

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE UYGULANAN
KONUTLARDA TAŞIYICI SİSTEM ALTERNATİFLERİNİN ÇEVRESEL
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet ÇETİNTAŞ

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatih YAZICIOĞLU

ŞUBAT 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE UYGULANAN
KONUTLARDA TAŞIYICI SİSTEM ALTERNATİFLERİNİN ÇEVRESEL
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet ÇETİNTAŞ
(502201508)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatih YAZICIOĞLU

ŞUBAT 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF
STRUCTURAL SYSTEM ALTERNATIVES FOR HOUSES PRODUCED IN
THE URBAN TRANSFORMATION PROCESS IN TURKEY**

M. Sc. THESIS

**Mehmet ÇETİNTAŞ
(502201508)**

Department of Architecture

Environmental Control and Construction Technologies Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Fatih YAZICIOĞLU

FEBRUARY 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502201508 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet ÇETİNTAŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TÜRKİYE'DE KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE UYGULANAN KONUTLARDA TAŞIYICI SİSTEM ALTERNATİFLERİNİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Fatih YAZICIOĞLU**
~~İstanbul Teknik Üniversitesi~~

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Caner GÖÇER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hakkı Can ÖZKAN
Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi

Teslim Tarihi : 04 Ocak 2024
Savunma Tarihi : 16 Şubat 2024





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim sürecimin başından sonuna bana yol gösteren, tecrübelerini aktaran, çalışma sürecinde beni teşvik eden ve yönlendiren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Fatih Yazıcıoğlu'na teşekkürü borç bilirim.

Mimarlık eğitimime başladığım andan itibaren beni mesleğe hazırlayan, bilgi birikimlerini ve tecrübelerini aktaran ve her türlü desteği veren lisans ve yüksek lisans eğitimimdeki tüm saygıdeğer hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecinde, son bölümde yapılan çalışma kapsamında araştırmalara katkıda bulunan, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Primit Grup İnşaat ile değerli dostum Mimar Bilal Karabulut'a ve İnşaat Mühendisi saygıdeğer arkadaşım Avni Yılmaz'a desteklerinden ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi destekleri ile beni bugünlere getiren, hayattaki zorluklara karşı her an motivasyonumu diri tutan ve bana inanan canım anneme ve babama, sevgi bağları ile hep yanımda olan kardeşlerime, yüksek lisans eğitimim başta olmak üzere tüm eğitim hayatımda verdikleri destek için teşekkür ederim.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında beni cesaretlendiren, desteği ve enerjisi ile her an bana güç katan sevgili Şeyma Menengiç'e ve birlikte yol yürüdüğüm, anılar biriktirdiğim ve hep yanımda olan bütün arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2024

Mehmet Çetintaş
(Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xii
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Amaç.....	4
1.2.Kapsam.....	4
1.3.Yöntem	4
2. BİNALAR VE DÖNÜŞÜM.....	9
2.1.Bina Yaşam Süreçleri ve Dönüşüm	10
2.1.1.Bina yaşam süreçleri	10
2.1.1.1. Hammade temini.....	11
2.1.1.2. Yapı malzemelerinin üretimi	12
2.1.1.3. İnşaat süreci	12
2.1.1.4. Bina işletmesi ve kullanımı.....	13
2.1.1.5. Bina yıkımı	13
2.1.1.6.Geri dönüşüm.....	14
2.1.2. Binalar ve yaşam döngüsü değerlendirmesi	14
2.1.3. Binalar ve kentsel dönüşüm	15
2.2.Bina Tasarım ve Yapım Süreçleri	18
2.3.Türkiye’de Yapı Stoğu ve Konutlar	23
3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	29
3.1.Sürdürülebilir Mimari.....	31
3.1.1.Çevresel sürdürülebilirlik.....	32
3.1.2.Ekonomik sürdürülebilirlik	31
3.1.3.Sosyal sürdürülebilirlik	34
3.2.İnşaat Sektörü ve Çevresel Sürdürülebilirlik.....	35
3.2.1.Küresel ısınma ve inşaat sektörü	38
3.2.2.Karbon ayak izi ve gömülü karbon	44
3.2.3.Yeşil binalar ve değerlendirme sistemleri	47
4. TAŞIYICI SİSTEMLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	49
4.1.Taşıyıcı Sistemlerin Tanımı ve Amacı.....	49
4.2.Taşıyıcı Sistemlerin Tarihsel Gelişimi	49
4.3.Taşıyıcı Sistemlere Etkiyen Yükler.....	51
4.4.Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması	53
4.4.1.Ahşap taşıyıcı sistemler	54

4.4.2.Kagir taşıyıcı sistemler	55
4.4.3.Betonarme taşıyıcı sistemler.....	56
4.4.4.Çelik taşıyıcı sistemler	57
4.5.Beton ve Betonarme Taşıyıcı Sistemler	58
4.5.1.Beton ve üretim süreçleri.....	58
4.5.2.Betonarme yapıların avantajları ve dezavantajları	61
4.5.3.Betonarme yapı elemanları.....	61
4.5.4.Betonarme taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması	65
4.5.4.1. Çerçeve sistemler	65
4.5.4.2. Perde sistemler	66
4.5.4.3. Perde-çerçeve sistemler.....	67
4.5.4.4. Tüp sistemler	67
4.6.Çelik ve Çelik Taşıyıcı Sistemler	68
4.6.1.Çelik ve üretim süreçleri	68
4.6.2.Çelik yapıların avantajları ve dezavantajları	71
4.6.3.Çelik yapı elemanları.....	72
4.6.4.Çelik taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması	80
4.6.4.1.Çerçeve sistemler	81
4.6.4.2.Kablolu sistemler.....	82
4.6.4.3.Uzay kafes sistemler.....	83
4.6.4.4.Tüp sistemler	85
5. ÖRNEK KONUT YAPISININ ALTERNATİF TAŞIYICI SİSTEMLER	
İLE TASARLANMASI VE ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	
AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI	87
5.1. Alan Çalışmasının Kapsamı	87
5.2. Örnek Projeye Ait Veriler	88
5.3. Örnek Yapının Taşıyıcı Sistem Tasarımı	91
5.4.Örnek Yapının Çelik Konstrüksiyon Olarak Tasarlanması.....	92
5.5.Taşıyıcı Sistemlerde Kullanılan Malzeme Miktarları	95
5.6.Alternatif Taşıyıcı Sistemlerin Gömülü Karbon Kıyaslaması.....	98
6. SONUÇ.....	107
KAYNAKLAR.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	117

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BIR	: Uluslararası Geri Dönüşüm Bürosu
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BM	: Birleşmiş Milletler
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değışikliği Çerçeve Sözleşmesi
BOF	: Bazik Oksijen Fırını
BRE	: Yapı Araştırma Kurumu
BREEAM	: Yapı Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Metodu
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
CASBEE	: Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency
CEPAS	: Comprehensive Environmental Performance Assessment Scheme
CLT	: Çapraz Lamine Ahşap
ÇYTHYE	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları
DLT	: Kavelalı Lamine Ahşap
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
EAO	: Elektrikli Ark Ocağı
EN	: Europeane Norm
EUROSTAT	: Avrupa İstatistik Ofisi
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
ICE	: The Inventory of Carbon and Energy
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
ISO	: International Organization for Standardization
KUDEB	: Koruma Uygulama ve Denetim Büroları
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
LVL	: Lamine Kaplama Ahşap
MPP	: Masif Kontraplak Paneller
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
OSL	: YönlendirilmişYonga Ahşap

PSL	: Paralel Yonga Ahşap
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TCC	: Ahşap Beton Kompozit
TDK	: Türk Dil Kurumu
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TS	: Türk Standartı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü



SEMBOLLER

CH₄	: Metan
CO₂	: Karbondioksit
CO₂E	: Karbondioksit Eşdeğeri
kg	: Kilogram
M²	: Metrekare
M³	: Metreküp
N₂O	: Azot Protoksit
t	: Ton



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yapı kullanım izin belgesi alan binaların taşıyıcı sistem ve kullanım amacı istatistikleri, 2002-2021.	26
Çizelge 2.2 : Üç büyük şehirde yapı kullanım izin belgesi alan binalar ve kullanım amacı istatistiklerinin yüzdelik gösterimi, 2002-2021.	27
Çizelge 2.3 : İstanbul ili yapı kullanım izin belgesi alan binalar taşıyıcı sistem ve kullanım amacı istatistikleri, 2002-2021.	28
Çizelge 5.1 : Betonarme taşıyıcı sisteme ait malzeme miktarları.....	95
Çizelge 5.2 : Betonarme taşıyıcı sisteme ait detaylı malzeme miktarı.	95
Çizelge 5.3 : Kompozit döşeme malzeme miktarları.....	96
Çizelge 5.4 : Çelik profil malzeme miktarları.	96
Çizelge 5.5 : Çelik yapıda betonarme temel ve perdeler için malzeme miktarı.	97
Çizelge 5.6 : %100 geri dönüştürülmüş çelik malzemelerin CO ₂ Salınımları (kg CO ₂ /kg).....	99
Çizelge 5.7 : Çelik malzemelerin CO ₂ salınımları (kg CO ₂ /kg).	99
Çizelge 5.8 : Beton sınıfları ve CO ₂ salınımları (kg CO ₂ /kg).....	100
Çizelge 5.9 : Betonarme taşıyıcı sisteme ait toplam gömülü karbon emisyonları.	100
Çizelge 5.10 : Geri dönüştürülmüş çelik kullanılmayan çelik yapıya ait toplam gömülü karbon emisyonları.	101
Çizelge 5.11 : %100 geri dönüştürülmüş çelik kullanılan çelik yapıya ait toplam gömülü karbon emisyonları.	101
Çizelge 5.12 : %86 geri dönüştürülmüş çelik malzemelerin CO ₂ salınımları (kg CO ₂ /kg).....	103
Çizelge 5.13 : %86 geri dönüştürülmüş çelik kullanılan çelik yapıya ait toplam gömülü karbon emisyonları.	103
Çizelge 5.14 : %86 geri dönüştürülmüş çelik donatı kullanılan betonarme yapıya ait toplam gömülü karbon emisyonları.	104



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çalışmanın kurgusu.....	7
Şekil 2.1 : Bina yaşam süreçleri.....	11
Şekil 2.2 : Yaşam döngüsü değerlendirmesi metodolojisi.....	15
Şekil 2.3 : Çevresel performansın değerlendirilmesinde kullanılacak işlemler için akış diyagramı.....	16
Şekil 2.4 : Bina tasarım süreci.....	21
Şekil 2.5 : Yapı kullanma izin belgesi istatistikleri.....	24
Şekil 2.6 : Bina kullanım amacına göre yapı kullanma izin belgesi istatistikleri, 2002-2021.....	25
Şekil 2.7 : Bina kullanım amacına göre yapı kullanma izin belgesi alan binaların yüzdelik dağılımı, 2002 – 2021.....	25
Şekil 2.8 : Üç büyük şehirde yapı kullanım izin belgesi alan binalar ve kullanım amacı istatistikleri, 2002-2021.....	27
Şekil 3.1 : Sürdürülebilirliğin üç boyutu.....	29
Şekil 3.2 : Sürdürülebilir kalkınma kavramı.....	31
Şekil 3.3 : Sürdürülebilir yapı.....	32
Şekil 3.4 : Atmosferdeki karbondioksitin yıllara göre miktarı.....	33
Şekil 3.5 : İnşaa faaliyetlerinde çevresel sürdürülebilirlik stratejileri.....	37
Şekil 3.6 : Sera etkisinin şematik gösterimi.....	39
Şekil 3.7 : Ülkelerin 2020 yılında yaptıkları sera gazı emisyonları karşılaştırması.....	40
Şekil 3.8 : Avrupa Birliği ülkelerinin 1990-2020 yılları arası net sera gazı emisyonları (Endeks 1990=100).....	40
Şekil 3.9 : Türkiye’de 1990-2020 yılları arası net sera gazı emisyonları (milyon ton).	41
Şekil 3.10 : 1990-2019 yılları arasında sektörlere göre küresel sera gazı emisyonlarının dağılımı.....	43
Şekil 3.11 : 1990 -2020 yılları arasında inşaat sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarında Avrupa’da ilk dört sıradaki ülke.....	43
Şekil 3.12 : Gömülü karbon ve operasyonel karbon.....	46
Şekil 3.13 : Bina yaşam döngüsü evreleri ve gömülü karbon.....	46
Şekil 3.14 : Yeşil bina değerlendirme sistemleri ve kriterler.....	48
Şekil 4.1 : Binalara etki eden rüzgar ve deprem yükleri.....	52
Şekil 4.2 : Heino Engel’e göre taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması.....	53
Şekil 4.3 : Klinker üretim şeması.....	59
Şekil 4.4 : Hazır beton üretim şeması.....	60
Şekil 4.5 : Beton sınıfları ve dayanımları.....	60
Şekil 4.6 : Etriyeli ve fretli betonarme kolonlar.....	62
Şekil 4.7 : Betonarme kiriş.....	63
Şekil 4.8 : Betonarme döşeme tipleri.....	64
Şekil 4.9 : Perde duvar detayı.....	64
Şekil 4.10 : Yüzeysel temel tipleri.....	65

Şekil 4.11 : Çerçeve sistem plan ve kesit şeması.....	66
Şekil 4.12 : Perde sistem plan şeması.	66
Şekil 4.13 : Perde sistem plan şeması.	67
Şekil 4.14 : Tüp sistemler.	68
Şekil 4.15 : Çelik üretim süreçleri ve çelik ürünler.	70
Şekil 4.16 : Bazı standart çelik hadde mamulleri.	73
Şekil 4.17 : Çelik taşıyıcı sistem elemanları.	75
Şekil 4.18 : Çelik kolon kesitleri.	76
Şekil 4.19 : Dolu gövdeli çelik kirişler.	76
Şekil 4.20 : Boşluklu gövdeli çelik kirişler.....	77
Şekil 4.21 : Düzlem kiriş şema örnekleri.....	77
Şekil 4.22 : Düzlem kafes kiriş ve uzay kafe kiriş.....	78
Şekil 4.23 : Kompozit döşeme.	79
Çelik 4.24 : Çelik diyagonalli sistem örnekleri.	79
Şekil 4.25 : Çeşitli çelik kolon temel birleşimleri.	80
Şekil 4.26 : Çelik çerçeve sistem tipleri.	81
Şekil 4.27 : Betonarme perdeli çelik çerçeve sistem.	82
Şekil 4.28 : Kablolü sistem tipleri.	83
Şekil 4.29 : Çeşitli uzay kafes sistem tipleri.	84
Şekil 5.1 : Daha önce incelenen proje parselinde bulunan ve kentsel dönüşüm kapsamında yıkılan yapı grubunu gösteren 2018 yılı uygu görüntüsü.....	89
Şekil 5.2 : İncelenen proje parselinin mevcut inşaat halini gösteren 2023 yılı uydu görüntüsü.	89
Şekil 5.3 : İncelenen projeye ait vaziyet planı ve incelenen A1 Blok.	90
Şekil 5.4 : İncelenen binanın 1.,2.,3.,4.,5.,6. katlarına ait tip kat mimari planı.	90
Şekil 5.5 : İncelenen binanın mimari kesit çizimi.	91
Şekil 5.6 : İncelenen binanın tip kat statik döşeme kalıp planı.....	91
Şekil 5.7 : İncelenen binanın statik projesine ait zemin ve deprem parametreleri. ...	92
Şekil 5.8 : Çelik konstruksiyon taşıyıcı sisteme ait kat statik döşeme.	93
Şekil 5.9 : SAP2000’de yapılan statik analiz.....	93
Şekil 5.10 : Kompozit döşeme sistemi.....	94
Şekil 5.11 : IdeCad programında oluşturulan çelik yapı modeli.	94
Şekil 5.12 : Çelik yapının elemanları bazında ağırlık kıyaslaması.....	97
Şekil 5.13 : Toplam yapı ağırlıklarının karşılaştırılması (ton).....	98
Şekil 5.14 : Ham çelik üretiminde geri dönüştürülmüş çelik kullanımı (milyon ton).	102
Şekil 5.15 : Çelik sistemlerin geri dönüştürülmüş malzeme kullanımına göre gömülü CO ₂ emisyonları karşılaştırması.	104
Şekil 5.16 : Betonarme sistemlerin geri dönüştürülmüş malzeme kullanımına göre gömülü CO ₂ emisyonları karşılaştırması.	105
Şekil 5.17 : Taşıyıcı sistem alternatiflerinin gömülü CO ₂ emisyonları.	106

TÜRKİYE’DE KENTSEL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE UYGULANAN KONUTLARDA TAŞIYICI SİSTEM ALTERNATİFLERİNİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzde çevre kirliliği, küresel ısınma ve iklim değişikliği bulunduğumuz çağın göz ardı edilemeyecek ve en büyük sorunlarından biridir. Küresel kaynaklar, günümüz modern yaşamının büyük enerji ve kaynak ihtiyacını karşılarken, bilinçsiz kullanım sebebi ile çevre kirliliğinde ve küresel ısınmada büyük paya sahiptirler. Yapı ve inşaat sektörü de çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya sebep olan bu emisyonlarda büyük bir paya sahiptir. İçerisinde yaşadığımız binaların bütün malzemeleri, bileşenleri, yapı elemanları ve sistemleri yaşam süreçlerinin tümünde günümüz küresel kaynaklarının önemli bir tüketicisi konumundadır.

Bu sistemler arasında taşıyıcı sistemler bir binayı ayakta tutma görevine sahip, en önemli yapı elemanlarından ve sistemlerden birisi konumundadır. Taşıyıcı sistemler tasarlanırken ve seçilirken yapının fonksiyonu, kullanım süresi, zemin durumu, bütçe gibi her projeye özel taşıyıcı sistem seçimini etkileyen birtakım faktörler vardır. Türkiye’de geçmişten günümüze dönüşen yapı stoğu incelendiğinde konut amaçlı kullanılan binalarda tercih edilen taşıyıcı sistemler birçok farklı kritere göre seçilirken, taşıyıcı sistemlerin çevresel performansları göz ardı edilmektedir. Ülkemizde inşaat sektörünün son yıllarda gelişmesiyle artan inşaat faaliyetleri ve bina stoğunun istatistiki verileri incelendiğinde özellikle büyük şehirlerde ciddi bir yapılaşma olduğu görülmektedir. İstatistikler incelendiğinde üretilen yapıların büyük bir kısmı konut amaçlı binalardan oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasında ilk dört bölümde son bölümde yapılacak olan ampirik çalışmaya yönelik bilimsel bir altyapı oluşturulması amaçlanarak referans kitaplar ve ulusal/uluslararası yayınlarda yer alan özgün bilimsel çalışmalardan yararlanılarak literatür araştırması yapılmıştır. Öncelikle binalar ve bina yaşam döngüleri, kentsel dönüşüm kavramı, bina yapım süreçleri ve Türkiye’de yapı stoku ve konutlara ait istatistiki veriler incelenmiştir. Bu istatistiklerde Türkiye’deki yapı stokunun büyük çoğunluğunu konutların oluşturduğu ve konut mimarisinde en çok kullanılan taşıyıcı sistemin betonarme taşıyıcı sistemler olduğu görülmüştür. Bu veriler çalışmanın kapsamını daraltmak ve sınırlarını çizmek adına belirleyici olmuştur. Ardından sürdürülebilirlik kavramı, çevresel sürdürülebilirlik bağlamında küresel ısınma ve inşaat sektörünün payı, dünyada ve ülkemizde karbon emisyonları istatistikleri, gömülü karbon kavramı ve yeşil bina değerlendirme sistemleri incelenmiştir. Son olarak taşıyıcı sistemler bölümünde, taşıyıcı sistemlerin tanımı, amacı, tarihçesi ve sınıflandırması araştırılarak betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler detaylandırılarak incelenmiştir. Bu araştırmalar ve incelemeler araştırma sorusu ile son bölümde ortaya konulan çalışmanın hipotezini destekleyici nitelikte bir bilimsel altyapı oluşturmuştur.

Son bölümde yapılan ampirik çalışma ile ülkemizde kentsel dönüşüm kapsamında üretilen betonarme taşıyıcı sistemli bir yapı çelik taşıyıcı sistemli olacak şekilde yeniden tasarlanmıştır. Tasarlanan çelik yapı ile betonarme yapının malzeme miktarları belirlenerek karbon emisyonları bağlamında çevresel performans kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan çalışmada iki farklı taşıyıcı sisteme ait malzeme miktarları ayrıntılı olarak hesaplanmış, çizelge ve grafikler aracılığı ile aktarılmıştır. Malzeme miktarlarına bağlı olarak iki sisteme ait gömülü karbon emisyonları beşikten kapıya metodu ile ilgili hesaplama tablolarına ilgili formülasyon ile aktararak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda, seçilen çalışma alanında seçilen betonarme taşıyıcı sisteme ait CO₂ emisyonları yeni tasarlanan çelik çerçeve taşıyıcı sisteme ait CO₂ emisyonlarından daha az çıkmıştır. Ancak bu çalışmanın farklı bir deprem bölgesinde ve farklı bir konumda yapılması, farklı bina tipolojileri üzerinde yapılması, beşikten kapıya metodu yerine beşikten mezara metodu ile yapılması, farklı kat sayısına sahip bina üzerinde değerlendirilmesi gibi birçok farklı parametrenin değişmesi çalışmanın sonuçlarında değişikliğe sebep olabilir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de dönüşen yapı stoğu ve konut mimarisinde taşıyıcı sistemler istatistikler ışığında incelenmiş olup, sistem seçiminde, sürdürülebilir mimarlık bağlamında, çevresel performansın da bir seçim kriteri olarak ele alınabileceği araştırılmış ve incelenmiştir. Çalışmanın gelecek çalışmalara referans olarak araştırmacılara ilham kaynağı olması ve taşıyıcı sistem tasarımında çevresel performansın da bir kriter olabileceği konusunda farkındalık yaratılması amaçlanmıştır.

EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF STRUCTURAL SYSTEM ALTERNATIVES FOR HOUSES PRODUCED IN THE URBAN TRANSFORMATION PROCESS IN TURKEY

SUMMARY

Today, environmental pollution, global warming and climate change are some of the biggest problems of our time and cannot be ignored. While global resources provide the great energy and resource needs of today's modern life, they have a huge role in environmental pollution and global warming due to unconscious use. The building and construction sector also has a big role in these emissions that cause environmental pollution and global warming. All materials, components, structural elements and systems of the buildings we live in are important consumers of today's global resources in all of their life processes.

Among these systems, structural systems are one of the most important building elements and systems that have the task of keeping a building standing. When designing and selecting structural systems, there are a number of factors such as the function of the building, the duration of use, the ground condition, and the budget that affect the selection of the structural system specific to each project. When the building stock transformed from past to present in Turkey is examined, the structural systems preferred in buildings used for residential purposes are selected according to many different criteria, while the environmental performance of the structural systems is ignored. When the statistical data of the increasing construction activities and building stock with the development of the construction sector in our country in recent years are examined, it is seen that there is a serious construction especially in big cities. When the statistics are analyzed, most of the buildings produced consist of residential buildings.

In the first four chapters of this thesis, a literature review was conducted by utilizing reference books and original scientific studies in national/international publications in order to create a scientific infrastructure for the empirical study to be conducted in the last chapter. First of all, buildings and their life cycles, the concept of urban regeneration, building construction processes and statistical data on building stock and housing in Turkey are analyzed. In these statistics, it was seen that the majority of the building stock in Turkey consists of residential buildings and the most commonly used structural system in residential architecture is reinforced concrete systems. These data have been decisive in narrowing the scope of the study and drawing its boundaries. Then, the concept of sustainability, global warming and the share of the construction sector in the context of environmental sustainability, carbon emissions statistics in the world and in our country, the concept of embedded carbon and green building evaluation systems are examined. Finally, in the structural systems section, the definition, purpose, history and classification of structural systems were investigated

and reinforced concrete and steel structural systems were examined in detail. These researches and investigations have created a scientific infrastructure that supports the research question and the hypothesis of the study put forward in the last chapter.

With the empirical study conducted in the last chapter, a building with reinforced concrete structural system produced within the scope of urban transformation in our country has been redesigned with a steel structural system. The material quantities of the designed steel structure and the reinforced concrete structure were determined and environmental performance was compared in terms of carbon emissions.

In the study, the material quantities of two different structural systems were calculated in detail and transferred by means of charts and graphs. Depending on the material quantities, the embodied carbon emissions of the two systems were calculated by transferring to the calculation tables related to the cradle-to-door method with the relevant formulation. As a result of these calculations, the CO₂ emissions of the reinforced concrete structural system in the selected study area were less than the CO₂ emissions of the newly designed steel frame structural system. However, many different parameters such as conducting this study in a different earthquake zone and in a different location, performing it on different building typologies, performing it with the cradle-to-grave method instead of the cradle-to-door method, evaluating it on buildings with different number of storeys may cause changes in the results of the study.

In this study, firstly, a sample reinforced concrete building under construction within the scope of urban transformation in Istanbul was selected. This building was analyzed and redesigned with a steel structural system. This design was made with the help of IdeCad, SAP2000 and AutoCad software. Subsequently, the material quantities of the systems were determined. The carbon emissions per unit volume of each material were determined through the ICE database. The carbon emissions of the sample building with reinforced concrete frame structural system and the new design with steel frame structural system were calculated by transferring these data to spreadsheets. Finally, the carbon emissions of the two systems were compared using the cradle-to-door method. As a result of this comparison, the outputs may vary according to parameters such as the location of the study, the earthquake zone, and the recycling rate of steel products.

As a result of these analyses, the boundaries, scope and context of the study were determined for the empirical study to be conducted in the last section. Studies on environmental performance in the context of carbon emissions were investigated and no such study was found for multi-storey residential buildings in our country. In our country, it is aimed to examine the environmental performance of structural system alternatives in residential architecture in the province of Istanbul in the context of CO₂ emissions and to create awareness in terms of environmental sustainability in system selection.

In the study conducted in the last chapter, the building with the reinforced concrete frame structural system analysed was redesigned as a steel frame system. The material quantities of the two systems were calculated in detail and presented in charts and graphs. Depending on the material quantities, the embedded carbon emissions of the two systems were calculated by transferring to the calculation tables related to the

cradle-to-door method with the relevant formulation. According to the researches, 86% of the steel produced in our country consists of recycled steel. For this reason, during the calculations, the carbon emissions of 86% recycled steel material were taken as basis for both systems produced under the conditions of our country. According to these calculations, the embedded carbon emissions of the reinforced concrete structural system studied were measured as 2134,618 tonnes CO₂, and the embedded carbon emissions of the alternative system with steel structural system were measured as 2926,994 tonnes CO₂.

As a result of these calculations, the CO₂ emissions of the selected reinforced concrete structural system in the selected study area were less than the CO₂ emissions of the newly designed steel frame structural system. However, conducting this study in a different earthquake zone and in a different location may cause a change in the results of the study. In addition, according to statistics, the fact that 86% of the steel used in our country is recycled is another important input and the rate of recycled steel utilisation is another parameter that may change the results of the study.

Within the scope of this study, the transforming building stock in Turkey and the structural systems in residential architecture have been analyzed in the light of statistics, and it has been investigated and analyzed that environmental performance can also be considered as a selection criteria in the context of sustainable architecture in system selection. The study is intended to inspire researchers as a reference for future studies and to raise awareness that environmental performance can also be a criteria in structural system design.

In addition, other parameters that determine the limits of the study are also capable of changing the findings of the study. The change in the typology of the selected building will also change the structural system design and is an important factor that can change the results. In addition, the number of storeys of the selected building is another important point that can change the results of the study. The use of the cradle-to-grave method instead of the cradle-to-door method used in the calculation of embedded carbon in this study is another factor that will carry the environmental performance comparison of structural system alternatives to another dimension.

Changes in these and many other parameters may cause changes in the carbon emissions of the systems and therefore in the comparison results. For this reason, it is not possible to determine the winning system at the end of the day. The aim of this study is to evaluate the environmental burdens of structural system selection in residential architecture with the building to be designed in the earthquake zone where our country is located, and to give an idea to the researchers in the early design phase by creating an awareness on this issue. The most important motivation of this study, which is a comparison of the environmental performance of structural systems in the context of carbon emissions, is to raise awareness among researchers about the addition of environmental performance criteria among the structural system selection criteria and to inspire future studies.

1. GİRİŞ

Günümüzde çevre kirliliği, küresel ısınma ve buna bağlı iklim değişikliği bulunduğumuz çağın göz ardı edilemeyecek, en büyük sorunlarından biridir. Küresel kaynaklar, günümüz modern yaşamının büyük enerji ve kaynak ihtiyacını karşılarken, bilinçsiz kullanım sebebi ile çevre kirliliğinde ve küresel ısınmada büyük paya sahiptirler. Bu bilinçsiz kullanım sonucunda doğaya salınan zararlı sera gazları ekolojik dengeye zarar verecek ve hatta bozacak boyutlara ulaşmıştır. Yapı ve inşaat sektörü de çevre kirliliğine ve küresel ısınmaya sebep olan bu emisyonlarda büyük bir paya sahiptir.

Barınmak insanlar için geçmişten beri en temel ihtiyaç olup, bu ihtiyacı karşılamak üzere yüzyıllardır binalar inşa edilmektedir. Günümüzde inşaat sektörünün ülkeler ve dünya ekonomisinde ne kadar büyük bir paya sahip olduğunu düşünürsek, inşa faaliyetlerinin ve dolayısı ile bu inşa faaliyetlerinde kullanılan küresel kaynakların ne miktarda fazla olduğunu tahayyül edebiliriz. Yapılı çevre yalnızca yapım süreçlerinde değil, yapımından yıkımına kadar geçen bütün yaşam süreçlerinde küresel kaynakların sürekli bir tüketicisi konumundadır. 2019 yılı verilerine göre sera gazı emisyonlarında binalar elektrik ve ısıtma gibi operasyonel emisyonlar hariç olmak üzere, 3.07 milyar ton ile sera gazı emisyonlarında 6.sırada yer almıştır. Buna binaların elektrik ve ısınma ihtiyacı sonucu ortaya çıkan emisyonlar da eklendiğinde günümüzde binalar bu sera gazı emisyonlarının en büyük pay sahiplerinden biridir (Ritchie ve diğerleri, 2020). Bu bağlamda içerisinde yaşadığımız binalar daha tasarım süreçlerinde iken tasarımcılar tarafından doğru ve sürdürülebilir stratejiler ile kurgulanmalı ve gelecek nesillere yaşanabilir bir yapılı çevre bırakmak hedeflenmelidir.

Erken tasarım evresinde binaların yaşam süreçlerinin tümünde çevresel etkilerini ölçmek üzere yaşam döngüsü değerlendirmesi yapmak, çevresel etkileri en aza indirmek ve tasarım evresinde sürdürülebilir bir yaklaşımla yaşam alanlarını kurgulamak, ekolojik dengeyi koruyarak gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre bırakmak noktasında büyük önem taşımaktadır. Bir yapının veya binanın bileşenleri, elemanları ve sistemleri bir bütün halinde bu değerlendirmeye tabi tutulabileceği gibi,

ayrı ayrı da değerlendirmeye tabi tutularak farklı sistemler arasında çevresel etkiler kapsamında karşılaştırma yapılabilir.

Taşıyıcı sistemler, belirli yükler altında direnç göstermek ve bir yapıyı veya binayı ayakta tutmak için kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi elemanlardan oluşan sistemlerdir. Her yapının ve binanın kendine özgü taşıyıcı sistem tasarım gereklilikleri vardır. Yapının fonksiyonu, kullanım süresi, zemin durumu, bütçe gibi her projeye özel taşıyıcı sistem seçimini etkileyen birtakım faktörler vardır. Ancak günümüzde kısıtlı kaynakların tükenmesi, çevre kirliliğinin artışı gibi etkenler bizi çevreci yapılara yöneltmiştir ve taşıyıcı sistem seçiminde yalnızca bu hususlara dikkat etmek yetersiz kalmaktadır. Bir yapının veya binanın tasarım evresinde, taşıyıcı sistem seçiminde çevresel performans da tasarımcılar, mimarlar ve mühendisler tarafından göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husustur.

Tez çalışmasının genel içeriğinin oluşturulmasında, taşıyıcı sistemler, sürdürülebilirlik ve çevresel performans çerçevesinde araştırma yapılan ulusal ve uluslararası birçok bilimsel makaleden yararlanılmıştır. T. Nolan ve M. Doyle-Kent'in yayınlamış olduğu "An Investigation into the Role of Building Structure on Energy Use & CO₂ Emissions over the Life Cycle of a Medium-Rise Residential Building" isimli çalışması ele alınan çalışmalardan biri olmuştur. Bu çalışmada inşaat sektörünün küresel ısınma potansiyeline bir sınırlama girişi olan neredeyse sıfır enerjili binalar özelinde bir araştırma yapılmıştır. Orta katlı ve düşük enerjili bir konut binasının taşıyıcı sisteminin, binanın yaşam döngüsü boyunca enerji kullanımını nasıl etkilemesinin beklendiği çalışmanın odağı olmuştur. Çalışmada farklı taşıyıcı sistem çözümlerinin operasyonel enerji kullanımını nasıl etkileyebileceği ve bunun karşılığında enerji kullanımının binanın tüm yaşam döngüsü boyunca nasıl etkilenebileceği konusunda bir bilgi eksikliği olduğundan bahsedilmiştir. Çalışmanın cevaplamak için ortaya koyduğu araştırma sorusu "Taşıyıcı sistem seçiminin bir binanın çevresel performansı üzerinde bir etkisi var mıdır?" olmuştur.

D. Davies, L. Johnson, B. Doepker, ve M. Hedlund'un 2018 yılında yayınlanan "Quantifying Environmental Impacts of Structural Material Choices Using Life Cycle Assessment: A Case Study" isimli makalesinde çalışma kapsamında bir bodrum katlı ve 7 normal katlı 25 metre yüksekliğinde bir yapı taşıyıcı sistemlerin gömülü karbonlarını kıyaslamak için 4 farklı tasarım şeklinde modellenmiştir ve 60 yıllık bir

yaşam döngüsü için analiz edilmiştir. Çalışmada 4 farklı döşeme sistemine sahip alternatif tasarımın gömülü karbon emisyonları hesaplanmış ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Gömülü karbon emisyonlarını karşılaştırarak sistemler arasında seçim yapmanın çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli olduğu vurgulanmıştır.

2015 yılında X. Zhao ve H. Ma tarafından yayınlanan “Structural System Embodied Carbon Analysis for Super Tall Buildings” isimli çalışmada çok katlı bir yüksek yapının üç farklı taşıyıcı sistem ile tasarlanması durumunda gömülü karbon emisyonları analiz edilmiştir. Çin’in Changchun şehrinde 300 metre yükseklikteki bir bina ele alınmıştır. Bu makale çevresel maliyetleri etkileyen temel faktörleri analiz etmenin önemli olduğunu vurgulamıştır.

Bu tez çalışmasında taşıyıcı sistemler incelenmiş olup, sürdürülebilir mimarlık bağlamında konut mimarisinde kullanılan taşıyıcı sistemlerin çevresel performansları değerlendirilmiştir. Taşıyıcı sistem seçiminde çevresel performansın da seçim kriteri olarak göz önünde bulundurulması hususunda farkındalık yaratmak tasarımcılara ve araştırmacılara gelecek çalışmalarda ilham olmak amaçlanmıştır.

Çalışmanın bulguları beklenenin dışında bir sonuç göstermiş ve seçilen çalışma alanında seçilen betonarme taşıyıcı sisteme ait CO₂ emisyonları yeni tasarlanan çelik çerçeve taşıyıcı sisteme ait CO₂ emisyonlarından daha az çıkmıştır. İki sisteme ait malzeme miktarları ayrıntılı olarak hesaplanmış ve çizelge ve grafikler aracılığı ile aktarılmıştır. Malzeme miktarlarına bağlı olarak iki sisteme ait gömülü karbon emisyonları beşikten kapıya metodu ile ilgili hesaplama tablolarına ilgili formülasyon ile aktararak hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalara göre ülkemizde üretilen çeliğin %86’sı geri dönüştürülmüş çelikten oluşmaktadır. Bu sebeple hesaplamalar esnasında ülkemiz şartlarında üretilen iki sistem için de %86 geri dönüştürülmüş çelik malzemenin karbon emisyonları esas alınmıştır. Bu hesaplamalara göre incelenen betonarme taşıyıcı sistemin gömülü karbon emisyonları 2134,618 ton CO₂, çelik taşıyıcı sisteme sahip alternatif sistemin gömülü karbon emisyonları 2926,994 ton CO₂ olarak ölçülmüştür.

1.1. Amaç

Bu çalışmanın amacı taşıyıcı sistem seçiminde sürdürülebilirlik konusunu ele almak, mimarlık ve inşaat sektörünün çevresel etkilerini optimum koşullara getirebilecek çözümleri irdelleyerek, tasarım evresinde taşıyıcı sistem seçiminde daha bilinçli hareket edilmesini, tasarımcılar, araştırmacılar ve inşaat sektörünün tüm paydaşları arasında farkındalık oluşturulmasını sağlamaktır.

Bunun yanında binaların tasarım evresinden başlayarak yıkımına kadar geçen yaşam süreçlerinde küresel kaynakların en önemli tüketicilerinden olması ve bu durumun gelecek nesilleri etkileyecek sonuçlarının olması sebebiyle, taşıyıcı sistem tasarım kriterlerine çevresel performansın da bir kriter olarak dahil edilmesi amaçlanmaktadır.

1.2. Kapsam

Bu çalışma kapsamında kullanım ömrünü tamamlamış konut yapılarının dönüşerek yerini nitelikli ve yüksek katlı konut yapılarına bırakması ve bu kapsamda, yeni inşa edilecek yapıların taşıyıcı sistem alternatiflerinin çevresel performansları incelenmiştir. Sırasıyla binalar ve dönüşüm süreçleri, sürdürülebilirlik kavramı, ve taşıyıcı sistemler geniş bir şekilde araştırılmış ve incelenmiştir. Karşılaştırmak üzere, günümüzde Türkiye’de en çok tercih edilen iki sistem olan betonarme çerçeve taşıyıcı sistemler ve çelik çerçeve taşıyıcı sistemler seçilmiştir. Bu iki alternatif taşıyıcı sistemin çevresel performansları beşikten kapıya metodu kullanılarak karbon ayak izi bağlamında karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

1.3. Yöntem

Çalışmada ülkemizde yaşam sürecini tamamlamış az katlı binaların dönüşüm kapsamında yerine inşa edilen yüksek katlı konut yapılarında taşıyıcı sistem seçiminin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bir yapının taşıyıcı sistem kararı, erken tasarım evresinde alınması gereken bir karardır, çünkü her sistemin kendine özgü tasarım gereklilikleri vardır. Yapının fonksiyonu, kullanım süresi, ayrılan bütçe, zemin durumu gibi taşıyıcı sistem seçimini etkileyen birçok faktör vardır. Ancak günümüzde kısıtlı kaynakların tükenmesi, çevre kirliliğinin artması ve sürdürülebilir çözümler aranması taşıyıcı sistem seçiminde çevresel performansın da bir kriter olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle taşıyıcı sistem alternatiflerinin çevresel performansları karşılaştırılmış ve ele alınmıştır.

