önemli bir paya sahip olduğu ve ardından gömülü enerjinin %10-20 oranında bir paya sahip olduğu, yıkım ve diğer işlemlerin enerjisinin ise az miktarda olduğu için ihmal edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

2. GÖMÜLÜ KARBONUN BİNA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

Üretim, ulaşım ve imalat sürecinde kullanılan enerji gömülü enerji olarak adlandırılmaktadır. Moazzen ve ark. yapı bileşenlerinin ve gömülü enerji(GE) ve gömülü karbon(GK) dahil olmak üzere malzemelerinin birincil özelliklerini incelemiştir (Şekil 2). Geri dönüştürülmüş malzemeleri, karbonu tutan malzemeleri veya düşük karbonlu enerji kullanılarak üretilen ve işlenen malzemeleri seçmek ve nakliye emisyonlarını önlemek için yerel malzemeleri tedarik etmek, gömülü karbonu azaltmanın etkili yollarıdır (Ebrahimi, 2020).

Sektör uzmanlarının kullanabileceği bir model sunan Jones (2022) yaptığı vaka çalışmasına göre, yapı formunu sabit tutup yapı malzemelerini standart malzeme yerine daha düşük gömülü karbon değerli malzemelerle değiştirildiğinde kayda değer bir karbon tasarrufuna ulaşmıştır. En yüksek gömülü karbon etkisini beton muhtevası sebebiyle yapının altyapısı sonra üst yapısı oluşturur, üst yapıda ise en çok etki dış duvarlardadır (Jones, 2022).



Şekil 2. Jones'in vaka analizine göre yapı malzemelerinin mevcut ve potansiyel gömülü karbon miktarları (Jones, 2022).

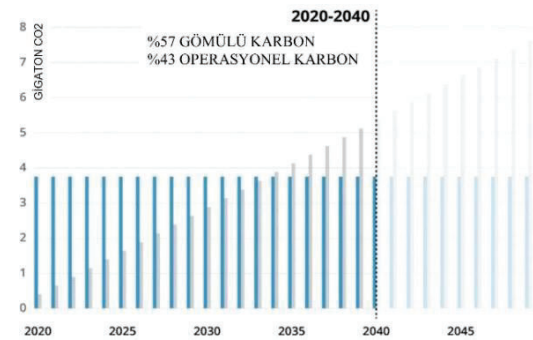
Bir binanın yaşam döngüsünün inşaat aşaması toplam karbondioksitinin %12,6'sını, işletme aşaması %84'ünü ve yıkım aşaması %2'sini üretir (Peng, 2016). BS EN 15978 (European Standards, 2023)'e göre, tüm yaşam düşüncesi, bir binanın ürün aşamasından (A1-A3, beşikten kapıya), inşaat süreci aşamasına (A4-A5, teslim) ve kullanım aşamasına (B1-B7) kadar tüm yaşam döngüsü aşamalarını dikkate almayı gerektirir. Gömülü enerji ve gömülü karbondioksit katsayılarının belirlenmesi için süreç analizi yöntemi dikkate alınır. Hammadde çıkarma seviyesinden başlayarak, üretim sürecinde “Beşikten kapıya” yaklaşımı temel alınır:

2.4.a) Beşikten Kapıya, hammadde çıkarma (beşik) aşamasından nihai işleme operasyonunun fabrika kapısına kadar olan karbon emisyonlarını ifade eder (SrinathP.veark, 2015). Basitçe madencilik, hammadde çıkarma, işleme ve üretimi içerir. Beşikten sahaya, üreticinin kapısı ile inşaat sahası arasındaki malzeme dağıtım sürecinde salınan karbon, beşikten kapıya aşamada ortaya çıkan karbon emisyonlarına eklenmelidir (Ibid.).

2.4.b) Beşikten Uca inşaat, şantiyede inşaatın sonuna kadar yayılan karbonu dikkate alır. Beşikten mezara, üretim, nakliye, inşaat, kullanım ve yıkım yoluyla malzeme çıkarma aşamasından yayılan karbonu ifade eder (SrinathP.veark, 2015).

2.4.c) Beşikten Beşiğe, yıkılan yapı malzemelerinin yeni bir inşaat faaliyeti için geri dönüştürülmesi veya yeniden kullanılmasıyla ilgili karbon emisyonlarını ifade eder (SrinathP.veark, 2015).

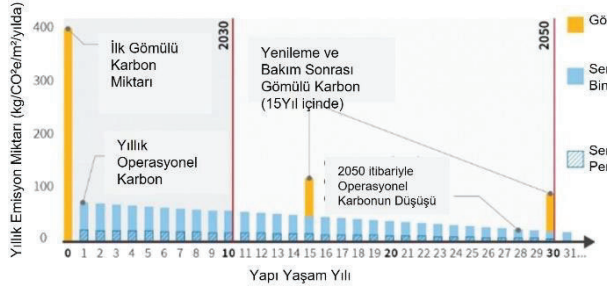
Karbon emisyonlarına ilişkin olarak 2002 yılında kurulmuş, kâr amacı gütmeyen bağımsız bir kuruluş (Architecture 2030, 2023) olan Architecture 2030'a göre 2040 yılında, küresel ısınmanın ulaşacağı boyutta en büyük pay karbona ait olacaktır. Bina üretiminde kullanılan tüketim enerjisi azaltılıp negatife indirilecek olsa bile gömülü enerji hakkında bir müdahale yapılmadığı takdirde bu enerji yapı inşası bittiği an bırakıldığı haliyle sabitlenmektedir. Sıfır emisyonla ulaşma noktasında gömülü karbon emisyonu göz ardı edilmemelidir. Mevcut binaların yenilenmesi, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılması yapılması gerekenler arasındadır ve hammadde çıkarma seviyesinden başlayarak “beşikten beşik”e süreç analizi yapmak önem taşımaktadır.



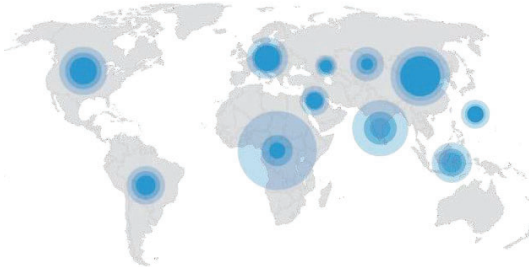
Şekil 3. Architecture 2030'a göre herhangi bir sektör müdahalesi olmaksızın yıllara göre gerçekleşecek olan toplam karbon emisyonları (Architecture 2030, 2023).

Architecture 2030 tarafından 2060 yılına kadar küresel bina taban alanının ikiye katlanması beklenmektedir. İnsanlık tarihindeki en büyük kentsel büyüme dalgasını karşılamak için, küresel bina stokuna 230 milyar m² yeni zemin alanı eklenmesi öngörülmektedir. Yeni inşaatlardan sıfır emisyon elde etmek, tesis içi fosil yakıt kullanmayan ve %100 tesis içi ve/veya tesis dışı yenilenebilir

enerji ile çalışan, enerji açısından verimli binalar gerektirecektir (Carbon Leadership Forum, 2023).



Şekil 4. 2050 yılına kadar şebekesel karbonizasyonun sıfıra indiğini varsayan, 2020-2050 yılları arasında yeni bir binanın gömülü ve operasyonel karbonunun göreceli etkisi, (Carbon Leadership Forum, 2023).



Şekil 5. 2060 yılı beklenen zemin yerleşim alanlarının iki katına çıkışı, (Architecture 2030, 2023).

3. PROGRAMLAR, VERİ TABANLARI, YAZILIMLAR

Yapı malzemelerinin tüm yaşam döngüsü aşamalarını değerlendirmek için kapsamlı gömülü karbon verileri mevcuttur. Bazıları kullanıcılar tarafından erişilebilirken diğerleri tescillidir ve bu nedenle daha az şeffaftır. Farklı araçların neden farklı sonuçlar ürettiğini teşhis etmek zordur çünkü bazı temel veri tabanlarının bakımı düzenli olarak yapılmaz ve bunların veri kaynaklarının ve metodolojilerinin dokümantasyonu kolaylıkla elde edilemez. Tedarik zincirine özgü ve tesise özgü veriler ile şu anda pek çok veri tabanında eksik olan nakliye ve inşaat verileri için veri toplama ve raporlama yönergelerine de ihtiyaç vardır. Sağlam bir veri tabanı, güvenilir LCA analizlerinin bel kemiğidir. Veri standardizasyonu ve şeffaflık için yönergelere ihtiyaç vardır.

Sürdürülebilirliğin incelenmesi, bazı analiz yöntemleriyle yapılır. Yapı yaşam döngüsünün hammadde, üretim, tüketim, yıkımı, yeniden dönüşümü, nakliyesi aşamalarını barındıran LCA(Life Cycle Assessment) yöntemi, literatürdeki en yaygın yöntemlerden biridir. Bu yöntem, bina ömrünün tamamını dikkate alır. Spesifik etki kategorileri, LCA sonuçlarını gösterir ve LCA'yı uygulamak için GaBi, ATHENA, Tally veya OneClickLCA gibi kullanılan bazı yaygın programlar vardır. Genel olarak bu analizlerin iki

uygulanması vardır, mevcut inşa edilmiş veya edilmeye hazır yapının sürdürülebilirliğinin tespiti ve/veya henüz ana kararları verilmeden ön tasarım aşamasında tasarımı yönlendirmek için yapılan analizler.

a) GaBi Veri tabanlı Tally Yazılımı

Tally, mimarların ve mühendislerin tüm bina analizi ve tasarım seçeneklerinin karşılaştırmalı analizleri için yapı malzemelerinin çevresel etkisini ölçmelerine olanak tanıyan bir eklentidir. EN 15978'e göre beşikten mezara aşamalarını kapsayan GaBi-6 da geliştirilen ISO14040-14044 standartlarına göre hazırlanmıştır (Tally, 2023).

Tally'nin çalışma şekli, bir BIM yazılımı olan Revit ile çalıştırılabilen bütünleşmiş bir LCA sürecini yürütmeye dayanır. Tally, kullanıcının çevresel ürün veri tabanındaki malzemeleri BIM yazılımına atamasına olanak tanır; böylece kullanıcı, malzeme seçimine karar verme sürecinde ürünlerin çevresel etki sonuçlarını görüntüleyebilir ve erken evrede değiştirme kararını verebilir. Tally (KTInnovations, 2014) ile Cradle-to gate sistem sınırı içinde tam bir bina LCA süreci yürütmek mümkündür.

b) OneClick LCA

BIM(Yapı Bilgi Modelleme) ve BEM(Bina Enerji Modeli) entegrasyonları ile LCA'yı otomatikleştirerek Revit eklentisi sayesinde anlık olarak güvenilir sonuçlar verir (One Click LCA, 2023). Veri tabanı olarak Kuzey Amerika EPD veri tabanıyla entegredir. Veri tabanı ISO 14025, 14040, 14044 ve EN 15804 veya ISO 21930'a uygundur ve en azından beşikten kapağa kadar tam bir kapsama sahipken, diğer aşamalar için de veriler içerir (North American construction materials LCA database, 2023). Köseci'nin belirttiği gibi (2018) OneClick LCA ile Tally'nin sonuç farklılıkları araçlarda benimsenen standartlara göre farklı metodolojik yaklaşımlardan kaynaklanmaktadır.

c) ICE Veri Tabanı:

Circular Ecology'den Craig Jones tarafından geliştirilen ICE veri tabanı, beşikten kapağa (cradle to gate) kapsamında yapı malzemelerinin gömülü karbon miktarları dahil birçok veriyi içerir. Bu, inşaat işlerinin/malzemelerinin sürdürülebilirlik değerlendirmesiyle ilgili EN 15978 ve EN 15804 standartlarında A1-A3 modülü olarak sınıflanmıştır (BS EN 15804, 2023).

ICE veri tabanı bir meta veri tabanıdır, veri noktaları hakkında meta verileri (veri üreticilerle veriyi kullananlar arasında bir köprü) depolayan bir veri tabanıdır. Çeşitli yöntem ve aralıklardaki verileri içerir. Toplanan verilerin aralıkları ve metodolojik

tutarlılığı, karbon ayak izi standartlarıyla beraber son sürümü olan ICE DB V3.0 (2019) kullanıma açıktır, ücretsiz erişim imkânı sağlanmaktadır (Circular Ecology, 2023).

Yalnızca malzemelerin gömülü karbonunu tespit etmekle kalmayıp, malzemelere benzersiz kimlikler verir, malzemelerin alt malzemelerini de içerir. Mevcut istatistiksel analiz, ortalama gömülü karbon, tarih güncellemesi, tasarım kalite göstergesi, yaşam döngüsü notları, malzeme, beyan edilen birim miktarları, malzeme yoğunluğu (kg/m³), yoğunluk aralıkları, ötrofikasyon potansiyeli (suya karışan) azot fosfat miktarı) içerdiği verilerden bir kısmıdır. Agregat, asfalt, bitüm, çimento, seramik, toprak, kompozitler, beton, bakır, cam, boya, yalıtım, demir, kireç, kâğıt, sıva, plastikler, yapııştırıcılar, lastik, kil, çelik, kereste, taş malzemelerinin bilgileri ICE veri tabanına işlenmiştir. Bir inşaat projesindeki gömülü karbon miktarları oluşturulurken madenciler, imalatçılar, tedarikçiler, taşeronlar ve müteahhitler kilit rol oynarlar (Lu, K., 2019).

Tablo 2. ICE veri tabanından BIM yazılımına aktarılacak bazı veriler, (Circular Ecology, 2023).

Unique ID	Material	Sub-material	Weight per declared unit - kg	Density of material - kg per m ³	Embodied Carbon (kg CO ₂ e per declared unit)	Embodied Carbon per kg (kg CO ₂ e per kg) /KM
e489e4c4-79e7-42bd-a517-f603097ef5e4	Concrete	Concrete, General	2380	2380	246	0,103361345
6a4d70f8-b506-4e75-818f-78884ed5e0ba	Concrete	Concrete, GEN 0	2370	2370	166,9362286	0,070437227
1ec25b41-e5d3-44de-8980-2587ae5c0383	Concrete	Concrete, GEN 1	2370	2370	230,347152	0,097192891
1a33ec10-a2af-40aa-b297-191a07522a92	Concrete	Concrete, GEN 2	2370	2370	248,7541353	0,104959551
43a98680-edf8-4fd2-8246-58ae15a0cdba	Concrete	Concrete, GEN 3	2370	2370	267,0134028	0,112663883
375da000-6022-4de1-95ba-e16d8a9a824b	Concrete	Concrete, 20/25	2400	2400	290,2277023	0,120928209
ac1c738b-2342-4a26-9072-26c731b9ee5e	Concrete	Concrete, 25/30	2400	2400	308,5726393	0,128571933

Mevcut durumda bu veri tabanı kullanıcıları, aynı zamanda tasarım yapan projeci veya projedeki gömülü karbonu görmek isteyen kişinin izleyeceği adımlar şunlardır: Proje oluşturulur, malzemelerin metrajı çıkarılır, her bir malzeme için ICE veri tabanındaki birim miktara göre bildirilen gömülü karbondioksit verisi kontrol edilerek metrajla işlenir. Sonrasında metrajla işlenen karbondioksitle birim cinsi m³ olanlar için m³'le, kg olanlar için kg'la çarpılarak her bir malzemenin gömülü karbonu bulunur. Bunların tamamının toplamı alınarak 1-3 aşamalarındaki beşikten kapağıya diye adlandırılan süreçteki toplam gömülü karbon miktarına ulaşılır.

Azkar (2019) da ICE veri tabanını kullanarak taşıyıcı sistem seçiminin gömülü enerjinin en yüksek olduğu betonarme yerine çelik ve ahşap malzeme tercih ederek, mevcut müstakil bir konut yapısının yalnızca taşıyıcı sistemini değiştirildiği varsayılarak gömülü enerji miktarında kayda değer bir azalma tespit etmiştir.

Veld (2023), ICE veri tabanını kullanarak bu geleneksel yolla yapılan metraj alma işlemini BIM'e uyarlamış, geleneksel yöntemle göre çok daha hızlı ve doğru biçimde sonuçlar almak için bir Revit programı eklentisi oluşturmuştur. Bu eklenti Revit içinde çalışır ve kullanılan malzemelere göre anlık olarak gömülü karbon miktarını, toplam karbon miktarını farklı bir işlem yapmaya gerek kalmaksızın gösterir. Burada hesaplanan karbon miktarı için doğruluk payı tartışmalıdır çünkü gömülü karbon miktarı belirlenirken hesaba katılan salınan karbon, malzemenin üretim yerinden sahaya getirilmesine kadarki nakliyesinde tüketilen enerjiye göre ortalama bir değer verir. Bunun için en doğru bilgiye ulaşmak adına verilerin projeye göre güncellenmesi gerekir. David Veld'in Carbon Life Calculator eklentisi Autodesk AppStore'undan (Autodesk, 2023) indirilip Revit'le anlık olarak çalıştırılabilir.