Dönüşen yapı stoğu kapsamında taşıyıcı sistemlerin incelenmesi ve performanslarının karşılaştırılması için bu çalışmada birden çok yöntem kullanılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında veri toplamak için literatür taraması, taşıyıcı sistem tasarımında benzetim, beşikten kapıya metodu ile yaşam döngüsü değerlendirmesi ve sonuçların karşılaştırılması için niceliksel değerlendirme yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Binalar ve yaşam süreçleri, ülkemizde yapı stoku ve dönüşümler, sürdürülebilirlik ve taşıyıcı sistemler hakkında bilgi edinmek için literatür araştırması yapılmıştır. Literatür araştırmasında konu ile ilgili kitaplar, dergiler, standartlar, istatistikler ve daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan literatür araştırması ile çalışmanın bilimsel altyapısı oluşturulmuş, elde edilen verilere göre betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler kıyaslanmak üzere seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında konut mimarisinde betonarme çerçeve ve çelik çerçeve taşıyıcı sistemler karşılaştırılacak olan sistemler olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında binaların dönüşümü ele alınmış ve seçilen çalışma alanında yaşam sürecini tamamlamış az katlı yapıların yerini çok katlı yapılara bırakacağı gerekçesiyle çalışma alanında, kentsel dönüşüm kapsamında yıkılarak yerine yeniden konut yapıları inşa edilen bir arazi ve proje seçilmiştir. Bu proje, benzetim çalışmasında kullanılmak üzere bir referans olarak belirlenmiştir.

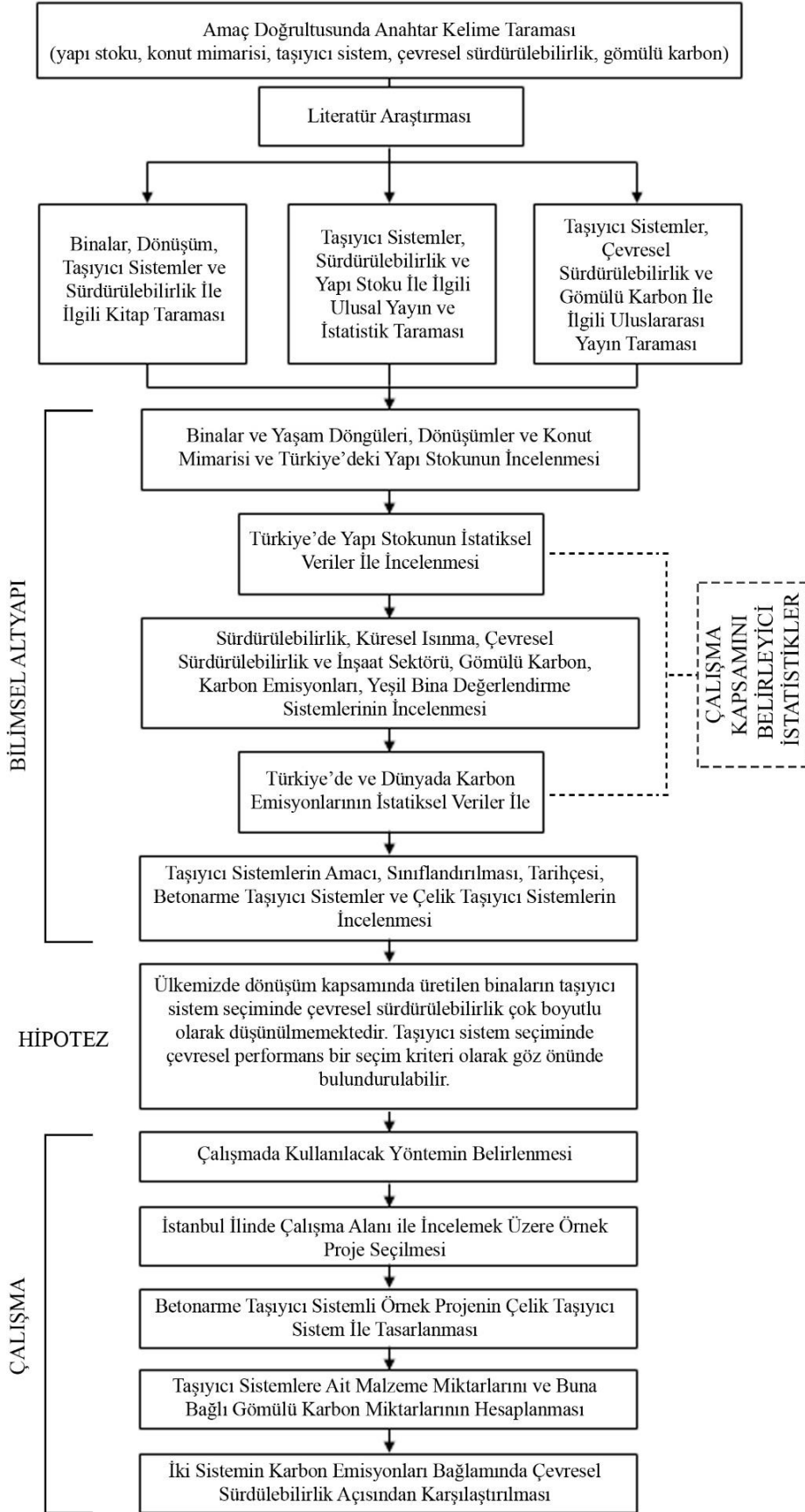
Bu benzetim çalışması kapsamında çalışma alanı, örnek proje ve veriler belirlendikten sonra seçilen betonarme konut yapısı olan proje, mevcut yönetmeliklere uygun ve alternatif olarak çelik taşıyıcı sistem ile yeniden tasarlanmıştır. Türkiye’de İstanbul ilinde Tuzla ilçesinde, kentsel dönüşüm kapsamında yaşam döngüsünü tamamlamış yapılar yerine inşa edilen yeni konut projesi ile yeniden alternatif olarak tasarlanan ve simüle edilen çelik yapı üzerinden taşıyıcı sistem alternatiflerinin çevresel sürdürülebilirlikleri karbon emisyonları bağlamında karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Beşikten kapıya yöntemi ile strüktürel sistemde kullanılması planlanan malzemelerin incelenmesi amaçlanmıştır. Örnek binanın farklı yapı sistemleri ile üretilmesi durumunda, toplam CO₂ emisyonları üzerinden karşılaştırmalar yapılarak taşıyıcı sistem tasarımında sürdürülebilirlik kavramının incelenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın, dönüşen binalar kapsamında taşıyıcı sistemleri inceleyerek, ülkemizin bulunduğu deprem kuşağında tasarlanan yapı ile, konut mimarisinde taşıyıcı sistem

seçiminin çevreye getirdiği yüklerin değerlendirilmesi ve bu konuda bir bilinç oluşturarak erken tasarım evresinde fikir vermesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın yöntemini ve ne şekilde ilerlediğini açıkça ifade edebilmek amacıyla aşağıdaki çalışma kurgusu diyagramı oluşturulmuştur. (şekil 1.1).





Şekil 1.1 : Çalışmanın kurgusu.



2. BİNALAR VE DÖNÜŞÜM

Tarih boyunca insanoğlu yaşadığı doğal çevre içerisinde çevresel ve iklimsel koşullardan korunmak amacıyla yapıları bir çevre inşa etme ihtiyacı duymuştur. Temel bir ihtiyaç olan barınma içgüdüleri ile inşa edilen yapılar çevre, bunun ötesinde inanç, ibadet, ticaret, kültürel ve sosyal işlevler gibi birçok fonksiyona da ev sahipliği yaparak insanoğlunun çeşitli ihtiyaçlarına cevap verebilecek mekanlar bütünü olmuşlardır. Birçok işlevi içerisinde barındırarak insanoğlunun seçmiş olduğu ihtiyaca cevap verebilecek nitelikte planlanan, tasarlanan ve inşa edilen bu yapılara “bina” denilmektedir. 3194 Sayılı İmar Kanunu’na göre bina; “kendi başına kullanılabilen, üstü örtülü, insanların içine girebilecekleri, oturma, çalışma, eğlenme ve dinlenmelerine veya ibadet etmelerine yarayan, hayvanların ve eşyaların korunmasına yarayan yapılardır” olarak tanımlanmıştır. Hasol’a (2017) göre bina; “içinde yaşamak ya da çeşitli eylem ve işlevleri gerçekleştirmek üzere kurulan yapı” olarak tanımlanmıştır. Kısacası çeşitli fonksiyonlar kümesine ev sahipliği yapan, farklı ihtiyaçlara cevap vermek üzere üretilen ve inşa edilen, geçmişten günümüze dönüşüm sarmalı ile değişen, gelişen ve bugün içerisinde bulunduğumuz mekanlar ve sistemler bütünü bina olarak adlandırabiliriz. Aynı zamanda bu mekanlar bütünü olan yapılar insan uygarlığına ait değerlerin üretim ve birikim alanı olan kentleri oluşturmuşlardır. Bu kentsel alanlar barınma, güvenlik, sosyal, kültürel, ticari, politik birçok işlevi içerisinde bulundurmaktadır.

Bulunduğu çağın sosyal, kültürel, fiziksel ve ekonomik durumunu yansıtan binalar, toplumların geçmişten günümüze gelişimi ve dönüşümü hakkında birçok araştırmanın konusu olmuştur. İnsanlığın uğradığı gelişim ve dönüşüm gibi, yapılar çevre de gelişme ve dönüşüme uğramıştır. Dönüşüm TDK’ya (2021) göre “olduğundan başka bir biçime girme, başka bir durum alma, şekil değiştirme, tahavvül, inkılap, transformasyon” olarak tanımlanmıştır. Binaların dönüşümü ise sahip olduğu mekanların ve sistemlerin ait olduğu günün koşullarını karşılayamadığı durumlarda yerini güncel koşullara uygun yeni bir binaya bırakması olarak tanımlanabilir.

Tarih boyunca insanlık tarafından birçok yapı üretilmiş ve bu yapılar da tıpkı bir canlı gibi, kimi zaman uzun süren evreler ile kimi zaman görece kısa süren evreler ile inşa

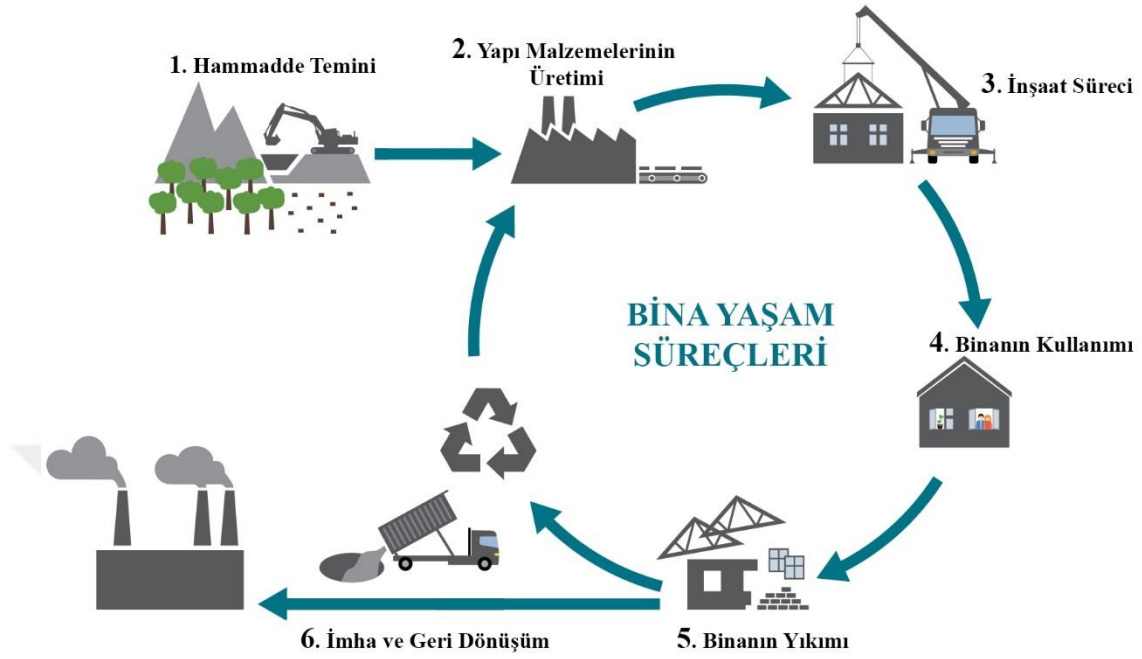
edildiği günden yıkıldığı güne kadar bir yaşam süreci içerisinde bulunmuşlardır. Bu yaşam süreci içerisinde yine tıpkı canlılar gibi dünya kaynaklarını yaşamları süresince kullanmakta ve bu küresel kaynakların en büyük tüketicilerinden biri olmaktadır. Bugün hala ayakta olan yüzyıllarca yaşamış, anıtsal değere sahip, korunmaya ihtiyaç duyan uzun soluklu bir yaşam sürecine sahip yapıların yanında, aynı zamanda bulunduğu dönemin barınma, konfor, prestij gibi ihtiyaçlarına cevap verme özelliğini yitirmiş ve yaşam sürecini tamamlamakta olan yapılar da bulunmaktadır. Bir diğer yandan, bu yaşam sürecini tamamlamakta olan binalar enerji verimliliği ve çevresel performans bağlamında günümüz koşullarına ve teknolojilerine ayak uyduramaz durumda olup, küresel kaynakların etkin kullanımı konusunda bir hayli savurgan durumdadırlar. Bu durum yaşam sürecini tamamlamakta olan bu binaların dönüşümlerini her açıdan zorunlu kılmaktadır.

2.1. Bina Yaşam Süreçleri ve Dönüşüm

2.1.1. Bina yaşam süreçleri

Birçok farklı malzeme, bileşen ve sistemin birçok farklı kombinasyonunu içeren birer kompleks olan binaların yaşam süreçleri bazen yüzlerce yıl sürebilmektedir. Tıpkı bir canlı gibi, binalar da yaşam süreçleri boyunca dünya kaynaklarının birer tüketicisi olmaktadır. Binaları oluşturan sistemlerin ve yapı malzemelerinin sahip oldukları ana maddeler de birer küresel kaynak olduğundan, bu hammadelerin çıkarılması ve bina sistemlerinde kullanılmak üzere hazır hale getirilmesi, bir binanın yaşam sürecinin ilk evresi olduğu gibi aynı zamanda küresel kaynak tüketimini de gerçekleştirdiği ilk anlardan biridir. Canlıların temel yapı taşı olan ve vücudunu oluşturan hücreler gibi hammaddeler de binaların malzemelerini, bileşenlerini ve sistemlerini oluşturan, doğadan elde edilmiş ve henüz işlenmemiş yapı taşlarıdır.

Bir binanın hammadde üretimi ile başlayan yaşam süreçleri, binanın yıkımına ve geri dönüşümüne kadar birçok farklı evre ile devam etmektedir. Crawford'a (2011) göre binaların bu yaşam süreçleri altı farklı evrede gerçekleşmektedir. Bu evreler hammadde temini ile başlayıp yapı malzemelerinin üretimi, inşaat süreci, bina işletmesi ve kullanımı, yıkımı ve son olarak da binanın imha edilmesi veya geri dönüşümü olarak sıralanmaktadır. (Şekil 2.1) Binalar yaşam süreçlerinin bütün bu evrelerinde doğal kaynakların ve enerjinin büyük bir tüketicisi ve aynı zamanda atıkların ve kirlетici gazların büyük bir üreticisi olmaktadır.



Şekil 2.1 : Bina yaşam süreçleri. (Birgisdóttir ve Rasmussen, 2016)

2.1.1.1. Hammade temini

Bir ürünün son halini almadan ve üretilmeden önce hangi malzemeden, hangi maddeden veya maddelerden oluşacağına karar vermek ve bu doğrultuda üretim öncesi bu maddeleri doğal ortamından temin etmek, işlemek ve üretime hazır hale getirmek gerekmektedir. Bu doğadan elde edilen ve bir ürünün üretimi için gerekli olan maddelere hammadde, doğadan elde edilmesi sürecine ise hammadde temini veya hammadde çıkarılması denilebilir. Binalar ve altyapı sistemleri gibi yapıları çevre içindeki tüm unsurlar da, inşaat aşamasında kullanılan malzemeleri üretmek için doğadan hammadde temini gerektirir. Örneğin, demir cevheri, kireçtaşı, bakır, ağaç ve petrol gibi hammaddeler doğadan temin edilmekte, çelik, çimento, alüminyum ve plastik gibi yapı malzemelerinin üretiminde kullanılmak üzere işlenerek daha kullanışlı formlara dönüştürülmektedir (Crawford, 2011; Birgisdóttir ve Rasmussen, 2016).

Doğadan elde edilen hammaddelerin birer doğal kaynak olduğu düşünüldüğünde, bu hammaddelerin çıkarılması doğal kaynakların tüketimi manasına gelmektedir. Aynı zamanda bu kaynakların çıkarılması ve temini aşamalarında önemli miktarda enerji ve

su tüketiminin yanı sıra atık üretimi ve sera gazı emisyonlarının salınımı gerçekleşmektedir. Hammaddenin çıkarımı esnasında madencilik faaliyetleri için kullanılan ekipman ve makineler ile hammaddelerin nakliye sürecinde kullanılan araçlar genellikle fosil yakıt bazlı enerjiler tüketmektedirler. Bu da sera gazı emisyonları ve diğer kirleticilerin atmosfere salınması sonuçlarını doğurmaktadır. Aynı zamanda hammadde temininden sonra oluşan atıkların bertarafı için birçok kimyasal ve su kaynakları kullanılmakta ve çevresel kirlilik oluşturulmaktadır.

Binaların yaşam süreçlerinde ilk evre olan hammadde temini evresi görüldüğü üzere çevresel kirlenme anlamında büyük bir paya sahiptir.

2.1.1.2. Yapı malzemelerinin üretimi

Binaların yaşam sürecinin ikinci evresi olan yapı malzemelerinin üretimi, doğadan temin edilen hammaddelerin işlenmesi ve yapı malzemelerine dönüştürülmesi evresidir. Yapı malzemelerinin inşa süreçlerinde kullanılmak üzere üretimi birçok karmaşık süreç içermektedir. Örneğin bir demir madeninden çıkarılan demir cevheri çelik yapı malzemesine dönüştürülürken farklı elementler ve farklı hammaddeler ile birlikte bir kimyasal işlemler zincirine tabi tutulmaktadır.

Bu hammadde işleme ve malzeme üretim aşamaları yoğun enerji tüketimine sebep olmaktadır. Hammade temini süreçleri de dahil olmak üzere, bir malzemenin işlenmesi ve üretilmesi süreçlerinin tümünde tüketilen toplam enerjiye bu malzemenin gömülü enerjisi denilmektedir. Endüstriyel bir süreç içerisinde üretimi gerçekleştirilen yapı malzemelerinin de gömülü enerjileri bir hayli yüksektir. Üretim esnasında harcanan enerjinin yanı sıra, bu endüstriyel süreçlerin, atmosfere sera gazı salınımları ve atık oluşumu gibi çevresel etkileri de olmaktadır (Crawford, 2011; Birgisdóttir ve Rasmussen, 2016).

Çevresel bağlamda irdelendiğinde yapı malzemelerinin üretimi evresi, bina yaşam süreçleri içerisinde küresel kaynakların kullanımı anlamında yoğun enerji gerektiren ve yoğun çevre kirliliği oluşturan bir evre olarak göze çarpmaktadır.

2.1.1.3. İnşaat süreci

İnşaat, bir yapıyı oluşturmak için gerekli malzemeleri, bileşenleri ve sistemleri bir araya getirmektir. Yapı malzemelerinin bir yapı elemanına, yapı elemanlarının ise sistemleri oluşturarak bir bina veya yapıya dönüşmesi, inşaat süreci olarak

tanımlanmaktadır. Bir binanın yaşam süreçlerinin üçüncü evresi olan inşaat süreci, somut olarak yapı ölçeğinde üretimlerin gözlemlendiği ilk evredir. Ön üretimli ve yerinde inşaat olmak üzere inşaat süreci iki farklı biçimde yürütülebilmektedir. Her iki yapım sisteminde de çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Bu teknolojiler ve inşaat süreçlerinin tamamı ciddi bir enerji kullanımı gerektirmektedir.

İnşaat süreçleri de küresel enerjinin en yoğun tüketicilerinden olup aynı zamanda çevresel etki anlamında, sera gazı salınımları ile atık oluşumlarına sebep olan süreçlerdir. Bina yaşam süreçlerinin inşaat evresi de hammadde temini ve yapı malzemelerinin üretimi evrelerinde olduğu gibi ciddi çevresel etkilere sebep olmaktadır (Crawford, 2011; Birgisdóttir ve Rasmussen, 2016).

2.1.1.4. Bina işletmesi ve kullanımı

Bina yaşam süreçlerinin en uzun evresi, yapımı tamamlandıktan sonra son kullanıcılar tarafından ihtiyaçlar doğrultusunda binanın işletilmesi ve kullanılması evresidir. Bir binanın işletilmesi, insan ihtiyaçları doğrultusunda planlanan sistemlerin bir enerji ve kaynak kullanımı ile çalıştırılması anlamına gelmektedir. Uluslararası literatürde “operational energy” olarak tanımlanan işletme enerjisi binaların ısıtma, soğutma, aydınlatma, elektrik ve sıcak su ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan enerjiyi ifade etmektedir. Binalar insanların çeşitli ihtiyaçlarına cevap verirken her an küresel kaynakların büyük bir tüketicisi konumunda olmakla birlikte, sera gazı salınımları ve atık üretimi ile çevresel kirliliğin oluşumunda da baş rol üstlenmektedirler (Crawford, 2011; Birgisdóttir ve Rasmussen, 2016).

2.1.1.5. Bina yıkımı

Bina yaşam süreçlerinin beşinci evresi binanın ve altyapı sistemlerinin yıkılması ve sökülmesi aşamasıdır. Binalar ve onları oluşturan sistemler sınırlı bir ömüre sahiptir ve bir süre sonra insan ihtiyaçlarına cevap veremeyecek ve kullanılamayacak duruma gelirler. Güvenlik, sağlık, altyapı gelişmeleri ve teknik gelişmeler gibi hususlar nedeniyle, günümüz kullanıcılarının mevcut ihtiyaç ve beklentilerini karşılayacak daha kullanışlı binalara yer açmak için de bu ihtiyaçlara cevap veremeyen ve yaşam sürecinin sonuna gelmiş binalar yıkılmaktadır (Crawford, 2011; Birgisdóttir ve Rasmussen, 2016).

Binaların yıkılması sırasında makinelerin kullanımı ve yıkım sonrası bina kalıntıları ile atıklarının nakliye süreçleri yakıt ve enerji kullanımı gerektirmektedir. Bu enerjinin ve yakıtın kullanımı sonucu diğer süreçlerde olduğu gibi sera gazı salınımları oluşmaktadır. Ayrıca yıkım sonrası bertaraf edilen malzemeler ayrışabilir ve toprağa sızabilir, bu da potansiyel olarak çevrenin ötrifikasyonuna sebep olmaktadır. Çevresel bağlamda değerlendirildiğinde binaların yıkımı evresi de diğer yaşam süreçlerinde olduğu gibi küresel kaynak tüketiminde ve çevresel etki anlamında büyük sorumluluk taşımaktadır.

2.1.1.6.Geri dönüşüm

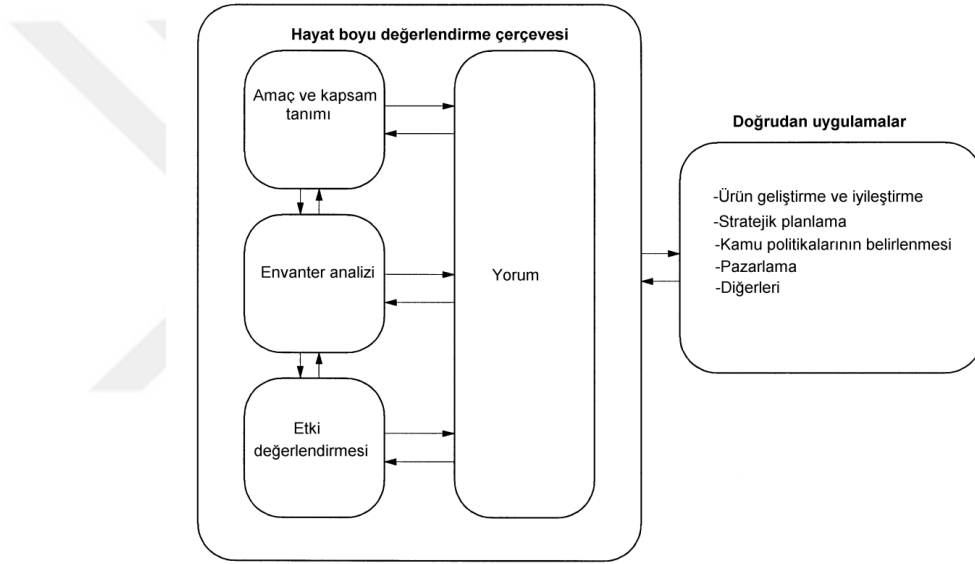
Bina yaşam süreçlerinin son evresi olan geri dönüşüm evresinde yıkım sonrası mevcut malzemelerin geri kazanılması ve yeniden kullanılması evresidir. Bu süreç içerisinde tekrar kullanılabilir malzemeler yeniden işlenerek, bir binanın yapımında kullanılmak üzere korunur. Yaşam sürecinin bu son evresinde binalar sahip oldukları geri dönüştürülebilir malzemeler ile yeni bir binaya hayat vermek üzere yaşamlarını tamamlamaktadırlar. Yaşam sürecini tamamlayan bu binalar bulunduğu günün koşullarına ve teknolojilerine uygun yeni bir binaya dönüşmektedirler. Ancak bu süreçte de diğer yaşam süreçlerinde olduğu gibi küresel kaynaklar tüketilmekte ve sera gazı salınımları ile çevresel atıklar oluşmaktadır (Crawford, 2011; Birgisdóttir ve Rasmussen, 2016).

Binalar bu dönüşümler sürecinde, görüldüğü üzere yaşam süreçlerinin bütün evrelerinde dünya kaynaklarının büyük bir tüketicisi olmaktadır. Bu bağlamda günümüz inşaat sektörü sürdürülebilir stratejiler ile bina yaşam süreçlerinin kaynak kullanımlarını en aza indirmeli, yenilenebilir kaynaklara yönelmeli ve çevresel etkileri ve atık üretimini azaltmaya çalışmalıdır.

2.1.2.Binalar ve yaşam döngüsü değerlendirmesi

Yaşam döngüsü değerlendirmesi bir ürünün ya da sürecin, beşikten mezara yaşam süreçlerinin hammadde temini ve işlenmesi, üretimi, kullanımı, bertaraf edilmesi ve geri dönüşümü gibi tümünde ortaya çıkan çevresel yükleri ve etkileri ölçmek ve değerlendirmek üzere kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem birçok ürün ve süreç için uygulandığı gibi binaların yaşam süreçlerinin tümünde çevresel etkileri ölçmek ve değerlendirmek üzere de kullanılmaktadır.

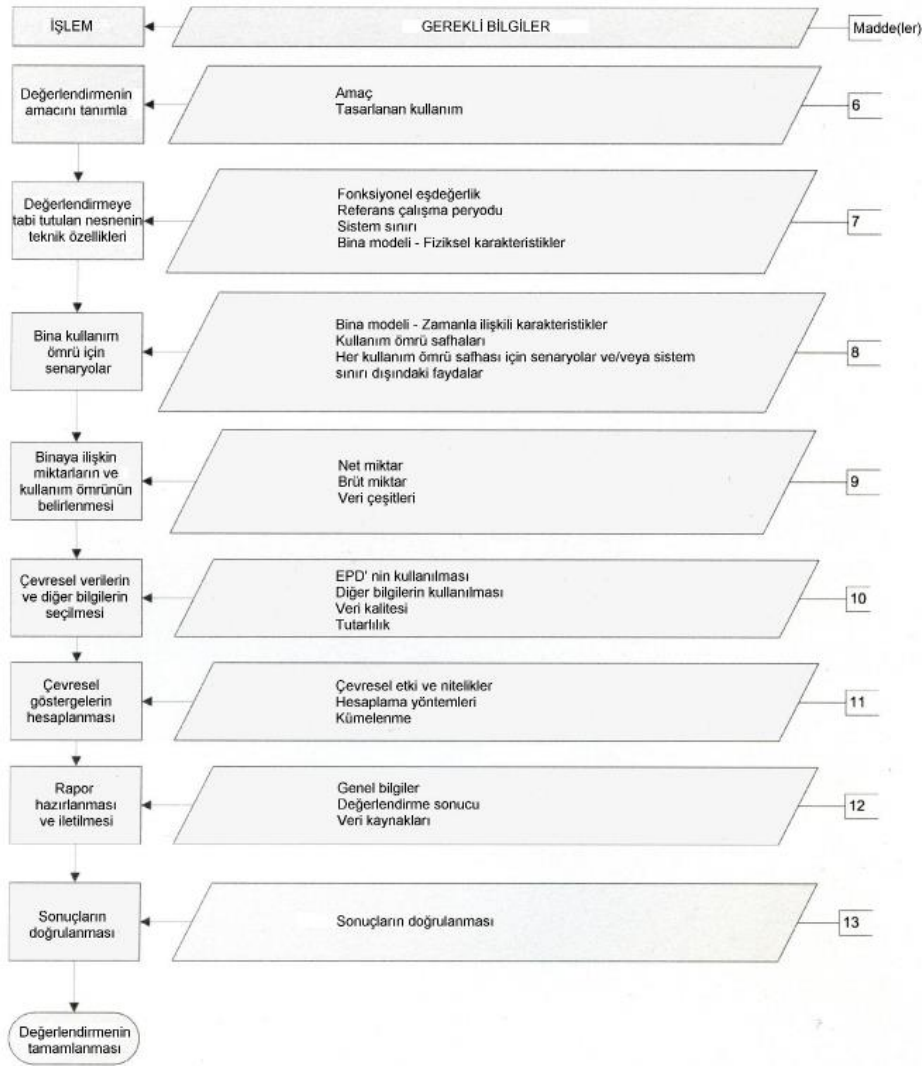
Birçok uluslararası standart ile bu değerlendirme tekniğine yönelik birtakım kurallar, ölçütler belirlenmiş ve tanımlar yapılmıştır. TS EN ISO 14040’da yaşam döngüsü değerlendirmesi “bir ürünün, üretimi için kullanılan hammaddelerin tedarikinden, kullanımı, kullanım ömrü sonunda işlenmesi, geri dönüşümü ve nihai bertarafına kadar hayatı boyunca, çevresel boyutlarını ve muhtemel çevresel etkilerini incelemektedir” olarak tanımlanmıştır. Aynı zamanda bu standart içerisinde yaşam döngüsü değerlendirmesinin metodolojisi de aktarılmış ve değerlendirmenin nasıl yapılacağına ilişkin bilgiler verilmiştir. Bu tanıma göre yaşam döngüsü değerlendirmesi dört aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki analizi ve yorumlama şeklinde tanımlanmıştır. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2 : Yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisi (TS EN 14040).

Bir binanın veya yapının bir ürün veya süreç olduğu düşünülerek, yaşam süreçlerinin tümünde izlediği döngüsel eylem sonucu ortaya çıkan etkiler, uluslararası literatürde life cycle assesment (LCA) olarak adlandırılan bu yaşam döngüsü değerlendirme metodu ile ölçülebilir.

Yaşam döngüsü değerlendirme, bir ürünün, ham maddenin çıkarılmasından ve temininden başlayarak, enerji ve malzeme üretimi ve imalatı boyunca, kullanımı ve kullanım ömrü sonrası işlenmesine ve nihai bertarafına kadar geçen bütün bir ömrünü göz önünde bulundurur. Bu tür sistematik bir bütüncül bakış ve perspektif yoluyla, hayat boyu aşamaları veya bağımsız süreçler arasındaki muhtemel çevresel yükün sapması tanımlanabilir ve mümkünse bu sapmadan kaçınılabilir. (TS EN 14040)



Şekil 2.3 : Çevresel performansın değerlendirilmesinde kullanılacak işlemler için akış diyagramı (TS EN 15978).

Yaşam döngüsü değerlendirmesi çeşitli aşamalar için uygulanabilir. En yaygın olarak kullanılan iki metod bir ürünün farklı yaşam süreçlerini veya yaşam süreci aralığını değerlendirmekte kullanılan “beşikten kapıya” (cradle to gate) ve “beşikten mezara” (cradle to grave) metodlarıdır. Beşikten mezara metodu ürünün üretiminden başlayıp imhasına kadar tüm yaşam süreçlerini ele alır ve değerlendirir. Tüm girdiler ve çıktılar yaşam döngüsünün tüm aşamaları için dikkate alınır. Beşikten kapıya metodu ise bir ürünün üretiminden fabrika kapısına kadar olan süreci değerlendirir (Muralikrishna ve Manickam, 2017).

2.1.3. Binalar ve kentsel dönüşüm

Bunun yanında bina ölçeğindeki ihtiyaçların ve çağın gerekliliklerinin değişimleri ile binaların dönüşümlerine, kentsel ölçekteki değişimler ve dönüşümler de öncülük etmektedir. Birçok çeşitli işlevi içerisinde barındıran kentler, zaman içerisinde bu işlevlerin her birinin yapısının değişmesi, güncelliğini yitirmesi ve bu durumun yeni alanlar, mekanlar ve altyapı tesisleri gibi ihtiyaçlar doğurması sebebi ile dönüşmektedir. Bu durum uluslararası literatürde kentsel dönüşüm (urban transformation) veya kentsel rejenerasyon (urban regeneration) olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyolojide rejenerasyon kaybolan veya yaralanan dokunun yeniden büyümesi veya bir sistemin başlangıç durumuna geri getirilmesi anlamına gelmektedir. Kentsel alanlarda da aynı şekilde düşünülebilir; kentsel rejenerasyon ya da dönüşüm ekonomik aktivitenin kaybolduğu yerde yeniden canlandırılması, işlev bozukluğunun olduğu yerde sosyal işlev restorasyonu ve çevresel kalitenin bozulduğu yerde ekolojik dengenin restorasyonu gibi düşünülebilir. Bu benzetmeyi ve tanımlı yapan Couch'a (2003) göre kentsel dönüşüm yeni kentleşmenin planlanması ve geliştirilmesinden ziyade mevcut kentsel alanların planlanması ve dönüşümü olarak nitelendirilmektedir.

Kentsel dönüşüm, Türk Dil Kurumu'na göre "kentlin imar planına uymayan ruhsatsız binaların yıkılıp planlara uygun olarak toplu yerleşim alanlarının oluşturulması" olarak, Roberts'a (2017) göre "değişime maruz kalmış veya iyileştirmeye açık bir alanın, ekonomik, fiziksel, sosyal ve çevresel koşullarında kentsel sorunları çözmeyi ve kalıcı bir iyileşme sağlamayı amaçlayan kapsamlı ve bütünlük vizyon ve eylem" olarak tanımlanmıştır.

Sanayi devrimi ile başlayan plansız kentleşmeler sonucu oluşan sorunlara yönelik politikalar ile Avrupa'da yeniden inşa tarzında gelişen yenileme kentsel dönüşümün ilk örneği ve evresi sayılabilir. 2. Dünya Savaşı sonrası Avrupa ülkelerinin gecekonduların temizleme ve dönüştürme politikalarıyla sosyal, ekonomik ve fiziksel açıdan niteliğini yitirmiş konut sorununu ele alması da dünyada kentsel dönüşümün ikinci evresidir. 1960'ların sonlarından itibaren her Avrupa ülkesi daha hassas konut yenileme ve kentsel dönüşüm çalışmalarına yönelmiştir. Birleşik Krallık 1969 yılında kabul ettiği Konut Yasası ile kentsel dönüşüm alanında yeni politikalar uygulayan ilk ülkelerden biri olmuştur (Couch, 2003).

Türkiye’de kentsel dönüşüm çalışmaları 1970’lerde kentlerin sağlıklı gelişimi için özellikle gecekondü bölgelerine müdahale edilmesinin planlanması ile başlamıştır. 1980’li yıllarda gecekondü bölgelerinin tasfiye ve iyileştirilmesi ile yeniden kazanıma yönelik olarak dönüşüm projeleri gerçekleştirilmiştir. 1990’lı yıllarda ise atıl durumda olan sanayi bölgelerinin, işlevini kaybetmiş limanların, tarihi ve kültürel yapıların, gecekondü bölgelerinin dönüştürülmesine yönelik politikalar ortaya çıkmaya başlamıştır. 2000’li yıllara gelindiğinde ise 1999 Marmara Depremi sonrası oluşan büyük yankı ile risk altındaki binaların dönüştürülmesine yönelik kentsel dönüşüm Türkiye’de artık büyük bir zorunluluk haline gelmiş ve önem kazanmıştır.

Bu bağlamda kentsel dönüşüm sürecinin doğru bir şekilde yürütülebilmesi için ülkemizde birtakım yönetmelikler ve kanunlar ile hukuki sınırlar belirlenerek, birtakım politikalar oluşturulmuş ve kontrollü ve etkin bir dönüşüm sağlamak istenmiştir. Kentsel dönüşüm ile ilgili ülkemizdeki yasal düzenlemeleri, 5266 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu, 2985 sayılı Toplu Konut Kanunu, 5302 sayılı İl Özel İdareleri Kanunu, Kentsel Dönüşüm ve Gelişim Kanun Tasarısı, 5393 sayılı Belediye Kanunu, 5366 sayılı Yıpranan Kent Dokularının Yenilenerek Korunması ve Yaşatılarak Kullanılması Hakkında Kanun, 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun şeklinde sıralayabiliriz.

Yaşam sürecini tamamlamış binalar her ülkede belli mevzuatlar doğrultusunda geri dönüştürüldüğü gibi ülkemizde de belirtilen kanunlar ve yönetmelikler doğrultusunda dönüşümler gerçekleştirilmektedir.

2.2. Bina Tasarım ve Yapım Süreçleri

Hasol’a (2017) göre tasarım: alışlagelmiş günlük nesnelerden, mobilyadan, mimarlık ve peyzajdan kentsel planlamaya kadar uzanan ve insan yaratıcılığına dayalı olarak çevreye estetik bir uyum getirmeyi amaçlayan üretim etkinliği; tasarımlama işi ve dizayn olarak tanımlanmıştır. Mimari tasarım, kentsel tasarım, peyzaj tasarımı, iç tasarım, endüstriyel tasarım gibi çeşitli dallarla göre değişik adlar alır. John Heskest’e (2013) göre “tasarım, bir tasarım üretmek için tasarım tasarlamaktır” olarak tanımlanmıştır.

Mimari tasarım bir yapı veya bir binanın yaşam döngüsünün başladığı ilk evre olarak nitelendirilebilir. Tasarımcı ortaya koyacağı mimarlık ürününü, gelen talepler, tasarım

stratejisi, çevre verileri, yönetmelikler, farklı disiplinlerden gelen talepler gibi birçok parametre doğrultusunda belli bir süreç içerisinde şekillendirir. Mimari tasarım süreci projenin ilk düşünüldüğü andan başlayarak, yerinde inşa edilme anına kadar süren bir süreç olduğu için bu sürece dahil olan herkes tasarım sürecini etkiler. Bu sürecin yaşanmasında insan faktörü, kullanıcı ihtiyacı, işlev, malzeme ve teknoloji, tasarım felsefesi gibi hususlar etkili olmaktadır. Bu süreç içerisinde yalnızca mimar değil statik, mekanik, elektrik proje müellifleri, uygulamacı firmalar, müteahhitler ve yerel otoriteler gibi birçok farklı disiplin görev alır.

Bir binanın tasarımında müşterinin talepleri ile başlayan düşünme süreci eskiz ile ilk kez düşünsel boyuttan görsel bir boyuta geçer. Bu aşamadan sonra ilgili fikirlerin teslim edilip yerinde inşa edilecek proje haline gelene kadar, mimarlar ve mühendisler tarafından belirli tasarım kriterleri doğrultusunda şekillendirilmesi süreci yaşanır. Tasarım sürecinin sonunda ortaya koyulan ve binanın formunu, teknik detaylarını, fonksiyon ilişkilerini ve düşünceleri bir arada sunan çizime bağlı yapılan ürünler, tasarım sürecinin çıktılarıdır.

TMMOB'un yasal çerçevede mimari tasarım sürecinin çıktılarının gerekliliklerini ifade ettiği liste şu şekildedir;

1. Etüd çalışmaları
2. Ön proje çalışmaları
3. Kesin proje çalışmaları
4. Uygulama projesi iş aşaması
5. Sistem ve montaj detayları iş aşaması
6. İmalat detayları iş aşaması
7. Teknik şartnameler iş aşaması
8. İhale belgelerinin hazırlanması iş aşaması
9. İhale yapılması iş aşaması (Kurtel, 2016).

Hazırlık ve etüd çalışmaları ile başlayan tasarım sürecinde, ilk olarak mimari projeyi talep eden iş sahibinin ihtiyaçları, imkanları belirlenir, proje alanına ilişkin iklim, topografya, ulaşım, imar durumu gibi verilerin analizleri yapılır ve ihtiyaç programı belirlenir. Mimari tasarıma ve konsepte referans olacak gerekli veriler toplanır.

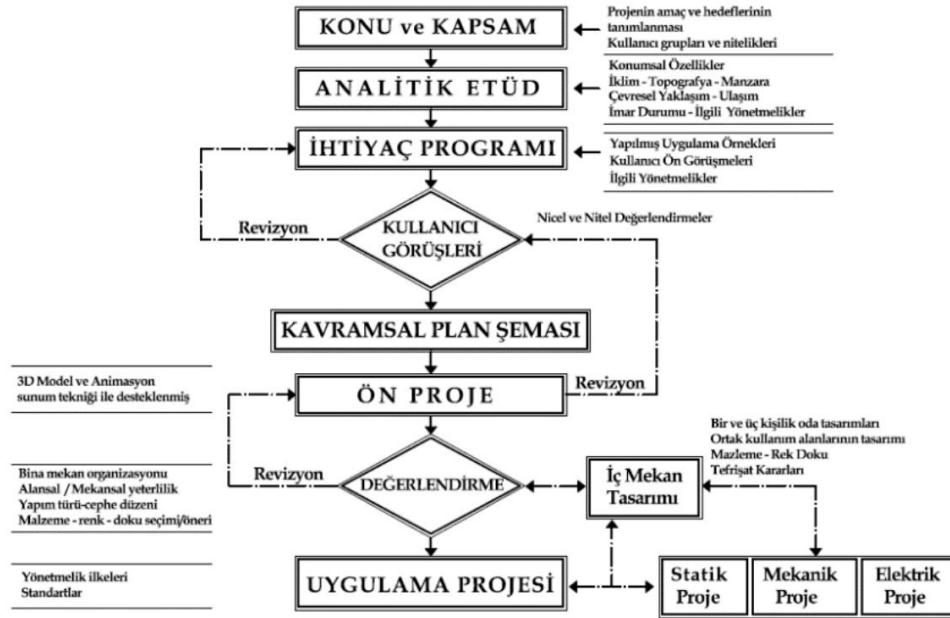
Bu aşamada elde edilen veriler ön proje aşamasında analiz edilir, değerlendirilir ve mimar tasarlanacak bina için kavramsal plan şemaları doğrultusunda bir taslak proje hazırlar. Bu aşamada binanın formu, mekansal organizasyonlar, yapı türü, malzeme, renk, doku gibi konularda şematik ölçekte tasarım kararları alınır. Mimari tasarım esnasında bina formu ve sistemlerini belirleyen, yapı elemanları, yapı sistemleri ve yapı malzemelerinin seçiminde etkili olan birtakım tasarım kriterleri vardır. Alınan tasarım kararları doğrultusunda tamamlanan bu taslak proje; plan, kesit ve 3 boyutlu çizimler ile projeyi talep eden kişiye veya kuruma sunulur ve kritik edilir ve değerlendirilir.

Ön projenin tamamlanmasından sonra bina ve yapı sistemlerinin ilişkileri, yapı parçalarının özellikleri taslak proje ve şematik çizimler üzerinden detaylandırılarak daha ayrıntılı ve kesinleşmiş biçimde etüt edilir, ön proje çalışmaları sırasında yeterince irdelenmeyen noktalar değerlendirilir. Bir binanın uygulama projesi, taşıyıcı sisteme ait kararlar, statik hesaplar ve projeler, elektrik ve mekanik gibi tesisat projeleri kesin projeye dayanarak ortaya koyulur ve düzenlenir. Tasarımlar ilgili yönetmeliklere uygun bir biçime getirilir. Bu sebeple kesin proje aşaması, teknik detayların irdelendiği ve farklı disiplinlerin etkin rol aldığı bir bina sistemlerine, inşa edilecek mekanların kesin biçimlerine ve boyutlarına karar verme ve bunları projelendirme aşaması olarak adlandırılabilir.

Uygulama projesi ise bir binayı yerinde inşa edebilmek için gerekli çizimlerin üretildiği ve düzenlendiği projedir. Kesin proje sonrası oluşturulan uygulama projesi, uygulamada kullanılmak üzere büyük yapılarda 1/100 olmak üzere genellikle 1/50 ölçekte üretilen, her çiziminin ve sayının uygulama ile ilişkili bir kararı açıkladığı, kaba yapı ve ince yapı hakkında maksimum bilgi sahibi olunan, teknik bilgilerin detaylı bir şekilde aktarıldığı bir proje olarak açıklanabilir. Mimari uygulama projeleri, vaziyet planı, kat planları, kesitler, çatı planları, temel planları, kanalizasyon planı, şantiye organizasyon planı, kazı planı gibi projeleri içermektedir. Ayrıca 1/20 ölçekli sistem detayları, 1/10 ve 1/5 ölçekli imalat detayları da bu projelerde sunulur.

Bu tez çalışması kapsamında bir binanın tasarım sürecinde, tasarım kararları alınırken dikkat edilmesi gereken çevresel performans kriteri, bir binanın taşıyıcı sistemi özelinde incelenmiştir. Taşıyıcı sistemler de tasarım aşamasında belirli kriterlere göre seçilmekte ve mimar-mühendis birlikteliğinde kararlar alınarak projelendirilmektedir.

Bir binanın yaşam döngüsünün başlangıcı olan tasarım evresinde, çevresel performans kriteri taşıyıcı sistem seçiminde dikkat edilecek bir husus olmalı mıdır sorusunun cevabı araştırılmıştır.



Şekil 2.4 : Bina tasarım süreci.

Her ne kadar lineer bir süreç olarak gözükse de bir bina üretmek için birçok paydaşın etkin rol oyandığı, kendi içerisinde kaotik bir süreç olan bina tasarım sürecinin tamamlanmasından sonra projelerin uygulanması, yani bina yapım süreci başlamaktadır. Bina yapım süreci, yapı malzemelerinin yapının inşa edileceği şantiye alanına getirilmesi ile başlayıp birleştirilmesi ve içerisinde yaşadığımız binaların üretilmesini kapsayan bir süreçtir. Bir binanın yapımında belirli bir düzen içerisinde ilerleyen süreçler bütününe ihtiyaç vardır. Bu yapım süreçleri, yapım sürecinde izlenen belli başlı metotlar ve sözleşmeler ile direkt ilişkilidir. Bir yapım sürecinin yürütülmesinde kullanılacak olan metot, yapım işinin yüklenici firmaları ile olan ilişkiler, proje müellifleri ile olan ilişkiler ve tüm bu süreç, günün sonunda ortaya konulacak ürün kadar önemlidir.

Bina elde etme metotları yaygın olarak; tasarım/ihale/yapım metodu, tasarım/yapım metodu ve proje menajeri yapım yönetimi metodu olarak üç ana başlık altında incelenebilir. Tasarım/ihale/yapım metodunda mal sahibi sırasıyla bir tasarım profesyonelinin üretilmesi planlanan projenin tasarım ve dökümantasyon hizmetini alır, bu veriler doğrultusunda birçok farklı ana yüklenici firmadan teklif alarak projeyi

hayata geçirecek firmayı seçer ve yapım işi başlar. Tasarım/yapım metodunda, mal sahibi işin tamamını hem tasarım hem uygulama süreçlerini aynı çatı altında yöneten bir firmaya verir. Proje menajeri yapım metodunda ise mal sahibi proje yönetimi hizmeti veren bir kişi veya kurum ile anlaşır ve inşaat sürecinin yönetimi bu kişi veya kuruma bırakılır. Bu metodda projeyi yürütmekle görevli olan, projenin yüklenicisi değil, mal sahibi adına doğru adımlar atılmasını sağlayacak proje hizmetlerinde geniş sorumluluklara sahip kişi veya kuruluştur (Kurtel, 2016).

İnşa edilecek bina için yapım metodunun seçilmesiyle taraflar arasında yapım işi için sözleşmeler imzalanır. Bu sözleşmeler teknik olarak bir araya gelen farklı disiplinlerin projeyi hayata geçirirken ne gibi koşullarda ve nasıl yapacağı konusunda verdikleri taahhüt içeren, inşa işini yapma ve inşa işinin gerçekleştirilmesi karşılığı ücret taahhüt etme gibi konularda yapılan anlaşmalardır. İnşaat sözleşmeleri arsa payı karşılığı inşaat sözleşmesi, bedel karşılığı inşaat sözleşmesi, gelir paylaşımı karşılığı inşaat sözleşmesi ve kamu ihale inşaat sözleşmesi olarak dört başlıkta sınıflandırılabilir. Mal sahibi ile işi yapacak taraflar arasında en uygun sözleşme tipi seçilerek bina yapım sürecinin başlaması üzerine anlaşma yapılır. Dönüşüm kapsamında yaşam sürecini tamamlamış bir binanın yıkılıp yerine yeni bir bina yapılması ise genellikle arsa karşılığı inşaat sözleşmesi ile yapılmaktadır (Akbıyıklı, 2009).

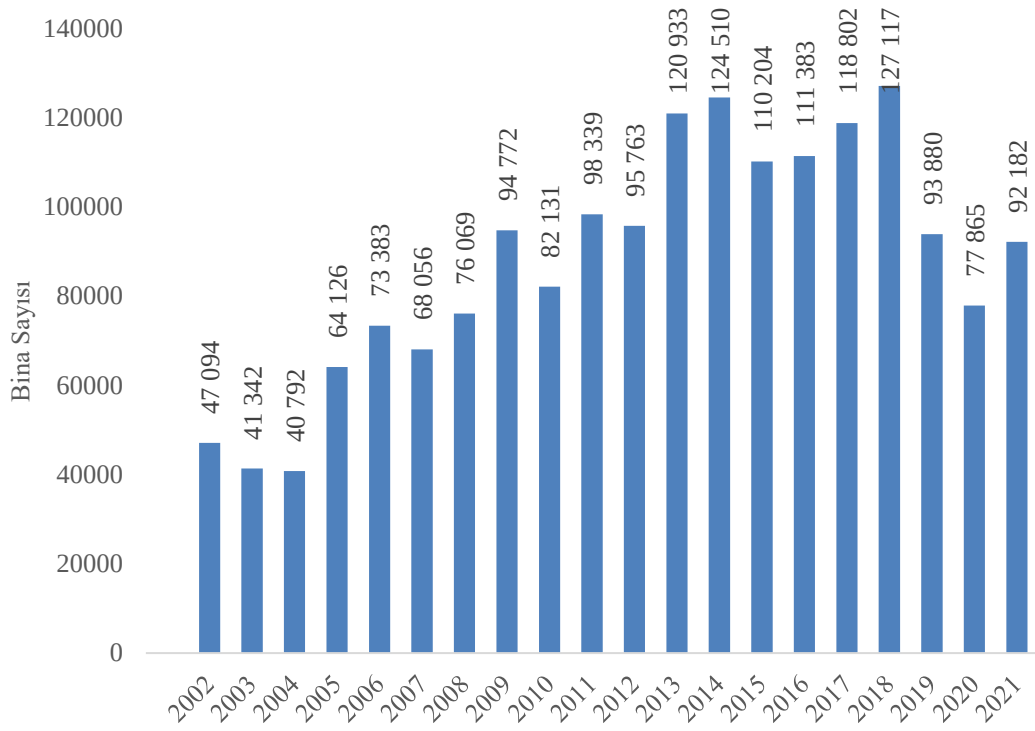
İçerisinde yaşadığımız yapıyı çevreyi oluşturan binaların yapım süreçleri yapım alanının hazırlanması ile başlayıp toplamda beş ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; yapım alanının hazırlanması, taşıyıcı sistem inşası, yapı elemanlarının inşası, servis sistemleri montajı ve çevre düzenlemesi olarak sıralanabilir. Yapım alanının hazırlanması aşaması; yüzey toprağının ve bitki örtüsünün temizlenmesi, şantiye düzeninin sağlanması, aplikasyon ve kazı işlerinin yapılması, blokaj uygulaması ve drenaj sistemlerinin yerleştirilmesi aşamalarından oluşarak proje alanının inşa için hazır hale getirilmesi sürecidir. Bir sonraki süreç olan taşıyıcı sistem inşası bina temelini inşası ile başlayıp seçilen taşıyıcı sisteme göre farklılaşan aşamalar ile devam etmektedir. Yapı elemanlarının inşası, yapı malzemelerinin bir araya getirilerek yapı elemanlarının ve yapı sistemlerinin oluşturularak, bina mekanlarının yapımını içermektedir. Bu aşama için yapı elemanları hakkında birçok araştırmacı farklı tanımlamalar yapmıştır. Riley ve Howard'a (2002) göre binalar; bina alt yapısı ve üst yapısı olarak ayrılmakta olup, bina alt yapısı; temeller, zemin altı duvarlar ve zemin kat döşemelerinden, bina üst yapısı; kat döşemeleri, merdivenler, dış duvarlar, iç

duvarlar, çatılar, pencereler, kapılar ve iç bitişlerden oluşmaktadır. Ching ve Adams (2013) ise binaları oluşturan yapı elemanlarını temel, döşeme, duvar, çatı sistemleri, kapı ve pencereler, ince işler, mekanik ve elektrik sistemleri olarak sınıflandırmışlardır. Servis sistemleri montajı binanın mekanik sistemlerinin, enerji sistemlerinin, elektrik sistemlerinin uygulanması aşamasıdır. Çevre düzenlemesi süreci ise bina inşasının tamamlanması ile birlikte bina yakın çevresindeki yol ve peyzaj düzenlemesinden oluşmakta olup bina yapım süreçlerinin sonuncusudur (Metin, 2017).

2.3. Türkiye’de Yapı Stoğu ve Konutlar

Türkiye’de son yıllarda artan nüfus ile birlikte insanlar için konut ihtiyacı ortaya çıkmış ve yapılaşma da artmıştır. Ülkemizde inşaat sektörü son yıllarda bu ihtiyaca cevap vermek amacı ile hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir. Türk inşaat sektörü son 30 yılda hızlı bir gelişim göstermiş olup, özellikle 2001 krizinden sonra sağlanan ekonomik dengeden en çok yararlanan sektörlerden biri olmuştur. Ülkemizde inşaat sektörünün çok önemli bir kısmını konut ve buna bağlı donatılar oluşturmakta olup, konut talebinde görülen canlanmalar veya durgunluklar sektörün gelişme hızını etkilemektedir (Dalkılıç ve Aşkın, 2017).

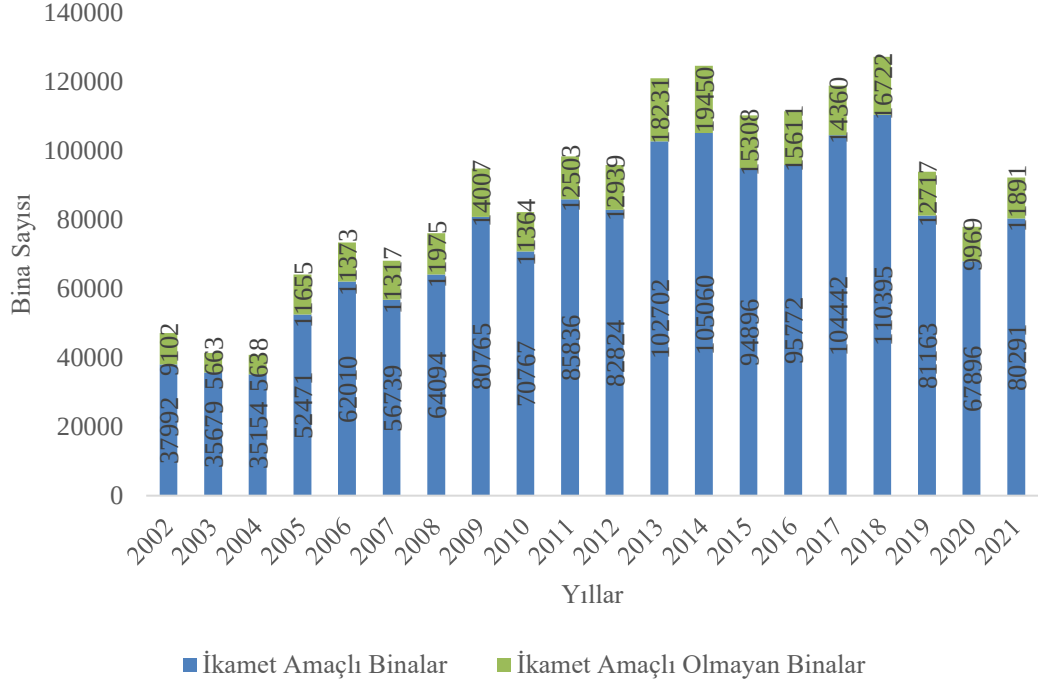
Türkiye İstatistik Kurumu (2022) verilerine göre; 2002 ile 2021 yılları arasında “Yapı Kullanma İzin Belgesi” alan binaların sayısı toplam 1.758.743 olarak ölçülmüştür. Türkiye’de mevcut yapı stoğunu değerlendirmekte önemli bir veri olan “Yapı Kullanma İzin Belgesi” istatistiği yıllara göre Şekil 2.5’te görülmektedir. Yıllar içerisinde artan bir grafik izleyen yapı stoğu, istatistiklerde görüldüğü gibi ülkemizde inşaat sektörünün gelişimini doğrular niteliktedir.



Şekil 2.5 : Yapı kullanma izin belgesi istatistikleri (TÜİK, 2022).

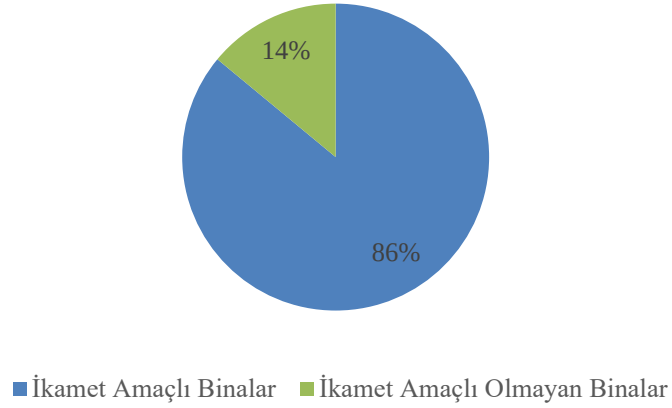
Mevcut yapı stoğunun hangi fonksiyonlara ne oranda hizmet ettiği ve içerisinde yaşadığımız konutların toplam yapı stoğuna oranı önemli bir husus olup, bu bağlamda binalar kullanım amaçlarına göre incelenebilir. Konutların mevcut yapı stoğu içerisindeki miktarı araştırılırken binaların kullanım amacına göre “ikamet amaçlı binalar” ve “ikamet amaçlı olmayan binalar” olarak sınıflandırma yapılmıştır. Şekil 2.5’te (TÜİK, 2022) 2002-2021 yılları arasında kullanım amacına göre “Yapı Kullanma İzin Belgesi” alan binaların sayısı görülmektedir.

Bu istatistiklere göre Türkiye’de son 20 yılda “Yapı Kullanma İzin Belgesi” almış ikamet amaçlı üretilen binaların sayısı 1.506.948 adettir. İkamet amaçlı olmayan binaların sayısı ise 251.795 adettir. Bu sayıları yüzdelerle ifade etmek gerekirse Şekil 2.6’da görüldüğü gibi, bu yıllar arasında üretilmiş ve “Yapı Kullanma İzin Belgesi” almış yapı stoğunun %86’sı ikamet amaçlı binalardan, %14’ü ise ikamet amaçlı olmayan binalardan oluşmaktadır. (TÜİK, 2022) (Şekil 2.6) (Şekil 2.7)



Şekil 2.6 : Bina kullanım amacına göre yapı kullanma izin belgesi istatistikleri, 2002-2021 (TÜİK, 2022).

2002-2021



Şekil 2.7 : Bina kullanım amacına göre yapı kullanma izin belgesi alan binaların yüzdelik dağılımı, 2002 – 2021 (TÜİK, 2022).

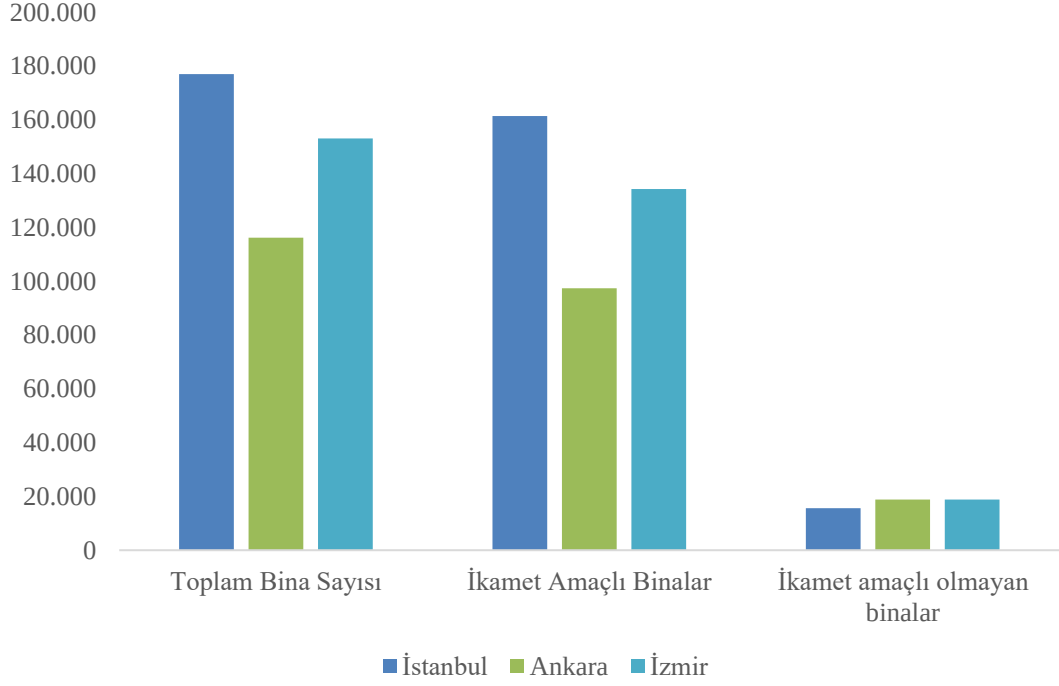
Türkiye’de mevcut yapı stoğunu taşıyıcı sistem bazında incelemek gerekirse 2002-2021 yılları arasında üretilen binaların çok büyük bir kısmının betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olduğu görülmektedir. TÜİK verilerinde çerçeve taşıyıcı sistemler iskelet olarak adlandırılmıştır. Çizelge 2.1’de görüldüğü üzere 2002-2021 yılları arasında üretilen binaların taşıyıcı sistemlerinin %91,56’sı iskelet betonarme taşıyıcı sistemlerden, %4,51’i yığma taşıyıcı sistemlerden, %1,35’i iskelet çelik

taşıyıcı sistemlerden, %0,23'ü ise iskelet ahşap taşıyıcı sistemlerden oluşmaktadır. Bu veriler ışığında ülkemizde 2000'li yılların başında inşaat sektörünün hız kazanması ile en çok tercih edilen sistem betonarme taşıyıcı sistem olmuştur. Betonarme taşıyıcı sistem ile üretilen binaların %80,41'i ikamet amaçlı konut yapıları olup, %11,16'sı ise ikamet amaçlı olmayan binalardan oluşmaktadır. İncelenen TÜİK istatistiklerine göre ülkemizde konut yapılarında en çok tercih edilen sistem betonarme taşıyıcı sistem olmuştur.

Çizelge 2.1 : Yapı kullanım izin belgesi alan binaların taşıyıcı sistem ve kullanım amacı istatistikleri, 2002-2021 (TÜİK, 2022).

Taşıyıcı Sistem	Toplam Bina Sayısı	İkamet Amaçlı Binalar	İkamet Amaçlı Olmayan Binalar
Yığma	4,51%	4,72%	3,24%
İskelet - Çelik	1,35%	0,25%	7,87%
İskelet - Ahşap	0,23%	0,20%	0,43%
İskelet - Betonarme	91,56%	93,91%	77,57%
Kompozit	0,81%	0,48%	2,74%
Prefabrik	1,55%	0,44%	8,1%
TOPLAM	100%	100%	100%

Türkiye’de gayrimenkul sektöründe hem piyasanın gidişatı hem de karar alıcıların davranışları açısından İstanbul, Ankara ve İzmir üç büyük şehir olarak gösterge niteliğindedir. Bu üç şehirdeki istatistikler ve ölçümlenen rakamlar analiz açısından önem taşımaktadır. (Dalkılıç, Aşkın, 2017) TÜİK istatistiklerine göre (2022) üç büyük şehir için 2002-2021 arasında “Yapı Kullanım İzin Belgesi” alan binalar incelendiğinde toplam yapı stoku karşılaştırmasında toplam bina sayısında İstanbul 177.116 bina ile birinci sırada, İzmir 153.183 bina ile ikinci sırada ve Ankara 116.267 bina ile üçüncü sırada yer almıştır. İkamet amaçlı yapı stoku için üç büyük şehir arasında yine İstanbul 161.466 bina ile birinci sırada, İzmir 134.313 bina ile ikinci sırada ve Ankara 97.470 bina ile üçüncü sırada yer almıştır. İkamet amaçlı olmayan yapı stoku kıyaslandığında İzmir 18.870 bina ile birinci sırada, Ankara 18.797 bina ile ikinci sırada, İstanbul 15.650 bina ile üçüncü sıradadır. İstatistiklerden görüldüğü üzere 2002-2021 yılları arasında üretilen bina sayısında İstanbul hem toplam bina sayısında hem de ikamet amaçlı bina sayısında en büyük paya sahip şehir olmuştur. (Şekil 2.8)



Şekil 2.8 : Üç büyük şehirde yapı kullanım izin belgesi alan binalar ve kullanım amacı istatistikleri, 2002-2021 (TÜİK, 2022).

İstanbul, Ankara ve İzmir, 2002-2021 yılları arasında üretilen yapı stoğu kapsamında incelendiğinde, bu üç büyük şehirdeki toplam bina sayısının tüm Türkiye’deki toplam bina sayısının %25,39’una eşit olduğu görülmüştür. Türkiye’de yapı kullanım izin belgesi alan her dört yapıdan biri İstanbul, İzmir ve Ankara’da bulunmaktadır. 2002-2021 yılları arasında üretilen yapı stoğu dikkate alındığında, İstanbul ülkemizde üretilen toplam bina sayısının %10,07’sine ev sahipliği yaparken, Ankara %6,61’ine, İzmir ise %8,71’ine ev sahipliği yapmaktadır. Ayrıca yine ülkemizde bu yıllar arasında üretilen ve yapı kullanım izin belgesi alan ikamet amaçlı binaların %10,72’si İstanbul’da, %6,47’si Ankara’da ve %8,92’si İzmir’de yer almaktadır. Bir diğer istatistiğe göre ülkemizde üretilen ikamet amaçlı olmayan binaların ise %6,19’u İstanbul’da %7,43’ü Ankara’da ve %7,46’sı İzmir’de bulunmaktadır. (Çizelge 2.2)

Çizelge 2.2 : Üç büyük şehirde yapı kullanım izin belgesi alan binalar ve kullanım amacı istatistiklerinin yüzdelik gösterimi, 2002-2021 (TÜİK, 2022).

Şehir	Toplam Bina Sayısı	İkamet Amaçlı Binalar	İkamet Amaçlı Olmayan Binalar
İstanbul	10,07%	10,72%	6,19%
Ankara	6,61%	6,47%	7,43%
İzmir	8,71%	8,92%	7,46%

TÜİK (2022) verilerine göre üç büyük şehirdeki binaların taşıyıcı sistem ve kullanım amacı istatistikleri de, ülkemizde üretilen her dört binadan birinin İstanbul, Ankara ve İzmir’de bulunması sebebi ile önemli bir istatistiktir.

Aynı zamanda 2002-2021 verileri incelendiğinde ülkemizde en çok yapı üretilen şehir olan İstanbul detaylı olarak incelendiğinde inşa edilen ve “Yapı Kullanım İzin Belgesi” alan binaların %97,21’i iskelet-betonarme olarak tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu binalardan, ikamet amaçlı olanların %97,89’u, ikamet amaçlı olmayanların %90,6’sı betonarme olarak inşa edilmiş ve “Yapı Kullanım İzin Belgesi” almıştır. Ayrıca toplam üretilen binaların %0,41’i çelik iskeletli olup, %1,65’i kompozit taşıyıcı sisteme sahip binalar olmuştur. (Çizelge 2.3)

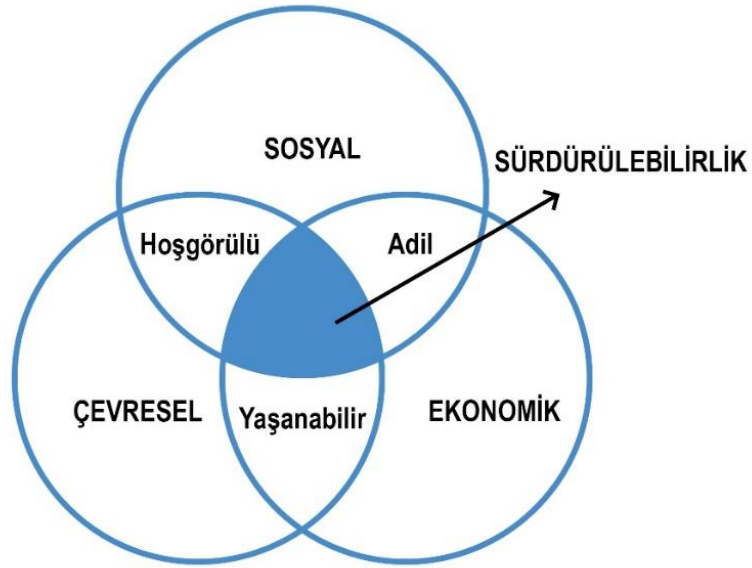
Çizelge 2.3 : İstanbul ili yapı kullanım izin belgesi alan binalar taşıyıcı sistem ve kullanım amacı istatistikleri, 2002-2021 (TÜİK, 2022).

Taşıyıcı Sistem	Toplam Bina Sayısı	İkamet Amaçlı Binalar	İkamet Amaçlı Olmayan Binalar
Yığma	0,11%	0,07%	0,55%
İskelet - Çelik	0,41%	0,11%	3,49%
İskelet - Ahşap	0,27%	0,27%	0,31%
İskelet - Betonarme	97,21%	97,89%	90,16%
Kompozit	1,65%	1,50%	3,16%
Prefabrik	0,35%	0,15%	2,3%
TOPLAM	100%	100%	100%

Bu bağlamda incelendiğinde ülkemizde 2002-2021 yılları arasında üretilen toplam yapı stoğunun büyük bir bölümüne sahip olan İstanbul ilinde inşa edilen binaların büyük bir çoğunluğunda betonarme taşıyıcı sistem tercih edilmiş olup, bunu sırasıyla kompozit ve çelik taşıyıcı sistemler izlemiştir. Bu çalışmada ülkemizde konut amaçlı yapıların taşıyıcı sistem seçiminde çevresel performans kriteri ele alınacak olup, çalışma kapsamında istatistiklere göre en fazla yapı stoğuna sahip İstanbul ilinin seçilmesi uygun görünmektedir.

3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirlik, ekonomik, sosyal ve ekolojik kaynakların uzun vadede etkin ve dengeli kullanımı anlamına gelir. Endüstri devrimi ve gelişen teknoloji ile hızla büyüyen dünya ekonomisinin etkileri, kaynakların bilinçsiz tüketimine, sera gazı emisyonlarının ve çevre kirliliğinin artmasına ve doğal dengenin bozulmasına neden olmuştur. Özellikle kentsel alanlardaki yapılaşmanın artması ve yapılı çevrenin oluşması ile doğal çevre bozunuma uğramaya başlamış ve içerisinde yaşadığımız dünyanın yarınlarını da düşünmek gerekliliği ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı, bugünün ihtiyaçlarını karşılamak için kaynakları dengeli ve etkin kullanırken, gelecek kuşakların da bugün ile eşit şartlarda, aynı şekilde bir dünyada yaşamasını sağlamayı amaçlar. Sürdürülebilirlik, ekonomik, sosyal ve çevresel olmak üzere üç farklı boyuta sahip bir kavramdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Sürdürülebilirliğin üç boyutu (Kuruşçu, Girgin, 2014).

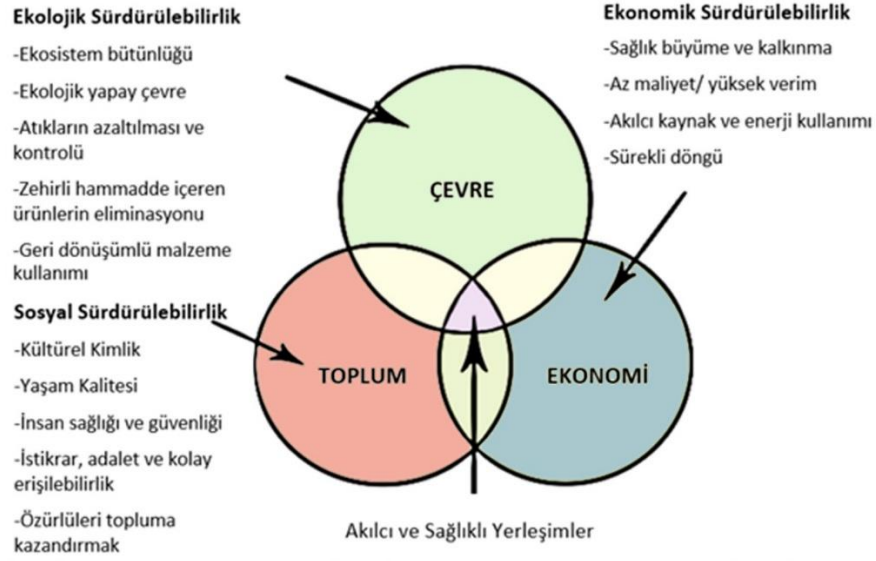
Sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkmasından bu yana, araştırmacılar tarafından sürdürülebilirlik ile ilgili literatürde birçok farklı şekilde tanımlama yapılmıştır. Egger'a göre (2006) sürdürülebilirlik, çeşitli anlamları olan tartışmalı bir kavramdır. Kavramsal olarak, sürdürülebilirlik, toplu olarak gezegenimizdeki bütünleşik doğal sistemlerin korunması ya da geliştirilmesi ile ilgilidir. Camagni'ye göre ise (1998)

sürdürülebilirlik kavramında iki tane önemli tartışma noktası vardır. Bunlardan birincisi, sürdürülebilirlik kavramının sadece çevre koruma ile ilgili olmayıp, aynı zamanda ekonomik ve sosyal boyutlarının da olduğudur. İkincisi ise, sürdürülebilirliğin dinamik, dengeli ve uyarlanabilir bir yapıya sahip olduğudur. Ancak bu kavramı doğru anlamak için geçmişten günümüze nasıl ele alındığına ve ilk olarak nasıl tanımlandığına bakmak gerekmektedir.