Geleneksel yöntemle yapılan bir gömülü karbon hesabında sonuca ulaşmak hem zahmetli ve vakit alıcıdır. Bunun yanında ICE veri tabanı kullanılarak yapılan, yapının yalnızca bir ögesi değiştirilerek yapılan gömülü karbon değişim miktarları sonuç ürüne bakıldığı zaman yeterli olmadığından hem ICE veri tabanı kullanılarak hem de BIM sistematığı kullanılarak yapılacak olan bir çalışmanın sonuçları doğruluk payını daha yukarıya çekecek, üstelik yeni bir model oluşturacaktır.

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ

Yöntem : Bu çalışma, yapı sektöründe karbon ayak izini azaltmaya yönelik bir vaka çalışması üzerine odaklanmaktadır. Çalışmanın metodolojisi, dört ana adımdan oluşmaktadır. İlk adım, bir bina bilgi modelleme (BIM) yazılımını kullanılarak üç boyutlu (3B) bir veri modelinin oluşturulması sürecini içermektedir. Bu aşamada, bina veya yapı için gerekli olan mimari, yapısal ve sistemsel verilerin entegrasyonu yapılarak kapsamlı bir 3B model elde edilir.

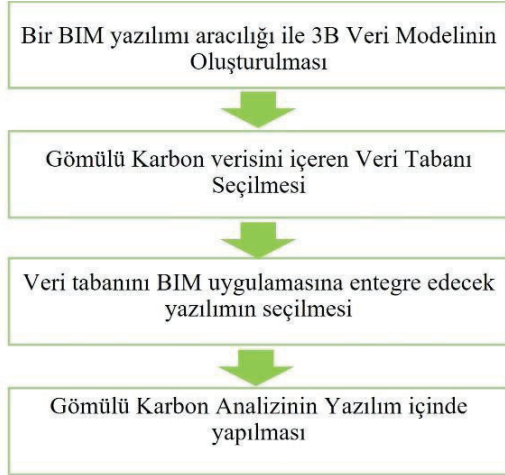
İkinci adım, gömülü karbon verilerini içeren uygun bir veri tabanının seçilmesini kapsar. Bu veri tabanı, yapı malzemelerinin ve süreçlerinin karbon emisyonlarıyla ilgili detaylı bilgileri içerir. Seçilen veri tabanı, çevresel etkileri değerlendirmek ve gömülü karbon izleme analizlerini gerçekleştirmek için gerekli verilere erişim sağlar.

Üçüncü adımda, BIM uygulamasına entegre edilecek yazılımın seçilmesi yer alır. Bu yazılım, seçilen veri tabanındaki gömülü karbon verilerini BIM modeline aktarabilmeyi ve entegrasyonu sağlayarak veri akışını kolaylaştırır.

Son adım olarak, gömülü karbon analizi bu entegre yazılım içinde gerçekleştirilir. BIM modeli ile veri tabanı arasındaki entegrasyon sayesinde, yapı

malzemelerinin karbon izlerinin analiz edilmesi, çeşitli senaryoların simülasyonu ve çevresel performansın değerlendirilmesi mümkün olur. Bu adım, yapı sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik karar alma süreçlerini desteklemeyi amaçlar.

Bu yöntemle, yapı sektöründe sürdürülebilirlik ve gömülü karbon azaltımı konularında karar vericilere, tasarımcılara ve uygulayıcılara örnek bir vaka analizi çalışmasının analiz süreci sunulmaktadır.



Şekil 6. BIM Yazılımında gömülü karbon miktarı hesabında kullanılan çalışma modelinin akış diyagramı.

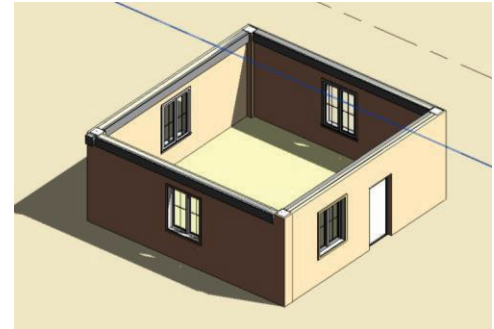
4.1) Modelin Oluşturulması

Bir BIM yazılımı olarak Autodesk Revit 2021 seçildi. Sürüm seçilirken karbon analizi yapılacak yazılım olan Tally'nin uyumluluk taşıması göz önünde tutuldu. Revit yazılımında (5x10)m büyüklüğünde iki katlı bir geleneksel konut yapısının ilk katı hesaplamaya dahil edilmek üzere model üretildi. İkinci opsiyon olarak aynı alanı kaplayacak şekilde büyüklüğü aynı olan fakat formu farklı olan 7.07m²lik kare formu oluşturuldu. BIM yazılımında model oluşturulurken her iki modelde malzeme katmanları, yükseklikler, malzeme türleri, yapının oturum alanı sabit tutularak yalnızca formu değiştirilmek amaçlandı.

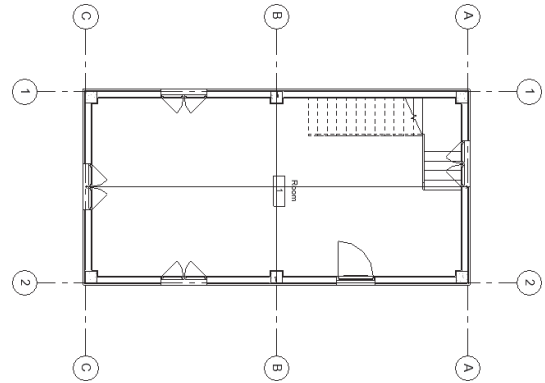
Projede duvarlar, temel, döşeme, merdiven, pencereler ve kapı modele dahil edildi. Çalışmanın konusu olan gömülü karbon analizinde duvarlar hesaba katılmıştır çünkü araştırmacılara göre karbon etkisi en çok betondadır ve üst yapı için ise en çok karbon etkisi dış duvarlardadır (Azkur, 2019), (Jones, 2022).



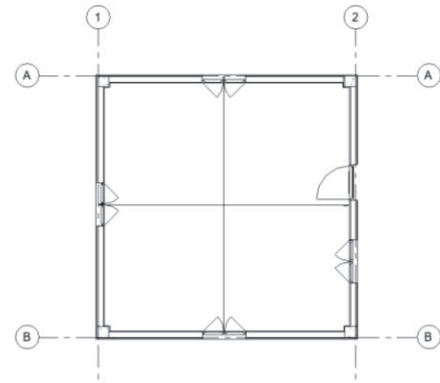
Şekil 7. BIM yazılımında üretilen 3B modelin görünümü.



Şekil 8. BIM yazılımında üretilen ikinci modelin 3B modelin görünümü.



Şekil 9. BIM yazılımında üretilen dikdörtgen formlu modelin planı (10m x 5m).



Şekil 10. BIM yazılımında üretilen kare formlu modelin planı (7.07m x 7.07m).

4.2) Veri Tabanı Seçilmesi

Sphera Ürün Sürdürülebilirliği (GaBi) veri tabanları, yüksek doğruluğa sahip endüstri verilerine dayanan, kapsamlı Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) veri tabanlarıdır, her yıl güncellenen 15.000'den fazla veri seti ve yaklaşık 20 güncel veri tabanını içinde barındırır, Çevresel Ürün Beyanlarından (EPD) karbon nötrlük yol haritalarına kadar değişen yaşam döngüsü tabanlı karar desteği için bir temel sağlamaktadır, GaBi ayrıca ihtiyaç duyulan verinin talebi haline veri tabanına eklemeler yapabilmektedir (Sphera, 2023). Karbon çalışması yapacak olan tasarımcı, proje danışmanı gibi uzmanlar için ön tasarımda ve ileriki aşamalarda esnek kullanılması imkanından ötürü ve kullanıcı talebi doğrultusunda veri genişletme imkânı sunmasıyla Gabi veri tabanı bu çalışma için uygun görülmüştür.

4.3) Veri Tabanını BIM Uygulamasına Aktaran Yazılımın Seçilmesi

Yapı malzemelerinin çevresel etkisini ölçmek için geliştirilen Tally gibi karbon ölçümüne odaklanan yazılım araçları, açık kaynak dosyaları yerine BIM yazılımlarında eklenti olarak çalıştırılır. Maksimum karbon tasarrufu için IFC açık kaynak dosyalarının kullanımı faydalıdır. Bir BIM aracına güvenmek, başlangıçtaki maddi karbon etkilerini minimum maliyetle azaltmak isteyen kullanıcılar için bir sınırlama getirirse de (Jones, 2022) BIM ile entegrasyon konusunda etkinliğinden ötürü bu çalışmada Tally programı tercih edilmiştir.

4.4) Gömülü Karbon Tespiti

Revit yazılımında Tally uygulaması çalıştırılarak, projede üretilen yapı elemanlarından duvarlar için karbon salınımını içeren bir tablo oluşturuldu. Uygulama içinde karbon miktarı gömülü karbon olarak ayrı bir başlık yerine A1-A3 aşaması olan ‘‘beşikten kapıya’’ olarak belirtilmiştir. Yazılım, oluşturulan 3B model üzerinde malzemelerin kütlelerini, boyutlarını, gömülü karbon katsayılarını tanıyarak işlem yaptığı için analizi yapılacak olan modelde kullanılan yapı malzemelerinin yazılımın kendi veri tabanından tanıyabileceği biçimde tanıtılması önemli bir adımdır. Nakliye aşamasında tüketilen enerjinin belirlenmesi için yazılım için her bir yapı malzemesinin üretim yerinden yapı sahasına olan mesafeyi bir girdi olarak alır, nakliye aşamasındaki karbon salınımı bu yolla tespit edilmektedir. Yapı malzemelerinin ortalama ömrü belirtilerek, bakım ve onarım için gerekli karbon harcamaları da hesaba katılmıştır. Mümkünse geri dönüşümü yapılacak malzemelerin geri dönüşüm enerjileri toplam gömülü karbon hesabına dahil edilmiştir.

Tablo 3. Dikdörtgen Formla oluşturulan modelin yaşam döngüsü aşamalarına göre karbon emisyonları.

Yaşam Döngüsü Aşaması	Küresel Isınma Potansiyeli Toplamı (kgCO ₂ eq)
[A1-A3] Üretim	8292,93415
[A4] Nakliye	50,43739
[B2-B5] Bakım-Onarım	402,95553
[C2-C4] Yaşam Sonu	614,68374
[D] Geri Dönüşüm	17,48047
Genel Toplam	9378,49129

Tablo 4. Kare Formla oluşturulan modelin yaşam döngüsü aşamalarına göre karbon emisyonları.

Yaşam Döngüsü Aşaması	Küresel Isınma Potansiyeli Toplamı (kgCO ₂ eq)
[A1-A3] Üretim	7310,14243
[A4] Nakliye	60,65772
[B2-B5] Bakım-Onarım	376,0116
[C2-C4] Yaşam Sonu	546,39461
[D] Geri Dönüşüm	15,19262
Genel Toplam	8308,39898

Yukarıdaki tablolarda gösterilen yaşam döngüsü aşamalarının her bir aşamasında salınan karbondioksit miktarına bakıldığında, duvar yapı malzemesi toplam yaşam gömülü karbonunun %88'ini üretim ve nakliye aşamasında tüketmektedir. Gömülü karbonun en yüksek olduğu aşama üretim aşamasıdır.

Modellenen aynı hacme sahip yapı birimlerinden kare formu ve dikdörtgen formu yapıların gömülü karbon salınımlarına bakıldığında plan düzleminde alan sabit kalsa da yüzey alanı artışı sebebiyle dikdörtgen formu yapının karbon salınımının daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Tablo 5. Dikdörtgen Formla oluşturulan modelin duvar yapısı malzemelerinin gömülü karbon miktarları.

	Küresel Isınma Potansiyeli Toplamı (kgCO₂eq)	Toplam Kütle (kg)
Duvarlar	9378,49129	25235,73289
Tuğla	5748,05204	18545,57316
Isı Yalıtımı	142,92444	95,64815
Sıva	477,20345	1570,04774
Boya	483,54664	242,46762
Çimento	2526,76472	4781,99622
Genel Toplam	9378,49129	25235,73289

Tablo 6. Kare Formla oluşturulan modelin duvar yapısı malzemelerinin gömülü karbon miktarları.

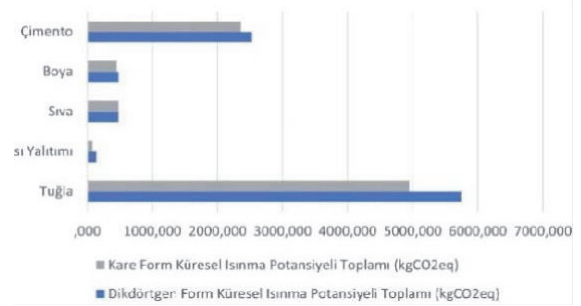
	Küresel Isınma Potansiyeli Toplamı (kgCO₂eq)	Kütle Toplamı (kg)
Duvarlar	8308,39898	22222,1894
Tuğla	4944,33013	15952,43668
Isı Yalıtımı	75,92315	50,80942
Sıva	479,12115	1530,44413
Boya	451,21392	226,25484
Çimento	2357,81064	4462,24434
Genel Toplam	8308,39898	22222,1894

Yukarıda gösterilen tablolarda BIM yazılımıyla üretilen 3B modeldeki duvar yapı elemanını oluşturan malzemeler listelenmiştir. Duvar yapı malzemesinin alt elemanlarına bakıldığında kare ve dikdörtgen form fark etmeksizin en yüksek karbon emisyonu değerini sırasıyla tuğla ve çimento taşımaktadır. Gömülü karbonun en yüksek olduğu elemanlar sırasıyla tuğla, çimento, sıva, boya ve ısı yalıtımıdır. Tercih edilen tuğla malzemesi kullanımı yaygın bir inşaat malzemesi olduğu için seçilmiştir.

Modellenen aynı hacme sahip yapı birimlerinden kare formu ve dikdörtgen formu yapıların gömülü karbon salınımlarına bakıldığında plan düzleminde alan sabit kalsa da yüzey alanı artışı sebebiyle dikdörtgen formu yapının karbon salınımlarında daha fazla olduğu gözlenmiştir. Karbon salınımlarındaki artış ile kütlelerdeki artışların arasındaki pozitif ilişki görülmektedir.

6. SONUÇ

Beşikten-kapıya yaklaşımı ile ürünlerin hammadde çıkarılıp sahaya getirilmesine kadar olan süreci temsil eden gömülü karbon miktarının doğruluğunu tartışılabilir çünkü söz konusu modellerde ürünlerin gömülü karbon miktarları muadil bir örnekle temsil edilmektedir. Örneğin form değişkenli BIM modeli üzerinde yapılan vaka çalışmasında, nakliye aşamasında tüketilen enerji 5 km'lik bir saha mesafesi seçilerek uygulama modelleri oluşturulmuştur. Duvar elemanının yapı malzemelerinden tuğla için kullanılan ürünün üreticiden ilgili veri bulunmadığından ilgili en doğru veriye erişim sağlanamamıştır ve malzemeye karşılık gelen ürün Tally kütüphanesinden seçilerek kullanılmıştır. Zabalza Bribián ve ark. (2011), kesin malzeme verilerini uygulamak yerine aynı malzemeye karşılık gelebilecek malzemenin veri tabanını uygulamak sonuçların doğruluğunu azaltacağını belirtse de nakliye mesafesi arttıkça karbon emisyonunun aynı oranda artacağı bilinmelidir.



Şekil 11. Forma Göre Değişen Gömülü Karbon Miktarları.

Gömülü karbonun Gömülü karbon miktarında maksimum karbon tasarrufu yapılmadığı takdirde, karbon miktarı duvar elemanı inşa edildikten sonra değiştirilemez ve sistem içine gömülüp yapının toplam karbon emisyonundaki payına müdahale edilemez bir ögesi konumunda kalır. Formun gömülü karbon emisyonundaki payını görmek amacıyla yapılan vaka çalışmasında formun gömülü karbona etkisi doğrudan gözlenmiştir. Malzeme çeşitleri, hacim ve yapının kapladığı alan sabit tutularak yalnızca yapılan form değişikliği ile %12,2'lik bir gömülü karbon tasarrufu sağlanmıştır. Jones(2022)'e göre binalar kategorisinde üstyapıda en çok karbon emisyonu yapan elemanı duvarlardır. İlk tasarım aşamasından itibaren çalışılan yapı formu konusunda belirleyici bir etken olarak gömülü karbon analizi yapılması karbondan tasarruf etmek için önemlidir.

7.KAYNAKLAR

Architecture 2030. (2023). URL:
<https://architecture2030.org/our-mission/#top>
(Erişim Tarihi: 03.02.2023).

Architecture 2030, 2023 URL:
https://architecture2030.org/2030_challenges/embo_died/
(Erişim Tarihi: 03.02.2023).

Autodesk. (2023). *Tally Eklentisi*.
<https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=5134144936403749174&appLang=en&os=Win64>
(Erişim Tarihi: 03.02.2023)

Azkur, H. V. (2019). *Farklı Taşıyıcı Sistemlerin Gömülü Enerji ve Gömülü Karbon Değerlerinin Müstakil Konutlar Bağlamında Karşılaştırılması*.