Dünyada 1960lı yıllarda, çevre kirliliğinin giderek artması insanları alternatif enerji kaynakları aramaya sevk etmiştir. Bu durum, 1970'lerde yaşanan petrol kriziyle birlikte daha da artmış ve insanlar sınırlı doğal kaynaklar yerine daha fazla çevre dostu ve sürdürülebilir seçeneklere ihtiyaç duymuştur. Stockholm'de Birleşmiş Milletler 1.Dünya Çevre Konferansı'nın yapıldığı 1972 yılı, "sürdürülebilirlik" kavramının ilk defa ortaya çıkmasına tanıklık etmiştir. Bu konferans, ekonomik gelişme, sosyal kalkınma ve ekolojik sorunlar arasındaki önemli bağlantıları vurgulamıştır ve bu konuların aynı anda ele alınması gerektiği vurgusunu yapmıştır (Şenel, 2010).

1987 yılında Brundtland Komisyonu tarafından hazırlanan rapor, sürdürülebilir kalkınmanın tanımını yapmıştır. Sürdürülebilir kalkınma, 1987'de Brundtland Komisyonunca hazırlanan raporda, "Gelecek kuşakların ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmaksızın bugünün ihtiyaçlarını karşılamak" şeklinde tanımlanmıştır. Sürdürülebilir kalkınma, bugünün ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlamakla birlikte, gelecekteki nesillere de ekolojik olarak mümkün olan en iyi seçenekleri sunmak ve küresel kaynakları bilinçli kullanılarak geleceğe yaşanabilir bir çevre bırakmak için mücadele etmeyi içermektedir (Rosenberg ve diğerleri, 1993).

1992 yılında Rio de Janeiro'da Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı düzenlenmiş ve 172 ülkenin katılımı ile sosyo-ekonomik ve çevre koruma amaçlı bir kalkınma anlayışı hedeflenmiştir. Konferansın sonunda Brundlant raporu temel alınarak hazırlanan, sosyal, ekolojik ve ekonomik sürdürülebilirlik amaçlayan Gündem 21 kabul edilmiştir. Konferansta inşaat sektörünün sürdürülebilirliği çerçevesinde ele alınması gereken ilkeler de yer almıştır. Bu ilkeler arasında: yerel malzemelerin ve yapı kaynaklarının kullanılması, enerji yoğun yapım tekniklerinin yerine düşünce yoğun tekniklerin kullanılması, üretim aşamasında enerji tüketimi gerektiren yapı malzemelerinin tekrar kullanılmasının desteklenmesi ve bu konuda yeni yöntemlerin araştırılması bulunmaktadır (Şenel,2010).



Şekil 3.2 : Sürdürülebilir kalkınma kavramı (Edwards'tan Aktaran; Kısa Ovalı, 2009).

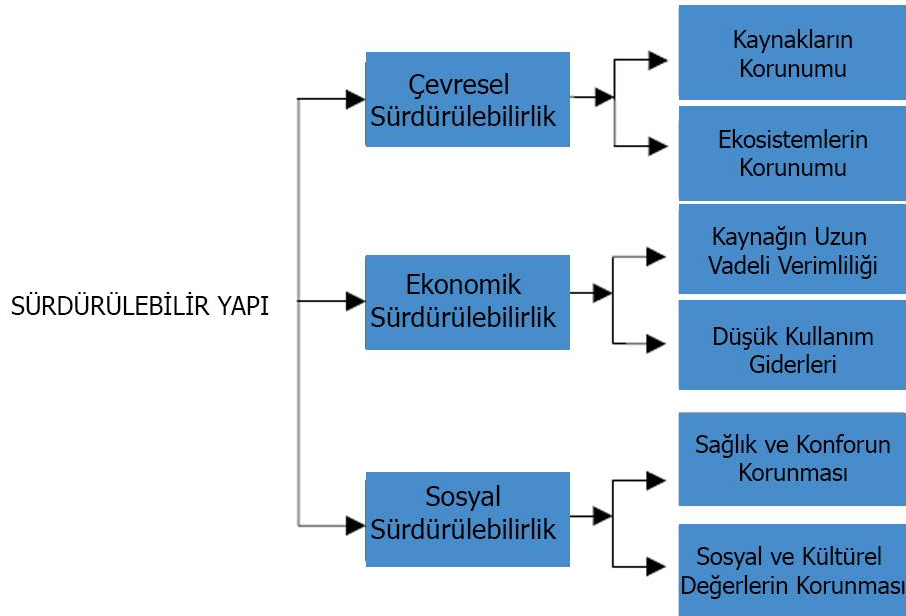
"Sürdürülebilir Kalkınma" kavramı, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik faktörlerinin her birinin bağımsız olsa da birbirini desteklediğini vurgular. Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için konunun çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik faktörleri ile birlikte, bir bütün olarak ele alınması gerektiği öne sürülmüştür (Şekil 3.2) (Edwards'tan aktaran; Kısa Ovalı, 2009).

3.1. Sürdürülebilir Mimari

İçerisinde yaşadığımız dünyada her bir bireyin ve meslek grubunun kaynakların bilinçli kullanımına dikkat ederek hareket etmesi gerekmektedir. Mimarlık mesleğini icra eden tasarımcıların da bu doğrultuda sürdürülebilir tasarım stratejilerini göz önünde bulundurmaları hem günümüz dünyası hem de gelecek nesiller için büyük önem teşkil etmektedir. Sürdürülebilir tasarım, diğer adlarıyla eko-tasarım, yeşil tasarım, çevreye duyarlı tasarım veya yapı çevrenin ekolojik tasarımı olarak tanımlanır. Bu tasarım, yenilenemeyen kaynakların kullanımını azaltmaya ve ekosistemi korumaya odaklanır. Binalar, ürünler ve altyapılar arasında fiziksel entegrasyonu ve biyolojik dengeyi korumayı amaçlar, enerji, su ve hammadde gibi kaynakların kullanımını azaltmayı ve çevreye verilen zararı önlemeyi hedefler (Yeang ve Woo, 2010).

Sev'e göre (2009) sürdürülebilir mimarlık, "içinde bulunduğu koşullarda ve varlığının her döneminde, gelecek nesilleri de dikkate alarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına öncelik veren, çevreye duyarlı, enerjiyi, suyu, malzemeyi ve bulunduğu alanı etkin şekilde kullanan, insanların sağlık ve konforunu koruyan yapılar ortaya koyma faaliyetlerinin tümü" olarak tanımlanmıştır.

Bu bağlamda fiziksel çevrenin inşası esnasında sürdürülebilir bir mimari tasarım anlayışı benimsenmesi, sürdürülebilir yapılar inşa edilmesi ve inşaat sektörünün etkilerinin en aza indirgenmesi büyük önem teşkil etmektedir. Kohler (1999), sürdürülebilir binanın veya yapıım faaliyetlerinin gerektirdiği özellikleri belirlemek için rehber niteliğinde bir sınıflama yapmaktadır.(Şekil 3.3)



Şekil 3.3 : Sürdürülebilir yapı (Kohler,1999).

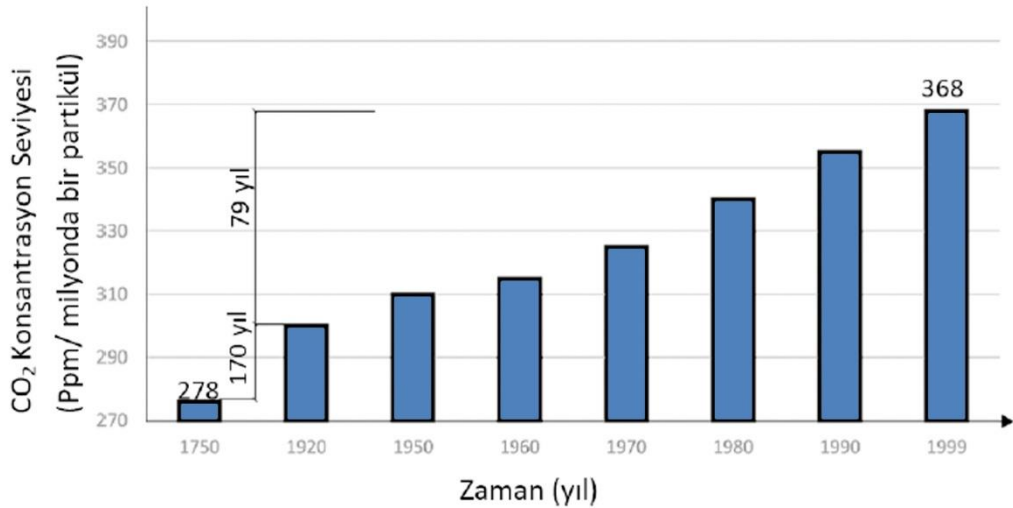
3.1.1. Çevresel sürdürülebilirlik

Günümüzde dünya kaynaklarını bilinçli bir şekilde kullanmak ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak önemli bir husustur. Bu bağlamda sürdürülebilirliğin çevresel boyutu, biyolojik ve fiziksel sistemlerin birbiriyle dengeli olmasını istemek olarak tanımlanabilir. Yeang ve Woo (2010), çevresel sürdürülebilirliği gelecek nesiller için çevrenin, ekosistemlerin ve doğal kaynakların bakımı, ekotasarımın temel ilkesi olarak tanımlamıştır

Çevre kirliliği günümüzde başlı başına büyük bir problem olarak karşımıza çıkmakta ve yaşamımızı etkilemektedir. Endüstriyelleşmenin hızlı ve denetimsiz gelişmesi,

çevreye çok sayıda atık salınmasına sebep olmuştur. Bu atıklar insan sağlığı ve çevre için tehlike oluşturmaktadır. Hava kalitesindeki kirliliğin artması astım hastalığının artma riskini ve bunun gibi birçok yaşamsal faaliyeti etkilerken, nitrojen seviyelerindeki yükselme de su kaynaklarının kirlenmesine ve biyoçeşitliliğin ve insan sağlığının zarar görmesine sebep olmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik, kaynakların doğal hızda yenilenme düzeyine göre kullanılması, salınan kirleticilerin oranının doğal kaynaklar tarafından işleme tabi tutulabilir seviyede olması gerektiğini vurgulamaktadır.

Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu seviyesi 1750'den 1920 yılına kadar uzanan 170 yıllık süreçte yavaş bir artış göstermiştir. Ancak endüstrileşme dönemi olan 1920 ile 1950 yılları arasında CO₂ konsantrasyonu hızlı bir şekilde yükselmiştir. 1999 yılında ise karbondioksit seviyesi son 420 yılın en yüksek düzeyine ulaşmıştır (Şekil 3.4) (Kayıhan, Tönük, 2008).



Şekil 3.4 : Atmosferdeki karbondioksitin yıllara göre miktarı (Kayıhan, Tönük, 2008).

Yalnızca atmosfere salınan gazlar değil aynı zamanda inşaa faaliyetleri esnasında açığa çıkan birçok kirletici de çevreyi kirletmektedir. Bugünün ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre bırakmak için, üretilen ürünlerin, binaların ve yapılaşma alanlarının, çevresel etki değerlendirmesi yapılmalı ve bu bağlamda değerlendirmeler yapılarak günün sonunda ekolojik bir ürün ortaya konulması çevresel sürdürülebilirlik anlamında önemli bir husustur. Bir diğer deyişle içerisinde yaşadığımız fiziksel çevre oluşturulurken biyolojik dengenin korunmasına,

büyük tahribat yaratan çevre kirliliklerinden kaçınmaya ve kaynakları bilinçli kullanmaya dikkat etmek gerekmektedir.

3.1.2. Ekonomik sürdürülebilirlik

Ekonomik sürdürülebilirlik, bir ekonominin kendisini destekleyen doğal ve sosyal kaynakları tüketmeden veya bozmadan büyümesini ve gelişmesini sürdürebilmeyi ifade eden bir kavramdır. Ekonomik sürdürülebilirlik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik ile sürdürülebilirliğin temel üç ayağından biridir. Ekonomistler, ekonomik sürdürülebilirlik için yapay, doğal, insan gibi çeşitli sermayelerin sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını önermektedir (Moldan ve diğerleri, 2012).

Ancak, ekonomik sürdürülebilirliğin tanımı, ölçümü veya uygulanması konusunda bir uzlaşma olmamakla birlikte, farklı bakış açıları bu kavramın farklı yönlerini vurgulamaktadır. Ekonomik sürdürülebilirliği ölçmek ve değerlendirmek için kullanılan başlıca kriterler ve göstergeler arasında kaynak verimliliği, gelir dağılımı, ekonomik direnç, ekonomik adaptasyon, ekolojik ve sosyal uyumluluk bulunmaktadır. Ekonomik sürdürülebilirlik uygulamalarına örnek olarak, alternatif enerji kaynaklarını benimseme, sürdürülebilir tarımı teşvik etme, döngüsel ekonomi modellerini geliştirme, adil ticareti ve etik tüketimi destekleme, insan sermayesine ve sosyal altyapıya yatırım yapma, yönetişimi ve kurumsal kaliteyi artırma yer almaktadır. Bu uygulamalar, mevcut ve gelecek nesillerin refahını ve dünyamızın sağlığını iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Purvis ve diğerleri, 2019).

3.1.3. Sosyal sürdürülebilirlik

Sosyal sürdürülebilirlik, bir toplumun hem bugün hem de gelecekte üyelerinin refahını, yaşam kalitesini ve katılımını sürdürme ve geliştirme becerisine atıfta bulunan bir kavramdır. Sosyal sürdürülebilirlik genellikle çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlikle birlikte sürdürülebilirliğin üç ayağından biri olarak kabul edilir, ancak aynı zamanda tanımlanması ve ölçülmesi en zor olanıdır. Bunun nedeni sosyal sürdürülebilirliğin insan hakları, sosyal adalet, sosyal uyum, sosyal sermaye, sosyal inovasyon, sosyal sorumluluk ve sosyal değişim gibi çok çeşitli konuları kapsamasıdır. Sosyal sürdürülebilirlik birkaç nedenden dolayı önemlidir. İlk olarak, başta en savunmasız ve marjinal gruplar olmak üzere tüm insanların onuruna, çeşitliliğine ve haklarına saygı duymak ve bunları korumak ahlaki ve etik bir zorunluluktur. İkinci olarak, sosyal istikrar, güvenlik ve barışı teşvik etmenin yanı sıra çatışmaları, şiddeti

ve aşırırcılığı önlemek ve çözmek için stratejik ve pragmatik bir gerekliliktir. Üçüncü olarak, sosyal öğrenmeyi, işbirliğini ve güçlendirmeyi geliştirmenin yanı sıra 21. yüzyılın karmaşık ve birbiriyle ilişkili zorluklarına yeni çözümler üretmek için yaratıcı ve yenilikçi bir fırsattır. Ancak sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması kolay olmamaktadır. Sürdürülebilirliğin sosyal, çevresel ve ekonomik boyutları arasındaki bağlantıları ve karşılıklı birlikteliklerini dikkate alan bütüncül ve sistemik bir yaklaşım gerekmektedir. Ayrıca, başta etkilenen topluluklar ve gruplar olmak üzere tüm paydaşların aktif katılımını ve güçlendirilmesini içeren katılımcı ve demokratik bir süreç gerekmektedir. Ayrıca, şimdiki ve gelecek nesillerin ihtiyaç ve isteklerinin yanı sıra yerel ve küresel bağlamları dengeleyen uzun vadeli ve uyarlanabilir bir bakış açısı gerekmektedir (Leeuw, 2019; Dillard ve diğerleri, 2008).

3.2. İnşaat Sektörü ve Çevresel Sürdürülebilirlik

Tarih boyunca insanoğlu yaşadığı doğal çevre içerisinde çevresel ve iklimsel koşullardan korunmak amacıyla yapıları bir çevre inşa etme ihtiyacı duymuştur. Günümüzde yaşadığımız fiziksel çevreyi oluşturan unsurlardan biri olan yapılar geçmişten günümüze süregelen barınma, korunma, konfor, prestij gibi içgüdülerle inşa edilmektedir. Mimari anlamda bulunduğu çağ, toplumları ve kültürleri yansıtan birer eser niteliğinde olan yapılar günümüze dek sürekli bir gelişim ve artış içerisinde bulunmuştur. Endüstri devrimi, teknolojik gelişmeler ve yapım teknolojilerinin gelişmesi ile inşa eylemleri de gelişmiş ve yapıları çevre farklı bir boyut kazanmış ve inşaat sektörünü oluşturmuştur.

Günümüzde, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, artan ihtiyaçlara karşılık verebilmek amacıyla yeni yapılar üretme ihtiyacı her gün artmaktadır. Bu sebeple, yerleşim alanları, enerji santralleri, havalimanları, barajlar, köprüler gibi yapılar üretmek ihtiyacı inşaat sektörünün gelişimini ve büyümesini sağlamıştır. Dünya genelinde inşaat sektörü, 2012 yılı verilerine göre 7.5 trilyon dolarla dünya üretiminin %13,4'ünü, OECD ülkelerinde gayrisafi hasılanın %6,47'sini ve Avrupa ülkelerinde ise gayrisafi hasılanın %10'unu oluşturmaktadır.(Candemir ve Beyhan, 2012) Türkiye'de ise TÜİK verilerine göre inşaat sektörü 2014 yılı itibariyle gayrisafi yurt içi hasıla içinde %5,8'lik bir paya ve istihdam içinde ise %7,4'lük bir paya sahiptir (Pamuk ve Kuruoğlu, 2016).

İnşaat sektörünün bu veriler doğrultusunda dünya ekonomisinde ne kadar büyük bir yere sahip olduğu açıktır. İnşaat faaliyetlerinin yaşadığımız yapılı çevreyi oluştururken aynı zamanda doğal çevreye verdiği zararı da göz ardı etmemek gerekmektedir. Asif ve diğerlerine göre (2007), binalar dünya çapında birincil enerjinin %30-40'ını kullanmakta olup sera gazı emisyonlarının %40-50'si bu birincil enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. OECD verilerine göre dünya çapında tüketilen enerjinin %30'u konut ve ticari amaçlı binalar tarafından tüketilmektedir.

Bir bina inşa etmek için gerekli malzemelerin üretiminden, binaların son kullanıcı tarafından kullanılmasına kadar her süreçte, ciddi bir küresel kaynak kullanımı olup, doğal çevreye ciddi zarar verebilecek kirleticiler ve sera gazı emisyonları ortaya çıkmaktadır. Bu noktada, inşaat sektöründe ve bina üretiminde sürdürülebilir stratejiler izlemek önemli bir husustur. İnşaat sektöründe sürdürülebilirliği sağlamak için, enerji tasarrufu, malzemelerin geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanımı, su sayımı ve emisyon kontrolü gibi konulara dikkat edilmesi ve bu konularda çok disiplinli bir prosedürün uygulanması gerekmektedir. Binalar için yaşam döngüsü enerji analizi gibi metotlar ile ilk tasarım evresinden başlayarak, inşaat faaliyetlerinde ve binalarda enerji kullanımını azaltmanın yanı sıra, sera gazı emisyonlarını da kontrol altına almak için önemli stratejilerdir (Asif ve diğerleri, 2007).

Crawford (2011), inşaat faaliyetlerinin ve binaların çevresel etkilerini en aza indirmek ve çevresel sürdürülebilirlik konusuna dikkat çekmek için uygulanabilecek stratejileri kategorize etmiştir.(Şekil 3.5) Bu çevresel sürdürülebilirlik stratejileri doğadan olumsuz etkilenen talepleri ve doğayı olumsuz etkileyen çıktıları en aza indirmek olarak tanımlanabilir. İnşaat sektörü açısından sürdürülebilirlik çevre dostu, daha az enerji tüketen, daha az CO₂ salınımı yapan ya da daha az atık üreten binaların tasarımı ve inşası ile sınırlı değildir. İnşaat sektöründe kullanılan malzemelerin üretiminde de sürdürülebilirlik göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin çimento üretimi insan kaynaklı CO₂ salınımının yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır (Candemir ve Beyhan, 2012).

Bu veriler ışığında küresel kaynakların verimli kullanımı, yenilenebilir kaynakların kullanımı, atıkların minimize edilmesi, sera gazı salınımlarının azaltılması gibi hususlara dikkat ederek çevresel sürdürülebilirliği sağlamak, iklim değişikliği ve küresel ısınmanın önüne geçerek bugün yaşadığımız doğal çevreyi yarınlara en az

zararla aktarmak çok önemli bir husustur. Bu noktada yapılı çevreyi inşa ederken, yaşamsal faaliyetleri bize sunan doğal çevreyi korumak bütün disiplinlerin hatta bütün insanlığın en önemli sorumluluğu olmalıdır.

Strateji	Çevresel Faydalar
Kaynakların daha fazla kullanımı Verimlilik	- Yenilenmeyen kaynakların korunması - Yenilenebilir kaynakların sürdürülebilir tüketimi - Azaltılmış atık üretimi
Yenilenemeyen kaynak kullanımının azaltılması Kaynak Kullanımı	-Yenilenemeyen kaynakların korunması -Enerji üretiminden kaynaklanan emisyonların en aza indirilmesi -Su, hava ve toprak kalitesinin en üst düzeye çıkarılması -Ekosistemlerin korunması
Kirleticilerin en aza indirilmesi	-Doğal kaynakların korunması \
Demonte edilebilir tasarımlar	-Maksimum kaynak değeri -Azaltılmış atık üretimi
Atıkların en aza indirilmesi Üretim	-Düşük değerli arazi faaliyetlerinin en aza indirilmesi -Toprak ve su kirliliğinin en aza indirilmesi -Maksimum kaynak değeri
Geri dönüştürülebilirlik için tasarım	-Doğal kaynakların korunması -Maksimize edilmiş kaynak değeri -Azaltılmış atık üretimi
Dayanıklılık için tasarım	-Hammadde, enerji ve su talebinde azalma -Yenilenemeyen kaynakların korunması -Azaltılmış atık üretimi
Uyarlanabilir yeniden kullanım için tasarım	-Doğal kaynakların korunması -Hammadde, enerji ve su talebinde azalma -Maksimum kaynak değeri -Azaltılmış atık üretimi

Şekil 3.5 : İnşaa faaliyetlerinde çevresel sürdürülebilirlik stratejileri (Crawford, 2011).

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin önüne geçmek için, inşaat sektörü kaynaklı emisyonları en aza indirgeyerek çevresel sürdürülebilirlik stratejileri benimsemek son derece önemlidir. Özellikle enerji verimliliği ve CO2 emisyonu, inşaat sektörü için büyük bir önem taşımaktadır. Gelecekte, inşaat sektörü için en önemli stratejilerden biri, enerji verimliliği yüksek ve CO2 salınımı en aza indirilmiş binaların tasarımı ve inşası olacaktır.

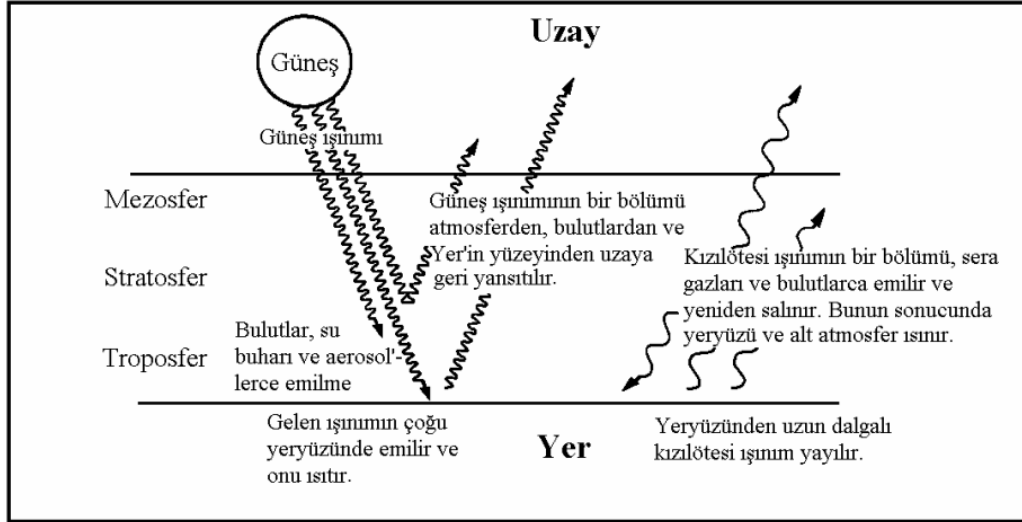
Birçok AB ülkesi, İngiltere ve Çin, enerji verimliliğini artırmak ve CO2 emisyonunu azaltmak için yasal düzenlemeler ve stratejik hedefler belirlemiştir. Örneğin,

İngiltere'nin 2008'de kabul ettiği "İklim Değişikliği Yasası" 2020 yılına kadar binalardaki CO₂ salınımını %26 oranında, 2050 yılına kadar %80 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Ayrıca düşük karbon enerjisi kullanımı hedefi çerçevesinde 2016 yılından itibaren yapılacak tüm konutların, 2018 yılından itibaren yapılacak tüm kamu ve özel sektör binalarının sıfır karbon esasına göre inşa edilmesi zorunlu hale getirilmiştir. (Cheng ve diğerleri, 2008) Bu gibi düzenlemeler, inşaat sektörünün çevresel sürdürülebilirlik stratejilerine uyum sağlamasını sağlayacaktır.

3.2.1. Küresel ısınma ve inşaat sektörü

Günümüzün en büyük sorunlarından biri olan küresel ısınma ve iklim değişikliği gün geçtikçe daha da tehlikeli boyutlara ulaşmakta ve gezegenimizdeki en büyük çevresel sorunlardan biri haline gelmektedir. Bu sorun, insan faaliyetleri nedeniyle artan sera gazı emisyonları sonucunda atmosferdeki ısı tutucu gazların seviyesinin artmasıyla ortaya çıkmaktadır. Sanayi devriminin son çeyreğinden itibaren başlayarak, özellikle 1950'li yıllardan itibaren nüfusun hızla artmasıyla birlikte insan aktiviteleri ve endüstriyel faaliyetler, atmosfere yüksek miktarda CO₂, CH₄, N₂O gibi sera gazlarının salınmasına neden olmuştur. Bu sera gazlarının artışı, aşırı sera etkisi yaratarak gezegenin ısınısını arttırmakta ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır (Kweku ve diğerleri, 2018).

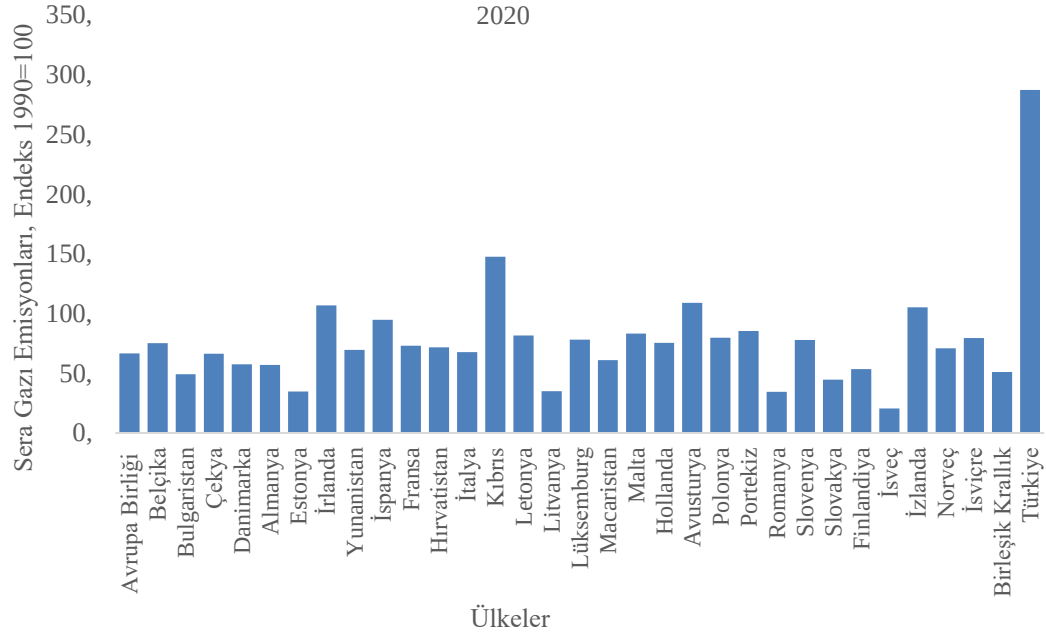
Sera etkisi, atmosferdeki belirli gazların, özellikle su buharı ve sera gazlarının güneşten gelen ışınları yansıtma yerine gezegenin yüzeyinde tutarak ısınmasına neden olması olarak açıklanabilir. Bu etki, sera adını verdiğimiz bitkilerin yetiştiği cam evlere benzer bir şekilde çalışır. Güneş ışınları Dünya'ya ulaştığında, bir kısmı troposfer tabakası tarafından yansıtılırken, diğer bir kısmı atmosferdeki gazlar tarafından tutulmaktadır (Şekil 3.6). Sera gazları, güneş ışınlarının bir kısmını atmosferde hapsederek atmosferin alt katmanlarında ısınmaya neden olur. Bu ısı, Dünya'nın yüzeyine geri yayılmakta ve gezegenin sıcaklığının artmasına neden olarak küresel ısınma ve iklim değişikliğine dolayısı ile ekolojik dengenin değişimine sebep olmaktadır (Türkeş ve diğerleri, 2000).



Şekil 3.6 : Sera etkisinin şematik gösterimi (Türkeş ve diğerleri, 2000).

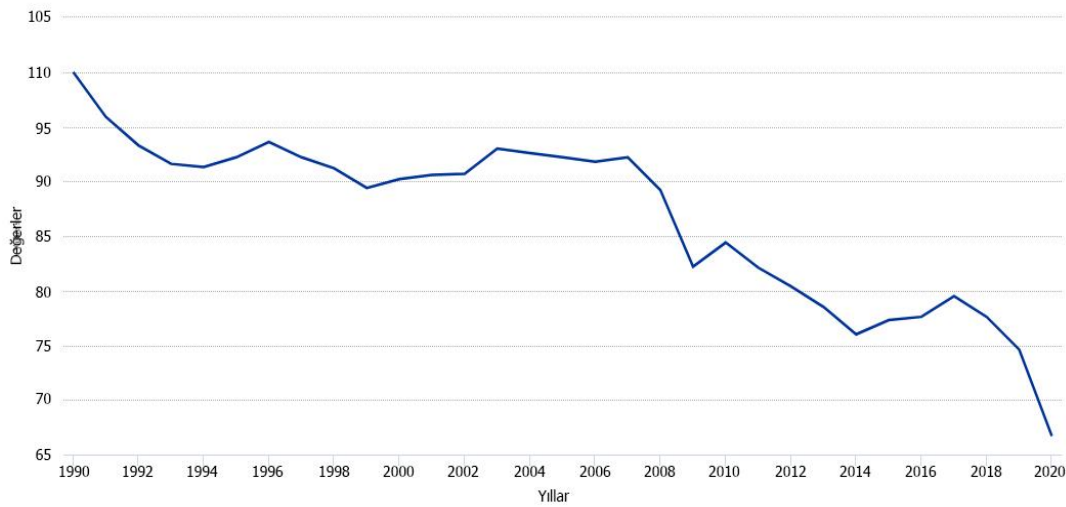
Küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olan sera gazı salınımlarındaki artış, kuraklık, seller, orman yangınları, biyoçeşitlilik kaybı ve salgın hastalıklar gibi tehditlere sebep olmaktadır. Bu derecede önemli bir konu haline gelen iklim değişikliği, ulusal ve uluslararası politika yapıcılarını harekete geçirmiş ve Birleşmiş Milletler tarafından 1992 yılında imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ile küresel bir çözüm bulunmaya çalışılmıştır. BMİDÇS, insan kaynaklı etkileri minimize etmeyi amaçlayarak, ülkelerin farklı yükümlülükler üstlenmelerini öngörmüştür. Ayrıca bu sözleşme çerçevesinde sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik tedbirler içeren Kyoto Protokolü imzalanarak bu emisyonlardan kaynaklı küresel ısınma ve iklim değişikliğinin önüne geçmeye yönelik adımlar atılmıştır (Eştürk ve Tormuş, 2022).

Avrupa İstatistik Ofisi (EUROSTAT) (2022) 1990 yılından başlayarak 2020 yılına kadar ülkelerin sera gazı emisyonlarını karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırmada ölçü birimi, endeks 1990=100 olarak kabul edilmiştir ve bu şekilde 2020 yılına kadar her yıl değerlendirilmiştir.(Şekil 3.7)



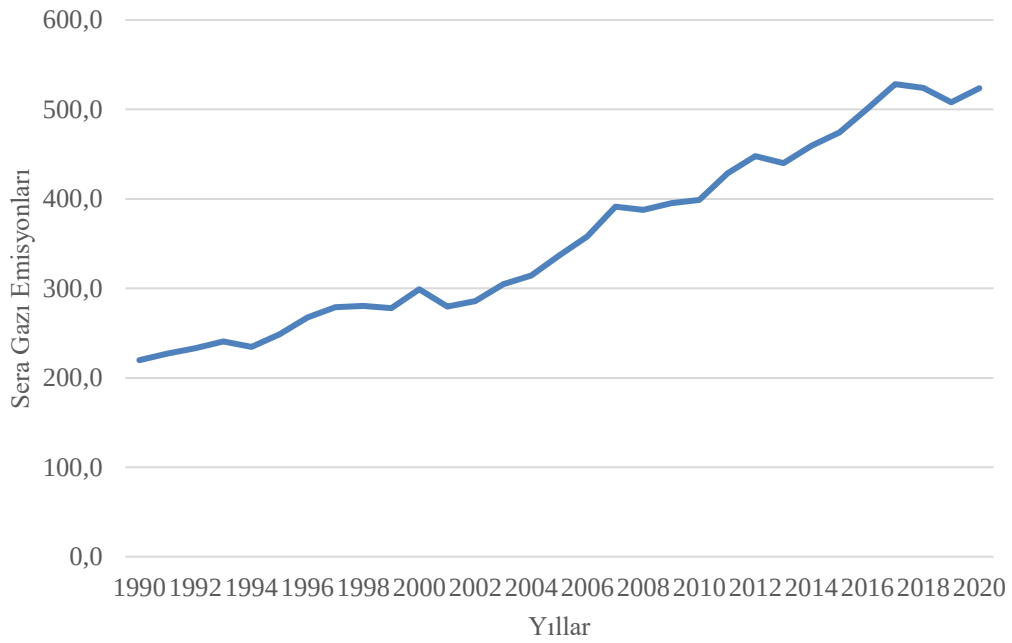
Şekil 3.7 : Ülkelerin 2020 yılında yaptıkları sera gazı emisyonları karşılaştırması (EUROSTAT Avrupa İstatistik Ofisi, 2022).

Bu veri seti incelendiğinde ülkemizdeki sera gazı emisyonlarının ne kadar ciddi bir boyutta olduğu daha net şekilde gözlemlenmektedir. 2020 yılı verilerine göre Türkiye sera gazı emisyonlarında en ön sırada yer alan ülke olmuştur. 1990 yılından 2020 yılına kadarki 30 yıllık süreçte Türkiye'nin sera gazı emisyonlarında %187.4'lük bir artış gözlenmiştir. Aynı yıllar arasında, 27 ükeli Avrupa Birliği ülkelerinin toplamında ise sera gazı salınımları %33.3 azalma göstermiştir.(Şekil 3.8)



Şekil 3.8 : Avrupa Birliği ülkelerinin 1990-2020 yılları arası net sera gazı emisyonları (Endeks 1990=100) (EUROSTAT Avrupa İstatistik Ofisi, 2022).

Ayrıca bu veriler detaylı incelendiğinde 2006 yılından 2020 yılına kadar Türkiye'nin sera gazı salınımlarında her yıl zirvede yer alarak en fazla sera gazı emisyonuna sahip ülke olduğu gözlemlenmiştir. Diğer bir yandan Türkiye İstatistik Kurumu'nun (2022) verilerine göre de ülkemizde 1990 yılından 2020 yılına kadar sera gazı emisyonlarının dikey bir yönde seyir izlediği ve sürekli arttığı gözlemlenmektedir. (Şekil 3.9) Bu bağlamda değerlendirmek gerekirse ülkemiz hava kirliliğine ve küresel ısınmaya sebep olan bu gazların salınımında büyük bir paya sahiptir.



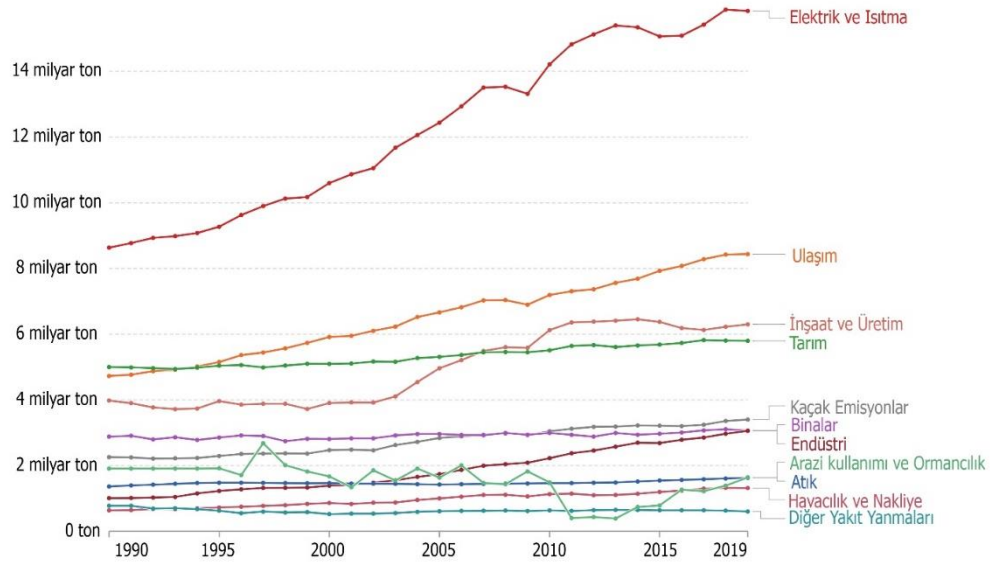
Şekil 3.9 : Türkiye’de 1990-2020 yılları arası net sera gazı emisyonları (milyon ton) (TÜİK, 2022).

Bu sera gazı emisyonları arasında CO₂ emisyonları %74.4 ile en yüksek paya sahip olan gazdır (Ritchie ve diğerleri, 2020). Uluslararası Enerji Ajansı'na göre (International Energy Agency-IEA), 1990 ile 2017 yılları arasında dünya genelinde CO₂ emisyonları %60 artarak 20.521 milyon tondan 32.840 milyon tona yükselmiştir. Aynı dönemde, kişi başına düşen CO₂ emisyonları 3,9 tondan 4,4 tona çıkmıştır. Türkiye’de ise dünya ortalamasından daha hızlı artış göstermiş olup, 1990-2017 döneminde CO₂ emisyonları %193,8 artarak 129 milyon tondan 379 milyon tona yükselmiş ve aynı dönemde kişi başına düşen CO₂ emisyonları 2,3 tondan 4,7 tona yükselmiştir. Bu nedenle Türkiye, dünya genelindeki kişi başına düşen emisyon seviyesinde bir hayli yüksek seviyededir (IEA’dan aktaran: Rüstemoğlu, 2021).

Sera gazı emisyonları ve küresel ısınma bütün insanlığın ortak problemi olup bütün disiplinlerin bu konuda bir bilinç içerisinde hareket etmesi gerekmektedir. Özellikle, günümüzde inşaat sektörü ve binaların, küresel kaynakları kullanması sonucu sera gazı emisyonları açığa çıkmakta olup, bu durum dünyamızın hava kalitesini etkilemekte ve küresel ısınma ile iklim değişikliğine sebep olmakta büyük bir paya sahiptir.

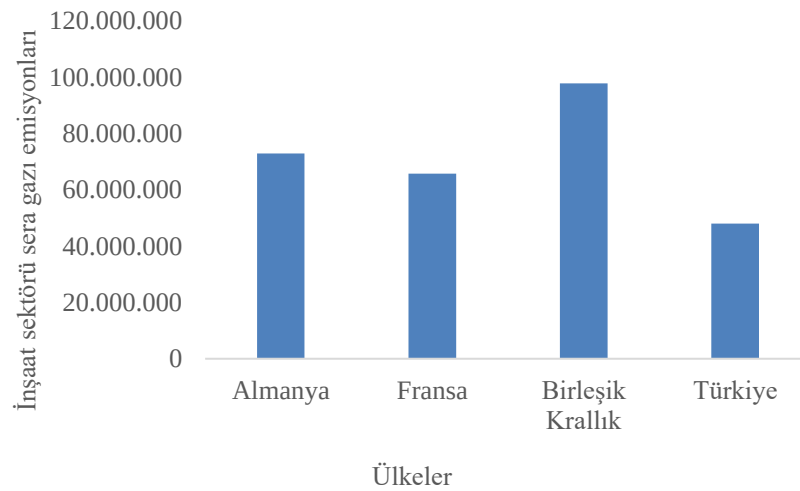
İnşaat sektörü, diğer sektörlerle ve insan faaliyetlerine göre dünya üzerindeki kaynakların büyük bir bölümünü tüketerek, küresel ısınma, asit yağmurları, atık birikimi ve çevre kirliliği gibi konularda dünyamız üzerinde büyük bir etki yaratmaktadır. İçerisinde yaşadığımız binalar 2000 yılı verilerine göre; küresel ekonomik faaliyetlerin %10'unu oluştururken, dünya genelinde üretilen malzemelerin ve enerjinin %40'ını tüketirler. Ayrıca binalar yıllık su tüketiminin %17'sinden ve yıllık ahşap tüketiminin %25'inden sorumludur (InLCA'dan aktaran; Kayıhan, 2006). Avrupa'da toplam enerji tüketiminin %28-45'lik bir kısmı inşaat sektöründen ve bu oranın yaklaşık 2/3'ü konutlardan kaynaklanmaktadır. İngiltere'de ise enerji tüketiminin ve CO₂ emisyonlarının hemen hemen yarısı bu sektörden kaynaklanmaktadır (Kim, 1998).

Sera gazı salınımlarına sebep olan faaliyetler ve sektörler incelendiğinde, inşaat sektörü faaliyetleri ve binaların kullanımı sebebi ile oluşan çevre kirliliğinin yanında küresel ısınmaya sebep olan sera gazı salınımları da dikkat çekici seviyededir. 1990-2019 yılları arasındaki verilere göre (Şekil 3.10) inşaat sektörü ve binaların sera gazı emisyonlarında artan bir grafiğe sahip olduğu ve diğer sektörler arasında ciddi bir emisyon değerine sahip olduğu gözlemlenmektedir (Ritchie ve diğerleri, 2020).



Şekil 3.10 : 1990-2019 yılları arasında sektörlere göre küresel sera gazı emisyonlarının dağılımı (Ritchie ve diğerleri, 2020).

Avrupa İstatistik Ofisi tarafından hazırlanan veriler incelendiğinde inşaat sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarının Avrupa ülkeleri bazında karşılaştırıldığı görülmektedir. İnşaat sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarında 1990-2020 arası istatistiklerine göre Avrupa'daki 33 ülke arasında en çok emisyon yapan ülke Birleşik Krallık olmuştur. Bu 30 yıllık periyotta inşaat sektörü kaynaklı emisyonlarda Almanya ikinci, Fransa üçüncü durumdadır. Bu emisyonlarda Türkiye dördüncü sırada yer alarak ülkemizin inşaat sektöründe ne kadar yüksek emisyon değerine sahip olduğu görülmektedir. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11 : 1990 -2020 yılları arasında inşaat sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarında Avrupa'da ilk dört sıradaki ülke (EUROSTAT Avrupa İstatistik Ofisi, 2022).

İstatistikler ve çalışmalar incelendiğinde, inşaat sektörü, dünya genelinde en yüksek sera gazı emisyonlarına sebep olan sektörlerden biri konumundadır. Özellikle karbon emisyonları bağlamında yüksek bir paya sahip olan binalardaki operasyonel karbon seviyesi ciddi bir pay sahibidir. Bunun yanında inşaat faaliyetlerinde kullanılan malzemelerin üretimi, taşınması, inşası ve yıkımı süreçleri karbon ayak izi açısından büyük bir etkiye sahiptir. Özellikle inşaa faaliyetlerinde kullanılan çimento ve beton gibi yapı malzemelerinin üretimi esnasında ciddi derecede sera gazı emisyonları açığa çıkmaktadır. Bunun yanında inşaa faaliyetlerinde kullanılan araçlar ve ekipmanlar, enerji tüketimini ve sera gazı emisyonlarını arttırmaktadır. Bu emisyonların azaltılması için inşaat sektöründe atılabilecek birçok adım bulunmaktadır. Bu adımlar arasında sera gazı emisyonu yaratan malzemelerin kullanımının azaltılması, atık yönetimi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve daha sürdürülebilir binaların tasarımı çözüm olarak önerilebilmektedir. Erken tasarım evresinde kullanılan malzemelerin, sistemlerin ve yapım metodunun doğru bir şekilde kurgulanması ve sürdürülebilir tasarım stratejileri kullanılması bu emisyonların ve çevre kirliliğinin azaltılması hususunda önem taşımaktadır. (Cabeza ve diğerleri, 2017)

Bu bağlamda seçilen yapı malzemelerinin ve sistemlerin karbon emisyonları esas alınarak karşılaştırma yapılması, çevreci ve sürdürülebilir malzemelerin ve sistemlerin seçilmesi, inşaat sektörü kaynaklı emsiyonların azaltılmasında önemli bir husustur.

3.2.2. Karbon ayak izi ve gömülü karbon

Dünya kaynakları sonsuz değildir ve artan nüfus ve tüketim alışkanlıkları, bu kaynakların hızla tükenmesine neden olurken aynı zamanda dünya üzerinde bir etki bırakmakta olup iklim değişikliğine sebebiyet vermektedir. Sera gazı emisyonları iklim değişikliğinin ve küresel ısınmanın en önemli aktörlerinden biridir. Bu sebeple sera gazı emisyonları dikkate alınması gereken bir unsurdur.

Sera gazlarının atmosferde 100 yıllık sürede neden olduğu ısınma miktarına küresel ısınma potansiyeli denir ve uluslararası literatürde “Global Warming Potential” (GWP) olarak anılır. Brander’in (2012) belirttiği gibi sera gazları arasında en büyük paya sahip olan karbondioksitin küresel ısınma potansiyeli değeri 1 olarak kabul edilmiş olup diğer gazların değerleri karbondioksitin neden olduğu ısınma miktarı ile kıyaslanır. Örneğin metan gazının küresel ısınma potansiyeli karbondioksitten 25 kat daha fazladır. (Brander, 2012)

Atmosfere salınan gazlar arasında en büyük orana sahip olan gaz karbondioksittir. Bu nedenle, tüm sera gazlarının etkilerini açıklamak için karbondioksit terimi kullanılır ancak bu terim literatürde karışıklığa neden olabileceği için bilim insanları, diğer sera gazlarının da etkilerini açıklamak için “karbondioksit eşdeğeri (CO₂e)” birimi oluşturulmuştur. Kısacası “CO₂e” sera gazlarını tanımlamak için kullanılan ortak bir birim olup, belirli bir sera gazı miktarı, o gazın küresel ısınma potansiyeli değeri (GWP) ile çarpılarak CO₂e olarak ifade edilebilir. Örneğin 1 kilogram metan 25 kilogram CO₂e olarak ifade edilebilir (Brander, 2012).

“Karbon ayak izi” ve “gömülü karbon” terimleri, insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini anlamak için önemli kavramlardır, ancak farklı şeyleri ifade ederler. “Karbon ayak izi”, bireylerin, kuruluşların veya ürünlerin neden olduğu doğrudan veya dolaylı sera gazı emisyonlarının toplamını ifade eder. Bu ulaşım, enerji kullanımı ve gıda üretimi gibi faaliyetlerden kaynaklanan emisyonları içerir ve genellikle karbondioksit eşdeğeri (CO₂e) birimlerinde ölçülür. “Gömülü karbon” ise, bir ürünün veya malzemenin çevresel etkisini ölçmek için üretimi ve taşınmasıyla ilişkili olan karbon emisyonlarını ifade eder. Bu, üretim süreci sırasında bir ürünün üretildiği zamandan fabrikadan çıkış yaptığı ana kadar geçen süre boyunca tüm emisyonları içerir. (Peters, 2010)

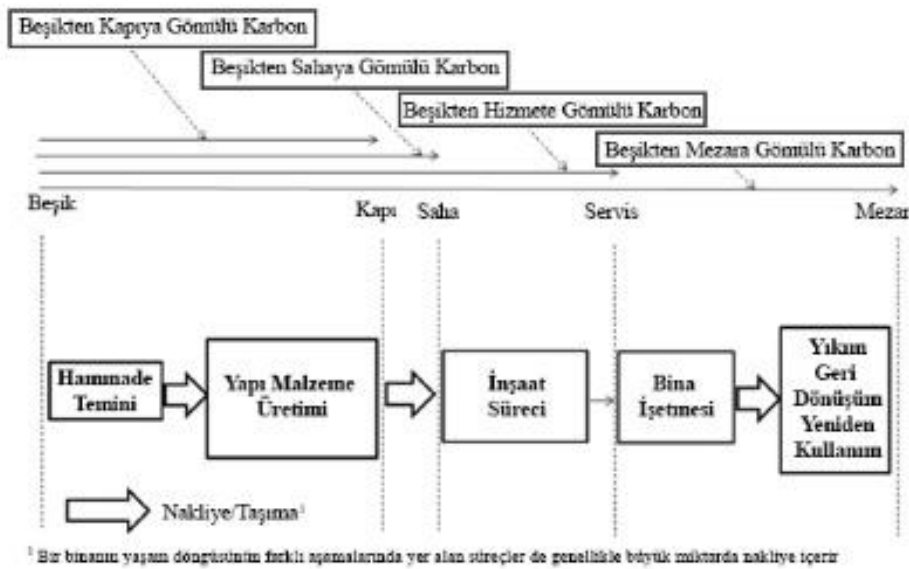
Hammond ve arkadaşlarına (2012) göre gömülü karbon, bir ürün veya hizmetle ilişkili doğrudan ve dolaylı süreçlerde ve beşikten kapıya sınırlar içinde tüketilen toplam enerji dolayısı ile serbest bırakılan karbon olarak tanımlanır. Hammadde çıkarma, imalat, nakliye ve doğrudan fabrikasyon süreçlerinden, ürünün nihai fabrika kapısından çıkmaya hazır olmasına kadar tüm faaliyetleri içerir.

Bir binanın tüm yaşam döngüsü boyunca açığa çıkan karbon emisyonları, karbon ayak izi tahmininde göz önünde bulundurulmaktadır. Bu emisyonların kategorize edilmesi gerekirse, gömülü karbon ve operasyonel karbon emisyonları olmak üzere iki gruba ayrılabilir. (Şekil 3.12)



Şekil 3.12 : Gömülü karbon ve operasyonel karbon (URL-1).

Operasyonel karbon, bir binanın tüm yaşam döngüsü, yani yaşam hizmet ömrü boyunca ortaya çıkan karbon emisyonlarından oluşur ve ısıtma, soğutma, aydınlatma ve cihazların çalıştırılması gibi süreçler yoluyla iç ortamın korunmasında ortaya çıkan karbon emisyonlarını içerir. Gömülü karbon ise hammadde çıkarma, malzeme işleme ve üretim aşamalarını içermektedir. Şekil 3.13’de bir binanın yaşam döngüsü aşamalarını açıklığa kavuşturmak için gömülü karbon sırasıyla; “beşikten kapıya”, “beşikten sahaya”, “beşikten hizmete” ve “beşikten mezara” gömülü karbon olarak sınıflandırılabilir (Akbarnezhad ve Xiao, 2017).



Şekil 3.13 : Bina yaşam döngüsü evreleri ve gömülü karbon (Akbarnezhad ve Xiao, 2017).

İnşaat faaliyetlerinin karbon emisyonlarını ölçmek ve değerlendirmek için yaşam döngüsü değerlendirmesi metodu ile gömülü karbon hesaplaması yapılabilir. Beşikten kapıya metodu ile inşaat malzemelerinin üretimi esnasında çevreye verdiği etki ve gömülü karbonu hesaplanabilir. Sürdürülebilir bir tasarım için bu şekilde erken tasarım evresinde en düşük karbon emisyonuna sahip malzemeler ve sistemler seçilerek çevresel etkiler en aza indirgenebilir.

3.2.3. Yeşil binalar ve değerlendirme sistemleri

Kentleşmenin artmasıyla birlikte, çevre ve enerji konuları dünyamız için toplum tarafından daha fazla dikkat çekmektedir. Bu nedenle, sağlıklı, güvenli, konforlu ve çevre dostu binaların oluşumunu teşvik ettiği için, yeşil bina kavramının teşvik edilmesi ve uygulanması modern inşaat faaliyetlerinin ana teması haline gelmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı, yeşil bina kavramını, ömrü boyunca çevresel açıdan sorumlu ve kaynak verimli süreçlerin kullanımını içeren bir yapı olarak tanımlamaktadır (Ding ve diğerleri, 2018). Bu süreçler bina yerleşiminden tasarımına, inşaatından işletmesine, bakımından yenilenmesine ve yıkımına kadar her aşamada uygulanmaktadır.

Yeşil binaların tasarımı ve işletimi, çevre dostu ve sürdürülebilir bir yaşam için önemli bir rol oynamaktadır. Araştırmalara göre, yeşil binaların enerji kullanımında %24 ile %50, CO₂ emisyonlarında %33 ile %39, su tüketiminde %30 ile %50, katı atık miktarında %70 ve bakım maliyetlerinde %13 oranında tasarruf sağladığı görülmüştür. Ayrıca, Amerikan Yeşil Bina Konseyi'nin belirttiği gibi, yeşil binalar yılda ortalama %32 daha az elektrik kullanarak 350 metrik ton CO₂ emisyonunu azaltabilmektedir. Bu da küresel ısınmaya karşı mücadelede önemli bir adım olup, çevre sağlığı ve geleceği için oldukça önemlidir (Ding ve diğerleri, 2018).

Yeşil bina değerlendirme sistemleri, binaların çevre dostu ve sürdürülebilir olmasını teşvik etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemler, binaların çevresel etkilerini azaltmak, enerji verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir malzemeler kullanarak sağlıklı bir iç mekan oluşturmak için binaların belirli kriterlere göre değerlendirilmesine olanak tanır.

Yeşil binaların yerel çevre, kültür ve ekonomik etkilere tarafsız ve fiziksel olarak incelenmesinde, yeşil bina değerlendirme ve sertifikasyon programları önemli bir role sahiptir. Bu programlar dünya genelinde kullanılmakta olup farklı kurumlar tarafından

geliştirilmiştir. Yapı Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Metodu (BREEAM), İngiltere'de 1990 yılında Yapı Araştırma Kurumu (BRE) tarafından geliştirilerek bu programların ilki olmuştur. Bu metodu LEED (ABD), Green Star (Avustralya), CASBEE (Japonya), SBTool (Uluslararası), EcoProfile (Norveç), Promise (Finlandiya), Green Mark for Buildings (Singapur), HK-BEAM ve CEPAS (Hong Kong), SBAT (Güney Afrika), ve Environmental Status (İsveç) gibi çok sayıda metot izlemiştir. Dünya Yeşil Bina Konseyi (World Green Building Council - WGBC) üyesi birçok ülke, büyük oranda kabul edilen dört metot olan BREEAM, LEED, Green Star ve CASBEE'yi kullanmaktadır. Ayrıca, SBTool gibi uluslararası katılımlı programlar da ulusal koşullara uyarlanarak kullanılmaktadır. 2009 yılında, bu listeye DGNB sertifika sistemi de eklenmiştir (Sev ve Canbay, 2009) (Şekil 3.14).

Değerlendirme Sistemi	BREEAM	LEED	Green Star	CASBEE	SBTool
Oluşturulduğu Tarih	1990	1998	2003	2001	1998
Ülke	İngiltere	Amerika	Avustralya	Japonya	Kanada
Kriterler	✓ Yönetim ✓ Enerji ✓ Su ✓ Ulaşım ✓ Sağlık ve Konfor ✓ Atık ✓ Malzemeler ✓ Arazi Kullanımı ve Ekoloji ✓ Kirlilik ✓ Yenilik	✓ Yenilik ve Tasarım ✓ İç Mekan Hava Kalitesi ✓ Malzeme ve Kaynaklar ✓ Sürdürülebilir Arsalar ✓ Su Etkinliği ✓ Enerji ve Atmosfer	✓ Enerji ✓ Malzeme ✓ İç Mekan Çevre Kalitesi ✓ Ulaşım ✓ Yönetim ✓ Su ✓ Arazi Kullanımı ve Ekoloji ✓ Kirlilik ✓ Yenilik	✓ İç Mekan Çevresi ✓ Servis Kalitesi ✓ Arsada Dış Mekan Çevresi ✓ Enerji ✓ Kaynaklar ve Malzemeler ✓ Arsa Dışındaki Çevre	✓ İç Mekan Hava Kalitesi ✓ Enerji ve Kaynak Tüketimi ✓ Çevresel Yükler ✓ Sosyal ve Ekonomik Esaslar ✓ Kültürel ve Algısal Esaslar ✓ Arsa Seçimi, Proje Planlama ve Geliştirme
Sertifika Düzeyleri	Geçer (1 Yıldız) İyi (2 Yıldız) Çok İyi (3 Yıldız) Mükemmel (4 Yıldız) Olağanüstü (5 Yıldız)	Sertifika (40-49 puan) Gümüş (50-59 puan) Altın (60-79 puan) Platin (80 puan ve üstü)	4 Yıldız (45-59 puan) 5 Yıldız (60-74 puan) 6 Yıldız (75-100 puan)	S, A, B+, B-, C	-1 (olumsuz) 0 (Kabul Edilebilir) 3 (İyi Uygulama) 5 (En İyi Uygulama)

Şekil 3.14 : Yeşil bina değerlendirme sistemleri ve kriterler (Erdede ve diğ. 2014).

Bu sistemler, binaların çevresel performansını ölçmek ve değerlendirmek için farklı kriterler içerir. Yeşil bina değerlendirme sistemleri çoğunlukla iç mekan kalitesi, enerji verimliliği, verimli su kullanımı, aydınlatma verimliliği ve sürdürülebilir malzemelerin kullanımı gibi kriterlere odaklanmaktadır. Bunun yanında bu metotlar binaları iki aşamada değerlendirmektedir; birincisi bina tasarımı sırasındaki performans ikincisi ise bina kullanımı esnasındaki performanstır (Ding ve diğ. 2018).

4. TAŞIYICI SİSTEMLER

Bu bölümde taşıyıcı sistemlerin tanımı, taşıyıcı sistemlerin amaçları, tarihçesi, sınıflandırılması, taşıyıcı sistemlere etkiyen yükler anlatılacaktır. Daha sonra betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler daha yakından incelenerek, tez çalışmasının son bölümünde yapılan inceleme için bir altyapı oluşturulacaktır.

4.1. Taşıyıcı Sistemlerin Tanımı ve Amacı

Taşıyıcı sistemler, binaların temel yapısal bileşenleri olup yapıların fiziksel olarak ayakta durmasını sağlamaktadırlar. Bu sistemler, yapılara ait zati yükleri, yapıya etkiyen yanal yükleri ve insan, eşya vb. hareketli yükleri taşımak ve binayı statik olarak dengede tutmak ile görevlidir.

Ching ve diğerleri (2014) taşıyıcı sistemleri, “yapıya etkiyen yükleri güvenli bir şekilde, izin verilen gerilme sınırlarını aşmadan zemine iletme işlevi görmek üzere tasarlanmış ve inşa edilmiş elemanların istikrarlı bir birleşimi” olarak tanımlamıştır.

Türkçü’ye (2003) göre ise taşıyıcı sistem; “üzerine etki eden kuvvet ve yükleri belirli yerlere aktarıp, öngörülen statik dengeyi sağlamak ve sürdürmek amacıyla doğal veya yapay taşıyıcı öğelerden meydana gelen bütün” olarak tanımlanmıştır.. (Türkçü, 2003)

Hasol’a (2017) göre taşıyıcı sistem; “yapının taşıyıcı öğelerinin oluşturduğu bütün, strüktür” olarak tanımlanmıştır.

Özetle, taşıyıcı sistemler, yapı fonksiyonuna ve kullanılan yapı malzemelerine göre değişiklik göstermek üzere, kolon, kiriş, döşeme, duvar gibi yapı elemanları ile bina üzerine etki eden yükleri bir diğer yapı elemanı olan temel aracılığı ile zemine ileten ve adeta insan iskeletinin vücudu ayakta tutmak üzere denge sağlaması gibi binayı ayakta tutmak üzere dengeyi sağlayan sistemlerdir.

4.2. Taşıyıcı Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlunun tarihsel yolculuğu incelendiğinde, güneş, rüzgar, yağmur gibi iklimsel faktörlere karşı temel barınma ihtiyacını karşılamaya yönelik ilk girişimlerden, modern

yapıların daha uzun açıklıklarına, daha karmaşık ve yüksek katlı yapılara kadar, taşıyıcı sistemler zaman içerisinde gelişim göstermişlerdir.

İlk çağlarda insanlar doğada bulunan mağaralarda, höyüklerde veya ağaç kovuklarında çevresel etkilerden korunmak ve barınmak için mekansal hacimler oluşturmuşlardır. Göçebe toplumlar olarak yaşayan insanoğlu, ağaç, taş ve hayvansal deri gibi ürünler ile çadırlar, yığma barınaklar yapıların ve taşıyıcı sistemlerin ilk örnekleridir. Daha sonraları neolitik çağda tarımın ortaya çıkması ile birlikte yerleşik hayata geçilmiş ve insanoğlu yeni barınma alanları inşa etmeye ve bu inşa süreçlerinde kullanılmak üzere malzemeleri işlemeye başlamışlardır. Bu çağlarda taş, kolay işlenebilmesi ve ulaşılması sebebi ile yapıların ana yapı malzemesi olarak yerleşim alanlarının oluşturulmasında önemli bir rol üstlenmiştir. Taş ile birlikte, toprak ve ağaç esaslı malzemeler üst üste yerleştirilerek yığma yapılar ortaya çıkmıştır. (Bal, 2022)

Medeniyetlerin zaman içerisinde gösterdiği gelişim ile anıtsal yapılar ve sanat eserleri inşa edilmeye başlanmıştır. Bu süregelen gelişim ile ortaya çıkan strüktürel sistemler ise Mısır ve Yunan mimarisinde kullanılan lentolu sistemler, Roma mimarisinde kullanılan kemer-tonoz-kubbe sistemler ve gotik mimaride kullanılan iskelet sistemler olmuşlardır. (Gökçe,1977)

Endüstri devriminin başlangıcına kadar, Mezopotamya mimarisinde kullanılan kerpiç ile Roma mimarisinde kullanılan dökme beton da dahil olmak üzere, taş, ahşap, ve doğal çimento malzemeler yapı üretiminde kullanılmış ve taşıyıcı sistemlerin ana malzemesi olmuşlardır. 18. Yüzyıla kadar bu malzemeler ile inşa edilen yapılarda büyük açıklıklar kemerler ile geçilmiş ve üst örtü olarak tonozlar ve kubbeler kullanılmıştır. Ayrıca daha 6. Yüzyılda İstanbul'da bulunan Ayasofya'nın ana kemerlerinde gergi olarak demir çubuklar kullanılmış olması, demirin yapıları güçlendirmek için Orta Çağ ve Rönesans boyunca yapılarda kullanılmış olan bir diğer yapı malzemesi olduğunu göstermektedir (Ching ve diğerleri, 2014).

18.yüzyılda İngiltere'de başlayan Endüstri Devrimi ve yeni teknolojik gelişmeler ile birlikte çelik malzeme üretilmiş ve geniş açıklıklar için demir ve çelik malzeme esaslı çerçeve sistemler daha olanaklı hale gelmiştir. İlk olarak Londra'da bulunan "Crystal Palace" yapısında dökme demir çerçeveler bir yapı malzemesi olmuştur. Daha sonraları çelik çerçeve sistemlerin gelişmesi ile, çelik taşıyıcı sisteme sahip yapılarda

çerçeveler kagir duvarlar ile çevrelenip gizlenerek uygulanmıştır. (Allen ve Iano, 2009)

Sanayileşme ile birlikte hızla artan dünya nüfusu, köyden kente göç artışı ve kentlerin gelişmesi ile 19. Yüzyıl sonlarında yapım teknikleri iyice gelişmiş ve bu gelişme ile yüksek katlı yapı üretimi artmıştır. Çelik iskeletli taşıyıcı sistemler yüksek katlı bina yapımında önemli rol oynamışlardır. Aynı zamanda, sanayinin gelişmesi ile 1824 yılında Joseph Aspdin'in Portland çimentosunu geliştirmesi beton malzemenin kullanımını ve işlevselliğini arttıran bir gelişme olmuştur. 1848 yılında Joseph-Louis Lambot'un betonarmeyi icadı ile betonarme taşıyıcı sistemler ortaya çıkmış ve kolay biçim verilebilen, bütün elemanların birlikte çalışmasını sağlayan monolitik yapısı ile taşıyıcı sistemlerin gelişmesinde büyük rol oynamıştır. (Ching ve diğerleri, 2014) (Dilber, 2001)

20. yüzyılda endüstrileşme sonrası teknolojik gelişmelerin artması ve yapım sistemlerinin gelişmesi ile birlikte çağdaş yapım sistemleri ortaya çıkmış ve yüksek teknoloji ürünü yeni mimari eserler ortaya çıkmaya başlamıştır. Beton, çelik ve ahşap malzemelerin teknolojik gelişmeler ile çağdaş bir biçimde kullanılması ile yeni ve farklı taşıyıcı sistem türleri ortaya çıkmıştır. Ahşap olarak tutkallı tabakalı ve çapraz lamine ahşabın kullanılması, yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı, uzay sistemlerin kullanımı, betonarmede öngerilmeli ve ardgerilmeli sistemlerin kullanımı çağdaş taşıyıcı sistemi oluşturan başlıca gelişmeler olup, çağdaş mimarinin gelişmesinde önemli rol oynamıştır.

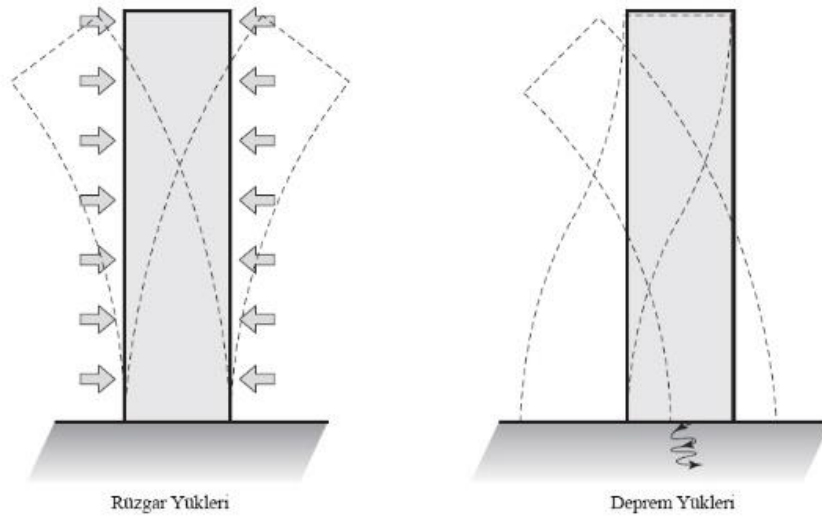
4.3. Taşıyıcı Sistemlere Etkiyen Yükler

Taşıyıcı sistemlere etki eden yükler, bir binanın çatısında bulunan sabit bir mekanik ekipman yükü gibi öngörülebilir olabileceği gibi bina cephesine gelen rüzgar yükü gibi öngörülemez olabilmektedir. Ayrıca taşıyıcı sistemlere etki eden yükler hiç değişmeyen statik yükler olabileceği gibi hızlı değişimlere maruz kalan dinamik yükler de olabilmektedir. Bir yapıya etki eden tüm yükler her nasıl olursa olsun düşey ve yatay yükler olmak üzere ikiye ayrılır ve yapılan analizler bu şekilde yapılır.

İçerisinde yaşadığımız gezegende yerçekimi bütün maddeleri Dünya'nın merkezine doğru çeker ve buna yerçekimi kuvveti denir. Taşıyıcı sistemlere etki eden düşey yükler de yerçekimi etkisi ile oluşmaktadır. Düşey yükler kendi içerisinde ölü yükler

ve hareketli yükler olarak ikiye ayrılır. Ölü yükler; aynı zamanda zati yükler ve statik yükler olarak da adlandırılır ve yapı üzerinde her zaman varlığını koruyan yüklerdir. Ölü yükler, kolon, kiriş, döşeme, çatı, duvar gibi yapıyı oluşturan elemanlar ve binaya ait kaplamalar, sabit mekanik ekipmanlar gibi elemanların oluşturduğu sabit yüklerdir. Hareketli yükler ise yapı üzerindeki kullanıcılar, mobilyalar gibi hareketli elemanlar ve herhangi bir anda değişebilen kar, yağmur, buz gibi yapıya etki eden yüklerdir. Bu yükler aynı zamanda dinamik yükler olarak da adlandırılır. (Dabby ve Bedi, 2012)

Yatay yükler ise rüzgar ve sismik hareketten kaynaklanan ve genel olarak yatay yönde ettikleri kabul edilen yüklerdir. (Şekil 4.1) Rüzgar ve deprem yükleri öngörülemez yükler olsalar da, bulunulan coğrafi bölgelere göre yönetmelik ve standartlar çerçevesinde belirlenir ve taşıyıcı sistem tasarımı esnasında buna göre hesaplamalar yapılır.



Şekil 4.1 : Binalara etki eden rüzgar ve deprem yükleri (Dabby ve Bedi, 2012).

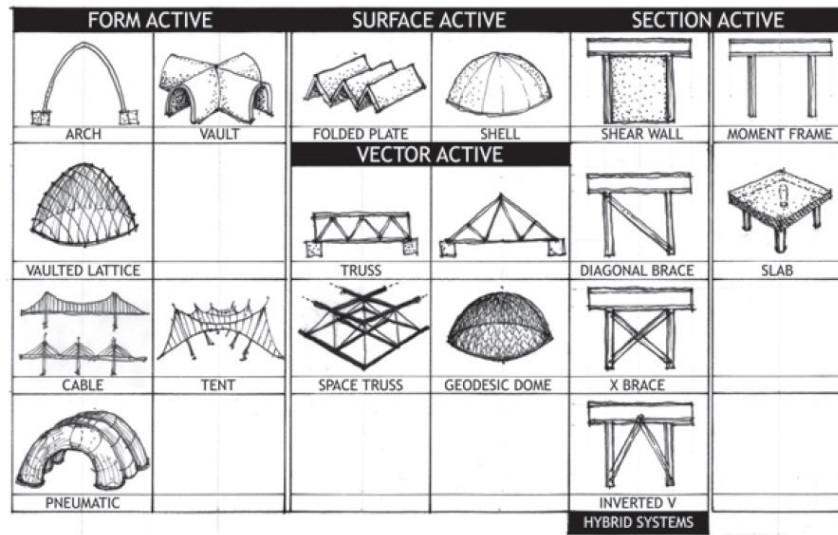
Rüzgar yükü, binaya basınç uygulayarak sallanmasına neden olan, rüzgar etkisi ile yapı üzerinde oluşan yüklerdir. Rüzgar yükleri, binanın şekli, yüksekliği, çevre binaların geometrisi ve rüzgarın esme hızı gibi faktörler ile değişkenlik gösterebilir.

Sismik yükler, bir deprem sırasında yer kabuğunun rastgele, değişken ve düzensiz hareketlerinden kaynaklanan ve yapıda hareketlere sebep olan yüklerdir. Depremler, yer kabuğundaki gerilme birikimi veya deformasyon enerjisinin, jeolojik fay hatlarındaki ani kaymalar ile serbest bırakılması sonucu meydana gelen sismik olaylardır. (Atalay, 2002)

4.4. Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması

Tarih boyunca insanoğlu birçok farklı şekilde ve birçok farklı taşıyıcı sistem ile yapılar inşa etmişlerdir. Bunlardan bazıları günümüzde halen uygulanmakta iken, bazıları güncelliğini yitirmiş ve uygulanmamaktadır. Bu kadar çok farklı taşıyıcı sistem olması birçok araştırmacı tarafından yapılan farklı farklı sınıflandırmaların ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Heino Engel (2004) taşıyıcı sistemleri, yüklerin sistemler üzerindeki etkilerine göre sınıflandırmıştır. Buna göre Engel (2004) taşıyıcı sistemleri; form aktif taşıyıcı sistemler, vektör aktif taşıyıcı sistemler, kesit aktif taşıyıcı sistemler, yüzey aktif taşıyıcı sistemler, yükseklik aktif taşıyıcı sistemler olarak sınıflandırmıştır. Sınıflandırma, sistemlerin yük aktarma biçimlerine göre incelenmesi sebebi ile bu şekilde yapılmıştır. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 : Heino Engel'e göre taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması (McMullin ve Price, 2016).

Oymael (2015) ise taşıyıcı sistemleri, ilkel taşıyıcı sistemler, geleneksel taşıyıcı sistemler ve endüstrileşmiş taşıyıcı sistemler olarak sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre ilkel taşıyıcı sistemler bilimsel bir altyapı olmadan doğal çevrede bulunan malzemeler ile inşa edilen sistemler iken geleneksel taşıyıcı sistemler ise insan gücüne dayalı olarak geleneksel malzemeler ile inşa edilen taşıyıcı sistemlerdir. Endüstrileşmiş taşıyıcı sistemler ise bilim ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte makine gücünden faydalanarak üretilen, kolon, kiriş, döşeme, duvar gibi yapı elemanlarının hızlı bir şekilde yapımına ve montajına elverişli olan taşıyıcı sistemlerdir.

Türkçü (2003) taşıyıcı sistemleri, yığma taşıyıcı sistemler, yüzeysel taşıyıcı sistemler ve iskelet (karkas) taşıyıcı sistemler olmak üzere üçe ayırmış ve yük taşıyan elemanların birleşim şekline göre sınıflandırmıştır. Yığma taşıyıcı sistemler; taş, tuğla kerpiç, ahşap gibi malzemelerin üst üste ve yan yana getirilerek birleştirilmesi ile oluşan ve basınç kuvvetlerinin etkin olduğu taşıyıcı sistemlerdir. İskelet taşıyıcı sistemler kolon, kiriş, döşeme gibi düşey ve yatay doğrultuda çalışan yapısal taşıyıcı elemanlardan oluşan sistemlerdir. Yüzeysel taşıyıcı sistemler ise çekme kuvvetlerinin etkin olduğu, yapıya etkiyen yüklerin yüzeyler ile aktarıldığı, katlanmış plak yüzeyler veya eğrisel geometrilerin bir araya geldiği taşıyıcı sistemlerdir.

Frei Otto (1970) ise taşıyıcı sistemleri kagir, ahşap, beton, çelik vb. olmak üzere malzeme türlerine ve malzemelerin katı, akışkan ve plastik olmak üzere fiziksel özelliklerine göre sınıflandırmıştır.

Bu tez çalışmasında taşıyıcı sistemler malzemelerine göre sınıflandırılarak incelenecektir. Çalışma kapsamında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler odak noktası olacağı için bu sistemler ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

4.4.1. Ahşap taşıyıcı sistemler

Ahşap, insanlığın ilk yerleşim yeri arayışlarından bu yana kullanılan ve doğada bulunan ağaçlardan elde edilen doğal bir malzemedir. Geçmişten beri ahşap yapı malzemesi, yapı üretiminde önemli bir rol oynamıştır. Ahşap, geleneksel mimarimizde yüzyıllardır vazgeçilmez bir yapı elemanı olarak kullanılmıştır. Bu uzun tarihtede ahşap, yapıların taşıyıcı elemanlarından dekoratif detaylarına kadar geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Tarihsel olarak birçok önemli eserin yapımında merkezi bir rol oynayan ahşap, geçmişte kullanılan birçok yapım tekniği ile günümüz modern mimarisinde temel ve vazgeçilmez unsurlar haline gelmiş yeni tasarımlara ilham kaynağı olmuştur. İlk ahşap çatının Frigyalılar tarafından uygulandığı ve bugün hala aynı metodun geçerli olması, ahşap malzemenin önemini vurgulayan bir örnektir (KUDEB, 2009).