BM İklim Eylemi. (2022). *Causes and Effects of Climate Change (İklim Değişikliğinin Sebepleri ve Etkileri)*.

BM İklim Eylemi. (2022). *Net Zero (Net Sıfır)*.

BM İklim Eylemi. (2022). *What Is Climate Change*.

BS EN 15804. (2023, 01 20). European Standards:
https://www.en-standard.eu/bs-en-15804-2012-a1-2013-sustainability-of-construction-works-environmental-product-declarations-core-rules-for-the-product-category-of-construction-products/?gclid=Cj0KCQiA-JacBhC0ARIsAIxybyOmUBfjNXmw54Mh24i71Yg-uS3c_9YRkiMrf_ (Erişim Tarihi: 03.02.2023).

Carbon Leadership Forum. (2023). *Embodied Carbon 101*. Carbon Leadership Forum:
<https://carbonleadershipforum.org/fr/carbone-incorpore-101/> (Erişim Tarihi: 03.02.2023).

Circular Ecology. (2023). *ICE Veri Tabanı*.
<https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>.

Ebrahimi, G. (2020). *Embodied carbon and deep retrofits*.

Enerji Verimliliği. (2023, 01 20). Wikipedia:
https://tr.wikipedia.org/wiki/Enerji_verimliliği
(Erişim Tarihi: 03.02.2023).

Global Status Report. (2018).
<https://globalabc.org/resources/publications/2018-global-status-report-launch-communications-toolkit>
(Erişim Tarihi: 03.02.2023)

GlobalComissionOnAdaptNow. (2019). *Global Commission on Adapt Now: A Global Call For Leadership on Climate Resilience*.

IPCC. (2021). Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jones, B. I. (2022). *IFC-based embodied carbon benchmarking for early design analysis*.

Köseci, F.C. (2018). Integrated Life Cycle Assessment (Lca) To Building Information Modelling (Bim) Interoperability In The Bim- Based Lca Processes And Analysis Of Bim-Based Lca Results And Tools (Bim Tabanlı Lca Süreçlerinde Bina Bilgisi Modellemesi).

Lu, K. (2019). *Development of a carbon emissions analysis framework using building information modeling and life cycle assessment for the construction of hospital projects*.

Moazzen, N. K. (2019). *Assessment of the Life Cycle Energy Efficiency of a Primary School Building in Turkey*.

North American construction materials LCA database, One Click LCA: <https://www.oneclicklca.com/leed-users-north-american-construction-materials-lca-database-traci/> (Erişim Tarihi: 03.02.2023).

Onat, N. (2018.). *Türkiye inşaat sektörünün global karbon ayak izi analizi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 529-545*.

Onat, N.C. and Kucukvar, M. 2020. *Carbon Footprint Of Construction Industry: A Global Review And Supply Chain Analysis. Renew. Sust.Energ. Rev.* (Erişim Tarihi: 03.02.2023).

One Click LCA. Autodesk App Store
: <https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=3065869958781255107&appLang=en&os=Win64>
(Erişim Tarihi: 03.02.2023)

Peng, C. (2016). *Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling*.

Rode, B. G. (2011). *“Buildings: Investing in Energy and Resource Efficiency”*.

Rodrigo, M. P. (2019). *Conceptual Model on Estimating Embodied Carbon in Construction Supply Chains using Value Chain and Blockchain*.

Rogelj, J. (2016). *Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °*.

Rowan, A. (2022). *COP27, Can We Move Forward.*

SrinathP.veark. (2015). *Cost Studies of Buildings.*

Sun, H. V. (2020). *CO2 Emission Calculation Method during Construction Process for Developing BIM-Based Performance Evaluation System.*

Tally. Autodesk App Store:
<https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=3841858388457011756> (Erişim Tarihi: 03.02.2023).

UNEP. (2022). *Emissions Gap Report.*

URL-1.:
<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (Erişim Tarihi: 03.02.2023).

URL-2:
https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l0_9r01.pdf (Erişim Tarihi: 03.02.2023).

US Member States. (2012). *Report of the United Nations Conference on Sustainable Development. n.d.*

Wu, H.J. ve ark. (2012). *Life Cycle Energy Consumption And CO2 Emission Of An Office Building In China. Int. J. Life Cycle Assess.*

Zabalza, I. Ve ark. (2011). *Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines.*

European Standards, URL: <https://www.en-standard.eu/bs-en-15978-2011-sustainability-of-construction-works-assessment-of-environmental-performance-of-buildings-calculation-method/> (Erişim Tarihi: 03.02.2023).

David Veld, Carbon Life Calculator Programı, URL: <https://www.davidveld.nl/carbocalc.php> (Erişim Tarihi: 03.02.2023).

Sphera, URL: <https://sphera.com/product-sustainability-data/> (Erişim Tarihi: 03.02.2023).

İÇ MEKANLARDA BİYOMORFİK YAKLAŞIMLARLA PARAMETRİK TASARIM

Ebra SUYABATMAZ (ORCID: 0000-0002-9840-5780)*1, İldem AYTAR SEVER (ORCID: 0000-0003-2492-9845)*2

1* Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

2* Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İç Mimarlık Bölümü

e-posta:ebrarsybtmz@gmail.com; ildem.aytar@msgsu.edu.tr ;

ÖZET

Çalışma, iç mekanlarda biyomorfik yaklaşımlarla ele alınan formların parametrik tasarım yöntemi ile modellenmesi ve tasarlanmasını incelemek amacıyla yapılmıştır. Çeşitli örnekler üzerinden araştırma yapılmış, elde edilen bulgular değerlendirilmiş, bir tasarım önerisi ile aktarılmıştır. Çalışmada yapılan tasarım önerisi ile iç mekanlarda biyomorfik yaklaşımlar ve parametrik tasarım yöntemi ile özgün, fonksiyonel ve çok işlevli tasarımların mümkün olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Parametrik tasarım; Biyomorfik yaklaşımlar, 3B boyut modelleme; Bilgisayar destekli tasarım; İç mekan tasarımı.

ABSTRACT

In this study, it was made to examine the modeling and design of the forms handled with biomorphic approaches in interior spaces with a parametric design method. The research was conducted on various samples, the findings obtained were evaluated and a design proposal was conveyed. With the design proposal made in the study, it was seen that original, functional, and multifunctional designs were possible with biomorphic approaches and parametric design methods in interior spaces.

Keywords: Parametric design; Biomorphic approaches; 3D Modeling; Computer aided design; Interior design

1.GİRİŞ

İnsan, doğada yaşamsal faaliyetlerini sürdüren, varlığından itibaren doğayla ilişki içerisinde olan bir canlıdır. İnsanlar tarih boyunca doğadan ilham almış, üzerine araştırmalar yapmış ve incelemelerde bulunmuştur. Doğa tasarım sürecinde karşılaşılan

problemlere çözüm kaynağı olmaktadır. Tasarım problemlerinde çeşitli tasarım yöntemleri uygulanmaktadır. Bu tasarım yöntemlerinin temelini doğa oluşturmaktadır. En önemli katkılarından biri ise sürdürülebilir tasarımlara imkân vermesidir (Söğüt ve Sever, 2019). Doğadan esinlenmek ve bu doğrultuda form ve işlevleri yorumlamak, taklit etmek klasik dönem itibari ile mimari ve iç mimari tasarım sürecinde yer edinmiştir (Gruber, 2011; Zeytün, 2014). Doğadan esinlenen çizgileri, desenleri, formları ve renkleri tasarımın birçok noktasında görmek mümkündür. Biyomorfi, tasarımda kullanılan doğa ile ilişkili kavramlardan biridir. Ana fikir olarak doğadan ilham ve model almayı benimseyen biyomorfi, iç mekân öğeleri ve mobilya tasarımlarında karşımıza çıkmaktadır. Biyomorfik yaklaşımlar ile tasarlanan mekanların uygulanma biçimleri yıllar içerisinde teknolojik gelişmeler ile şekillenmiştir. Tasarlama eylemi ise bulunduğu toplum, zaman ve teknoloji ile doğrudan ilişkilidir. Gelişen teknoloji ile geleneksel tasarım süreçleri yerini sayısal ve bilgisayar destekli tasarım programlarına bırakmaya başlamıştır. Çeşitli sayılar ve algoritmalarla oluşan parametrik tasarım, bilgisayar destekli tasarım alanında bilinen ve önemli bir kavramdır. Tasarım ve uygulama sürecine çeşitli kolaylıklar sağlarken, tasarımda özgünlük ve çeşitli işlevlere imkân sağlar. Bu sebeple çalışmada, iç mekanlarda biyomorfik yaklaşımlar ile çeşitli form ve biçimlerin parametrik tasarım yöntemi ile ele alınması incelenecek ve bir tasarım önerisi üzerinden açıklanacaktır.

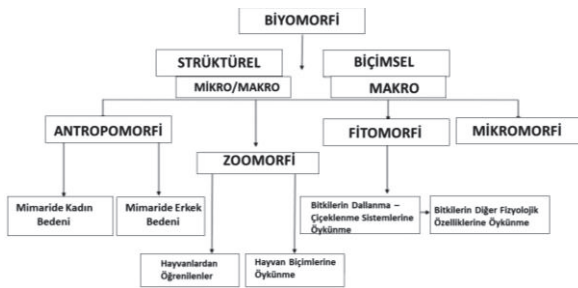
2.TASARIM VE BİYOMORFİK YAKLAŞIMLAR

Biyomorfi, doğa içerisindeki organizmaların formlarını, sistemlerini ve biçimlerini tanımlamak amacıyla kullanılır. Doğadan ilham alarak insanların ihtiyaç ve sorunlarına çözüm üreten ve bunu tasarım yoluyla yapabilen bir disiplin olarak tanımlanabilir. Doğada yer alan canlı organizmaların formu ve işlevi incelenerek tasarımlarda ilham kaynağı olarak kullanılmıştır. Biyomorfik yaklaşımlar doğada yer alan canlı organizmaların biçim, oluşum süreci ve sistemleri ile ilgilenmektedir. Tasarımda form oluştururken, elde edilen yapının doğayla uyumlu ve sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır (Eser, 2021).

Doğanın bireyler üzerindeki fiziksel ve psikolojik onarıcı etkisi, tüm yaş grupları için göz ardı edilemez niteliktedir. İç mekân tasarımında da bitkilerin kullanılması ve doğal ortamların yaratılması bireyler üzerindeki bu etkiyi arttırmaktadır. Mekânda bitkilerin varlığı stresi azaltırken aynı zamanda iç mekân hava kalitesini de arttırmaktadır (Erdoğan ve Sönmez Çetinkaya, 2021).

Biyomorfik yaklaşımlarla tasarımda amaç, stresi azaltmak, kullanıcıların doğadan referanslar aracılığı ile görsel bir bağ kurmasını sağlamaktır. Beynimiz biyomorfik yaklaşımlarla elde edilen formların canlı olmadığını bilse de yaşamın sembolik temsili olarak tanımlar (Vessel, Starr ve Rubin, 2012). Biyomorfik yaklaşımlarla ele alınan iç mekan ve mobilya tasarımlarında kullanılacak ahşap, taş, cam gibi doğal yapı malzemeleri duysal ve dokusal anlamda doğa ile yakınlık duygusunu beslemektedir. Tasarımda doğal dokulara sahip formlar (organik, kıvrımlı, fraktal vs.) ve renklerin (doğayı anımsatan sakinlik veren renkler; toprak tonları, yeşil, mavi vs.) kullanılması bu iyileştirici ve sakinleştirici etkiyi yaratmaktadır (Erdoğan ve Sönmez Çetinkaya, 2021). Dolayısıyla doğada yaşadığı deneyimlerinden ötürü mutlu olan bireylerin, doğanın şekil ve biçimlerinden esinlenerek tasarlanmış bir mekâna karşı olan ilgisini artırır aynı zamanda mekân içerisinde iyi hissetmesini sağlamaktadır (Tezgör Ertin ve Aydin Karakaya, 2022).

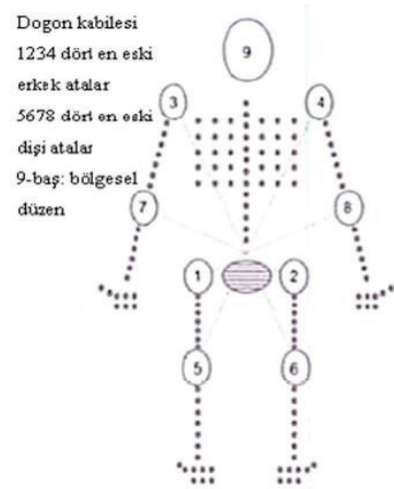
Biyomorfi kavramsal olarak incelendiğinde, ilgilendiği canlı organizmalar içerisinde insan, bitki, hayvan ve mikroskobik organizmaların bulunduğu görülmektedir. Betül Uç Zeytün ‘‘Mimari Tasarımda Biyomorfik Yaklaşımlar’’ isimli yüksek lisans tezinde biyomorfi kavramını 4 alt başlıkta ele almıştır (Şekil 1). Bunlar antropomorfi, zoomorfi, fitomorfi ve mikromorfidir.



Şekil 1. Biyomorfi ve Alt Dalları (Zeytün,2014)

1. Antropomorfi, İnsana ait olan özelliklerin başka varlıklar üzerinde kullanılmasıdır. Yunanca antropos (insan) ve morphe (biçim) kelimelerinden oluşan ‘‘insan biçimcilik’’ anlamına gelmektedir (Cevizci,2010; Eser, 2021). İnsan, sanat ve

düşüncede her zaman ilk öge olarak kullanılmış ve mimari tasarımda esin kaynağı olmuştur. Antropomorfik oranların mimarlık alanında etkilerinin ilk olarak Antik Yunan ve Roma mimarisinde kullanıldığı görülmektedir. Daha sonraları Yunan ve Mısır medeniyetleri insan bedenine dair oranları geometri ile bir araya getirerek daire, elips, üçgen formdaki yapıları inşa etmişlerdir (Eser, 2021). Örneğin, Afrika Mali’de Dogonlular evlerini ve köylerini antropomorfik imgelerle oluşturmuşlardır. Evlerinin odalarını fonksiyonlarına göre planlamış ve insan vücudunun bölümleri ile temsil etmişlerdir. Evin girişi cinsiyeti, mutfak başı ve kiler kolları incelemektedir. Köy yerleşim planlarına bakıldığında ise göğüs ve karın kısmı ailelerin evlerini, ayaklar ortak alanları, baş kısımlarının meclis evini (togunayı) temsil ettiği görülmektedir. Kuzey Kamerun Fali’de yer alan köyün planı da insan bedeni şeklinde düşünülmüştür. Baş, gövde, kol ve bacaklar bir ambarı ve içindeki bölümleri temsil etmektedir (Şekil 2) (Pekdaş, 2019).



Fali köyü

- 1-baş (ya da cinsiyet)
- 2-sırt
- 3-sağ kol
- 4-sol kol
- 5-sağ kalça
- 6-sol kalça
- 7-sağ bacak



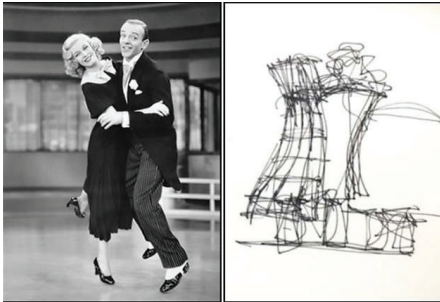
Şekil 2. Mali ve Fali’de Yer Alan Köy ve Evlerin Yerleşim Planları (Bussagli, 2005)

Günümüze mimarisinde antropomorfik etkilere bakıldığında ünlü yapılardan biri olan “*Dans Eden Ev*” karşımıza çıkmaktadır. Çekya’da mimar Frank Gehry ve Vlado Milunic tarafından tasarlanan “*Dans Eden Ev*” ismiyle tanınan yapı 1996 yılında tamamlanmıştır. Yapı Hollanda bankası ING için tasarlanmıştır (Pekdaş, 2019).



Şekil 3. Dans Eden Ev (Dancing House)
(Url 1)

Yapının tasarımında Gehry, statik ve dinamik formları bir arada kullanmayı hedeflemiştir. Tasarladığı ilk binayı erkekse görünümde düşünmüş, ikinci binanın hareketli ve kadınsı görünmesini sağlamıştır. Amerikalı ünlü dans çifti Ginger Rogers ve Fred Astair’in analogisinden oluşan antropomorfik imgeler tasarımın ilham kaynağı olmuştur (Pekdaş, 2019).



Şekil 4. Dans Eden Ev (Dancing House)
(Pekdaş, 2019)

İlkçağlardan klasik ve antik dönemlere kadar kutsallaştırılan insan bedeni günümüzde çağdaş mimari formlarda yorumlanmaktadır. Tasarımda ilham kaynağı olması dışında fonksiyonel iç mekân çözümlerinde de kullanıldığı görülmektedir. Antropomorfik imgeler Rönesans döneminde heykel olarak yapı cephelelerinde yer alırken, 21. yüzyılda

yazılım programlarıyla dijital tasarımda yeniden yorumlanmaktadır (Pekdaş, 2019).