Ahşap taşıyıcı sistemler, çeşitli yapı tiplerinde kullanılabilen çok yönlü bir sistemdir. Dünyada ve ülkemizde özellikle geleneksel konut mimarisinde olmak üzere çeşitli yapılarda ahşap yaygın olarak kullanılmıştır. Geçmişte geleneksel ahşap yapı sistemleri ile üretilen ahşap yapılar günümüzde çağdaş ahşap yapım sistemleri ile devam etmektedir.

Geleneksel ahşap sistemler; yığma ahşap taşıyıcı sistemler ve ahşap karkas sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır (Batur, 2004). Geleneksel ahşap yığma yapılar, ahşap kütüklerin üst üste getirilmesi ile oluşmaktadır. Ahşap karkas sistemler ise, tek boyutlu ahşap elemanların taşıyıcılık görevini üstlendiği, dikmeler arasında kalan boşlukların dolgu malzemesi ile doldurulduğu sistemlerdir (Akşar, 2022).

Çağdaş ahşap taşıyıcı sistemler ise endüstri devrimi sonrası ortaya çıkmıştır. Bu sistemler sayesinde endüstriyel ahşap malzeme ile daha geniş açıklıklar geçme imkanı oluşmuş ve ayrıca yeni ahşap taşıyıcı sistemler ortaya çıkmıştır. Endüstriyel ahşap ürünler ahşap malzemelerin belirli metodlar ile kesilip tabakalar haline getirildikten sonra fabrika ortamında bağlayıcı malzemeler kullanılarak, yapıştırılmış lamine ahşap (glulam), çapraz lamine ahşap (CLT), lamine kaplama ahşap (LVL), paralel yonga ahşap (PSL), kavelalı lamine ahşap (DLT), yönlendirilmiş yonga ahşap (OSL), çivili lamine ahşap, masif kontraplak paneller (MPP) ve ahşap beton kompozit (TCC) gibi çeşitli şekillerde bir araya getirilmektedir (Avlar ve Ustaoglu, 2017). Bu çağdaş ahşap yapı malzemeleri sayesinde çağdaş ahşap taşıyıcı sistemler yaygınlaşarak gelişim göstermiş ve Almanya, Norveç, Avusturya gibi ülkelerde çok katlı ahşap taşıyıcı sisteme sahip yapılar üretilmiştir.

4.4.2. Kagir taşıyıcı sistemler

Kagir yapılar, taş, tuğla, kerpiç gibi malzemelerin üst üste yığma yöntemi ile aralarına harç sürülerek bir araya getirilen yapılardır. İnsanlığın ilk yapı yapma pratiğinin geliştiği sistemlerden biri kagir taşıyıcı sistemli yığma yapılar olmuştur. Daha milattan önceki yüzyıllarda taştan ve kurutulmuş topraktan evler, tapınaklar ve hatta saraylar inşa edilmiştir. Mısırlılar kagir yapım yöntemi ile ilk taş tapınaklarını ve piramitleri inşa etmişlerdir. Milattan sonraki dönemlerde Yunanlıların mermer ve kireçtaşıdan kagir yapılar üretmesi; kemer, tonoz ve kubbeler kullanan Romalıların bazilikalar, hamamlar, saraylar, su kemerleri gibi kagir yapıları inşa etmesi ile devam etmiştir.

Kagir taşıyıcı sistemler aynı zamanda yığma taşıyıcı sistemler olarak da adlandırılabilir. Bu yapım yöntemi ile yapılmış yapılarda yük taşıma görevi ile mekanları birbirinden ayırma görevi aynı yapı öğelerinin üzerinde toplanmaktadır (Öztürk, 2012). Taş ve tuğla gibi malzemelerin üst üste getirilmesi ile oluşturulan duvarlar mekanları oluştururken, aynı zamanda bu duvarlar taşıyıcı niteliktedir. Kagir

taşıyıcı sistemler, temel, duvar, hatıl, lento, kemer, sütun, kubbe, tonoz ve döşeme gibi yapı elemanlarından oluşmaktadır.

Endüstri devrimi ve kentsel nüfusun artarak yüksek yapıların yapılma ihtiyacı kagir taşıyıcı sistemlerin önceliğini kaybetmesine neden olmuştur. Yüksek katlı yapıları inşa etmek üzere kalın yığma taşıyıcı duvarlardan oluşan kagir taşıyıcı sistemler yerine betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler kullanılmaya başlanmıştır.

4.4.3. Betonarme taşıyıcı sistemler

Betonarme yapılar, geçmişten günümüze kullanılan ahşap, kagir, çelik taşıyıcı sistemler ile karşılaştırıldığında taşıyıcı sistemler arasında en genç olanıdır. Roma döneminde yapı üretiminde beton yaygın olarak kullanılsa da ortaçağlarda ana yapı malzemesi olarak kullanımını kaybetmiştir. Beton bu çağlardan sonra ilk olarak John Smeaton'un Roma kaynaklarından elde ettiği bilgilere dayanarak 1756 yılında inşa ettiği deniz fenerinde kullanılmıştır (Vicat, 1997).

1800'lü yıllara gelindiğinde Joseph Aspdin tarafından çimento üretimine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde elde ettiği malzemenin rengini ve özelliklerini Portland adasından çıkan taşlara benzettiği için adını Portland çimentosu koymuştur. 1848 yılında ise J. L. Lambot tarafından beton ve demir çubuklar kullanılarak ürettiği ve Paris'te sergilediği küçük tekne ilk betonarme örneği olmuştur. Daha sonra 1873 yılında William E. Ward tarafından inşa edilen yapı bilinen ilk betonarme konutlardan biridir (Doğangün, 2014).

Beton, çimento, su, agrega (kum, çakıl, çakıl taşı vb.), kimyasal katkıları ve mineral katkıların belirli oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulan, ilk başta plastik bir kıvamda olan ve kalıba döküldüğünde onun şeklini alan bir malzemedir. Beton, çimentonun hidratasyon reaksiyonu sonucunda sertleşerek dayanıklılık kazanır ve yapı inşaatında temel bir yapı malzemesi olarak kullanılır. (Gürü ve Yalçın, 2012) Betonun performansını arttırmak ve öz ağırlığını azaltmak amacıyla, yüksek dayanımlı, hafif, lifli ve yüksek performanslı çeşitli kategorilerde betonlar art arda geliştirilmekte ve mühendislik pratiğinde uygulanmaktadır. Basınç dayanımı yüksek beton ile çekme dayanımı yüksek olan çelik donatıların bir araya gelmesi ile birlikte betonarme meydana gelmektedir. Bu oluşan malzeme üzerine etkiyen yükleri karşılamada, dış ortama ve yangına bu malzemelerin tek başına kullanımına göre daha dayanıklı ve kararlıdır (Doğangün, 2014).

Yapı üretiminde betonarmenin kullanılmasına başlanmasından günümüze kadar geçen sürede teknolojik gelişmeler ile yapım teknikleri oldukça gelişmiştir. Betonarme yapılar yapı elemanlarının inşaat sahasında doğrudan dökülüp monte edildiği yerde yapım tekniği ile inşa edilebileceği gibi önceden fabrikada üretilmiş betonarme elemanların inşaat sahasına getirilip montajlanması şeklinde de inşa edilebilir.

Betonarme yapılar, inşaat endüstrisinde karkas yapı sınıfına dahil edilirler. Karkas yapılar, yüklerin binanın belirli bir noktasında topladığı ve bu yüklerin ardından kolonlar ve perde duvarlar gibi taşıyıcı elemanlar aracılığıyla zemine iletilmesi prensibine dayanır. Bu tasarım, yapının dayanıklılığını ve taşıma kapasitesini arttırırken, binanın şeklinin ve fonksiyonunun çeşitlendirilmesine olanak tanır. Karkas yapılar, yüksek katlı binalardan endüstriyel tesislere kadar çeşitli yapı türlerinde kullanılır (Guo, 2014).

4.4.4. Çelik taşıyıcı sistemler

Çelik, demir ve %0.5 ile %1.5 arasında değişen oranlarda karbonun karıştırılması sonucu oluşturulan bir alaşımdır. Bu alaşımlar mekanik olarak işlenebilir, preslenebilir, dövülebilir ve haddeden geçirilebilir ve bu yöntemlerle şekillendirilebilir (Hasol, 2017).

Çelik malzemenin yapılarda kullanımı ve çelik taşıyıcı sistemler 18. yüzyılda gelişim göstermeye başlamıştır. İlk olarak demir hali ile köprülerde kullanılmıştır. 1779 yılında inşa edilen İngiltere'deki Coalbrookdale Köprüsü tümüyle demirden inşa edilen ilk yapı olarak sayılmaktadır. 1890 yılına kadar köprüler dövme demir ile inşa edilmiş ve bu yıldan sonraki tarihlerde demir yerini çeliğe bırakmıştır. Endüstri devrimi ile birlikte gelişen çelik üretim ve kullanım pratiği sonucu 1851 yılında tamamlanan tamamiyle çelik elemanlar ve cam malzemeden oluşan ilk çelik taşıyıcı sistemli yapı İngiltere'de bulunan Crystal Palace olmuştur (Öğüt, 2006). Çelik taşıyıcı sistemler kentlerin büyümesi ve gelişmesi ile artan yüksek yapı ihtiyacına cevap verebilmesi ile gelişim göstermiştir. Chicago'da bulunan ve 1884 yılında yapımı tamamlanan Home Insurance binası çelik taşıyıcı sistem ile üretilmiş ilk yüksek yapı olarak modern yüksek binaların ve gökdelenlerin gelişmesinde önemli rol oynamıştır.

Çelik malzeme endüstri devriminin ve 20. Yüzyıldaki gelişmenin lokomotif malzemesi olmuştur. Çelik taşıyıcı sistemler değişik şekillerde üretilebilme imkanı ve

teknik özellikleri sayesinde çağdaş mimarlık anlamında birçok farklı tasarıma imkan sağlamıştır.

4.5. Beton ve Betonarme Taşıyıcı Sistemler

Betonarme taşıyıcı sistemlere bir önceki bölümlerde kısaca değinilmiş ve bu sistemler hakkında özet şeklinde bilgiler verilmiştir. Bu bölümde beton malzemenin üretim süreçleri ve betonarme taşıyıcı sistemler daha detaylı incelenecektir.

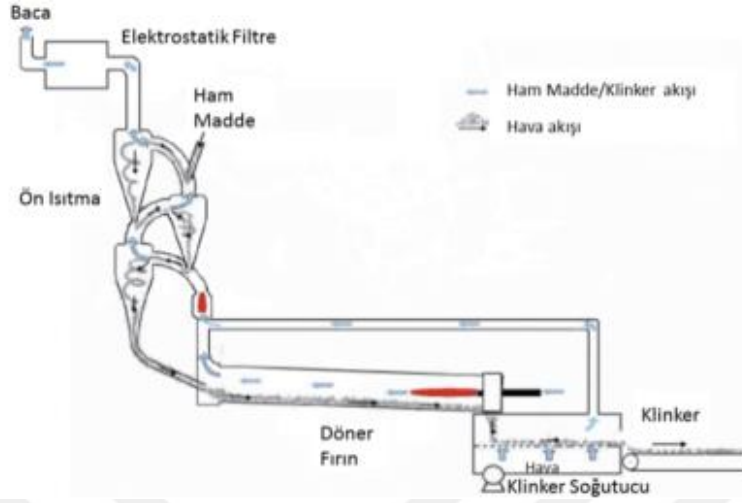
Betonarme taşıyıcı sistemler günümüzde yapı üretiminde, yapıların ve binaların yüklere karşı direnç sağlaması ve ayakta kalması için sıklıkla tercih edilen sistemlerdir. Betonarme, eğilme ve çekme kuvvetlerine dayanması için içerisine uygun miktarda çelik donatı yerleştirilmiş beton anlamına gelmektedir. Birbirine iyice bağlanan bu iki malzemenin dış kuvvetlere karşı ortak çalışmaları ve betonun yüksek basınç dayanımı ile çeliğin yüksek çekme dayanımının bir araya gelmesi taşıyıcılık anlamında yüksek performanslı bir ürün ortaya koymaktadır (Hasol, 2017).

4.5.1. Beton ve üretim süreçleri

Beton; çimento, kum ve çakıl veya agrega gibi malzemelerin uygun miktarda su ile karıştırılmasıyla elde edilen ve özelliklerini çimentonun hidratasyonu ile kazanan karışım şeklinde olan, başlangıçta plastik, sonrasında ise katılaşarak sertleşerek taş görüntüsü alan bir malzemedir (Hasol, 2017). Ayrıca betonun özelliklerini değiştirmek için çeşitli katkı maddeleri eklenebilir. Beton, dünya genelinde yoğun bir şekilde kullanılan evrensel bir inşaat malzemesidir.

Beton malzemeyi üretmek için kullanılan önemli girdilerden biri çimentodur. Çimento üretimi işlem olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; hammaddenin hazırlanması, malzemelerin yakıtlarla beraber pişirilmesi, pişirilen malzemeye katkı maddeleri eklenerek öğütülmesi olarak sıralanabilir (Tunçez, 2021). Çimento yaklaşık olarak %75-80 oranında kireç, %20-25 oranında kil ve diğer maddelerden meydana gelmektedir. Bu maddeler ezilir, öğütülür, karıştırılır ve ardından 1440-1650° C sıcaklıklarda uzun bir döner fırında pişirilerek klinker elde edilir. (Şekil 4.3) Soğuduktan sonra klinker toz haline getirilir ve içerisine belirli miktarda alçı eklenerek çimento malzeme elde edilir. Çimento üretim süreci, bir dizi çevresel kirleticiyi açığa

çıkarmaktadır ve yaklaşık olarak 1 ton çimento üretiminde 0,93 ton CO₂ salınımı yapıldığı öngörülmektedir (Allen ve Iano, 2009).

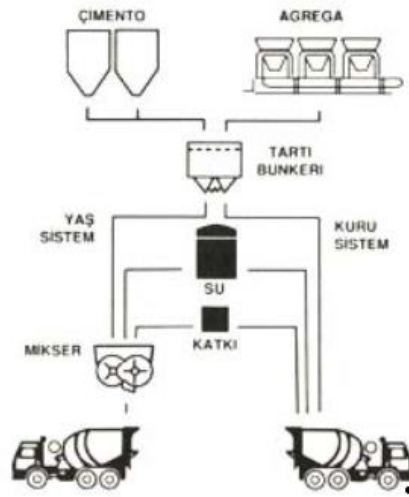


Şekil 4.3 : Klinker üretim şeması (Tunçez, 2021).

ECO₂, gömülü karbondioksit anlamına gelir ve bir malzemenin üretimi sırasında açığa çıkan toplam karbondioksit emisyonlarını ifade eder. Betonun yüksek ECO₂ seviyeleri, çimento üretim sürecindeki yüksek enerji talepleri ve kimyasal reaksiyonlar nedeniyle genellikle yüksektir. Betonun ECO₂ değeri, bileşenlerin toplam ECO₂ değerlerini minimize ederek azaltılabilir (Orhon, 2012).

Beton üretimi için önemli olan bir diğer malzeme agregadır. Agregada, inşaat malzemeleri üretiminde kullanılan kum, çakıl, taş, tüf gibi granül materyalleri ifade etmektedir. Betonun yaklaşık %25'i ince agregada, %45'i ise kaba agregadan oluşmaktadır. İnce agregada olarak kullanılan kum ve çakıllar nehirlerden, göllerden ve deniz kıyılarından elde edilebilir. Kaba agregada olarak kullanılan taşlar ise taş ocaklarından çıkarılıp kırılarak elde edilir.

Beton üretimi gerekli malzemelerin sağlanması durumunda şantiyede el ile veya betoniyelerle karıştırılarak yapılabileceği gibi hazır olarak da üretilebilir. Belli oranlarda bilgisayar tarafından kontrollü bir şekilde beton santralinde veya karıştırıcı kullanılarak üretilen betona ise hazır beton denilmektedir. Şekil 4.4'te hazır beton üretim diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.4 : Hazır beton üretim şeması (URL-2).

Betonun tanımlanması ve sınıflandırması genel olarak basınç dayanımına göre yapılır. Basınç dayanımı, taban çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm olan, suda $20^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ sıcaklıkta saklanmış, 28 günlük standart deney silindirlerinden elde edilir. Şekil 4.5'te TS500 standartlarına göre beton sınıfları ve dayanımları görülmektedir. Beton dayanım sınıfı C 50'nin üzerinde olan betonlar yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanmaktadır. (Hasol, 2017)

Beton Sınıfı	Karakteristik Silindir (150 mm x 300 mm) Basınç Dayanımı, f_{ck} MPa	Eşdeğer Küp (150mmx150mm) Basınç Dayanımı, f_{ck} MPa	Karakteristik eksenel çekme Dayanımı, f_{ctk} MPa	28 Günlük Elastisite Modülü E_c MPa
C16	16	20	1.4	27000
C18	18	22	1.5	27500
C20	20	25	1.6	28000
C25	25	30	1.8	30000
C30	30	37	1.9	32000
C35	35	45	2.1	33000
C40	40	50	2.2	34000
C45	45	55	2.3	36000
C50	50	60	2.5	37000

Şekil 4.5 : Beton sınıfları ve dayanımları (TS500).

Betonarme taşıyıcı sistemler yapı üretiminde birçok avantaja sahip olduğu gibi aynı zamanda dezavantajlara da sahiptir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin beton ve çelik kombinasyonu ile oluşan dayanıklılığı en önemli avantajıdır. Bunun yanında yangınlara karşı ve dış etkilere karşı dayanıklı olması, işçilik pratiğinin gelişmiş olması, estetik esnekliği sayesinde farklı tasarım ve şekillerde inşa edilebilir olması, bakımının kolay olması, düşük maliyetli olması, ömrünün uzun olması gibi avantajlar

betonarme taşıyıcı sistemler için kagir, ahşap ve çelik yapılara göre sayılabilecek avantajlardır.

Diğer yandan betonarme taşıyıcı sistemdeki elemanların yüksek mukavemetli olması için kesitlerinin büyük olması ve dolayısı ile ağır olması, uygulama süresinin uzunluğu, yüksek maliyetler, kalite sağlamanın diğer sistemlere göre daha zahmetli olması, güçlendirilmesinin zor olması, kirliliğe sebep olan çevresel etkileri betonarme taşıyıcı sistemlerin dezavantajları olarak sıralanabilmektedir.

4.5.2. Betonarme yapıların avantajları ve dezavantajları

Betonarme taşıyıcı sistemler yapı üretiminde birçok avantaja sahip olduğu gibi aynı zamanda dezavantajlara da sahiptir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin beton ve çelik kombinasyonu ile oluşan dayanıklılığı en önemli avantajıdır. Bunun yanında yangınlara karşı ve dış etkilere karşı dayanıklı olması, işçilik pratiğinin gelişmiş olması, estetik esnekliği sayesinde farklı tasarım ve şekillerde inşa edilebilir olması, bakımının kolay olması, düşük maliyetli olması, ömrünün uzun olması gibi avantajlar betonarme taşıyıcı sistemler için kagir, ahşap ve çelik yapılara göre sayılabilecek avantajlardır.

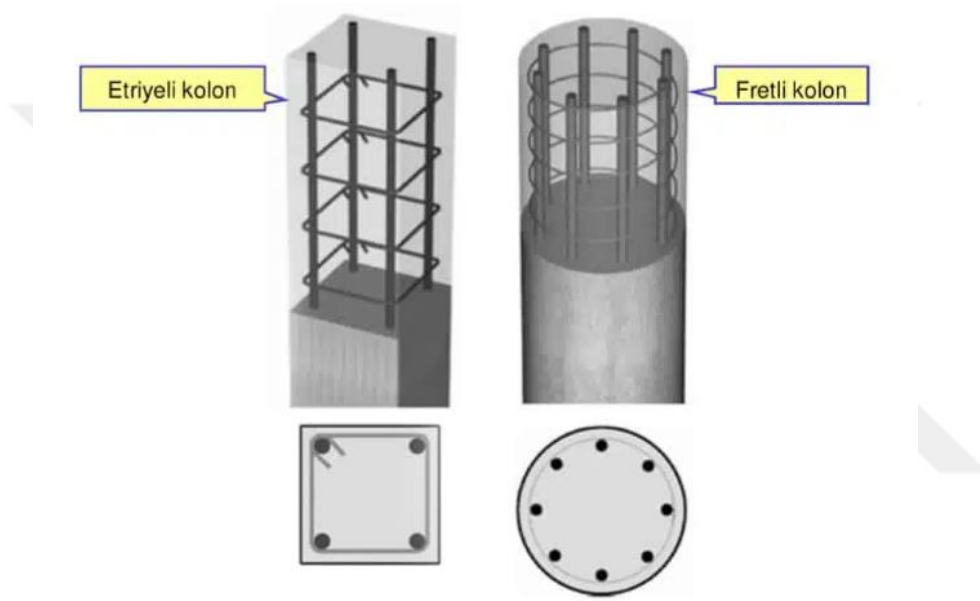
Diğer yandan betonarme taşıyıcı sistemdeki elemanların yüksek mukavemetli olması için kesitlerinin büyük olması ve dolayısı ile ağır olması, uygulama süresinin uzunluğu, yüksek maliyetler, kalite sağlamanın diğer sistemlere göre daha zahmetli olması, güçlendirilmesinin zor olması, kirliliğe sebep olan çevresel etkileri betonarme taşıyıcı sistemlerin dezavantajları olarak sıralanabilmektedir.

4.5.3. Betonarme yapı elemanları

Taşıyıcı sistemin sahip olduğu elemanlar yapılara etkiyen düşey ve yatay yükleri karşılayarak yapının ayakta kalmasını sağlayan yapı parçalarıdır. Betonarme taşıyıcı sistemin sahip olduğu yapı elemanları kolonlar, kirişler, döşemeler, temeller ve perde duvarlar olarak sıralanabilir. Bu elemanlar sistematik bir şekilde bir araya gelerek betonarme taşıyıcı sistemleri oluştururlar.

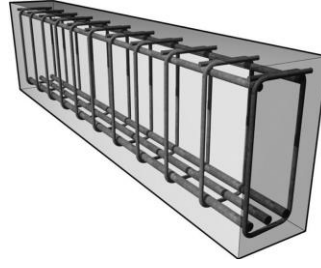
Kolonlar, bir binanın omurgası gibidir. Görevleri, binanın üzerine binen tüm yükleri güvenli bir şekilde temel sistemine aktarmak ve aynı zamanda yatay yüklerin neden olabileceği katların istenmeyen kaymalarını kontrol altında tutmaktır. Yani, kolonlar,

bir binanın dayanıklılığı ve dengesi için kilit bir rol oynarlar (Doğangün, 2014). Kolonların zeminden itibaren yük taşıma kapasitesi artar, bu nedenle daha üst katlara çıktıkça boyutlarının arttırılması gerekebilir. Bu boyut değişikliklerinin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için genellikle her 2-3 kat arasında uygun bir denge sağlanmaya çalışılır. Bu, kolonların güç ve dayanıklılığını artırmak için sıkça kullanılan bir yöntemdir. Kolonlar kesitlerine göre, dikdörtgen kesitli, daire kesitli ve çokgen kesitli kolonlar olarak şekillerine göre sınıflandırılabilir. Ayrıca donatı sarma biçimlerine göre etriyeli ve fretli olarak da sınıflandırılabilirler. (Şekil 4.6)



Şekil 4.6 : Etrieli ve fretli betonarme kolonlar (URL-3).

Kirişler, düşey taşıyıcı elemanlar olan kolonlar ve perde duvarlar üzerine yerleştirilerek üzerilerine etkiyen düşey doğrultudaki döşeme, duvar, kalıcı ve hareketli yükler ile yatay yükleri döşemeler ile birlikte kolon ve perde gibi düşey taşıyıcılar üzerine aktaran yapı elemanlarıdır (Doğangün, 2014). Betonarme kirişler tipik olarak dikdörtgen ve kare kesitli olup boyutları her projeye göre farklılık göstermektedir. Şekil 4.7’de çelik donatılar ile sarılmış ve beton dökülmüş betonarme bir kiriş görülmektedir.



şekil 4.7 : Betonarme kiriş (Bedi ve Dabby, 2019).

Döşemeler, yapılarda katları ayıran, üzerine ayak bastığımız, düşey ve yatay yükleri diğeri taşıyıcı elemanlara ileten taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Döşemeler üzerlerine etki eden düşey yükleri, üzerlerinde desteklenmiş oldukları kirişlere, kolonlara ve perde duvarlara iletirken, yatay yükleri kendi rijitliklerine bağılı olarak taşıyıcı elemanlar arasında pay etmektedirler (Doğangün, 2014). Betonarme döşemeler, plak ve kirişli ve dişli olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Kirişli döşemelerde, ihtiyaca göre iki yönde ya da tek yönde uzanan kirişler döşemeden gelen yükü kolonlara ya da perde duvara iletir. Bu döşemelerde geniş kenarın dar kenara oranı 2 sayısından büyük ise bu plak döşemenin sadece kısa kenar doğrultusunda mesnetlere yük aktarabildiğı kabul edilir. Tek doğrultuda çalışan döşemelere “hurdi döşeme” denir. Bu oran 2 sayısından küçük olduğunda ise plak döşemenin iki doğrultuda yük alarak mesnetlere aktarabileceğı kabul edilir ve bu tür döşemelere “dal döşeme” denmektedir (Berkin, 2021).

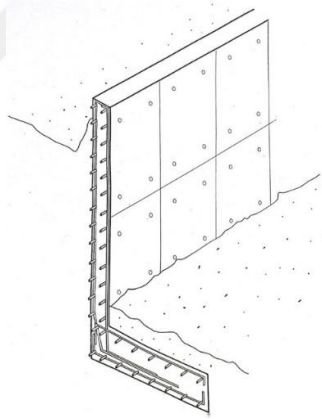
Dişli döşemeler nervürlü, asmolen ve kaset olmak üzere üç adettir. Nervürlü döşemelerde tek doğrultuda konumlandırılan diş denilen küçük kirişler ile yükler dağıtılmaktadır. Asmolen döşemeler nervürlü döşemelerin arasına dolgu malzemesi koyulmuş olanıdır ve mimari olarak tavanda kirişler görölmek istenmediğinde kullanılır. Kaset döşeme sistemleri ise genellikle geniş açıklık geçilen ve kolon görölmek istenmeyen mekanlarda kullanılmaktadır.

Plak döşemeler ise yapısında kiriş bulundurmeyen döşemeler olup, eğilme gerilmelerine karşı en fazla zorlanan döşeme sistemleridir. Plak döşemeler tablasız başlıksız kirişsiz döşemeler, tablalı kirişli döşemeler, başlıklı kirişsiz döşemeler (mantar döşeme), başlıklı ve tablalı kirişsiz döşemeler olmak üzere dörde ayrılmaktadır. (şekil 4.8)



Şekil 4.8 : Betonarme döşeme tipleri (Özcan ve Diğerleri, 2019).

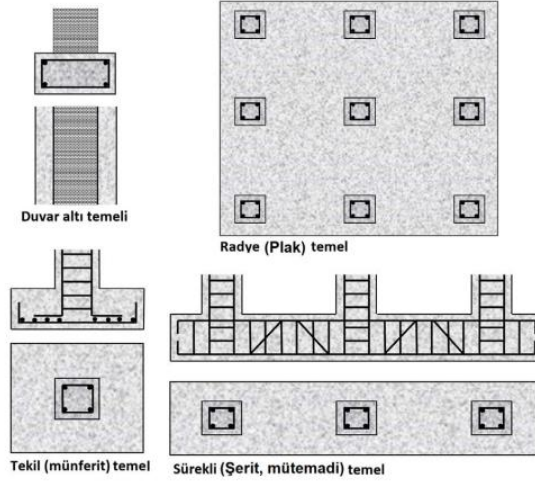
Betonarme perde duvarlar, uzun kenarın kalınlığa oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı yapı elemanlarıdır. Deprem yüklerinden ve pas payından dolayı perde duvarın kalınlığı en az 30 cm olmak zorundadır. Perde duvarlar, yapının yatay yüklere karşı direncini taşıyıcı sistemi optimum seviyelerde tutarak sağlamaktadır ve böylelikle kesit büyümelerinin önüne geçmektedir. (Şekil 4.9)



Şekil 4.9 : Perde duvar detayı (Berkin, 2021).

Temeller, bir yapının tüm yüklerini alan ve bunları zemine ileten, zeminle bağlantısını sağlayan yapı elemanlarıdır. Temel üzerindeki esas yük, üstyapıdan düşey yönde gelen hareketsiz ve hareketli yüklerin toplamıdır. Ayrıca rüzgar ve depremlerin neden olduğu yatay kuvvetler de temeli etkiler. Temel sistemleri, üst yapıda rüzgarın oluşturduğu yatay kuvvetleri taban sürtünmesi ile karşılayabilmeli, kayma ve devrilmeye karşı binayı zemine bağlamalı, depremin ortaya çıkardığı alt zemin hareketlerine karşı koymalı ve yapıyı çevreleyen toprak kütle ve zemin suyunun temel duvarları üzerinde yarattığı basınca dayanım göstermelidir. Temeller yüzeysel ve derin temeller

olmak üzere iki grupta toplanabilir. Yüzeysel temeller, basit temeller, tekil temeller, sürekli temeller, radye temeller olarak dörde ayrılırken, derin temeller ise kazık temeller ve keson temeller olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Erten, 2018) (Şekil 4.10).



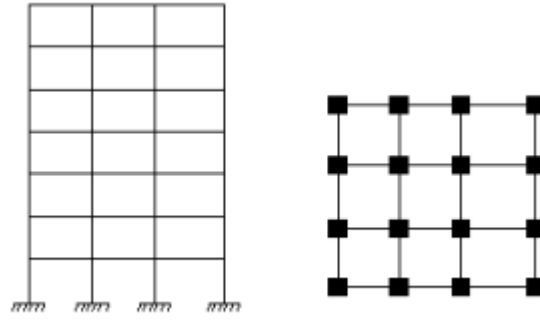
Şekil 4.10 : Yüzeysel temel tipleri (Pul, 2018).

4.5.4. Betonarme taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması

Betonarme taşıyıcı sistemler birçok farklı şekilde tasarlanabilmektedir. Genel olarak betonarme taşıyıcı sistemler, iskelet sistemler olarak da adlandırılan çubuklar ve çubuk taşıyıcı elemanlar ile yüzeysel taşıyıcılar olarak iki gruba ayrılabilir. Betonarme yapılar çoğunlukla iskelet sistemler olarak tasarlanmaktadır. İskelet sistemler işçilik anlamında en kolay uygulanabilen ve en ekonomik sistemlerdir. Bu sistemler çerçeve oluşturacak şekilde düzenlenmiş yatay ve düşey elemanlar olan çubuklardan yani taşıyıcılardan oluşmaktadır. Betonarme taşıyıcı sistemleri; çerçeve sistemler, perde sistemler, perde-çerçeve sistemler ve tüp sistemler olarak sınıflandırmak mümkündür.

4.5.4.1. Çerçeve sistemler

Betonarme yapıların taşıyıcı sistemleri arasında önemli bir yer tutan çerçeve sistemler, kolonlar, kirişler ve döşemelerin bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Bu sistem, yapı elemanlarının entegrasyonu ile sağlanan rijitlik sayesinde güçlü bir taşıyıcı yapı oluşturmaktadır. Bu taşıyıcı sisteme sahip yapıların depremlerde enerji tüketme güçleri diğer sistemlere göre daha az olduğu için bu sistemlerin enerji tüketme güçlerini arttırmaya yönelik yönetmeliklerde eleman boyutlarına ve tasarımlarına ilişkin birçok sınırlama getirilmiştir (Doğangün, 2014). Şekil 4.11’de betonarme çerçeve sisteme ait bir şema görülmektedir.



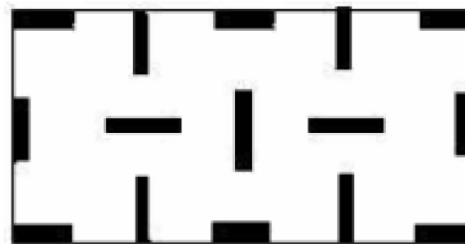
Şekil 4.11 : Çerçeve sistem plan ve kesit şeması (Taş, 2013).

Betonarme çerçeve taşıyıcı sistemler seçilmesi durumunda dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yapıya ait kolonların en az iki yönde kirişler ile birbirine bağlanarak bir çerçeve oluşturmalarıdır.

4.5.4.2. Perde sistemler

Perde duvarlar, betonarme bir yapıdaki taşıyıcı elemanlardan biri olup, döşemelerden ve kirişlerden gelen yatay ve düşey yükleri etkili bir biçimde zemine iletmekle görevlidir. Perdeli sistemlerde, perde duvarlar, özellikle deprem anlarında oluşabilecek yapısal hareketleri kontrol altında tutarak, yapıya dayanıklılık ve güvenlik kazandırmak için önemlidir. Perdeli sistemlerin deprem yüklerine karşı enerji tüketme gücü çerçeve sistemlere göre daha fazladır (Yılmaz, 2006). Şekil 4.12’de perdeli sisteme ait plan şeması görülmektedir.

Perde duvarlar, genellikle yüksek binalarda yatay yükleri taşıma amacıyla kullanılmaktadır. Binanın kat yüksekliği arttıkça, kesit boyutları ve dolayısıyla kolon boyutları da artar. Ancak, bu durum hem mimari açıdan istenmeyen büyük kolon boyutlarını ortaya çıkarabilmekte hem de yüksek maliyete sebep olabilmekte olup bu nedenle, perde taşıyıcılar tercih edilmektedir. Perde sistemler, düşey yüklerin yanı sıra yapının rijitliğini artırarak yatay yükleri ve ötelenmeleri sınırlandırıp mimari açıdan daha uygun bir çözüm sunmaktadır (Doğangün, 201).

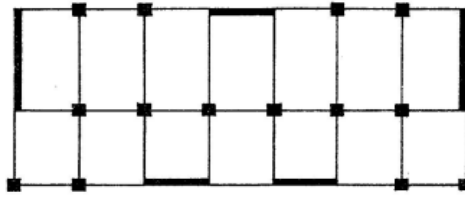


Şekil 4.12 : Perde sistem plan şeması (Yılmaz, 2006).

Perde duvarların plan düzleminde konumu belirlenirken, binanın işlevi ve mimari unsurları göz önüne alınarak belirlenmektedir. Plandaki perde duvar yerleşiminde simetriyi korumaya ve yapıdaki burulma rijitliğini arttırmaya yönelik tasarıma dikkat edilmelidir. Perde duvarlar özellikle sistemin rijitliğini önemli ölçüde arttırdığı için her iki yönde de dengeli bir şekilde yerleştirmek yapısal bütünlüğü sağlamak adına önemlidir (Taş, 2013). Bu sistemlere daha ekonomik olması için toplu konutlarda uygulanan tünel kalıp sistemler örnek verilebilir.

4.5.4.3. Perde-çerçeve sistemler

Perde duvarlı çerçeve sistemler yapıda hem perde duvarların hem de kolon kiriş çerçeve sistemlerin bulunduğu karma betonarme taşıyıcı sistemlerdir. Perde duvarlı çerçeveli sistemler yatay yüklerin karşılanması konusunda oldukça iyi bir performansa sahiptir. Kolon kiriş sistemi ile oluşturulan çerçevelerin yanında perdelerin kullanılması sistemin kesit boyutlarını optimize ederek mimari açıdan fayda sağlayabilmektedir. Şekil 4.13’de perde-çerçeve sistemli bir plan şeması görülmektedir.

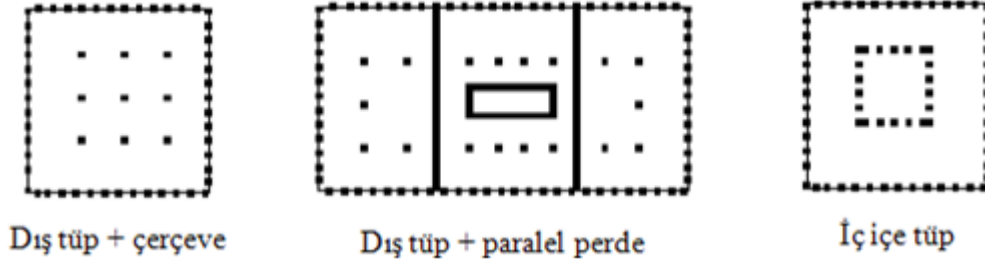


Şekil 4.13 : Perde sistem plan şeması (Özlü, 2015).

4.5.4.4. Tüp sistemler

Yapı yüksekliğinin artması ve yüksek yapı yapılması istenilen durumlarda perde duvarlı çerçeveler yeterli yatay rijitliği sağlayamadığı ve tercih edilmesi durumunda da ekonomik olarak yüksek maliyetli olacağı için tüp sistemli betonarme taşıyıcı sistemler tercih edilmektedir.

Tüp sistemler yapının dış yüzeyine 1-3 metre arasında değişmekte olan aralıklar ile kolonların yerleştirildiği ve bu kolonları birbirine kenetleyen kirişlerin bulunduğu sistemlerdir. Kolonları kuşaklama bağlayan kirişlerin yüksekliği 0,6-1,2 metre ve genişlikleri ise 0,25-1,00 metre arasında değişim göstermektedir. Bu sistemler literatürde çerçeve tüp sistemler olarak da adlandırılmaktadır (Doğangün, 2014). Şekil 4.14’da tüp sistemlere ait plan şemaları görülmektedir.



Şekil 4.14 : Tüp sistemler (Taş, 2013).

Tüp sistemler, Şekil 4.10’da da görülebileceği gibi dış tüp ve çerçeve, dış tüp ve paralel perde, iç içe tüp, ve demet tüp sistem gibi farklı şekillerde tasarlanabilmektedir (Taş, 2013).

4.6. Çelik ve Çelik Taşıyıcı Sistemler

Çelik taşıyıcı sistemlere bir önceki bölümlerde kısaca değinilmiş ve bu sistemler hakkında özet şeklinde bilgiler verilmiştir. Bu bölümde çelik malzemenin üretim süreçleri ve çelik taşıyıcı sistemler daha detaylı incelenecektir.

Çelik, demir ve karbon içeren bir alaşım olup son derece güçlü ve dayanıklı bir malzemedir. Çeliğin özelliklerini belirlemede ana faktörler, içeriğindeki karbon ve çeşitli diğer metalik elementlerdir. Binalarda kullanılan yapısal çelik için karbon içeriği genellikle yaklaşık olarak %0.2 ila %1.5 arasında değişmektedir. Fazla miktarda karbon, sert, kırılkan bir metal üretebilirken, çok az karbon, nispeten yumuşak, zayıf bir metal üretebilir. Yapısal çelik terimi, binalarda yük taşımak ve yapıyı ayakta tutmak için kullanılan çelik için kullanılmaktadır. Çelik taşıyıcı sistemler, çelik malzemenin hafif, dayanıklı ve esnek yapısı nedeni ile özellikle deprem bölgelerinde, yüksek yapılarda ve karmaşık sistemli yapılarda çokça tercih edilmektedir. Kısa süren üretim ve montaj süreçleri aracılığı ile zaman tasarrufu sağlaması, mimari estetiğe uygun şekillendirilebilmesi, geri dönüştürülüp yeniden kullanılabilir olması ve güvenilirliği çelik taşıyıcı sistemlerin tercih edilmesinin diğer nedenleridir. Bu sebeple çelik taşıyıcı sistemler geniş açıklıklı sistemler, köprüler, yüksek yapılar gibi birçok özel yapıda geniş kullanım alanına sahiptir.

4.6.1. Çelik ve üretim süreçleri

Günümüzde birçok sektörde kullanılan çelik malzemenin yenilikçi ve ekonomik üretimi ilk olarak 1856 yılına, Bessemer yöntemine dayanmaktadır. Bu tarihten önce

dövme çelik yöntemi ile çelik üretimi yapılabilir olsa da kalite kontrolü zor ve pahalı olan çelik malzemenin kullanımı o kadar yaygın değildir. Bessemer, Siemens-Martin ve Thomas yöntemleri çelik üretiminde ham demirin sıvı haldeyken arıtılmasına olanak sağlamış ve çelik üretimi kolaylaştırmıştır. 20. Yüzyıla gelindiğinde elektrik fırınlarının devreye girmesi ile dökme çelik üretimi artış göstermiş ve 1890 yılından sonra dökme çelik dövme çeliğin yerini tamamen almıştır (Öğüt, 2006).

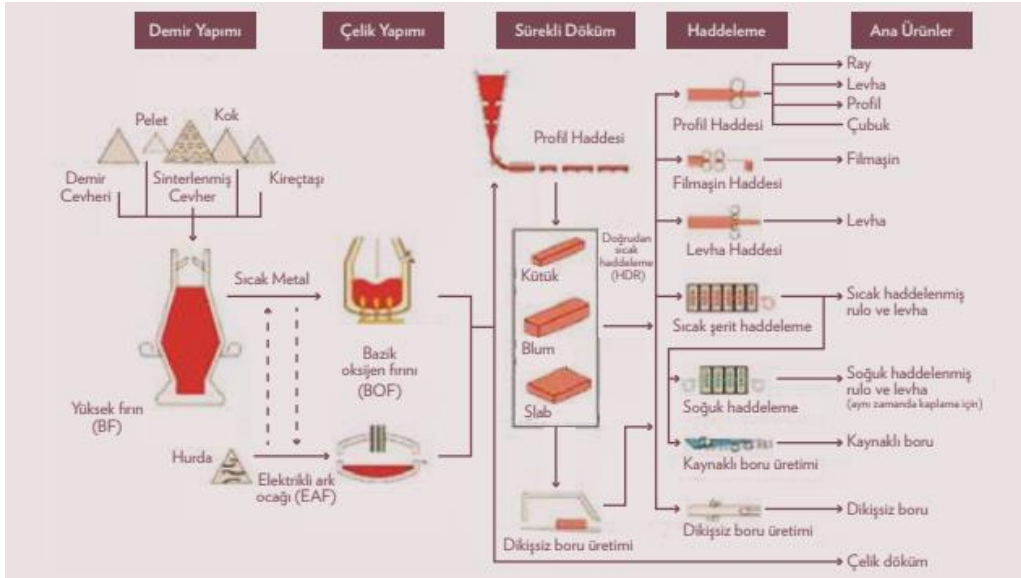
Bessemer ile başlayan dökme çelik üretimi daha sonraları geliştirilerek Thomas ile devam etmiştir. Thomas yöntemi ile üretilen çeliğin şekillendirme kabiliyetinin sınırlı olması sonrası Siemens-Martin yöntemi ile devam edilmiştir. Bu yöntem uzun bir süre kullanılarak çelik üretiminin temeli olarak görülmektedir. Günümüz teknolojisinde ise, geçmişte kullanılan bu yöntemlerin yerini ham çelik üretiminde iki tip temel üretim yöntemi olan bazik oksijen fırını ve elektrikli ark ocakları almıştır.

Bazik oksijen fırınları ile çelik üretim yöntemi entegre çelik üretim süreci olarak da bilinmektedir. Bu yöntemde ham çelik malzeme demir cevherinden üretilir. Öncelikle demir cevheri bazik fırında pik demire diğer bir deyişle sıcak metale dönüştürür. Bu aşamada elde edilen pik demir içerisine belirli miktarlarda kireçtaşı, oksijen ve var ise hurda çelik katılarak bazik oksijen fırında ham çelik elde edilmektedir (Baş, 2023).

Elektrikli ark ocaklarında çelik üretimi ise ikincil çelik üretim yöntemidir. EAO’nda tamamen hurda çelik veya cevher bazlı demir metalleri elektrik akımı üreten elektrotlar ve doğalgaz girdileri ile yüksek sıcaklıklarda eritilip yeni çelik üretimi gerçekleştirilir. Bu üretim yöntemi mini çelik tesislerinde geri dönüştürülmüş çelik üretimi olarak adlandırılmaktadır (Baş, 2023).

Şekil 4.15’de BOF ve EAO yöntemlerine ait çelik üretim süreci şeması ve üretilen çelik ürünler görülmektedir. Çelik üretim süreçleri hem EAO hem de BOF yöntemleri için büyük ölçüde aynıdır. Çelik üretim süreci sırasıyla hammadde hazırlık adımları ile başlayıp demir yapımı, çelik yapımı, döküm ve haddeme şeklindedir. Hammadde hazırlık aşaması BOF üretim yöntemi için demir cevheri, kok ve kireçtaşı ile kullanılacak hurda ürünlerin hazırlanması aşaması, EAO yöntemi için ise hurda çeliğin hazırlanması aşamasıdır. Demir yapımı aşaması BOF yöntemi ile demir cevherinden pik demir elde edilmesi aşamasıdır. Daha sonra çelik yapımı aşamasında BOF yöntemi ile pik demir içerisine kireçtaşı, oksijen ve hurda çelik katılarak ham çelik oluşturulurken, EAO yönteminde ise hurda çelikten ham çelik elde edilir. Her iki

yöntem içinde döküm aşamasında elde edilen ham çelik kütük, blum, slab gibi katı biçimlere dönüştürülür. Son aşama olan haddeleme aşamasında ise sürekli döküm makinelerinde oluşturulan ürünler haddehanelerde işlenerek uzun ve yassı ürünler ile son ürün olan çelik ürünler elde edilir (Baş, 2023).



Şekil 4.15 : Çelik üretim süreçleri ve çelik ürünler (Baş, 2013).

Çelik ürünlerin üretim süreci esnasında birçok farklı çevresel kirleticiler doğaya salınmakta ve çevre kirliliği oluşmaktadır. Özellikle sera gazı emisyonları bunların en önemlisi olup demir çelik sektörü tüm dünyadaki sera gazı emisyonlarının yaklaşık %7'sinden ve CO₂ emisyonlarının %11'inden sorumludur. Bunun yanında geri dönüştürülmüş çelik kullanımı bu emisyonları bir miktar sınırlayıcı etkiye sahiptir. Hurda çeliğin geri dönüştürülüp çelik üretiminde kullanılması 1,5 ton karbondioksit emisyonunu, 740 kg kömür ve 120 kg kireçtaşı kullanımını, 1,4 ton demir cevheri tüketimini önlemektedir (Baş,2023; Fan ve Friedmann, 2021).

BOF yöntemiyle çelik üretim sürecinde üretilen her ton çelik için 18 GJ enerji tüketilmektedir. Ayrıca BOF yöntemiyle çelik üretiminde genellikle ham çelik tonu başına 1,6 ile 2,0 ton arasında CO₂ emisyonları gerçekleşmektedir. AB'de ise bu rakam ortalama olarak bir ton çelik için yaklaşık 1,9 ton CO₂ emisyonu olarak ölçülmüştür. EAO yöntemi ile %100 hurda ve geri dönüştürülmüş çelik üretilmesinden dolayı AB'de ortalama ölçülen karbon emisyonu 0,4 CO₂/ton olarak gözlemlenmiştir (Hydrogen Europe, 2022). Bu verilerden görüldüğü üzere çelik üretim sektöründe geri dönüştürülmüş çelik kullanımı sera gazı emisyonlarının azalmasına yardımcı olur.

4.6.2. Çelik yapıların avantajları ve dezavantajları

Yapısal çelik malzeme, 19. yüzyılın sonlarına kadar köprü ve bina inşasında kullanılan demirin yerini alması sonrası yüksek mukavemeti sebebi ile yapı sektörüne ilk üretildiği günden bu yana çağ atlatmıştır. Günümüze kadar Chicago’da bulunan ve tamamen çelik konstruksiyon olan Willis Tower gibi birçok dikkat çekici yapı çelik sistemler ile üretilmiştir. Her yapı sisteminde olduğu gibi çelik yapıların da avantajları ve üstün yönlerinin yanında dezavantajları ve sakıncalı yönleri vardır. Çelik yapıların avantajlarını mimari açıdan, mühendislik açısından ve uygulama açısından değerlendirmek mümkündür.

Mimari açıdan bakıldığında çelik taşıyıcı sistemlerde tekrar düzenleme yapılabilir olması, ekleme ve çıkarmalar yapılarak mekan organizasyonunun değiştirilebilir esneklikte olması tasarımcılar için önemli bir özelliktir. Ayrıca çelik yapıların farklı şekillerde birleştirilebilir ve montajlanabilir olması sayesinde serbest formların biçimlenmesine imkan vererek mimari açıdan tasarımcılara farklı geometrilere tasarım yapma imkanı ve özgürlük kazandırmaktadır. Çelik yapıların serbest form oluşturma dışında sunduğu bir başka mimari avantaj ise geniş açıklıklar geçme kabiliyeti ve bu sayede geniş mekanlar elde etme imkanıdır. Bu sayede tasarımcılar konser salonları, spor kompleksleri, endüstri binaları gibi mekan içerisinde kolon olmadan tasarlama imkanına sahip olmuşlardır. Bir diğer avantaj ise, çelik yapıların yüksek dayanıklılıkları sayesinde öz ağırlıklarının taşıdıkları yüke oranının küçük olması olup bu sayede taşıyıcı eleman kesitlerinin küçülmesidir. Böylelikle betonarme yapılardaki gibi geniş açıklıkları geçerken geniş ve yüksek kiriş boyutlarına gereksinim duyulmamaktadır (Öğüt, 2006; Aghayare ve Vigil, 2020).

Mühendislik açısından incelendiğinde, yapısal çeliğin yüksek mukavemet-ağırlık oranı sayesinde eleman boyutlarının küçülmesi ve yapının hafiflemesi önemli bir avantajdır. Azalan yapı ağırlığı sayesinde daha yüksek yapılar yapılabilmesi ve yapıya etki eden deprem kuvvetlerinin azalması ile depreme daha dayanıklı binalar yapılabilmesi bir diğer avantajdır. Çelik malzemenin sünek özelliği sayesinde deprem karşısında performansı yüksektir (Öğüt, 2006; Aghayare ve Vigil, 2020).

Uygulama açısından bakıldığında çelik yapı sistemlerinin prefabrike olarak üretilerek, inşaat sahasında montaj yapılması şeklinde inşası daha kolaydır. Bu sayede betonarme yapılar ile kıyaslandığında daha hızlı bir şekilde imal edilebilir olmaları önemli bir

avantajdır. Ayrıca elik elemanların fabrika ortamında üretiminde, uzman denetiminde üretilmesi, bilgisayar ortamında denetlenmesi, vasıflı işçilik sayesinde denetleme kolaylığı ve kalite kontrol kolaylığı önemli bir avantajdır. Fabrika ortamında üretilip sahada montjlanan elik yapılarda fabrika ortamında atık yönetimi yapılması, evre kirliliğinin azaltılması gibi önemli çevresel avantajlar da vardır. elik yapıların montajı, diğer yapı malzemelerine kıyasla hava koşullarından daha az etkilenir, bu da elik montajının en soğuk iklimlerde bile gerçekleşmesine olanak tanır (ğt, 2006; Aghayare ve Vigil, 2020).

Diğer bir yandan, elik yapıların avantajları olduğu kadar birtakım dezavantajları da vardır. elik malzemenin korozyona duyarlı olması önemli bir dezavantajdır. elik yapılar hava koşullarına karşı korumasız bırakıldığında korozyona yani paslanmaya maruz kalmaktadırlar. Bu sebeple elik malzemenin galvanizasyon, çinko içerikli boyalar veya birtakım kimyasallar ile boyanması ve düzenli olarak bakımının yapılması gerekmekte olup, artan bakım maliyetleri önemli bir dezavantajdır. elik malzemenin yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilenmesi bir diğer dezavantajdır. elik malzeme çok yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini ve dolayısı ile mukavemetini kaybeder ve bu sebeple yangından korunmak için yangına dayanıklı kaplamalara ihtiyaç duymaktadır. Ses ve ısı iletkenliğinin iyi olması da elik yapılarda bir dezavantaj olup bu sebeple yalıtım konusu da önemli bir husustur (ğt, 2006; Aghayare ve Vigil, 2020).

4.6.3. elik yapı elemanları

elik yapıların temel yapı bileşenleri ve yapı elemanları hadde mamullerinden oluşmaktadır. Hadde, madenleri tel, çubuk, demir ya da profil haline getirmek için kullanılan ve çeşitli büyüklükte ve biçimde delikleri olan alet olup, madenlere bu deliklerden geçirilmek ve çekilmek sureti ile şekil verilmektedir. Haddeleme işlemi soğuk çekim veya sıcak çekim olmak üzere iki farklı türde yapılabilmektedir (Hasol, 2017).

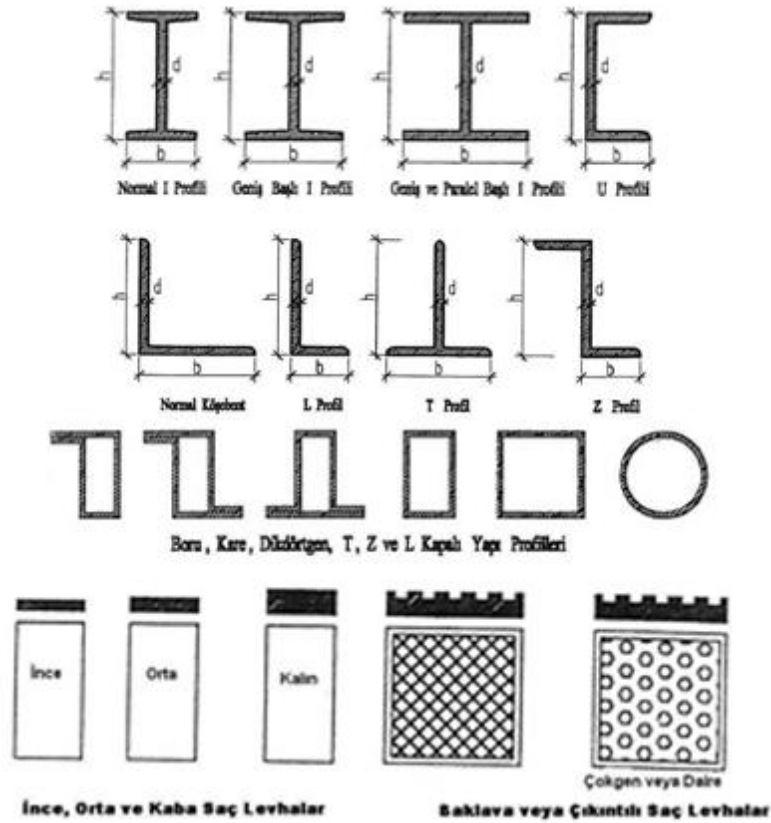
elik retim sürecinde elik haddelenerek profil, lama, levha, çubuk, filmaşın, sıcak haddelenmiş levhalar veya rulolar, soğuk haddelenmiş rulolar veya levhalar, kaynaklı boru, dikişsiz boru gibi ürünlere dönüştürülmektedir. Haddeleme işlemi sonrası oluşacak elemanların kesit alanları, boyutları gibi özellikleri belirli ulusal ve uluslararası standartlar ile belirlenir (Salmon ve Johnson, 2008).

Profiller açık ve kapalı profiller olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. “I”, “H”, “C”, “L”, “T” gibi profiller açık profillerdir. I ve H kesitli çelik profiller burulmaya karşı yüksek dirence sahiptir ve yapılarda çoğunlukla kolon ve kiriş olarak kullanılmaktadır. C kesitli profiller çelik yapılarda kiriş, enine kirişler ve duvar iskeleti vb. olarak kullanılmaktadır. L profiller basınç ve çekme çubukları olarak ve bağlantı elemanları olarak kullanılmaktadır. T profiller yaygın olarak makaslar gibi birleştirilmiş profiller için bağlantı elemanı olarak kullanılmaktadır. Kapalı profiller ise dikdörtgen kesitli ve içi boş olan kutu profiller ile daire kesitli boru profiller olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kapalı profiller de çelik yapılarda kolon, kiriş, bağlantı elemanı gibi birçok şekilde kullanılmaktadır (Çelik, 2003; Salmon ve Johnson, 2008).

Lamalar, uzun, ensiz, yassı ve dikdörtgen şekilli çeliklerdir (Hasol, 2017). Lamalar yassı lamak çelikleri, ince lama çelikleri, geniş lama çelikleri olarak ayrılmaktadır.

Levhalar, enine ve boyuna göre kalınlığı düşük olan, 10 mm’den ince çelik elemanlardır (Hasol, 2017). Levhalar düz levhalar, kubbeli levhalar, silindirik levhalar ve oluklu levhalar olarak ayrılmaktadır.

Şekil 4.16’da bazı standart çelik hadde mamulleri görülmektedir.



Şekil 4.16 : Bazı standart çelik hadde mamulleri (Öztürk, 2008).

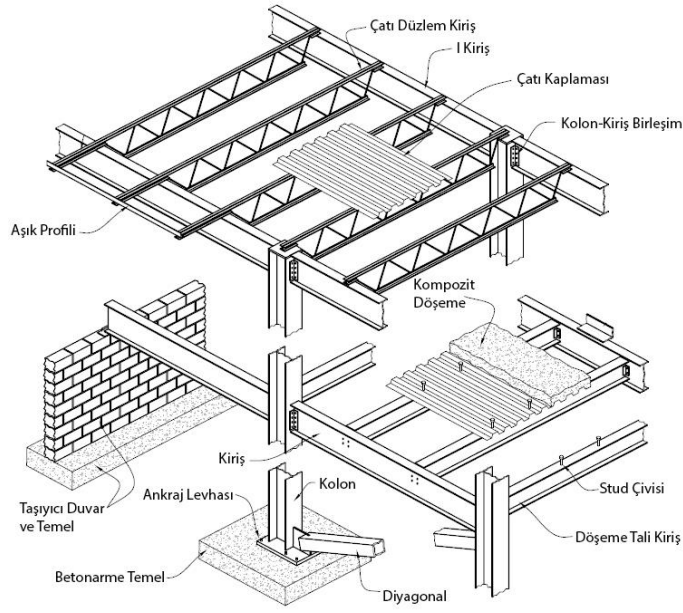
Çelik hadde mamullerinin her biri çelik konstruksiyon bir yapıda taşıyıcı sistem elemanlarını oluşturmakta ve bu elemanlar bir araya gelerek yapı iskeleti olan çelik taşıyıcı sistemi oluşturmaktadır. Bu birleşimler sayesinde çelik sistemler ile farklı form ve biçimler oluşturulabilmektedir. Çelik elemanların bu birleşimleri farklı şekillerde yapılabilir. Bu birleşimler birleştirici elemanlara göre çözülebilen birleşimler ve çözilemeyen birleşimler olarak incelenebilir.

Çözülebilen birleşimler bulonlu birleşimlerdir. Bulonlu birleşimler çelik elemanların birleştirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Çelik elemanlar üzerine delikler açılarak pul ve somunlar ile birleştirilir. Bu yöntem sayesinde çelik elemanların birleşimi hızlı yapılabilirdi gibi elemanların demontajı da mümkündür.

Çözilemeyen birleşimler kaynaklı birleşimler, perçinli birleşimler ve tutkalı birleşimlerdir. Kaynaklı birleşimler iki veya daha fazla çelik elemanın elektrik arkı veya alev ile eritme ve basınç ile veyahut hem basınç hem eritme ile birleştirilmesi şeklinde olan birleşimlerdir. Kaynaklı birleşimlerde bağlantı noktasında iki metal kızıl dereceye kadar ısıtılarak plastik kıvam aldıktan sonra bir dolgu metali kullanılarak birleştirilebileceği gibi herhangi bir parka kullanılmadan direkt olarak da birleştirilebilmektedir.

Bir diğer çözilemeyen birleşim yöntemi ise perçinli birleşim yöntemidir. Perçinli birleşimler ismini genellikle iki veya daha fazla çelik levhayı birbirine bağlayan ve bu levhalar üzerine açılan deliklere vurularak yerleştirilen perçinlerden almıştır. Perçin, deliğe yerleştirilip çeşitli yöntemlerle dövülmesine bağlı olarak 'sıcak perçin' veya 'soğuk perçin' olarak adlandırılır

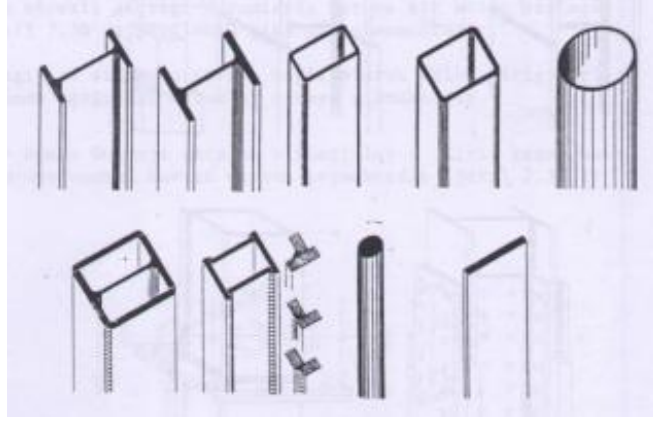
Bir diğer birleşim olan tutkalı birleşimlerin çelik malzemeler ve metalleri birleştirmek için kullanımı son günlerdeki yeni bir gelişmedir. Bu yöntem genellikle uçak endüstrisinde, farklı boyut ve çaptaki malzemelerin farklı formlar üretmek ve düzgün bir dış yüzey sağlamak için kullanılmaktadır (Hasol, 2017; Ögüt, 2006; Öztürk. 2008).



Şekil 4.17 : Çelik taşıyıcı sistem elemanları (Aghayare ve Vigil, 2020).

Binalara etkiyen düşey ve yatay yükleri karşılayarak yapının ayakta kalmasını sağlayan yapı elemanları, taşıyıcı sistem malzemesi ne olursa olsun temel, kolon, kiriş, döşeme olarak sıralanabilir. Çelik taşıyıcı sistemler yapıyı ayakta tutmak üzere birçok yapı elemanının sistematik bir şekilde birleşiminden meydana gelmektedir. Şekil 4.17’de çelik iskelet taşıyıcı sistemlere ait çelik yapı elemanları görülmektedir.

Çelik yapılarda kolonlar birçok farklı kesitli profillerden oluşabilmektedir. Tek parçadan oluşan çelik kolonlar I ve H kesitli profiller ile dikdörtgen ve daire kesitli profillerden oluşmaktadır. Eksenel olarak, kolona binen yükleri en etkili şekilde zemine aktaran profiller, paralel flanşlı geniş I ve H profillerdir. Tek parçadan oluşan bu kolonlar özellikle yüksek yapılarda yük taşıma kapasitesini sağlayamadığında genellikle farklı profillerin birleştirilmesiyle oluşturulan çok parçalı kolonlar kullanılabilir. Bu çok parçalı kolonlar I, H ve U profiller kullanılarak bu profillere farklı saçlar kaynaklanarak elde edilmekte olup ve genellikle][, [] veya II gibi şekillerde olmaktadır. (Şekil 4.18) Dikdörtgen veya daire kesitli çelik kolonlar içerisine beton dökülerek uygulanan kompozit kolonlar da son yıllarda çokça kullanılmaktadır. Bu kompozit kolonlar sayesinde kolonun yük taşıma kapasitesi artırılarak dayanıklılığı artırılabilir (Öğüt, 2006; Aghayare ve Vigil, 2020)

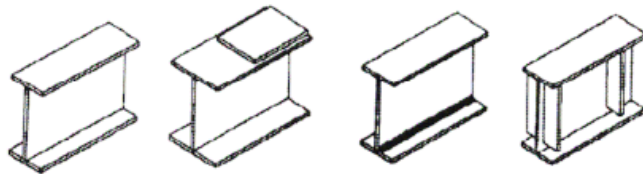


Şekil 4.18 : Çelik kolon kesitleri (Özgen Ve Bayramoğlu’ndan Aktaran Çelik, 2003).

Çelik kolonlara örnek olarak ayrıca ağaç gövdeli kolonlar, çok parçalı basınç çubuklarından oluşan kolonlar ve kafes gövdeli kolonlar örnek olarak verilebilir.

Çelik kirişler, üzerlerine etki eden yüklere, geçtikleri açıklıklara, bina içerisindeki tesisatların şekline bağlı olarak, dolu gövdeli kirişler, boşluklu gövdeli kirişler veya kafes gövdeli kirişler olarak sıralanabilir (Öztürk, 2008).

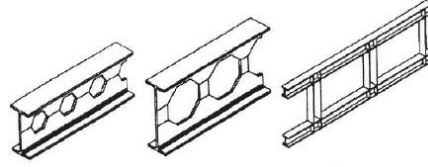
Hadde mamülü profiller, profillerler ve levhalarla oluşturulmuş birleşik en kesitler, levhalı en kesitler dolu gövdeli çelik kirişler olarak sıralanabilir. Dolu gövdeli kirişler, çoğunlukla eğilmeye çalışan kirişlerdir. Dolu gövdeli kirişle, çelik taşıyıcı sistem içerisinde ana kiriş, tali kiriş, çatı aşığı gibi farklı biçimlerde kullanılabilir. Hadde mamulu profiller özellikle binalarda çift simetrik I profiller olarak tercih edilmektedir. Genellikle kenar kirişlerinde ve çatı aşıklarında kullanılan U profiller eğilme ve burulma momentlerinden dolayı fazla yüklü olmamalı ve buna yönelik önlemler alınmalıdır. Hadde mamulu profillerin enkesitlerinin yetersiz olduğu durumlarda bu profillerin başlıklarına levhalar eklenerek levhalı en kesit kirişler oluşturulabilir ve bu durumda kirişin mukavemeti yükseltilebilir (Üstündağ, 2013) (Şekil 4.19)



Şekil 4.19 : Dolu gövdeli çelik kirişler (Öztürk, 2008).

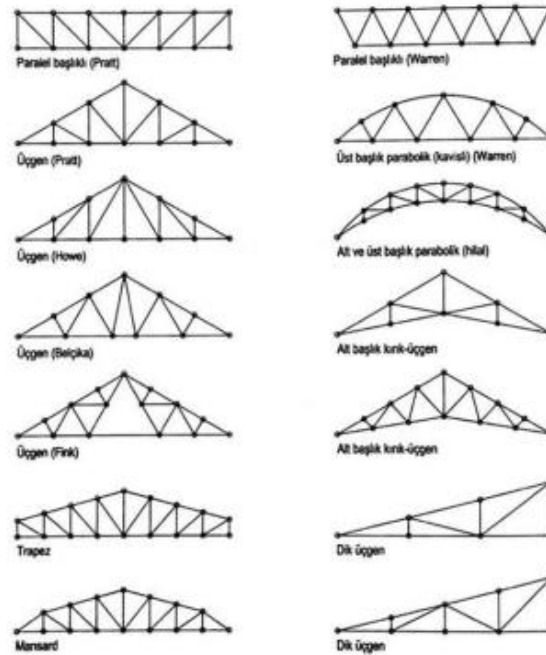
Geniş açıklıkların geçildiği durumlarda dolu gövdeli çelik kirişlerin yüksekliği ve ağırlığı artacağı için ekonomik olarak efektif olmamaktadır. Bu durumlarda boşluklu

gövdeli kirişler tercih etmek kiriş ağırlığını azaltmaktadır. Petek kirişler ve vierendel kirişler boşluklu gövdeli kirişlere örnek olarak verilebilir. Boşluklu gövdeli kirişler ayrıca binaya ait tesisat sistemlerinin kiriş içerisinden geçirilebilmesi avantajı ile de öne çıkmaktadır. (Şekil 4.20)



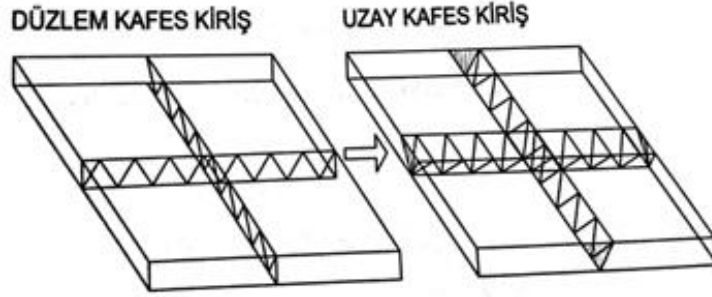
Şekil 4.20 : Boşluklu gövdeli çelik kirişler (Öztürk, 2008).

Kafes kirişler temel olarak çekme ve basınç çubuk elemanların birbirine bağlanması ile oluşan üçgensel sistemlerdir. Bu çubuk elemanların birbiri ile bağlandığı noktalara düğüm noktası denmektedir. Çubuk eksenleri tek doğrultuda ve aynı düzlemde olanlara düzlem kafes kirişler, her doğrultuda ve üç boyutlu olanlara uzay kafes kirişler denilmektedir. Geniş açıklıkların geçilmesinde kafes kirişler ve kafes sistemler ekonomik ve avantajlı olmaktadır. Düzlem kafes kirişlerin en üst ve en alttaki çubuk elemanlarına üst başlık ve alt başlık, bu çubuklar arasında yer alan çubuklara da örgü çubukları denmektedir. Şekil 4,21’de düzlem kiriş şema örnekleri görülmektedir. Kafes kirişler düşey yükler etkisi altındayken alt başlık elemanları çekmeye, üst başlık elemanları basınca çalışmaktadır (Üstündağ, 2013; Hasol, 2017; Erten, 2018).



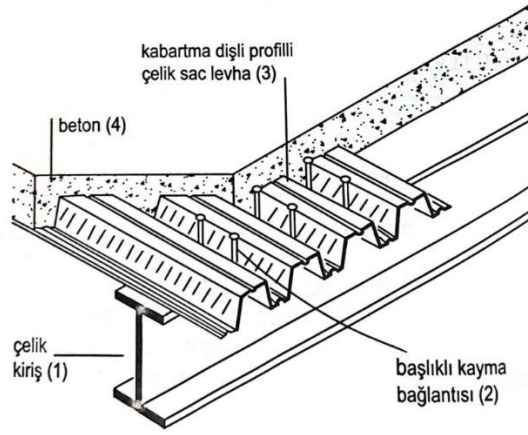
Şekil 4.21 : Düzlem kiriş şema örnekleri (Erten, 2018).

Çelik uzay kafes kirişler, farklı düzlemlerdeki boyuna doğrultuda öekme ve basınç kuvvetleri alan çubukların bşr düğüm noktasında birleşmesi ile oluşan üç boyutlu kirişlerdir. Şekil 4.22’de düzlem ve uzay kafes kiriş farkı görölmektedir. Uzay sözcüğü çubuk elemanların hepsinin düzlem kirişlerde olduğı gibi çubukların eksenlerinin tek bir düzlemde değıl, birbirini kesen fazla düzlemde bulunması sebebiyle oluşan üçüncü boyutu ifade etmektedir (Erten, 2018).



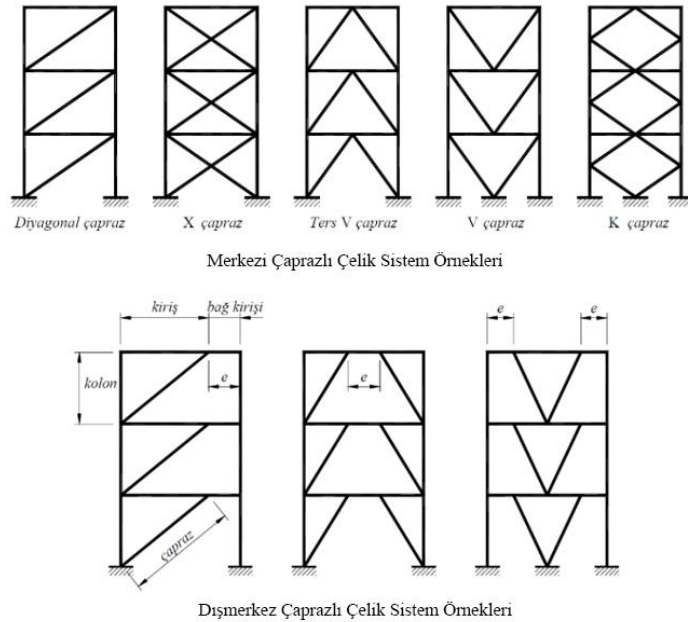
Şekil 4.22 : Düzlem kafes kiriş ve uzay kafe kiriş (Erten, 2018).

Çelik taşıyıcı sistemli binalarda döşemeler genellikle kompozit döşeme sistemlerinden oluşmaktadır. Kompozit döşemeler yerinde dökme kompozit döşemeler, çelik tabliyeli kompozit döşemeler ve prefabrike plak döşemeler olmak üzere üç farklı şekilde uygulanabilmektedir. Yerinde dökme betonarme kompozit döşemeler çelik kirişlerin üzerine kayma bağlantıları yerleştirilerek ya da kirişler beton içerisine yerleştirilerek oluşturulan döşemelerdir. Çelik tabliyeli kompozit döşemelerde çelik kirişler üzerine mukavemeti yüksek olması için form verilmiş çelik levhalar kullanılarak bu levhalar üzerine kayma bağlantıları olan stud çivileri ile hasır donatılar eklenerek beton dökülmesiyle döşeme sistemi oluşturulmaktadır. (Şekil 4.23) Bu sistemlerde ana çelik kirişler arasına tali çelik kirişler daha sık aralıklarla konumlandırılır ve döşeme sistemi bu kiriş sisteminin üzerine gelmektedir. Prefabrike plak döşemeler ise çelik taşıyıcı ana kirişler ve tali kirişler üzerine veya kirişlerin arasına çeşitli boyutlarda ön üretimli plakların yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Bu sistemlerde dolu gövdeli beton paneller, boşluklu perkast beton paneller, ahşap paneller gibi malzemeler kullanılabilmektedir. (Öztürk; 2008, Arun, 2011; Erten, 2018)



Şekil 4.23 : Kompozit döşeme (Erten, 2018).

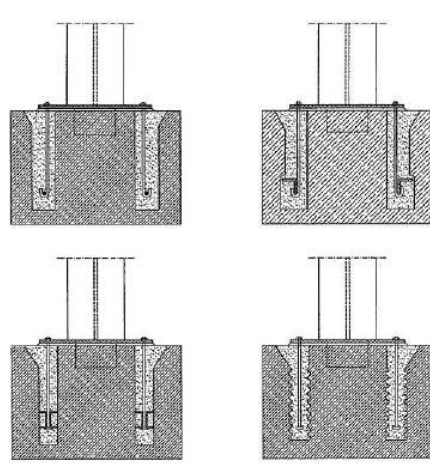
Çelik taşıyıcı sistemli yapılarda diyagonal elemanlar deprem ve rüzgar gibi yatay yüklere karşı sistemin yanal rijitliğini sağlamak amacı ile kullanılan çapraz çelik elemanlardır. Bu diyagonal elemanlar yapılarda düşey veya yatay olarak iki farklı şekilde uygulanabilmektedir. TBDY 2018'e göre çapraz çelik sistemler merkezi çaprazlı çelik sistemler ve dışmerkez çaprazlı çelik sistemler olarak iki grupta incelenmektedir. Şekil 4.24'de diyagonal bulunduran çelik sistemlerin TBDY 2018'e göre merkezi çaprazlı ve dışmerkez çaprazlı olarak sınıflandırılmış şekilleri görülmektedir.



Çelik 4.24 : Çelik diyagonal sistem örnekleri (TBDY, 2018).

Çelik taşıyıcı sistemli binalarda temeller betonarme temel sistemleri ve yer altı suları ile nemden etkilenmeyecek özel çelik profil ve borular ile çözülmektedir. Betonarme

temeller radye temel, münferit temeller ve mütemadi temeller olarak düzenlenerek çelik profil kolonlar çelik levhalar yardımı ile kaynaklı veya bulonlu olarak bu temellere ankre edilir. Çelik profiller ile uygulanan temeller ise tekil ve ızgara sistemli temeller ile derin kazık temeller olarak ayrılmaktadır. Tekil temeller, çelik kolon profili tekil bir betonarme temel yuvası içerisine oturularak oluşturulur. Izgara çelik temellerde ise nemden ve sudan etkilenmeyen I ve H profiller yan yana getirilerek ızgara şeklinde çelik bir temel oluşturulur. Bu ızgara sistem gerekli yalıtımları yapılarak düz bir beton zemin üzerine oturtulur. Çelik kolonlar ızgara çelik temel üzerine levhalar yardımı ile ankre edilir. Son olarak çelik profillerin etrafına su ve nemden korunması için beton dökülmektedir. Çelik malzeme ile üretilen derin kazık temeller ise su ve nemden korunması için bakırlı çelikten ve genellikle H profiller ile boru kesitli profiller kullanılarak yapılmaktadır. Kolon ayaklarının temeller ile birleşimleri mafsallı ve ankastre olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Şekil 4.25’de çeşitli çelik kolon ve temel birleşimler görülmektedir (Öztürk, 2008; Arun, 2011).