2. Zoomorfi, yunanca diline ait ‘zoon’ ve ‘morphe’ kelimelerinden oluşan, hayvana ait olan özelliklerin cansız varlıklar üzerine aktarılmasıdır. Farklı kültürlerde sembolik anlamlar taşıyan hayvanlarla ilgili birçok sanatsal ve edebi eser, günlük yaşamda yer almıştır. Mimari tasarımlarda da hayvan morfolojisinin örnek alınması, doğal biçimlerden yararlanmanın yollarında biri olan zoomorfik yaklaşımlar olarak adlandırılmaktadır. (Aldersey ve Williams, 2003; Eser, 2021). Mimari 20. yüzyıl itibarıyla sağlıklı bir yaşam biçimi, insan vücudu ve doğaya dönüş gibi temaların ön plana çıkması hayvanlara olan ilgiyi arttırmıştır. Tasarımcılar hayvan strüktürlerinden ilham almış, hayvan imgelerinden kentsel semboller yaratmaya çalışmışlardır. Hayvan anatomisinden öğrenilenler bina, köprü, çatı örtüleri gibi strüktürel sistemlerin tasarımında kullanmaya başlanmıştır (Eser, 2021). Zoomorfik yapılara gösterilen örneklerden biri Norman Foster tarafından tasarlanan ve inşa edilen Clyde Oditoryum’dur. 1997 yılında açılan yapı İskoçya’nın Clyde Nehri yakınında yer almaktadır. Dış görünümü ile Armadillo denilen zırlı bir hayvanı andırmaktadır. Bu benzerlik sebebiyle başlangıçta Clyde oditoyumu olarak adlandırılan yapı zaman içerisinde Armadillo olarak anılmaya başlanmıştır. Yapının strüktürü içinde doğadan yararlanılmış, çelik kaburgalar ve kirişlerle desteklenen bir iskelet sistemi oluşturulmuştur (Şekil 5) (Türkçü, 2009).



Şekil 5. Clyde Oditoryum (Türkçü, 2009)



Şekil 6. Milwaukee Sanat Müzesi (Url 2)

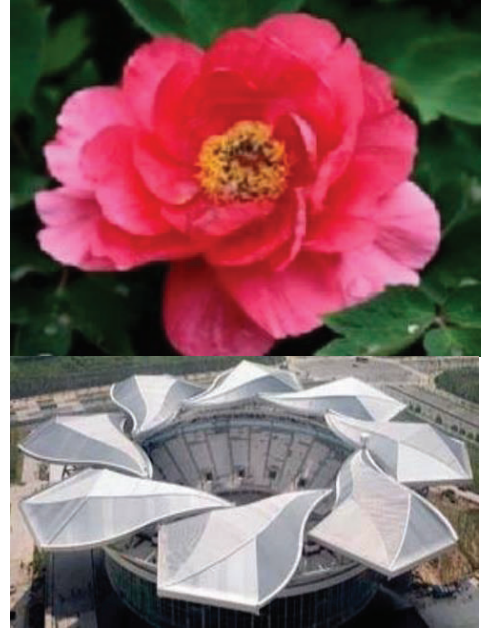
Zoomorfik etkiler tasarımda aydınlatıcı bir yol olurken, yalnızca dış görünüş ile sınırlı kalmamaktadır. Şekil 6 ve Şekil 7’de görülen Calatrava’nın tasarımlarında yalnızca strüktürel olarak değil, mekân atmosferi de hayvan bedeninin içi hissini yaratmaktadır. İki boyutlu kemik sistemlerini üçüncü boyuta taşıyan ve hacimsel olarak kullanan mimarın yapıları dış görünüş olarak hayvana benzer olmasa da fonksiyon ve biçim olarak anımsatan etkileri vardır (Türkçü, 2009).



Şekil 7. Milwaukee Sanat Müzesi (Url 3)

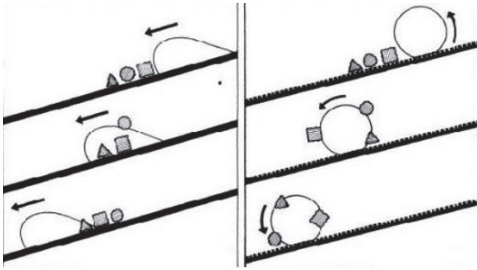
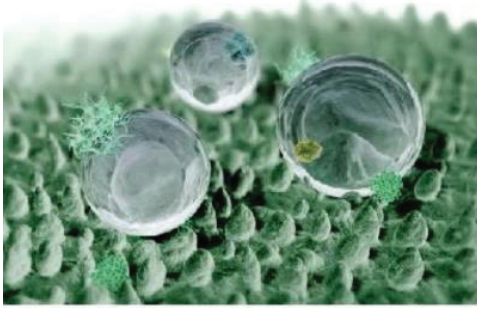
3. Fitomorfi, bitkilerin yapısı, formları ve anatomisi hakkında bilgi veren, bitki bilimidir (Anabritanica, 1993; Eser, 2021). Süsleme aracı olarak kullanılan bitkiler, zamanla içerisinde fonksiyonel olarak da

kullanılmaya başlanmışlardır. Yunan ve Roma mimarisinde görülen sütunlarda yer alan bitki figürleri, 20. yüzyılla birlikte mimaride mikro ve makro ölçeklerde yer almaktadır. Bitkilerdeki kök-gövde ilişkisi, binalarda karşımıza temel- yapı ilişkisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitkilerdeki kök ve gövde arasında oluşan güç ve sağlamlık binalarda kolon ve kiriş ile oluşturulmaktadır. Bitkilerin köklerinin, gövdelerinin ve yapraklarının ilişkisi tasarımda birçok soruna çözüm kaynağı olabilmektedir. Örneğin bazı bitkiler güneş ışığından korunmak için yaprakları spiral şeklinde dizilmiştir ve daha az boşluklu yapıya sahiptir. Bitkilerdeki bu özellik cephe elemanı tasarımı için göz önünde bulundurulabilir veya bitkilerin kök, yaprak dallanma ve çiçeklenme işlevleri mimaride yük dağılımı problemi içinde çözüm kaynağı olabilmektedir (Eser, 2021).



Şekil 8. Çin’in Milli Çiçeği ve Qizhong Stadyumu (Starford, 2005; Zeytün, 2014)

Çin’in milli çiçeği olarak bilinen Peony çiçeğinden esinlenerek tasarlanan Qizhong Stadyumu’nda fitomorfi etkiler hem biçimsel hem de fonksiyonel olarak kullanılmıştır. Çiçeklerin yapraklarının rüzgara ve güneşe göre hareket ettirmesi stadyumun üst örtüsünün oluşumunun ilham kaynağı olmuştur. Üst örtüde yer alan sekiz hareketli metal lehva sıcak ve soğuk hava etkileşimlerini kontrol edebilmek için hem açılabilir hem de kapanabilir şekilde tasarlanmıştır (Şekil 8) (Starford, 2005; Zeytün, 2014).

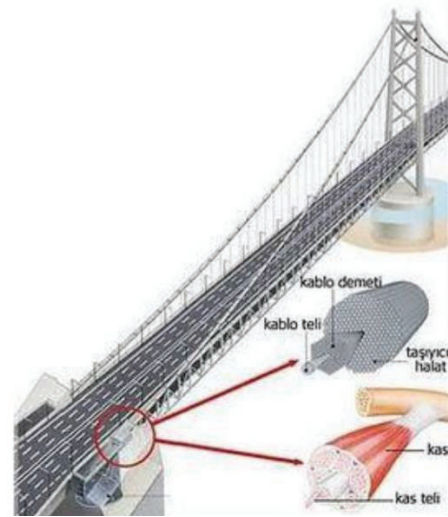


Şekil 9. Lotus Etkisi (Gruber,2011)

Fitomorfik etkiler tasarımda biçimsel ve fonksiyonel kullanımları dışında yapı malzemelerinde de karşımıza çıkmaktadır. Lotus bitkisinin kendi kendini temizleme özelliği biomimesis kavramının tarihinde “Lotus Etkisi (Lotus Effect)” olarak yer almaktadır. Lotus bitkisinin bu fizyolojik özelliği kullanılarak birçok boya, kaplama, çatı malzemesi ve kumaş üretilmiştir (Şekil 9) (Starford, 2005; Zeytün, 2014).

4. Mikromorfi, Gözle görülemeyecek kadar mikro ölçekte olan mikroskop altındaki organizmalardan esinlenerek, bunların tasarımlara aktarılması ile oluşan bir yaklaşımdır. Mikromorfik yaklaşım, antropomorfi, fitomorfi ve zoomorfi gibi form elde etme ve fonksiyonel çözüm üretebilmek için doğadan esinlenmektedir. İlham alınan mikro ölçekteki canlıların dokusu ve yapısı için kas lifleri, su molekülleri ve hücreler gibi örnekler sayılabilir (Eser, 2021).

Doğal kompozitler mikromorfik ölçekte taklide örnek olarak verilebilir. Kaslar ile kemikleri bağlayan "tendon"lar bu kompozitlerdendir. Tendonlar sert bir yapıya sahiptir ve birbirlerine örülme şeklindedir. Günümüz asma köprü yapımlarında kullanılan çelik halat teknolojisi, insan vücudundaki tendonların bu yapısını örnek olarak geliştirilmektedir (Şekil 10) (Zeytün, 2004).

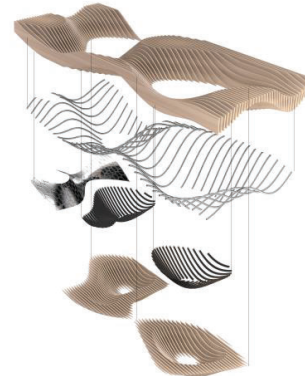


Şekil 10. Tendonların Yapısından Esinlenerek İnşa Edilen Köprü (Zeytün, 2004)

Biyomorfik yaklaşımlar, bireyleri psikolojik ve fizyolojik açıdan olumlu yönde katkı sağlayan iç mekân tasarımlarına olanak tanırken, aynı zamanda mimari tasarımda yapıların strüktürüne de etki etmektedir. Biyomorfinin farklı alt dalları, bitkilerin formları ve fonksiyonel özellikleri, mikro organizmaların dokuları ve sistematik hareketleri, insan bedeni ve hayvan anatomisine dair bilgiler tasarımın şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır.

3. PARAMETRİK TASARIM VE DİJİTAL TASARIM ARAÇLARI

Parametre, Türk dil kurumu sözlüğüne göre değişken anlamına karşılık gelmektedir (Url 4). Eski Yunanca 'da ise para 'yanında', 'karşın' ve metron 'ölçmek' anlamlarına gelen kelimelerden türemiştir. Parametre, sistemi tanımlayan, performansını ve durumunu değerlendiren yararlı bir sistem unsurudur (Url 5). Parametreler değişkendir, sayılar ve algoritmalarından oluşur. Gelişen teknoloji ile bilgisayar destekli tasarım programları ön plana çıkmakta, parametrik tasarım kullanımı ilerlemektedir



Şekil 11. Parametrik tasarım perspektifi (Url 6)

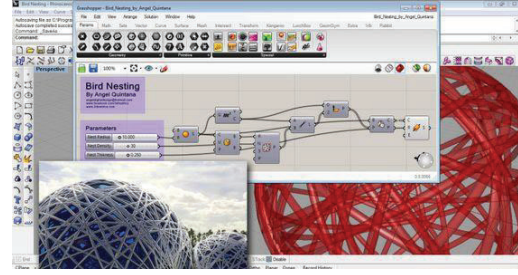
Geleneksel tasarım programlarında yapılan değişimler, revizyonlar ve alınan kararlar için tasarım çoğu zaman tekrardan ele alınmak durumundadır. Bu durumda proje tasarım süreci tekrar başa döner ve zaman kaybı yaşanır. Parametrik tasarım programlarında sayılar ve algoritmalar birbirine bağlı olduğu için değişiklik zaman kaybı olmadan yapılabilir, kararlar değişebilir ve tasarım üzerinde tekrar çalışılabilmektedir. Sonuç ürünün sanal ortamda görsel olarak algılanabilmesini ve deneyimlenmesi sağlar (Şekil 11). Zorlu ve karmaşık formlara sahip tasarımlar parametrik tasarım yöntemi ile çözüme ulaşmak aynı zamanda mimari ve iç mimari tasarımda sürdürülebilir tasarımlar elde etmek için yarar sağlamaktadır (Url 7). Parametrik tasarım belli bir sisteme ve plan gerektiren bir sürece ihtiyacı vardır. Örneğin tasarım yapılacak alanın ölçeğinin büyüklüğü hangi boyuttaysa bağlı olduğu değişkenlerde bu büyüklüğe göredir. Tasarım bir bina ise buradaki parametreler: taban alanı, kat yüksekliği, çevresel etmenler olarak sıralanabilir. Belirlenen bu parametrelerde yapılan değişiklikler doğrudan tasarıma yansımaktadır. Mimari ve iç mimari tasarımda bu parametreler tasarımdaki ölçeğe göre değişecektir. Böylece parametrik tasarım sadece form ve estetik sağlamakla kalmaz, tasarımı ve üretimi daha uyumlu, daha güvenilir, değişken ve çeşitli kılar (Baykara, 2011).



Şekil 12. Parametrik tasarım döngüsü (Schnabel & Karakiewicz 2009; Baykara, 2011)

3.1. Dijital Tasarım Araçları

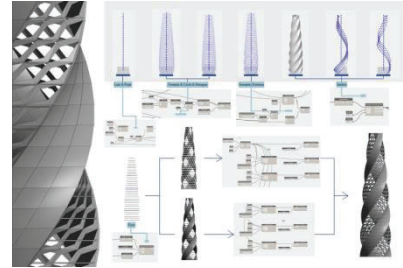
Günümüzde teknolojik gelişmeler ve yenilikler birçok alanda dijitalleşme kavramını ortaya çıkarmıştır. Mimari ve iç mimari alanda bu yenilikler dijital tasarım araçları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bilgisayarların mimarlık alanında kullanılması mimar ve iç mimarlara yeni tasarım ortamı ve üretim seçenekleri sunmaktadır (Baykara, 2011). Geleneksel tasarım araçları "tasarla ve değiştir" mantığını benimseyen, sınırlı formlara izin veren, basit çizgi ve geometrilerden oluşan tasarım araçlarıdır. Bu tasarım araçlarına; AutoCAD, Sketchup gibi tasarım araçları örnek gösterilebilir. Parametrik tasarım araçları ise belli parametreleri sayı ve algoritmalar ile farklı tasarım alternatifleri oluşturmayı sağlayan araçlardır. Bu tasarım araçlarına; BIM tabanlı Revit, 3ds Max, Rhinoceros-Grasshopper 3D örnek verilebilir (Kaçmaz, 2019).



Şekil 13. Rhinoceros-Grasshopper ile modellenen parametrik tasarım örneği (Url 8)

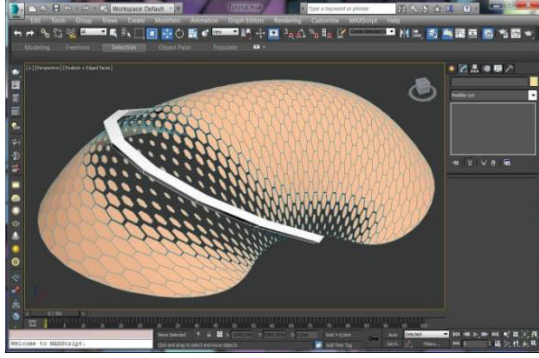
Rhinoceros 3D, Robert Mcneek & Associates tarafından 3Boyut modelleme için geliştirilen NURBS sistemini kullanan tasarım araçlarından biridir. NURBS tabanlı 3B modelleme araçları yüzey modelleme sistemi için kullanılır. Parametrik tasarımda en popüler yazılımlardan biridir (Erol, 2020).

Grasshopper 3D, modelleme eklentisidir ve Rhinoceros ile birlikte çalışır. Algoritmik araştırma, serbest form çizimleri, planlı ve gerçek zamanlı parametrik modelleme için kullanılır (Yazar ve Uysal, 2020).



Şekil 14. Revit&dynamo ile modellenen parametrik tasarım modeli- Öğrenci projesi (Url 9)

Revit&Dynamo Autodesk tarafından hesaplamalı tasarım için oluşturulmuş Revit üzerinde çalışan BIM tabanlı ara yüz programıdır. BIM (Building Information Model) Türkçe ismi ile 'Yapı Bilgi Modelleme' olarak ifade edilmektedir. Sadece bilgisayar destekli tasarım aracı olarak değil, yeni ve geniş bilgiye sahip bir yapımcıdır. Parametrik veri tabanına sahiptir ve bu doğrultuda çalışmaktadır. BIM ile çalışan Revit sektörde mimarlık, yapı ve inşaat mühendisliği, elektrik, tesisat gibi birçok alanın birlikte çalışmasını, proje ve yapımcı süreçlerini yönetmesini sağlar. BIM sistemleri maliyet, tasarım planlama ve iş programı gibi özelliklere olanak sağlayıp mimari tasarımın yanı sıra, iç mimari tasarımda önemli bir rol oynar. BIM tabanlı Revit parametrik tasarım yöntemi içinde sık tercih edilen programlardan biridir. Parametrik tasarımın oluşumunda çeşitli faydalar sağlar (Naç, 2019).



Şekil 15. 3ds Max ile modellenen parametrik Tasarım modeli (Url 10)

3DS Max, Autodesk tarafından üretilen 3B modelleme, görselleştirme ve animasyon programıdır.

4.İÇ MEKANLARDA BİYOMORFİK YAKLAŞIMLARLA PARAMETRİK TASARIM

Form, en önemli tasarım elemanlarından biridir ve tasarımda algılanabilen her şeyin görüntüsüdür. İnsan, çevresinde gördüğü, algıladığı her şeyi kaydeder. İnsanlardaki bu kaydedilen bilgilerin temel veri kaynağı şüphesiz varlığından beri ilişki içerisinde olan doğadır. Doğa, içerisindeki form zenginliği ve çeşitliliği ile tasarımcılar için esin kaynağı olmaktadır (Kaptan,1997). Biyomorfik yaklaşımlar ile doğadan alınan ilham tasarımda form ve biçimlere aktarılır. Böylelikle insan ve doğa ilişkisine sanatta eklenir. Biyomorfik yaklaşımlar ile tasarlanan formlar, çeşitli çizgiler, sınırlar ve hacimlerden oluşur. Tasarım sürecinde ilham alınan bu yaklaşımlar ve formlar, geleneksel tasarım anlayışından ayrılıp günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte bilgisayar destekli tasarım programları ile oluşturulmaktadır. İç mimari tasarım sürecini etkileyen Parametrik tasarım yönteminde de değişen parametreler ve algoritmalar sayesinde alternatif formlar ve modeller üretmek oldukça kolaydır (Şekerci ve Yıldız, 2020). Bu doğrultuda biyomorfik yaklaşımlar ve parametrik tasarım yöntemi ile elden edilen formlar iç mekânlarda işlevsellik kazanmıştır. Bu formlara iç mekân öğelerinde ve mobilya tasarımlarında rastlanılmaktadır. Çalışma kapsamında iç mekânlarda biyomorfik yaklaşımlarla parametrik tasarım örneklerle desteklenmektedir. İç mekânlarda mobilya tasarımı üzerine 5 örnek tasarım ele alınarak değerlendirmeler yapılmış ve görseller ile desteklenmiştir

4.1. Korollaria Korkuluk



Şekil 16. Korollaria Korkuluk (Url 11)

Parametrik tasarım yöntemi ile belli algoritmalarla oluşan, lazerle kesilmiş çelik korkuluk, bitki dokularının enine kesitlerinden ilham alınarak tasarlanmıştır. Merdivenin altından başlayarak, yoğun hücre dalgaları halkalara dönüşür, daha sonra spirallere ve son olarak büyük ölçekli radyal hücrelere dönüşür. Oluşan bu formlar bitki dokularının morfolojilerini hatırlatır (Url 11).



Şekil 17. Korollaria Korkuluk (Url 11)



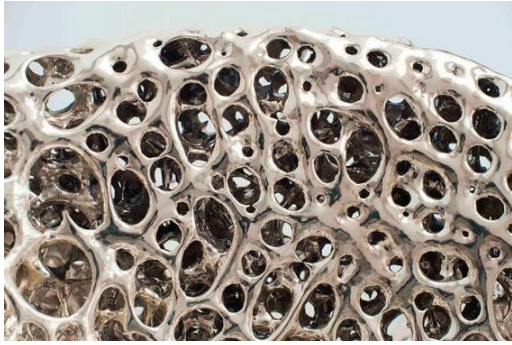
Şekil 18. Korollaria Korkuluk (Url 11)

4.2. Cellular Chair By Mathias Bengtsson



Şekil 19. Cellular Chair (Url 12)

Hafif ağırlıklı epoksi malzemeden üretilen hücresel sandalye insan kemiklerinin büyüme ilkelerinden esinlenerek tasarlanmış bilgisayar destekli tasarım programları ile üretilmiştir (Url 12).



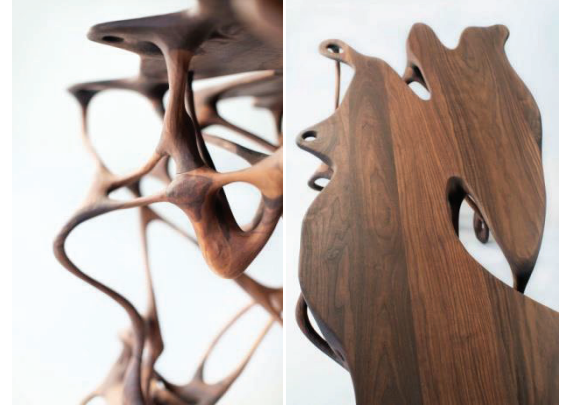
Şekil 20. Cellular Chair (Url 12)

4.3. Growth Lounge By Mathias Bengtsson

Bengtsson tasarımı olan hücresel masa, hücrelerin büyüme evrelerinden ilham alınmıştır. Farklı boyutlardaki hücreleri yansıtan masa, ceviz malzemesi ile üretilmiştir. Masa ve konsol olarak da kullanılmaktadır (Url 13).



Şekil 21. Growth Lounge (Url 13)



Şekil 22. Growth Lounge (Url 13)

4.4. Peacock Chair

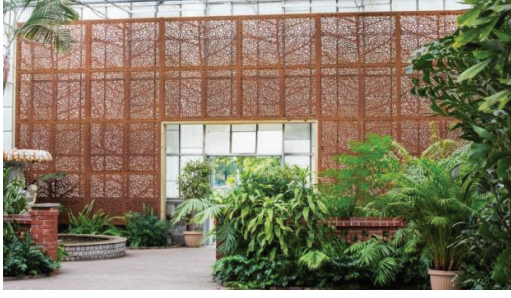
Uufie firması tarafından tasarlanan peacock sandalye, tavus kuşunun geniş kuyruğundaki desenden ilham almış, dantel benzeri forma sahiptir. Geniş bir arkılığı vardır ve bu arkalık zemine gölge olarak yansır. Sandalyenin beyaz dışında üç ayrı renkleri olup sınırlı sayıda üretilmiştir.



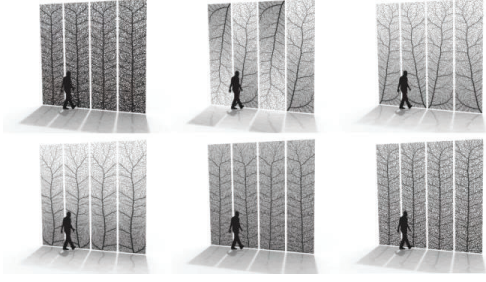
Şekil 23. Peacock Chair (Url 14)

4.5. Ksilem Hyphae

Ksilem Hyphae bir sera bahçesidir. Tasarımda serayı hem gölgelik hem de kafes işlevi görmesi için yapraklardan ilham alınarak oluşturulan desen kullanılmıştır. Yaprakta damarlı çizgiler kafesin temasını oluşturmaktadır. Seranın giriş kısmında bulunan bu kafes tasarımı bitkilere gölgelik sağlarken, etkileyici bir görünümde sunmaktadır. Şekil 25'te yapraktaki çizgisel formların perspektifi yer almaktadır.



Şekil 24.Ksilem Hyphae (Url 15)



Şekil 25.Ksilem Hyphae (Url 15)



Şekil 26.Ksilem Hyphae (Url 15)

3.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tasarım sürecinde ele alınan kurgu, tasarımcıyla birlikte form ve biçime, beraberinde işleve dönüşmektedir. İç mimari tasarımdaki kurgu, form-biçim ve işlev ilişkisinin doğru şekilde ele alınıp tasarıma aktarılması fonksiyonel ve estetik mekân tasarımı mümkün kılacaktır. Doğadan ilham alınan biyomorfik yaklaşımlarla form ve biçimi oluşturmak, doğa ile ilişkisinin daima sürececek olan insan için doğru bir seçim olacaktır. Bu form ve biçimleri çeşitli tasarım yöntemleri ile elde etmek mümkündür. Dijitalleşen dünya ile tasarım süreçleride dijital bir boyut almakta, tasarım yöntemleri için yeni fırsatlar, farklı bakış açıları karşımıza çıkmaya başlamaktadır. Parametrik tasarımda bu tasarım yöntemlerinden biridir ve çok

daha verimli, uyumlu ve estetik tasarımlara imkân vermektedir. Araştırma sürecinde iç mekanlarda biyomorfik yaklaşımlarla parametrik tasarım, çeşitli örnekler üzerinden anlaşılır hale getirilmeyi çalışılmıştır. Yapılan araştırmada tasarımcıların, dijital tasarım araçlarına olan hakimiyetinin tasarımı farklı boyutlara taşıyabileceği gözlenmiştir. Biyomorfik yaklaşımlar ile elde edilen karmaşık ve zorlu formlar parametrik tasarım ile doğru ve hatasız bir sonuca ulaşabilmeyi kolaylaştıracaktır. Bu sebeple tasarımcının, dijital tasarım araçlarına olan hakimiyetini ve bilgisini üst düzeye çıkarabilmeli, uygulama öncesi ve tüm tasarım süreçlerini dijital ortamda sunabilmelidir. Çalışma kapsamında iç mekanlarda biyomorfik yaklaşımlarla ele alınıp parametrik tasarım yöntemi kullanılarak bir mobilya/aydınlatma tasarım önerisi sunulmuştur.

Bu çalışmada 'Mimosa Pudica', türkçe adıyla küstüm çiçeği ilham alınmıştır. Küstüm çiçeği kendisiyle etkileşim halinde bulunduğu anda kendini korumayı alıp yapraklarını katlayarak içe doğru kapanmaktadır. Bu biçimsel hareket tasarımıda çıkış noktasıdır.

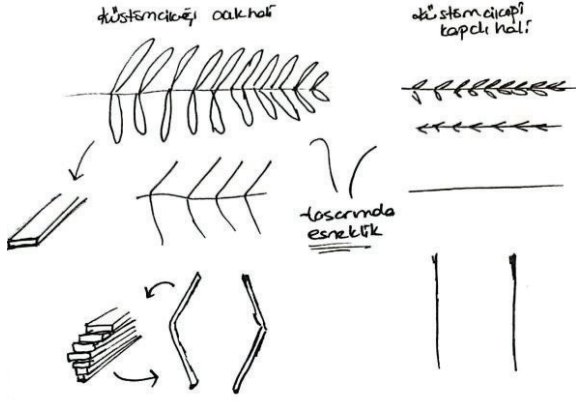


Şekil 27.Küstüm çiçeği açık Hali (Url 16)



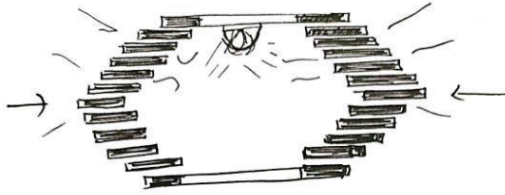
Şekil 28.Küstüm Çiçeği Kapanmış Hali (Url 17)

Küstüm çiçeğinin yapraklarının bu hareketi tasarımın formunu oluşturmaktadır.

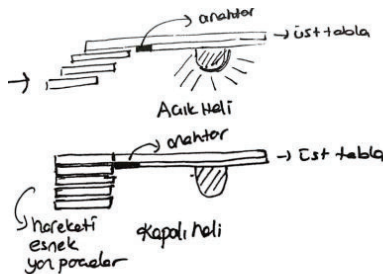


Şekil 29. Eskiz Çalışmaları (Ebra Suyabatmaz)

Yaprakların hareketli biçimlerinden ilham alınarak oluşturulan V şeklindeki form, tasarımda esnekliğe imkân verip iki farklı biçimde kullanıma olanak tanımıştır. Yaprığın biçiminden belli parametrelerde elde edilen dikdörtgen form belli aralıklarla birbirini takip edip yatay V şeklini oluşturmuştur.

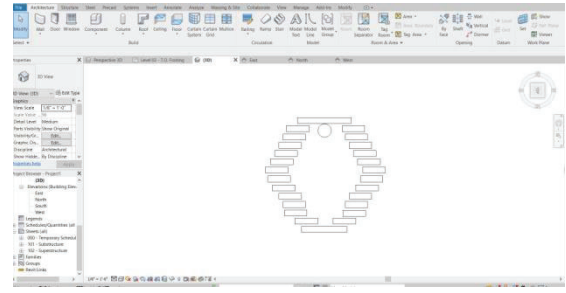


Şekil 30. Eskiz Çalışmaları (Ebra Suyabatmaz)

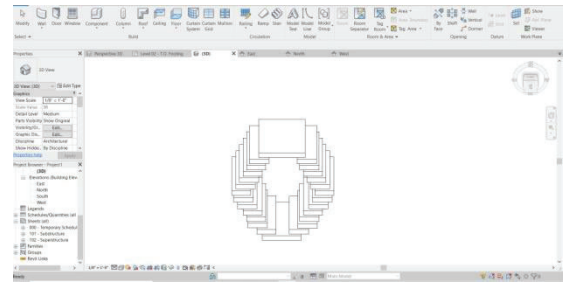


Şekil 31. Aydınlatmanın çalışmasını sağlayan mekanizmanın detay eskiz çalışması (Ebra Suyabatmaz)

Tasarımın orta kısmında aydınlatma elemanı mevcuttur. Yan sehpa ve aydınlatma elemanı olarak kullanıma sahip olan tasarımın form yapısı gereği yan taraflarından kapanıp açılarak iki farklı biçime dönüşmektedir. Bu açılıp kapanma hareketi aydınlatma elemanına bir anahtar görevi görerek üst tablada yer alan mekanizmanın hareket etmesini sağlar. Tasarımın malzemesi ahşap olarak düşünülmüştür. Yan kısımlar birbirine geçmeli olarak hareket eder, bu sebeple hareket esnasında sabit yüksekliği etkilememektedir. Ölçüler 35*35*45 cm olarak belirlenmiştir. Tasarım aşamaları için iki ayrı dijital tasarım araçları kullanılmıştır. 3B ve 2B çizim aşamaları BIM tabanlı Revit programı üzerinde çalışılmıştır. Render çalışmaları Revit dosyasının 3ds Max'e aktarılması ile Corona render üzerinden alınmıştır. Böylelikle iki farklı dijital tasarım araçları deneyimlenerek tasarım sürecinde sağladıkları kolaylıklar gözlemlenmiştir.



Şekil 32. Tasarımın BIM tabanlı Revit programında 3B çizim aşamaları (Ebra Suyabatmaz)



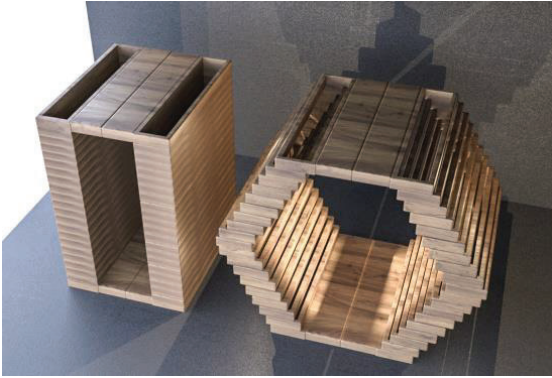
Şekil 33. Tasarımın BIM tabanlı Revit programında 3B çizim aşamaları (Ebra Suyabatmaz)

Parametrik tasarım yöntemi kullanılarak 3 boyuta aktarılan tasarımda, hareket esnekliğini sağlayan yan kısımlar içi boşluklu birbirini takip eden ahşap parçalar olarak düşünülmüştür.



Şekil 34. Render Çalışmaları (Ebra Suyabatmaz)

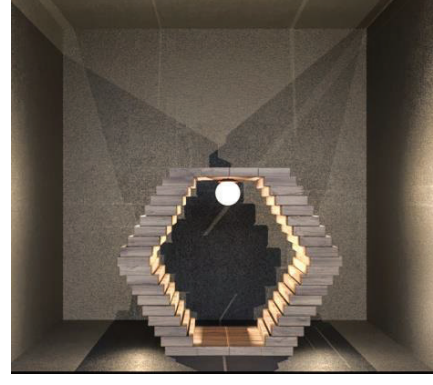
Parçaların boşluklu olması üst tablada yer alan aydınlatmanın mekân içerisinde yayılmasına ve algılanmasına sebep olacaktır. Parametrik tasarım yöntemi ile bu ahşap parçalar birbiri ile eşit hizalarda sıralanmıştır. Böylelikle ışık yayılımı mekân içerisinde her noktada aynı şekilde algılanacaktır. Tasarım sürecinde iç mekandaki bu algısal etki, parametrik tasarım yöntemi ve bilgisayar destekli tasarım araçları ile sağlanmıştır.



Şekil 35. Render Çalışmaları (Ebra Suyabatmaz)

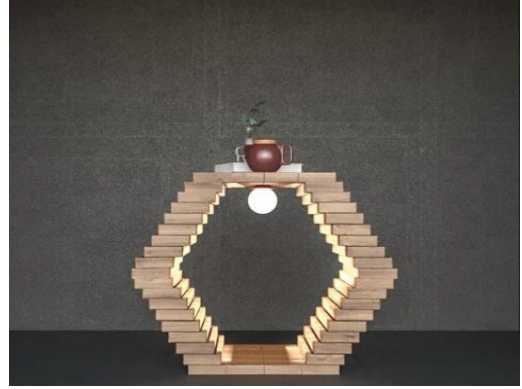


Şekil 36. Render Çalışmaları (Ebra Suyabatmaz)



Şekil 37. Render Çalışmaları (Ebra Suyabatmaz)

Çalışma kapsamında öneri olarak sunulan tasarım, aydınlatma elemanı olarak kullanımı dışında, aynı zamanda yan sehpa olarak kullanımı da uygundur.



Şekil 38. Render Çalışmaları (Ebra Suyabatmaz)

Çalışma kapsamında hazırlanan tasarım önerisinde biyomorfik yaklaşımlar tasarıma esneklik ve işlev kazandırmıştır. Parametrik tasarım yöntemi ile modellenen mobilya/aydınlatma elemanında iç mekânda algı ve aydınlatmanın etkisi artmıştır. 3B modelleme araçları sahip oldukları gelişmiş özellikler sayesinde tasarımda hata payını minimuma indirmiş ve tasarım sürecini kolaylaştırmıştır. Yapılan literatür araştırması ve tasarım önerisinde biyomorfik yaklaşımlar ile parametrik tasarım ilişkisi, özgün ve yenilikçi tasarımları mümkün kıldığı görülmüştür.

4.KAYNAKLAR

Baykara, M., 2011. *Mimarlıkta Parametrik Tasarım ve Arazide Kütle Yerleşimi İçin Bir Model Önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, İstanbul

Bussagli, M., 2005. Understanding Architecture, Part I, What is Architecture, Architecture and Antropomorfizm

Erol, K., 2020. Deneysel Mimaride Bilgisayar Destekli Tasarımın Etkilerinin Okuması: Venedik Mimarlık Bienali Örnekleri. *Tasarım Enformatiği* (2), ISSN: 2687-4652.

Erdoğan, E., Sönmez Çetinkaya, Merve., 2021. Kent, Mimarlık ve Biyofilik Tasarım. *Mimarlık Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler, Cilt 1, Gece Kitaplığı*.

Eser, A., 2021. *Biyomorfik Yapıların Algısal Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Konya

GRUBER, P., 2011. Biomimetics in Architecture, *Strauss GmbH*, Morlenbach, Germany.

Kaçmaz, Ş., 2019. Parametrik Tasarım ve Bim. *Yapı Bilgi Modelleme* (1), ISSN: 2687-4660.

Kaptan, B., 1997. *İç Mimaride form-mekan ilişkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Naç, M., 2019. *İç Mekân Tasarımında Bim Teknolojisinin Kullanımına Yönelik Mutlak Mekânı Üzerinden Bir Veri Tabanı ve Örnek Model Oluşturması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Tasarımı Anabilim Dalı İstanbul

Pekdaş, E., 2019. *1990 Sonrası Mimari Yapılardaki Antropomorfik Etkiler*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Adana

Söğüt, M.A., Sever Aytar. İ., 2019. Tasarımda Doğa Etkisi Biyomimikri. *Uluslararası Sanat ve Estetik Dergisi* (3), ISSN: 2667-4815.

Şekerci, C., Yıldız, P., 2004. Parametrik Tasarım Süreci: İç Mimarlık Eğitim ve Pratiğinde Kullanımı. *Online Journal of Art and Design* (8), ISSN: 2301-2501.

Tezgör Ertin, G.D., Aytin Karakaya, B., 2022. Biyomorfik Form ve Örüntülerden Esinlenen

Tasarımlar Üzerine Bir Stüdyo Deneyimi. *Sanat Eğitim Dergisi*, ISSN: 2147-8007.

Türkçü, Ç., 2009. Çağdaş Taşıyıcı Sistemler, *Birsan Yayın Evi*, İstanbul

Vessel, A.E., Starr, G.G., Rubin, N., 2012. The Brain On Art: Intense Aesthetic Experience Activates The Default Mode Network, *Frontiers In Human Neuroscience, Original Research Article*, doi: 10.3389/fnhum.2012.00066.

Zeytün, U.B., 2014. *Mimari Tasarım Biyomorfik Yaklaşımlar*, Yüksek Lisans Tezi, Yakın Doğu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Anabilim dalı, Lefkoşa

Url 1 Dans Eden Ev (Dancing House). <https://www.arkitektuel.com/dans-eden-ev/> (E. Tarih:09.10.2023)

Url 2 Milwaukee Sanat Müzesi <https://mam.org/info/rentals/> (E. Tarih:12.10.2023)

Url 3 Milwaukee Sanat Müzesi İç Mekân <http://mimdap.org/2013/05/milwaukee-sanat-muzesi-santiago-calatrava/> (E. Tarih:12.10.2023)

Url 4 TDK (Türk Dil Kurumu). Parametre Tanımı. <https://sozluk.gov.tr/> (E. Tarih:20.04.2022)

Url 5 Parametre Tanımı. <https://www.etimolojiturkce.com/kelime/parametre> (E. Tarih:20.04.2022)

Url 6 El Sayary, S. Architects. Parametrik Tasarım Perspektifi. <https://i.pinimg.com/originals/20/3a/41/203a4156006da38a5ef02e2d6b7e753f.png> (E. Tarih:20.04.2022)

Url 7 Parametrik Tasarım. <https://hayriatak.com/parametrik-tasarim-nedir/> (E. Tarih:20.04.2022)

Url 8 Rhinoceros- Grasshopper ile modellenen parametrik tasarım örneği Rhinoceros-Grasshopper ile modellenen parametrik tasarım örneği (E. Tarih:22.04.2022)

Url 9 Revit&dynamo ile modellenen parametrik tasarım modeli- Öğrenci projesi <http://www.theprovingground.org/2015/03/universit-y-of-nebraska-computational.html> (E. Tarih:22.04.2022)

Url 10 3ds Max ile modellenen parametrik Tasarım modeli
<https://tr.pinterest.com/pin/490751690630681906/>
(E. Tarih:22.04.2022)

Url 11 Korollaria Korkuluk. <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/corollaria-railing/> (E. Tarih:25.04.2022)

Url 12 Cellular Chair.
<https://www.designboom.com/design/mathias-bengtsson-cellular-chair/>
(E. Tarih:19.04.2022)

Url 13 Growth Lounge.
<https://www.designboom.com/art/mathias-bengtsson-growth-exhibition-paris-design-week-08-26-2017/> (E. Tarih:19.04.2022)

Url 14 Peacock Chair.
<https://www.designboom.com/design/uufie-fans-peacock-chair-from-a-single-sheet-of-plastic-12-05-2013/>
(E. Tarih:25.04.2022)

Url 15 Ksilem Hyphae.
<https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/albums/xylem-trellis/>
(E. Tarih:25.04.2022)

Url 16 Küstüm çiçeği. <https://blog.biomall.in/can-plants-hear-and-think-research-on-the-mimosa-pudica-plant-says-yes/>
(E. Tarih:17.05.2022)

Url 17 Küstüm çiçeği.
<https://www.nagwa.com/en/explainers/702159062142/>
(E. Tarih:17.05.2022)

ELEKTRO - MEKANİK (MEP) SERVİSLERİNİN KOORDİNASYONUNUN MİMARİ PROJE İLE İLİŞKİLİ YÜRÜTÜLMESİ

Büşra GÜNAY (ORCID:0009-0000-8687-0354)^{1*}, Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU (ORCID:0000-0002-3185-8275)²

1*.Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimari ve Kentsel Enformatik Bölümü
2.Antalya Bilim Üniversitesi, Mimarlık Bölümü
e-posta: busraggunay@gmail.com salih.ofluoglu@antalya.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, geleneksel tesisat tasarımının ve BIM ortamında MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing) tasarımının mimari projeye etkileri incelenmektedir.

Yapı sistemlerinin bünyesinde bulunan Elektro - Mekanik servislerin diğer disiplinlerle olan entegrasyonu, geleneksel tasarım sürecinin değişmesine neden olmaktadır. Hızlı gelişen sayısal teknolojilerin olanakları sayesinde mimarlar ile mühendisler tasarım / yapım / işletme süreçlerinde eş zamanlı yer alabilmektedir. Bu durum disiplinler arası koordinasyon ve birlikte çalışabilirliğin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Bu makalede, genel hatları ile sistemler arası etkileşimden yola çıkılarak mimar – mühendis işbirliğinin, yapının tasarım ve üretimini hangi durumlarda etkilediği örneklerle aktarılmaktadır. Elde edilen verilerle Elektro - Mekanik servislerin tanımı, sistemler arası koordinasyon ve servislerin 2D ortamı ile BIM ortamında tasarımının mimari proje ile ilişkisi ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektro - Mekanik Tasarım, 2D Tasarım, BIM Ortamında Tasarım, BIM, Mekanik Sistem, Elektrik Sistem, Tesisat Sistemleri

ABSTRACT

In this study, the effects of traditional installation design and MEP design in BIM environment on architecture are examined.

The integration of the Electro - Mechanical services within the building systems with other disciplines causes the traditional design process to change. Thanks to the possibilities of rapidly developing digital technologies, architects and engineers can take part in the design / construction / operation processes simultaneously. This situation reveals the necessity of interdisciplinary coordination and interoperability.

In this article, based on the interaction between systems, in which situations the architect-engineer collaboration affects the design and production of the building and by which methods it is solved are explained with examples. With the data obtained, the definition of Electro-Mechanical services, coordination between systems and the effect of the design of the services in the 2D environment and BIM environment on the architecture are discussed.

Keywords: MEP Design, 2D Design, BIM Design, BIM, Mechanical System, Electrical System, Plumbing Systems

1. GİRİŞ

Yapı, amacına uygun şekilde kullanıcıya hizmet ettiği sürece yaşayan bir varlık olur. Kullanım amacına göre bu varlığa fonksiyon kazandıran, mimari ve mühendislik projeleridir. Yapı tasarlanırken tüm disiplinlerin çalışma esasları dikkate alınmalıdır. Bu disiplinler; mimari, statik, mekanik, elektrik ve yapıya özel sistemler olarak projenin birçok aşamasında birlikte yürütülmelidir. Bu makalede ele alınan Elektro-Mekanik sistemlerin mimari ve statik tasarım süreçlerine dahil edilmesi ve tüm bu disiplinlerin koordinasyonunun sağlanması bina yapım aşamasında önemli bir yere sahiptir.

Enerji ve teknoloji bağlamında bina tasarımına girdi verebilecek farklı disiplinlerin içerdiği çok boyutlu bilgi ve deneyim, geleneksel tasarım sürecini değiştirmeye zorlamaktadır. İlk adımdan itibaren disiplinlerarası ekip çalışması yapılmasını gerektiren yeni süreç, tasarım amaçlarının belirlenmesinden, sistem kararlarının alınması, uygulanması hatta işleme kadar geniş bir alanda işbirliğinin sürekliliğini zorunlu hale getirmektedir (Utku, 1999).

Geleneksel yöntemlerle oluşturulan Elektro - Mekanik servisler, bu servislerin diğer disiplinlerle olan ilişkisi ve koordinasyon süreçleri 2D ortamında oluşturulan tasarımlarda tüm verileriyle görülememektedir. Tasarımlar, CAD yazılımları veya kağıt üzerinde 2D araçları ile gösterilmekte ve manuel yazı eklenmesi ile bilgi verilebilmektedir. Herhangi bir revizyonda ise projeye ait plan, kesit, görünüş, 3D görselleştirilmesi gibi belgelerin ayrı ayrı düzenlenmesi gerekmektedir. Servisler arası çakışmalar bu çizim ortamlarında yeterince çözülememektedir. Bu durum mimari tasarımdaki revizyonların yapım aşamasına kadar ertelenmesine ve projenin başındaki tasarım ile üretilen tasarımın tutarsızlığına sebep olmaktadır. Diğer taraftan iş yükü, zaman kaybı, hata payı artmakta, kaliteli üretim olumsuz yönde etkilenmektedir. Buna karşın BIM yazılımları ile üretilen projelerde Elektro-Mekanik sistemlerin tasarımı multidisipliner model aracılığıyla her yönden (modelleme, veri yönetimi, metraj, çakışma kontrolü, vb.) çalışılabilmektedir. Mimari ile eş zamanlı çalışıldığı için revizyonlar hızlı yapılmakta, işveren ve saha tarafına iletilmektedir. Disiplinler arası bu iletişim sayesinde yapım süreçlerindeki aksamalar, kayıplar önlenmektedir.

2. MEP SERVİSLERİ VE KOORDİNASYONU

Elektro - Mekanik sistemler yapının yaşamasını, çalışmasını sağlayan, mimari ve statik tasarım süreçlerini etkileyen temel unsurlardır. Söz konusu mekanik ve elektrik sistemler aşağıdaki gruplara ayrılmaktadır.

Mekanik Sistemler:

- Isıtma, Havalandırma, Klima (HVAC) Yangından Korunma
- Temiz Su
- Atık Su
- Gri Su
- Doğal Gaz

Elektrik Sistemler:

- Zayıf Akım
- Kablo Taşıyıcı Sistemler
- Topraklama
- Yangın Alarmı
- Data - TV
- Güvenlik Sistemleri'nden oluşmaktadır.

2.1. MEP Tasarımının Mimari Tasarımı Etkilediği Faktörler

MEP tasarımı, yapıda bulunacak ve mekânlara hizmet edecek sistemlerin kararlaştırılmasıyla başlamaktadır. Sonrasında mekânların ihtiyaçlarına göre cihaz yerleşimleri, bu cihazlara bağlanacak hatlar oluşturulmaktadır.

Hedefsiz ve öncelikler belirlenmeden seçilen sistemlerin uygulama esnasında maliyetler yönünden sağlıklı olmayacağı muhtemeldir. Hedefler ve öncelikler belirlenir, sistem seçimi yapılır. Bu işlemin ardından mimariye olan etkilerini estetik açıdan düşünerek mekanik sistemlerin mimari ile entegrasyonu sağlanmalıdır (Kılıç, 2018).

Sistem seçimleri, cihaz yerleşimleri ve servislerin tasarımı yapılırken birçok alanda mimari yapı elemanları ile sorun yaşanmaktadır. Bu sorunlar koordinasyon aşamasında çözülmektedir. Yapı içinde karşılaşılan MEP tasarımının mimari tasarımı etkilediği başlıca noktalar; teknik hacim, teknik kat ihtiyacı, şaft ve duvar arası boşluk yerleri, asma tavan ve çatı formu olarak sıralanabilir.

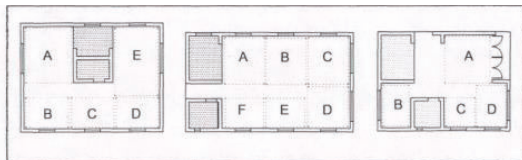
2.1.1. Teknik Hacim, Teknik Kat İhtiyacı

MEP servislerinin dağıtımının yapılmasına başlanmadan teknik hacim yerleri ve gerekli alan ihtiyacı belirlenmektedir. Örneğin su deposu ve yangın su deposu yerleri, ne kadarlık bir alana ihtiyaç olduğu hesaplanmaktadır. Sonrasında mimari proje üzerinde tahmini teknik alan yerleşimi yapılmaktadır. Mimari ekip de istenilen bu yerlerde mimari tasarımı revize ederek gerekli alanları sağlamaktadır.

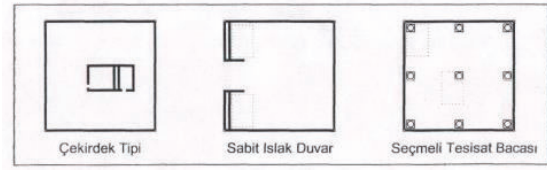
Çok katlı yapılarda tesisat tasarımı yapılırken belli bir katta servis dağıtımının bölünmesi gerekmektedir. Örneğin, 25 katlı bir yapıda bodrum katından 25. Kata kadar su pompalayacak cihazın ve yüksek basınca dayanacak boruların maliyeti fazla olmaktadır. Bodrumdan son kata kadar yapılacak herhangi bir servis dağıtımı, yapım aşamasında imalatı, işletme aşamasında da bakımı zorlaştırmaktadır. Bu sorunların aşılması için örneğin 12. kat teknik kat olarak tasarlanmakta ve bu katta da cihaz yerleşimleri yapılarak üst katlara servislerin hizmet etmesi sağlanmaktadır. MEP tasarımı yapılırken teknik kat ihtiyacının oluşması mimari tasarımı etkileyen faktörlerden biridir.

2.1.2. Şaft ve Duvar Arası Boşluk Yerleri

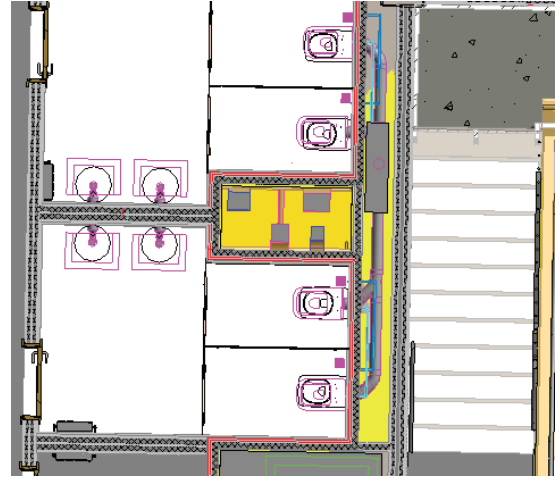
Her bir servis için farklı cihaz yerleşimleri, vana grupları, hat çizimleri yapılmaktadır. Bu servislerin hizmet edeceği mekânlara göre yapının belli bölümlerinde mahaller arası veya katlar arası toplanma, dağıtım noktaları şaft veya duvar arası boşluklar sağlanmaktadır. Tesisat tasarımının mimari tasarımı etkilediği, değişmesine sebep olan en önemli kararlardan biri bu şaft ve boşlukların yerlerinin karar verilmesidir. Örneğin, şaft boşluğu verilmemiş bir mimari tasarımda kanalların ve boruların geçeceği bir boşluk tasarıma sonradan ekleneceği için daha önce tasarlanmış bir mekânın alanının küçülmesine sebep olacaktır. Bir başka örnek ile yüksek katlı bir yapıda bodrum kattan üst katlara dağıtılacak bir hattın çapı büyük olacak ve buna göre şaft boyutları da değişmek zorunda kalacaktır. Bu sebeple tesisat tasarımının mimari tasarım ile bütünleşmiş şekilde, eş zamanlı yapılması gerekmektedir.



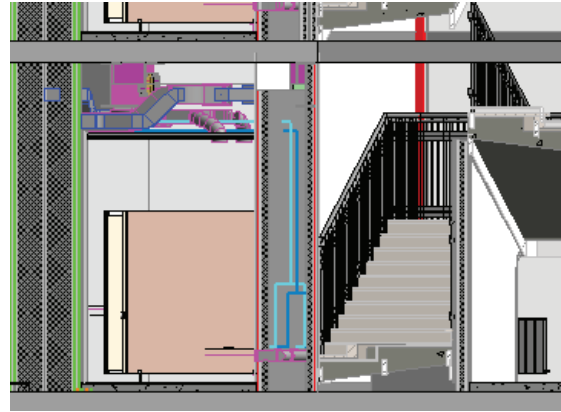
Şekil 1. Islak Hacim Tasarımının İç Mekân Bölünmesine Etkisi (Uzel, 2001)



Şekil 2. Tesisat Toplanma Noktalarının İç Mekân Bölünmesine Etkisi (Uzel, 2001)



Şekil 3. MEP Servislerinin Geçişi İçin Duvar Arasında Bırakılan Şaft - Boşluk (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 4. MEP Servislerinin Geçişi İçin Duvar Arasında Bırakılan Şaft - Boşluk (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)

2.1.3. Tavan Tasarımına Etkisi

Asma tavan bulunan yapılarda MEP servisleri için bu alanlar kullanılmaktadır. Bazı cihaz yerleşimleri asma tavan içinde yapılmakta ve cihazların sığmaması durumunda tavan yüksekliklerinde değişikliğe sebep olmaktadır. Aynı şekilde bu cihazlara bağlı hatların

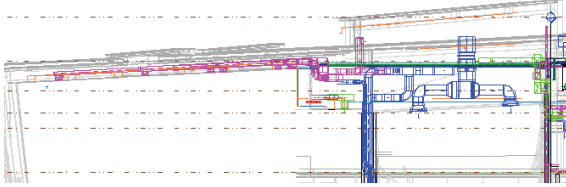
geçiş veya servisler arası çakışmaların çözülmesi için asma tavan tasarımında revizyon yapılması gerekmektedir.

2.1.4. Çatı Tasarımına Etkisi

MEP tasarımının çatı formuna uymadığı durumlarda veya bu servislere ait cihazların çatıda yerleştirilmesine uygun alanlar bulunmadığı durumlar bulunmaktadır. Bu durumlarda mimari projede değişiklik yapılabilir. Örneğin; Şekil 3 ve Şekil 4'te belirtilen müze projesinde, cihazlar ve servisler için yer bulunmadığı ve servisler yapı formuna uymadığı için çatı katmanının altına teknik oda eklendiği görülmektedir.



Şekil 5. Müze Projesinin Çatı Formu (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 6. Müze Projesinde MEP Servislerinin Uyum (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)

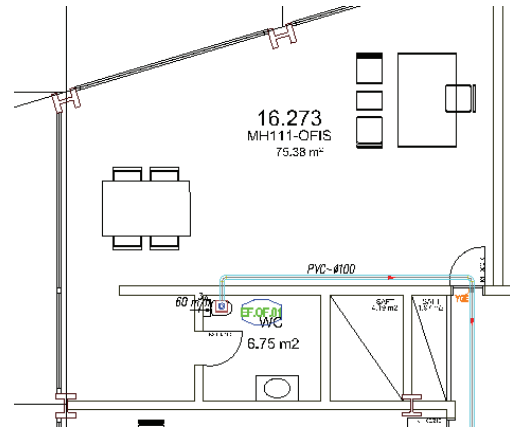
3. 2D ORTAMINDA (GELENEKSEL) TESİSAT TASARIMI

Bilgisayar teknolojilerinin kullanılmadığı, geleneksel tasarlama sürecinde, tasarımlar kâğıt üzerine yapılmaktadır. Daha sonra kâğıt üzerinde yapılan çizimlerden 2D ortamında çizime geçiş yapılmıştır. Bu çizim ortamlarında tesisat tasarımlarının diğer disiplinlerle olan ilişkisi eş zamanlı yürütülemez. Bu sebeple herhangi bir mimari revizyonda tüm tesisat tasarımının yapıldığı plan, kesit çizimlerinin tekrar üretilmesi gerekmektedir.

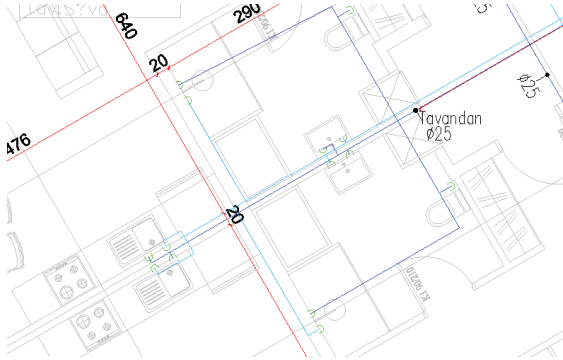
2D ortamında tesisat tasarımının yapılması için ilk önce mimari altlığa ihtiyaç duyulmaktadır. Mimari taraftan gelen çizimler üzerinde tüm servislerin üst üste getirilmesi ve birbirleriyle olan ilişkisinin incelenmesi gerekmektedir. Plan üzerinden tespit edilen çakışmalar aynı anda her yönden (kesit, görünüş, 3D) görülemez ve sağlıklı çözümler bulunması zorlaşmaktadır. Bu durum sebebiyle koordinasyon süreci yavaş ilerlemektedir. Tespit edilemeyen çakışmalar ancak sahada, imalat sırasında fark edilmekte ve mimari tasarımın değişmesine sebep olarak yine sahada çözülebilmektedir. Geleneksel çizim yöntemleri ve BIM ortamındaki çizim yöntemleri arasındaki farklar için Torğut (2021) şöyle demektedir:

“Elle veya bilgisayar destekli çizim metotlarına göre BIM’in temel avantajlarından biri, doğru proje çizimleri ve inşaat belgelerini zamanında ve hızlı bir şekilde sunarak, inşaat sürecinde olası çatışmaları önleme kabiliyetidir. Ayrıca BIM, kullanıcılara proje ekipleri arasında koordinasyon eksikliğinden kaynaklanan hataları veya çakışmaları önleyen, proje bilgilerini aktarma konusunda tutarlı bir yöntem sunar.”

Tesisat tasarımlarının BIM ortamında çizilmesi, eş zamanlı tüm disiplinlerin projeye ulaşabilmesi ve koordinasyonlu şekilde projeyi yürütebilmesini sağlamaktadır. BIM yazılımlarında modellenen projelerde, tesisat tasarımının mimariyi etkilediği veya mimari tasarımın tesisat tasarımına uygun olmadığı durumlar aynı anda plan, kesit, 3D çizimlerinde tespit edilebilir. Bu tarz durumların imalat aşamasından önce değerlendirilmesi mimar, mühendis ve işveren tarafları için birçok yönden (maliyet, zaman, enerji vb.) avantaj sağlamaktadır.



Şekil 7. CAD Çizimde Havalandırma Tesisatının Kat Planda Gösterimi (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 8. CAD Çizimde Temiz Su Tesisatının Gösterimi (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)

4. BIM ORTAMINDA MEP TASARIMI

BIM, 2D çizimlere göre plan, kesit, detay, 3D ve girilen verilerle, tüm disiplinler arasında bilgi alışverişi sağlayan gelişmiş bir çalışma biçimidir. 3D model tabanlı olduğu için projelerin yaşam döngüsünün simülasyonunu temsil etmektedir. BIM sadece ilerlemiş bir teknoloji değildir. BIM çalışma yöntemi ile proje tasarım süreci ve bina yapım süreci de değişiklik göstermektedir (Yan ve Damian, 2008).

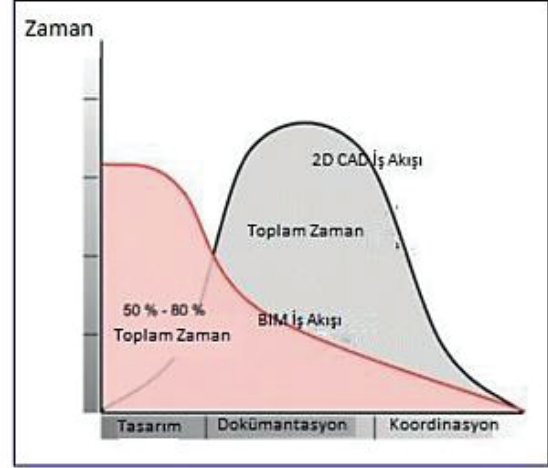
Projelerin farklı ekipler tarafından 2D yazılımlarda tasarlanması daha önce de belirtilen birçok soruna yol açmaktadır. Bu sorunların çözülmesi için aynı dilde konuşan yazılımlar ile çalışılmalıdır. BIM çalışma biçimi ile uyumlu yazılımlar sayesinde yapıların sayısal modeli oluşturulmakta ve analizler, çakışmalar, raporlar gibi bilgiler elde edilmektedir. Yapım aşamasından önce elde edilen bu bilgiler ile gerçeğe yakın analizler yapılmaktadır.

Paylaşılabilir 3D model üzerinde çalışabilme imkânı projeye dâhil olan iş ortakları, tasarım ve mühendislik disiplinlerinin güncel bilgiye kolay bir şekilde ulaşabilmelerine olanak sağlar. Tasarlanan 3D yapı ile konuya daha hızlı adapte olmaları ve en iyi sonuca ulaşabilmeleri için gerekli altyapıyı oluşturur (Autodesk, 2014).

BIM çalışma yöntemi, projelendirme süreci boyunca sağladığı avantajların yanı sıra harcanan zamanı, çalışan kişi sayısını ve bunlara bağlı olarak iş yükünü azaltmaktadır. Şekil 5'te geleneksel yöntem (2D) ve BIM ile oluşturulan proje süreçlerinin iş akışına olan etkisi görülmektedir.

BIM çalışma biçimi ve yazılımları ile mimar ve statik ekiplerin oluşturduğu model üzerinden belli aşamalarda MEP tasarımı ve koordinasyonu

yapılmaktadır. MEP servislerin tasarımı ve uygulama süreçleri, projelerin dört farklı aşamasında mühendis - işveren ortak kararlarıyla yönetilmektedir. Bu aşamalar Konsept, Avan, Uygulama ve Saha - İmalat olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 9. BIM ve 2D/CAD İş Akışı Karşılaştırması (Kaplan ve Kurekci, 2015)

4.1. Konsept Proje Aşaması

Konsept aşamasında işveren ya da mimardan mekanik ve elektrik olarak talepleri ve düşünceleri alınmaktadır. Bu taleplere göre sistem alternatifleri işverene sunulmakta ve aşağıdaki gibi sorular mimarlara ya da işverene yöneltilmektedir:

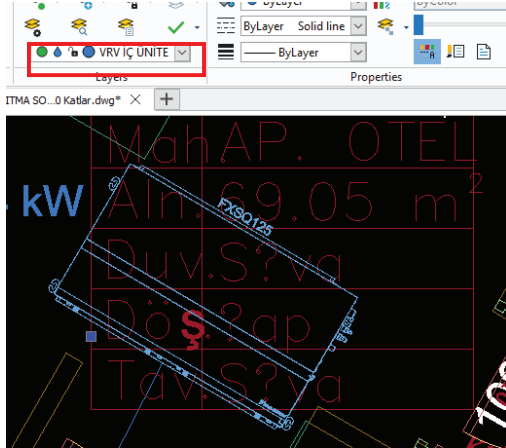
- Gri su sistemi olacak mı?
- Yağmur toplama sistemi olacak mı?
- Kullanım su için kaç günlük depolama düşünülüyor?
- Jeneratör olacak mı?
- Yangın sistemi için bina yüksekliği yönetmeliğe uyuyor mu?

Yapılan geri dönüşlere göre alternatiflerden uygun olanları belirlenip Avan Proje aşamasına geçilmektedir.

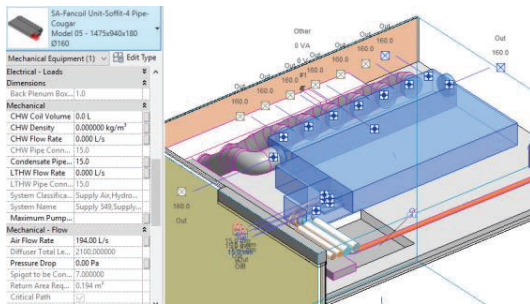
4.2. Avan Proje Aşaması

Avan proje, konsept aşamasında alınan kararlara göre ön tasarımların ortaya çıkarıldığı aşamadır. Bu aşamada mekanik ve elektrik konularının mimariye olası etkileri üzerinden gerekli fikir alışverişleri yapılmaktadır. Teknik hacim ihtiyaçları ve shaft ihtiyaçları mimari grup ile paylaşılmaktadır. Bu görüşmelerden sonra mimari grup gereken ihtiyaçlara cevap verecek şekilde tasarımı ilerletmektedir.

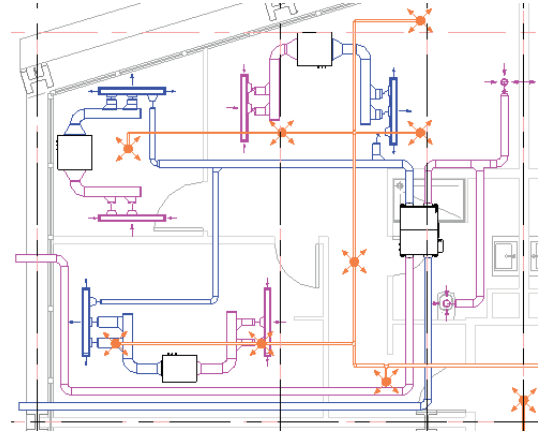
Bu aşamada, 2D ortamında çizilen tesisat sisteminde diğer disiplinlerle olan ilişkisi, olası çakışma, cihaz sığmama durumları görülememektedir. Cihaz isimleri ve hatların hangi servislere ait olduğu bilgileri ancak manuel olarak katman / layer oluşturulduğunda görülebilmektedir. Buna karşın BIM ortamında tasarlanan bir tesisat sisteminde ise aynı anda tüm disiplinler görülebilmekte, gerekli bilgiler veri olarak girilip kontrol edilebilmektedir. Örnek olarak BIM yazılımları ile tasarlanan havalandırma sisteminde ilk önce ihtiyaca göre talep edilen cihaz yerleşiminin yapılması gerekmektedir. Yerleşim için cihaz boyutları modelde parametre olarak eklenip, obje / familyanın boyutları gerçek boyutlarla birebir uyumlu hale getirilmektedir. Bu sayede yerleştirildiği mahalde diğer disiplinlerle olan ilişkisi görülebilmektedir. Herhangi bir statik kolon - kiriş, mimari duvar gibi yapı elemanları ile çakışma veya asma tavana cihazın sığmaması durumunda ilgili ekibe bu durum aktarılmakta ve gerekli değişikliklerin yapılması istenmektedir. Bu aşamadan sonra Uygulama aşamasında cihazın bağlantı noktaları, kotu, yönü doğru biçimde görülerek sistem hatları çizilmeye başlanmaktadır.



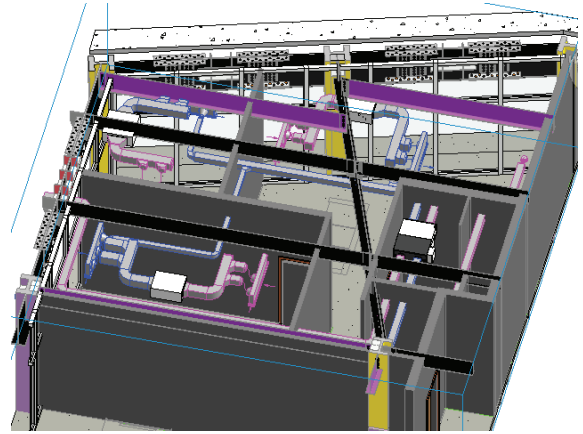
Şekil 10. CAD yazılımında cihaz bilgilerinin görünümü (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 11. Autodesk Revit yazılımında cihaz bilgilerinin görünümü (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 12. Autodesk Revit Yazılımında Havalandırma Tasarımı Kat Planı (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



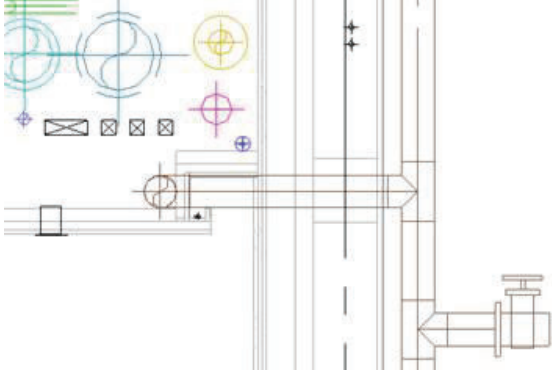
Şekil 13. Autodesk Revit Yazılımında Havalandırma Tasarımı 3D Görünüşü (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)

4.3. Uygulama Aşaması

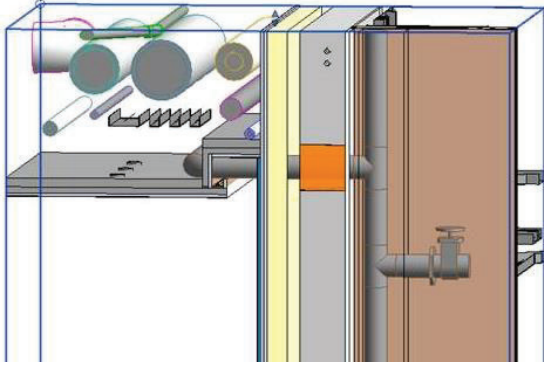
Teknik hacim ve shaft ihtiyaçları belirlendikten sonra mekanik ve elektrik projeler hazırlanmaktadır. İmalat aşamasında sorun çıkartabilecek olası problemler bu aşamada tespit edilmekte ve proje aşamasında çözümler üretilmeye çalışılmaktadır.

Aşağıdaki projede örnek çakışmada yangın hattı için sahada duvarda delik açılmıştır. Hat, delikten geçmek zorunda olduğu ve delik kaydırılmayacağı için asma tavan tasarımında revizyon yapılması gerekmiştir. Asma tavan imalatı duvar imalatından sonra yapıldığı için hattın asma tavan sınırı ile çakışması uygulama aşamasında fark edilmiştir. Bu çakışma mimari ekibe bildirildikten sonra asma tavan kotu düşürülerek

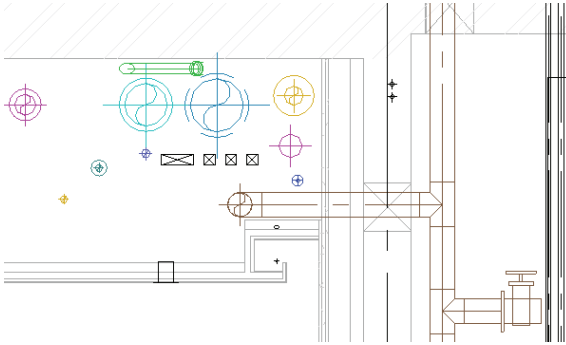
çakışma çözülmüştür. Bu gibi durumların geleneksel 2D çizimlerde görülmesi zordur. BIM yazılımları sayesinde mekanik bir borunun kotu, mimari yapı elemanı olan asma tavanın tasarımını etkilemiş ve değişikliğe sebep olmuştur.



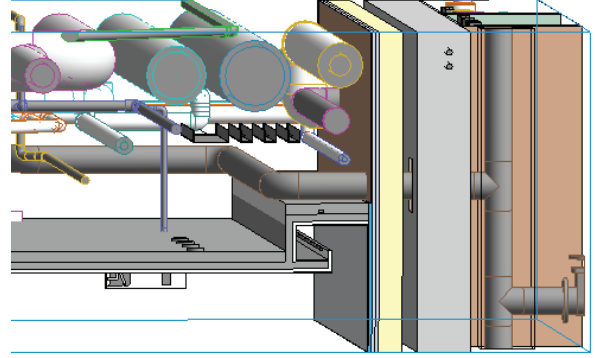
Şekil 14. Yangın hattının asma tavan asma tavan sınırı ile çakışması, kesit (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 15. Yangın hattının asma tavan asma tavan sınırı ile çakışması, 3D (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



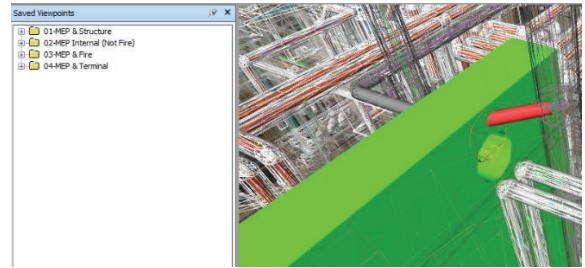
Şekil 16. Yangın hattının asma tavan asma tavan sınırı ile çakışmasının çözülmesi, kesit (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 17. Yangın hattının asma tavan asma tavan sınırı ile çakışmasının çözülmesi, 3D (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)

4.4. Saha-İmalat Aşaması

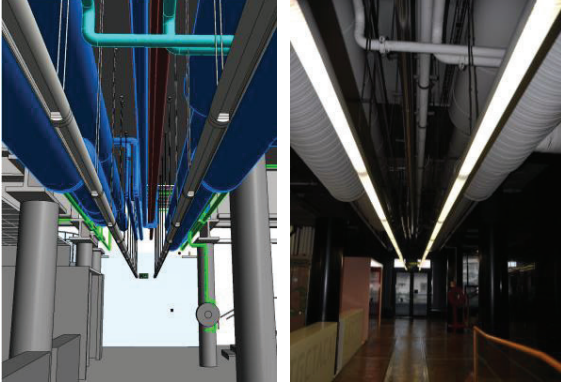
Tasarımı yapılan projeler üzerinden uygulama için ihaleye çıkılmakta ve imalat aşamasına geçilmektedir. Asma tavan mesafelerinin kontrolü, şaft içi koordinasyon gibi detaylı konulara bu aşamada girilmektedir. Özellikle birçok servisin geçtiği tavan içi ve şaft içi koordinasyon bu aşamada saha imalatı için önem taşımaktadır. Projeler saha tarafına iletilmeden önce belirli aşamalardan geçmektedir. Bu aşamalardan birisi de çakışma kontrolüdür. BIM yazılımlarından biri olan Navisworks programında mekanik servislerin diğer servislerle ve disiplinlerle olan çakışmaları kontrol edilmektedir. Örneğin boru-boru, kanal-boru, boru-statik duvar arasında kontrol yapılmaktadır. Raporda çakışma olarak çıkan tüm servis elemanlarının Element ID numarası bulunmaktadır. Bu numara Revit'te aratıldığında program kısa bir sürede çakışmanın olduğu alanı göstermekte ve bu sayede çakışma hızlı bir şekilde çözülmektedir.



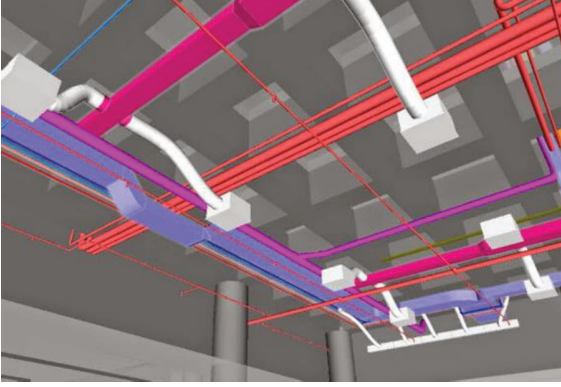
Şekil 18. Autodesk Navisworks yazılımında boru-duvar çakışma kontrolü (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)

Koordinasyonu tamamlanan bir tasarıma sahada uyulmadığında fazla revizyona sebep olmaktadır. Örneğin; cihazların mekanik odalara sığmaması,

odaların genişletilmesine, servislerin ön aşamalarda planlandığı kotlarda imalatının yapılmaması, tavan kotunun düşürülmesine sebep olmaktadır.



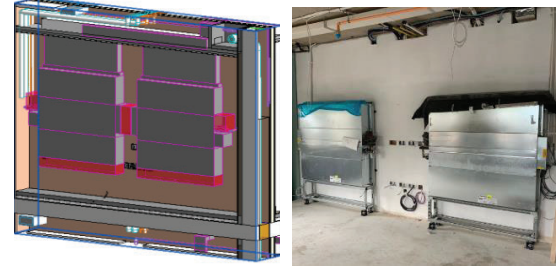
Şekil 19. Autodesk Revit yazılımında tasarlanan projenin birebir uygulaması (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



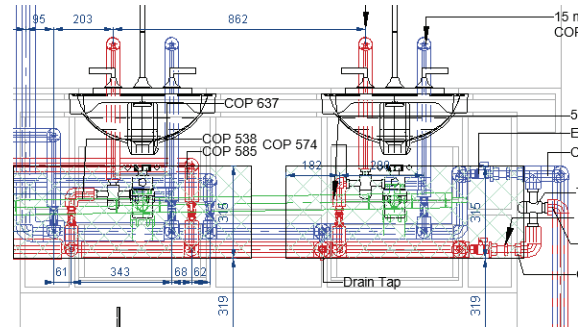
Şekil 20. Autodesk Revit yazılımında koordinasyonu tamamlanan projenin birebir uygulaması (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



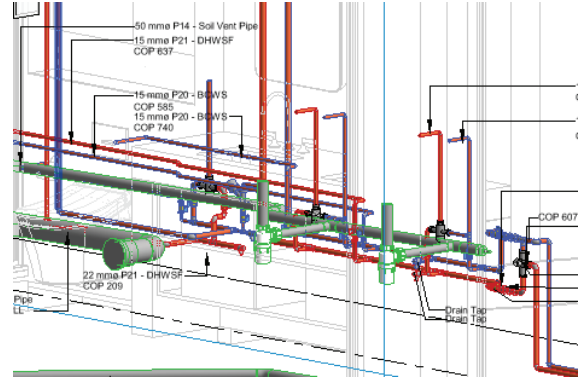
Şekil 21. Revit yazılımında koordinasyonu tamamlanan projenin birebir uygulaması (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 22. Revit yazılımında yerleştirilen cihazların sahada uygulaması (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 23. Revit yazılımında çizilen banyo içi temiz su tesisatı, kesit (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 24. Revit yazılımında çizilen banyo içi temiz su tesisatı, 3D (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)



Şekil 25. Revit yazılımında tasarlanan banyo içi temiz su tesisatı uygulaması (SAINA Danışmanlık Mühendisliğin izniyle)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Elektro Mekanik sistemlerin tasarımının mimariyi hangi yönlerde etkilediği, 2D ve BIM ortamında bu tasarımların nasıl yapıldığına ve ne gibi problemlerle karşılaşıldığına dair araştırmalar örneklerle sunulmaktadır.

Geleneksel yöntemlerle oluşturulan tasarımların, gerek tasarım aşamasında gerek uygulama aşamasına geçildiğinde yeterli bilgi ve kolaylık sağlamadığı, aksine zaman ve emek kaybına neden olduğu anlaşılmaktadır. BIM ortamında üretilen tasarımların ise her aşamada kalite, zaman, maliyet ve gerçeklik açısından avantaj sağladığı görülmektedir.

Tesisat projelerinin BIM ortamında tasarlanması, yapım aşamasına geçilmeden Mimari – MEP simülasyonunun görülmesi sayesinde, sahada birebir uygulanmasını ve çıkacak olası problemlerin çözümünü kolaylaştırmaktadır. MEP servislerin ve gerekli elemanların mimaride revizyona sebep olduğu noktalarda, mimari ekip ile hızlı bir şekilde veri ve model paylaşımı yapılmakta da yapım süreci hızlı devam etmektedir. Geleneksel yöntemlerde ise ekiplerin bir araya gelmesinin ve tasarımlarda değişiklik yapılmasının zorluğu ortaya çıkmaktadır.

Bu makale ile diğer tüm disiplinler (mimari, statik, cephe, iç mimari) gibi mekanik-elektrik sistemlerin de BIM ortamında üretilmesinin gerekliliği vurgulanmaktadır. Mimari, mühendis, iş veren arasında, zaman ve mekana bağlı kalınmadan BIM ile bilgi, model, veri alışverişinin yapılabildiği ortam sağlanmaktadır. Böylece MEP servislerin mimariyi etkilediği durumlar en az kayıp ile sonuçlanmakta ve proje yönetimi sürdürülebilmektedir.

6. KAYNAKLAR

Arıöz, E., 1992. Endüstrileşmiş Binada Hazır Tesisat Bileşenlerinin Kullanımı ve Tasarıma Etkileri, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Autodesk, 2014. The Power Of BIM For Structural Engineering.

Chiu, B.W. and Lai, J.H., 2016. Implementing Building Information Modelling in Building Services Engineering: Benefits and Barriers. Building up business operations and their logic Shaping materials and technologies, 3, p.332

Eceoğlu, A., 2012. Teknolojik Gelişmelerin Mimarlık Mesleğine Yansımaları ve Simülasyon Programları'nın Mekan Tasarımına Etkisi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.

Erdik, M. ve Gökuç, Y. T., 2020. Türk yapı sektöründe yapı bilgi modellemesinin adaptasyonu. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1), 159-171.

Francis D. K. Ching., 2003. Mimarlık ve Sanatta Yaratıcı Bir Süreç Çizim, Türkçesi: Gülçin İpek; Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, John Wiley & Sons, İstanbul.

Hergunsel, M.F., 2011. Benefits of Building Information Modeling For Construction Managers and BIM Based Scheduling, Worcester Polytechnic Institute, USA.

İnan, N. ve Yıldırım, T., 2009. Mimari Tasarım Sürecinde Disiplinlerarası İlişkiler ve Eşzamanlı – Dijital Ortam Tasarım Olanakları, Ankara.

Kaplan, S. ve Kürekci, N. A., 2015. Yapı Bilgi Sistemi (BIM) İle Mekanik Tesisat Projeleri, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 8-11 Nisan, s. 1383-1394.

Kılıç, M. E., 2018. Çok katlı konut binalarında kullanılan iklimsel konfor sistemleri, mimari ile olan ilişkisi ve uygulama örneklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Korman, T. and Tatum, B. C., 1999. MEP Coordination in Building and Industrial Projects, Stanford University, Stanford.

Ogwueleka, A. C., 2015. Upgrading from the use of 2D CAD systems to BIM technologies in the construction industry: consequences and merits. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 28(8), 403-411.

Lv, X. B., & Liang, Z. J., 2014. Case study of three-dimensional optimization design on architectural MEP based on BIM. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 507, pp. 177-181). Trans Tech Publications Ltd.

Utkutuğ, G., 1999. Binayı Oluşturan Sistemler Arasındaki Etkileşim Ve Ekip Çalışmasının Önemi Mimar Tesisat Mühendisi İş Birliği, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi, s. 21-36.

Uzel, N., 2001. Esnek ve Adapte Olabilir Konutlar İçin Değerlendirme Rehberi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Wael, A. and Weldy, S., 2020. Integration of building service systems in architectural design. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol. 25, pg. 109-122

Wan, S.K.M. and Kumaraswamy, M.M., 2012. Improving building services coordination at the pre-installation stage. *Engineering, Construction and Architectural Management*, (19), 3.

Wang, J., Wang, X., Shou, W., Chong, H. Y., & Guo, J., 2016. Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability. *Automation in construction*, 61, 134-146

Yarmohammadi, S., and Ashuri, B., 2015. Exploring the approaches in the implementation of BIM-based MEP coordination in the USA. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 20(22), 347-363.

Yan, H. and Damian, P., 2008. Benefits and Barriers of Building Information Modelling, Department of Civil and Building Engineering, Loughborough University, UK.

Yıldırım, M. T., 2004. Mimari Tasarımda Biçimlendirme Yaklaşımları İle Bilgisayar Yazılımları İlişkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1) s. 59-71.

Yılmaz, A. ve Torğut, F. A., 2021. Bir Hastanenin Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) İle Mekanik Tesisatının Tasarımı, Bitirme Projesi, K.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, Trabzon.