Şekil 4.25 : Çeşitli çelik kolon temel birleşimleri (TBDY, 2018).

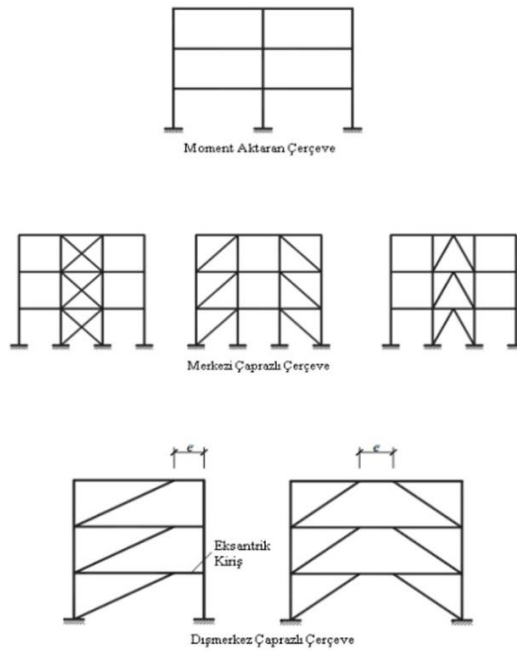
4.6.4. Çelik taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması

Çelik taşıyıcı sistemler, yüksek yapılar, köprüler, endüstri yapıları, spor kompleksleri eğlence merkezleri, havalimanları gibi birçok yapıda kullanılmaktadırlar. Çelik taşıyıcı sistemler yapı fonksiyonu, yapı formu, yapı yüksekliği gibi değişkenlere göre birçok farklı şekilde tasarlanabilmektedir. Buna göre çelik taşıyıcı sistemler, çerçeve sistemler, kablolu sistemler, uzay kafes sistemler, tübüler sistemler, yüzeysel sistemler olarak sıralanabilir.

4.6.4.1.Çerçeve sistemler

Çerçeve sistemler betonarme taşıyıcı sistemlerde olduğu gibi çelik taşıyıcılı binalarda da en çok kullanılan sistemlerden biridir. Bu sistemlerde çubuk elemanlar olan kolon ve kirişler rijit bir biçimde birbirlerine bağlanarak çerçeve sistem oluşturmaktadır. Çerçeve sistemlerde yatay ve düşey taşıyıcılar bir araya gelip çerçeve oluşturarak yapıya etkiyen yatay ve düşey yükleri karşılamaktadır. Çelik çerçeve sistemlerde betonarme çerçeve sistemler ile aynı şekilde düzenlenir ve tasarlanırken yalnızca çerçeveler betonarme kolon ve kirişler yerine çelik profillerden oluşan kolon ve kirişler ile oluşturulmaktadır. Çelik çerçeve taşıyıcı sistemleri kendi arasında klasik çelik çerçeve sistemler, betonarme perdeli çelik çerçeve sistemler, çaprazlı çelik çerçeve sistemler olarak sınıflandırmak mümkündür.

Klasik çelik çerçeve sistemlerde düşey yükler döşemeler ile kirişlere ve kirişler ile kolonlara ve oradan da temele aktarılarak zemine iletilmektedir. Çelik çerçeveli binalarda katlar oluşturulurken, mafsallı, yarı rijit, rijit bağlantı şekilleri kullanılmaktadır. Çelik çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip yüksek binalarda kolonlar 6-15 metre aralıklar ile düzenlenebilir ve 30 kata kadar ekonomik olarak çelik binalar inşa edilebilmektedir. Bu çerçeve sistemlerde taşıyıcı elemanlar tek doğrultuda ve çift doğrultuda dolu gövdeli profiller, boşluklu gövdeli profiller ve kafes gövdeli profiller ile tasarlanabilmektedir (Kaya, 2021; Türkçü, 2003).



Şekil 4.26 : Çelik çerçeve sistem tipleri (Ay ve Diğerleri, 2010).

Yatay ve düşey yüklere karşı stabilitenin tam anlamıyla sağlanamadığı ve yatay rijitliğin yetersiz kaldığı durumlarda çerçeve sistemler çapraz elemanlar ile desteklenerek çaprazlı çelik çerçeve sistemler oluşturulmaktadır. Çaprazlı çelik çerçevelerde diagonal elemanlar merkezi çaprazlı ve dışmerkez çaprazlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Çaprazlı çelik çerçeve sistemler ile yapım kolaylığı ve yüksek rijitliği sayesinde 40-50 kata kadar binalar inşa edilebilmektedir (Beedle ve Rice, 1995; Ay ve diğerleri, 2010; Arun, 2011).

Çok katlı çelik çerçeve sistemli binalarda, diyagonal desteklerin yerine stabiliteyi arttırmak için tam rijit betonarme perde duvarlar kullanılabilmektedir. Bu tip sistemlere betonarme perdeli çelik çerçeve sistemler denilmektedir. Çelik taşıyıcı sistem olarak düzenlenmiş binalarda, bodrum katlarda hem nem ve korozyona karşı hem de toprak yüklerini karşılamak amacı ile betonarme perde duvarlar kullanılabilmektedir. Aynı zamanda asansör ve merdivenlerden oluşan çekirdeklerde betonarme perdeler kullanılan çelik taşıyıcı sistemli binalarda inşa edilmektedir. (Şekil 4.27) Ayrıca betonarme perde duvarlar çelik bina çerçevesinde farklı noktalarda her kat boyunca devam edecek şekilde de konumlandırılabilir. Bunun yanında son yıllarda bu sistemlere alternatif olarak çelik levhalardan oluşan levha perdeler de kullanılmaktadır.



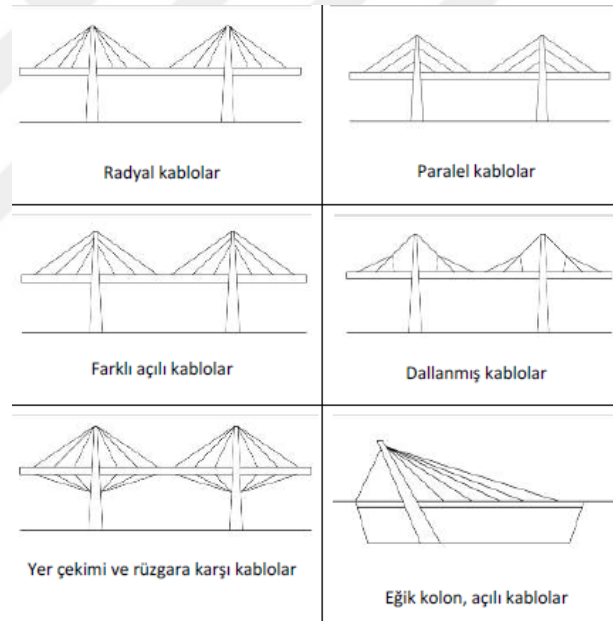
Şekil 4.27 : Betonarme perdeli çelik çerçeve sistem (URL-4).

4.6.4.2.Kablolu sistemler

Kablolu sistemler çeşitli geometrilerde bir araya getirilen ve düğüm noktalarında birleştirilen bir dizi kablodan oluşan çelik taşıyıcı sistemlerdir. Kablolu sistemlerde yapılara etkiyen yükler, ankraj noktaları arasına yerleştirilmiş ve çekme elemanı olan kablolar tarafından karşılanmaktadır. Kablolar, eğilme rijitliği ve basınç dayanımı çok az olan, esnek ve bükülebilir lineer taşıyıcı öğelerdir. Kablo sistemler tek kablolu ve çift kablolu sistemler olarak ikiye ayrılabilir. Tek kablolu sistemler, sabit noktalar

arasına asılmış kablolardan oluşan tek tabakalı sistemler olup asma köprüler örnek olarak verilebilir. Çift kablolu sistemlerde ise aynı düzlem üzerinde, eğrilikleri ters birbirine göre zıt iki kablodan oluşmaktadır. (Türkçü, 2003; Urfalı, 2012)

Kablolu sistemlerde, kabloların kolay sistem kurgusu ve değişik formlar oluştururken sağladığı özgürlük gibi avantajları, geniş açıklıkları geçme yeteneği, esneklik ve rahat uygulanabilirlik gibi avantajlarının yanı sıra, ters rüzgara karşı stabilite sağlama gerekliliği ve çekme kuvvetlerine karşı ağır temel ihtiyacı bulunmaktadır. Kablolu sistemler radial kablolar, paralel kablolar, farklı açılı kablolar, dallanmış kablolar, yerçekimi ve rüzgara karşı kablolar ve eğik kolonlu açılı kablolar şeklinde düzenlenebilir ve sınıflandırılabilir. (Şekil 4.28) Kablolu sistemlerde kablonun temel ayakları ile birleşme açısı, kablolar üzerinde ortaya çıkan eksenel kuvvetleri belirlemektedir. Temel ayak ile kablonun birleşme açısı arttıkça kablo üzerindeki gerilme azalmaktadır (Türkçü, 2003; Urfalı, 2012).



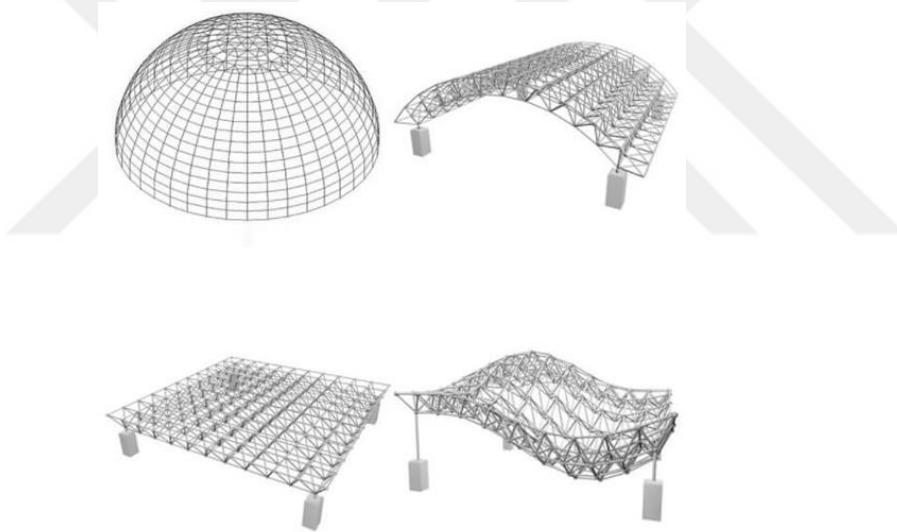
Şekil 4.28 : Kablolu sistem tipleri (Urfalı, 2012).

4.6.4.3.Uzay kafes sistemler

Uzay kafes sistemler tek boyutlu çubuklardan oluşan üç boyutlu, modüler düzenli sistemlerdir. Çok geniş açıklıkları geçmek üzere yapılan, çubuklardan oluşan tüm bileşenleri birbirlerine bağlı olup her doğrultuda bir bütün şeklinde çalışan üç boyutlu kafeslerdir. Yapılarda geniş açıklıkları geçmekte ve yapının stabil kalmasını sağlamakta yüksek performans sağlarken aynı zamanda hafif ve dayanıklı sistemlerdir.

Herhangi bir yüzey, çizgisel ağlara bölündükten sonra bu çizgilerin kesiştikleri uçlarda düğüm noktalarının ve bu noktalar arasında bulunan çizgiler doğrultusunda taşıyıcı elemanların yerleştirildiği sistemlerdir (Patterson, 2011; Hasol, 2017, Türkçü, 2003).

Uzay kafes sistemler tek tabakalı uzay kafesler ve çift tabakalı uzay kafesler olarak ikiye ayrılarak incelenebilir (Şekil 4.29). Tek tabakalı uzay kafes sistemler eğrisel bir yüzey üzerinde değişik açılar ile kesişebilen çelik çubuklardan meydana gelen sistemlerdir. Çok geniş açıklıkları geçme yeteneklerinin yanı sıra yüksek yapılarda da diagrid sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Çift tabakalı uzay kafes sistemler ise aynı biçim ve ölçülerdeki çubuk elemanların iki ayrı düzlemde belirli bir yükseklik mesafesi boyunca, diagonal elemanlar ile birbirine bağlandığı sistemlerdir. Çift tabakalı uzay kafes sistemler ile 50 ila 140 m arasındaki geniş açıklıklar geçilebilmektedir. Uzay kafes sistemler düzlem yüzeyli ve eğri yüzeyli olarak düzenlenebilmektedirler (Chan ve Teng, 1999; Urfalı, 2012).



Şekil 4.29 : Çeşitli uzay kafes sistem tipleri (URL-5).

Uzay kafes sistemler hafiflik, yüksek muamele, geniş açıklıklarda yüksek performans, çeşitli geometrik formlarda özgürlük ve esneklik gibi farklı avantajlara sahiptir. Bu sistemler genellikle spor kompleksleri, havalimanları, alışveriş merkezleri, endüstriyel tesisler gibi geniş açıklık geçilmesi gereken yapılarda tercih edilmektedir. Uzay kafes sistemler mühendislik açısından karmaşık hesaplamalar ve simülasyonlar gerektirse de sağladığı avantajlar bu taşıyıcı sistemi bu zorluklara değer kılmaktadır.

4.6.4.4.Tüp sistemler

Tüp sistemler, betonarme olarak uygulanabildiği gibi çelik malzeme ile de uygulanabilmektedir. İlk olarak 1960 yılında Fazlur Khan tarafından geliştirilen ve 100 katlı John Hancock Center’da uygulanan bu sistem bina cephesinde sık bir şekilde düzenlenen kolonların yapı çekirdeğine rijit bir çerçeve ile bağlanmasıyla oluşmaktadır. Rüzgar ve deprem gibi yan yükleri karşılamak için yüksek yapılarda kullanımı yaygındır. Bu sistemlerin en büyük özelliği yüksek yapılarda ekonomik olması ve bu kadar yüksek yapılar için inşaat sürecini kısaltmasıdır (Fu, 2018).

Çelik malzemeli tüp sistemler dış tüp ve çerçeve, dış tüp ve paralel perde, iç içe tüp, kafesli tüp, diagrid sistemler ve demet tüp gibi farklı şekillerde tasarlanabilmektedir. Diagrid sistemler ve kafesli tüp sistemlerin betonarme ile üretimi oldukça zor olup son yıllarda gelişmektedir ancak bu sistemlerde yüksek çoğunlukla çelik tercih edilmektedir (Fu, 2018; Kaya, 2021).



5. ÖRNEK KONUT YAPISININ ALTERNATİF TAŞIYICI SİSTEMLER İLE TASARLANMASI VE ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Günümüzde binaların tüm yaşam döngüleri süresince çevreye etkisi düşünüldüğünde, tasarım evresinde malzeme ve sistem seçiminde dikkate alınan birçok kriterin yanı sıra çevresel performans da bir kriter olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

Bir bina tasarlanırken taşıyıcı sistem seçiminde birçok kriter göz önünde bulundurulmaktadır. Çalışma kapsamında, bir yapının en önemli yapı elemanlarından olan taşıyıcı sistemler, malzeme miktarına bağlı olarak CO₂ emisyon miktarları bağlamında incelenmiş ve seçim kriterleri arasına çevresel performans kriteri de eklenmeli midir sorusu ele alınmıştır. Tez çalışmasının bu bölümünde, örnek bir çok katlı konut yapısının taşıyıcı sisteminin çevresel performansı incelenmiş ve alternatif bir sistem ile tasarlanması durumunda çevresel etkilerin ne derecede değişeceği irdelenmiştir. Taşıyıcı sistem özelinde kullanılan malzemeler yaşam döngüsü değerlendirme süreci çerçevesinde, beşikten kapıya metodu ile karbon emisyonları bağlamında değerlendirilmektedir. Dönüşüm kapsamında inşa edilen örnek yapının alternatif bir taşıyıcı sistem ile üretilmesi durumunda toplam CO₂ emisyonları üzerinden yapılan karşılaştırma ile tasarımcılara taşıyıcı sistemler özelinde malzeme ve sistem seçimi konusunda fikir vermek ve çevre kirliliği konusunda farkındalık oluşturmak amaçlanmıştır.

5.1. Alan Çalışmasının Kapsamı

Çalışma alanı belirlenirken, tez çalışmasının üçüncü bölümünde değinilen yapı stoğu istatistikleri göz önünde bulundurulmuştur. Türkiye İstatistik Kurumu (2022) verilerine göre ülkemizde en yoğun yapılaşma üç büyük şehir olan İstanbul, Ankara ve İzmir’de olup 2002-2021 yılları arasında üretilen yapı stoğunun Türkiye’deki toplam yapı stoğunun %25,39’una eşit olduğu görülmüştür. Bu üç büyük şehirden İstanbul ili bu yıllar arasında üretilen yapı stoğunda birinci sırada olup, ülkemizde

Üretilen toplam binaların %10,07'sine ev sahipliği yapmaktadır. Bu veriler ışığında İstanbul alışma alanı olarak seçilmiştir.

Aynı zamanda çalışmada incelenen yapı tipi seçilirken yine TÜİK (2022) verileri göz önünde bulundurulmuştur. 2002-2021 yılları arasında ülkemizde üretilen ve yapı kullanım izin belgesi alan binaların %86'sı ikamet amaçlı binalardan yani konutlardan oluştuğu için yapı stoğunun büyük bir bölümünü oluşturan konutlar çalışmanın odağı olmuştur. İstanbul ili ülkemizdeki konutların %10,72'sine sahip olarak en çok konut üretimi olan şehir pozisyonundadır. Bu istatistikler, çalışmanın kapsamını belirleyen en önemli unsurlar olmuştur.

İstanbul ilinde üretilen yapı stoğu incelendiğinde "Yapı Kullanım İzin Belgesi" alan binaların %97,21'i betonarme olarak tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Ayrıca ikamet amaçlı olan binaların %97,89'u betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. (TÜİK, 2022) Bu sebeple betonarme bir yapı bu çalışmanın odağı olmuştur. Bu parametrelerin belirlenmesi üzerine çalışmanın ikinci bölümünde incelenen binalar ve dönüşüm başlığına uygun olarak kentsel dönüşüm kapsamında yıkılan ve yerine çok katlı yeni bir konut yapısı inşa edilen bir proje seçilmiştir. İstanbul ili Tuzla ilçesinde kentsel dönüşüm kapsamında kullanım ömrünü tamamlamış bina grubunun yerine yapılan yeni çok katlı betonarme konut sitesinin bir bloku bu çalışmada incelenmek üzere seçilmiştir.

5.2. rnek Projeye Ait Veriler

İncelenen proje İstanbul ili, Tuzla ilçesinde yer almaktadır. Proje, Postane mahallesinde İstasyon Caddesi ile Fevzi akmak Caddesi'nin kesişim noktasında, 0 ada 8202 parselde yer almakta olup, parsel alanı 8418,83 m²'dir. 2021 yılında kentsel dönüşüm kapsamında inşasına başlanmış olan, 2 bodrum kat, 1 zemin kat ve 9 normal kattan ve 3 bloktan oluşan, ayrıca ticari birimlerde bulunduran bir konut yapısıdır.

Proje alanında daha önce 2018 yılına kadar kullanım ömrünü tamamlamış ve kentsel dönüşüm kapsamında yerini yeni bir yapıya bırakmak üzere yıkılmış 8 adet binadan oluşan bir yapı grubu bulunmaktadır.(şekil 5.1) Ayrıca incelenen proje parselinin mevcut inşaat halini gösteren 2023 yılı uydu görüntüsü şekil 5.2'de görülmektedir. Dönüşen yapı stoğu kapsamında inceleme yapılan bu çalışmada, daha önce parselde bulunan yapılar hakkında detaylı bilgiler bu çalışmanın konusu olmayıp, bu konu

hakkında geniş bir araştırma yapılmamıştır. Kullanım ömrünü tamamlamış bu binaların yerine yeni yapılacak yapının, taşıyıcı sistemi bağlamında çevresel performansı çalışmanın odak noktası olmuştur.



Şekil 5.1 : Daha önce incelenen proje parselinde bulunan ve kentsel dönüşüm kapsamında yıkılan yapı grubunu gösteren 2018 yılı uygu görüntüsü (Google Earth).



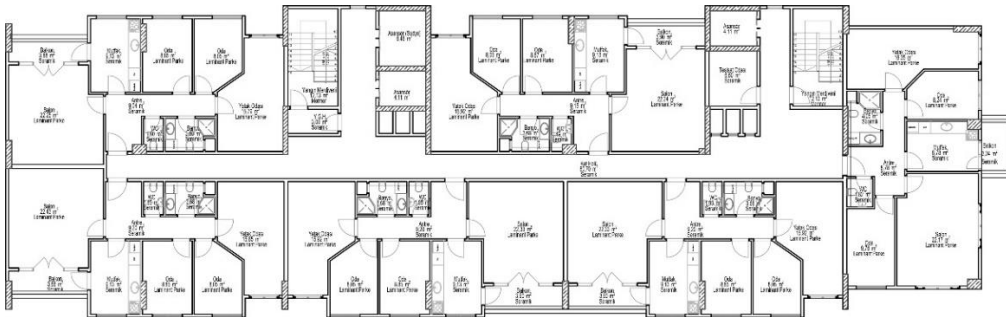
Şekil 5.2 : İncelenen proje parselinin mevcut inşaat halini gösteren 2023 yılı uydu görüntüsü (Google Earth).

Üç bloktan oluşan yapının blokları Şekil 5.3.'teki vaziyet planından görüleceği üzere A1 Blok, A2 Blok ve B Blok şeklindedir. Konut kompleksinin 1. ve 2. Bodrum katlarında otopark, spor salonu, havuz, sığınak ve teknik hacimler, zemin katında ticari alanlar ve konutlar, 1.,2.,3.,4.,5.,6.,7.,8.,9.katlar ve çatı piyesinde ise konutlar bulunmaktadır.



Şekil 5.3 : İncelenen projeye ait vaziyet planı ve incelenen A1 Blok.

Bu çalışmada A1 Blok ve bu bloka ait taşıyıcı sistem ele alınmış olup inceleme tek bir blok üzerinden yapılmıştır. Mimari planlara göre A1 Bloкта 1.kattan 8.kata kadar her katta 6 adet 3+1 daire, 9.katta ise çatı piyesi ile birlikte 6 adet 6+1 dubleks daire bulunmakta olup bu bloktaki bağımsız bölümlerin sayısı toplam 54 adettir.İncelenen binanın zemin kat yani taban oturum alanı 2325 m2 olup bina yüksekliği 40.35 metredir. Şekil 5.4’te incelenen binanın 1.,2.,3.,4.,5.,6.,katlarına ait tip kat mimari planı görölmektedir. Ayrıca Şekil 5.5’te binaya ait mimari kesit çizimi ve Şekil 5.6’da binaya ait mimari görünüş çizimi görölmektedir.



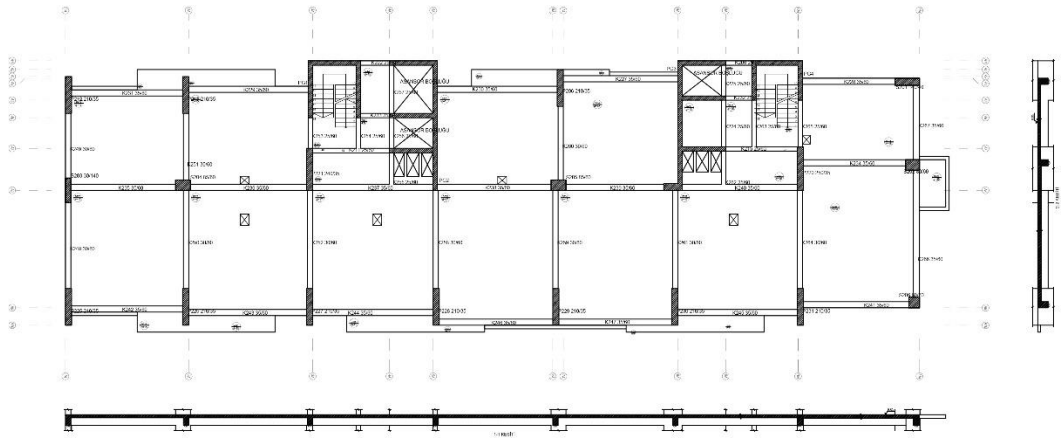
Şekil 5.4 : İncelenen binanın 1.,2.,3.,4.,5.,6. katlarına ait tip kat mimari planı.



Şekil 5.5 : İncelenen binanın mimari kesit çizimi.

5.3. Örnek Yapının Taşıyıcı Sistem Tasarımı

İncelenen binanın taşıyıcı sistemi perdeli çerçeve betonarme taşıyıcı sistem olup statik projeden alınan tip kat döşeme kalıp planı Şekil 5.6’da görülmektedir. Projede kullanılan döşeme tipi kirişli plak döşeme olup döşeme kalınlığı 17 cm olarak seçilmiştir.



Şekil 5.6 : İncelenen binanın tip kat statik döşeme kalıp planı.

Binaya ait statik proje incelendiğinde zemin özellikleri, kullanılan beton sınıfı, donatı tipi gibi malzeme parametreleri ile zemin parametreleri ve ayrıca deprem parametreleri görülebilmektedir. Bu bilgilere göre zemin taşıma gücü 60 tf/m^2 , zemin yatak sayısı 3360 tf/m^3 zemin sınıfı ZC'dir. Projede kullanılan beton sınıfı C35/45, donatı ise B420C'dir. Deprem parametreleri incelendiğinde ise, bina kullanım sınıfı (BKS) = 3, bina önem katsayısı (I) = 1.0, bina yükseklik sınıfı (BYS) = 4, deprem tasarım sınıfı (DTS) = 1, yapı davranış katsayısı $R_x = 7.0$, $R_y = 7.0$, deprem fazlalığı katsayısı $D_x=2,5$ $D_y=2,5$ hareketli yük azaltma katsayısı $n = 0.30$, deprem yer hareket düzeyi DD-2 olarak görülmektedir.(Şekil 5.7)

ZEMİN PARAMETRELERİ	
Yerel Zemin Sınıfı ZC	Zemin Yatak Katsayısı K = 3360 tf/m³
Zemin Taşıma Gücü 60 tf/m²	Yerel Zemin Parametreleri Ss=1.256 S1=0.345
DEPREM PARAMETRELERİ	
Bina Kullanım Sınıfı (BKS) BKS = 3	Bina Önem Katsayısı I = 1.0
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) BYS = 4	Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) DTS = 1
Yapı Davranış Katsayısı R_x = 7.0 R_y = 7.0	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D_x = 2.5 D_y = 2.5
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı n = 0.30	Deprem Yer Hareket Düzeyi DD-2

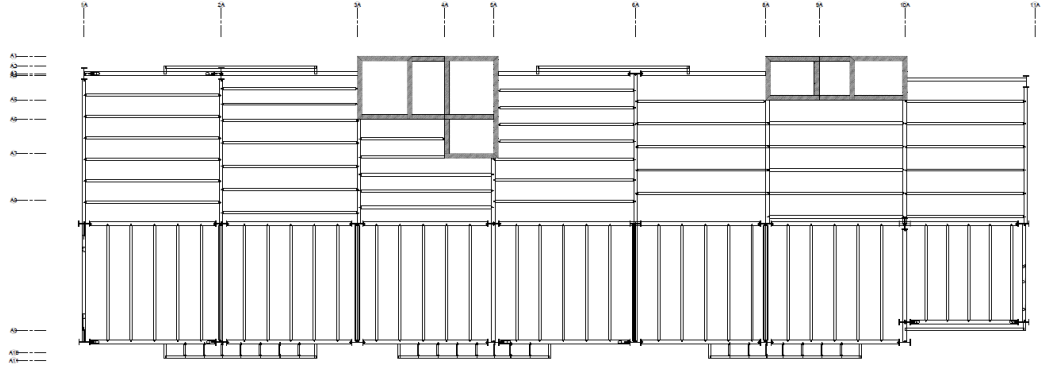
Şekil 5.7 : İncelenen binanın statik projesine ait zemin ve deprem parametreleri.

İncelenen binanın statik projesine ait bu parametreler, bu çalışmada alternatif olarak tasarlanacak yeni çelik konstrüksiyon taşıyıcı sistemin tasarımında da kullanılacak olması sebebi ile önemlidir.

5.4. Örnek Yapının Çelik Konstrüksiyon Olarak Tasarlanması

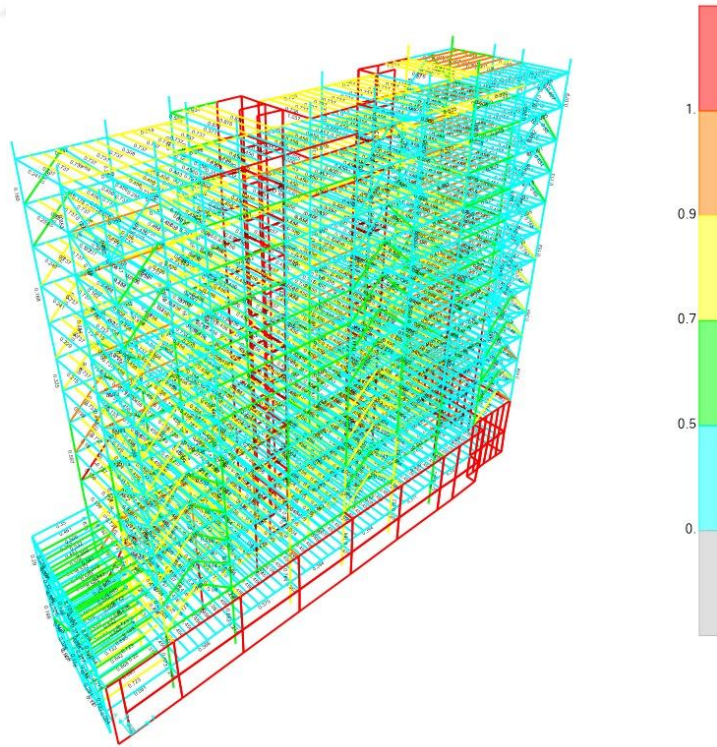
Bu tez çalışması kapsamında incelenen betonarme binaya alternatif olarak, hiçbir parametre değişmeden aynı konut yapısı aynı mimari plan ile perdeli çelik çerçeve taşıyıcı sistem olarak tasarlanmıştır. İncelenen betonarme taşıyıcı sistemli binanın aks sistemi korunarak, aynı akslara çelik kolonlar yerleştirilmiştir. Betonarme yapıdaki radye temel sistemi, bodrum kattaki perdeler ve çekirdek perde sistemi yani asansör

kovası ile merdiven kovası perde duvarları, çelik konstruksiyon yapıda da aynen korunmuştur. Çelik yapıya ait kat statik döşeme kalıp planı şekil 5.8’de görülmektedir.



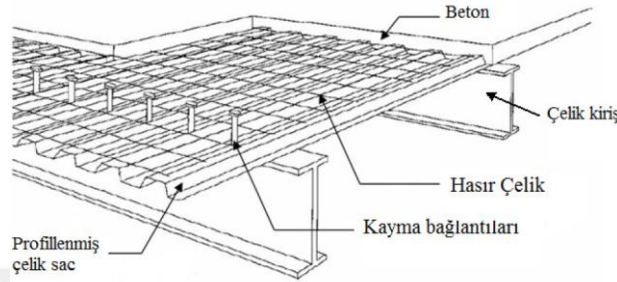
Şekil 5.8 : Çelik konstruksiyon taşıyıcı sisteme ait kat statik döşeme.

Çelik yapı tasarlanırken deprem ve zemin parametreleri betonarme statik projesinde olduğu gibi kullanılmıştır. Taşıyıcı sistemin kolon ve kirişlerinin ön boyutlandırması yapıldıktan sonra, SAP2000 programı kullanılarak 3 boyutlu sonlu elemanlar oluşturulmuş ve statik analiz yapılmıştır. (Şekil 5.9.) Bu kapsamda çelik yapının statik ve dinamik analizleri yapılmış ve kolon kiriş kesitleri tayin edilmiştir.



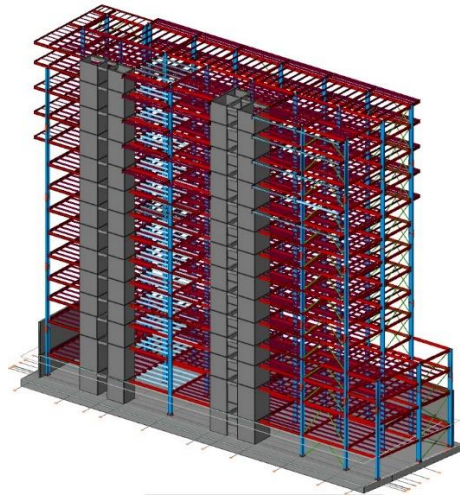
Şekil 5.9 : SAP2000’de yapılan statik analiz.

Çelik yapıda, betonarme konstrüksiyona ek olarak rüzgar yükleri etkin rol oynamakta olduğu için, rüzgar yükü hesapları TS EN 1991-1-4 standardına göre hesaplanmış ve yapıya etkittirilmiştir. Yapıda Şekil 5.10’da görüldüğü gibi 0,2 cm kalınlıkta beton altı trapez sac ve üzerine 10 cm kalınlıkta hasır donatılı ve çivili beton dökülmesiyle oluşan kompozit döşeme kullanılmıştır.



Şekil 5.10 : Kompozit döşeme sistemi (Emre, 2010).

Katlara gelen yükler hesaplanmış, TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2018 yönetmeliklerine göre eleman kapasite oranları ve deplasman değerlerine bakılarak çelik elemanlar boyutlandırılmıştır. Tali kirişler için IPE240 çelik profil, ana kirişler için IPE400 çelik profil, kolon boyutları için HEA600 ve HEA500 çelik profiller kullanılmıştır. Deprem ve rüzgar yüklerine karşı tasarlanan çelik çapraz elemanlar için ise 4 mm kalınlıklı 127 mm çaplı CHS 127*4 boru profil kullanılmıştır. Daha sonra IdeCad programı kullanılarak çelik yapı yönetmeliklere uygun modellenmiş ve betonarme elemanların donatılandırması yapılarak taşıyıcı sisteme ait elemanların malzeme miktarları tespit edilmiştir. (Şekil 5.11)



Şekil 5.11 : IdeCad programında oluşturulan çelik yapı modeli.

5.5. Taşıyıcı Sistemlerde Kullanılan Malzeme Miktarları

Öncelikli olarak incelenen yapının betonarme taşıyıcı sistemine ait malzeme miktarları tespit edilmiştir. Betonarme projede C35 sınıfı beton kullanılmıştır. Ayrıca temel, döşemeler, kolonlar ve kirişlerde farklı çaplarda B420C çelik donatı kullanılmıştır. Bu tespit projeye ait statik proje aracılığı ile yapılmış ve Çizelge 5.1’de görülmektedir. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası’na göre (2023) 1 m³ donatısız beton 2400 kg/m³ yoğunluktadır. Buna göre projede 9830,50 ton C35 sınıfı beton ve 451,02 ton B420C çelik donatı kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 : Betonarme taşıyıcı sisteme ait malzeme miktarları.

Malzeme	Hacim (m ³)	Toplam Ağırlık (t)
C35 Beton	4468,41	10724,19
B420C Donatı	-	451,02
Toplam		11175,21

Bu malzeme miktarları her bir yapı elemanı bazında detaylı incelendiğinde döşemelerde 2810,40 ton, kolonlarda 360,61 ton, kirişlerde 1478,96 ton, perde duvarlarda 2320,85 ton, radye temelde ise 2859,69 ton C35 sınıfı beton kullanılmıştır. Bunun yanında döşemelerde 72,45 ton, kolonlarda 36,20 ton, kirişlerde 80,85 ton, perde duvarlarda 164,90 ton ve radye temelde 96,62 ton B420C çelik donatı kullanılmıştır. (Çizelge 5.2)

Çizelge 5.2 : Betonarme taşıyıcı sisteme ait detaylı malzeme miktarı.

Yapı Elemanı	C35 Beton (m ³)	C35 Beton (t)	B420C Donatı (t)
Döşemeler	1277,46	2810,40	72,45
Kolonlar	193,91	360,61	36,20
Kirişler	672,25	1478,96	80,85
Perdeler	1054,93	2320,85	164,90
Radye Temel	1299,86	2859,69	96,62
Toplam	4498,41	9830,51	451,02

İncelenen binanın alternatif olarak çelik taşıyıcı sistem ile tasarlanması sonrası bu sisteme ait malzeme miktarları da IdeCad yazılımı ile yapılan model aracılığı ile tespit edilmiştir. Çelik konstrüksiyon yapıda kullanılan kompozit döşemede 89,9 ton 1,2 cm

kalınlığında 52/992 beton altı trapez sac, 27,06 ton hasır çelik donatı, 10 cm yüksekliğinde ve 2247,5 ton C35 döşeme betonu kullanılmıştır. (Çizelge 5.3) Kompozit kat döşemelerinin toplam ağırlığı 2365,61 tondur.

Çizelge 5.3 : Kompozit döşeme malzeme miktarları.

Malzeme	Birim Ağırlık	Toplam (t)
Trapez Sac	10 kg/m ²	89,90
Hasır Donatı	3,01 kg/m ²	27,06
Döşeme Betonu	250 kg/m ²	2247,50
Toplam Döşeme Ağırlığı		2364,46

Çelik taşıyıcı sistemde kullanılan çelik elemanların profil kesitleri ve taşıyıcı sisteme ait bu çelik profillerin ağırlıkları Çizelge 5.4’te verilmiştir. Aşağıda gösterildiği üzere taşıyıcı sistemde kullanılan çelik profillerin toplam ağırlığı 695,05 ton olarak ölçülmüştür. Çelik profillerden HEA 600 profiller 179,67 ton, IPE 400 profiller 221,61 ton, IPE 240 profiller 247,41 ton, UPN 120 profiller 2,73 ton, UPN 140 profiller 1,23 ton ve CHS 127*4 boru profiller 8,81 ton ağırlıktadır. Ayrıca bu çelik profillerin birleşimleri levhalarla sağlanmış olup levhaların toplam ağırlığı 36,291 ton olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4 : Çelik profil malzeme miktarları.

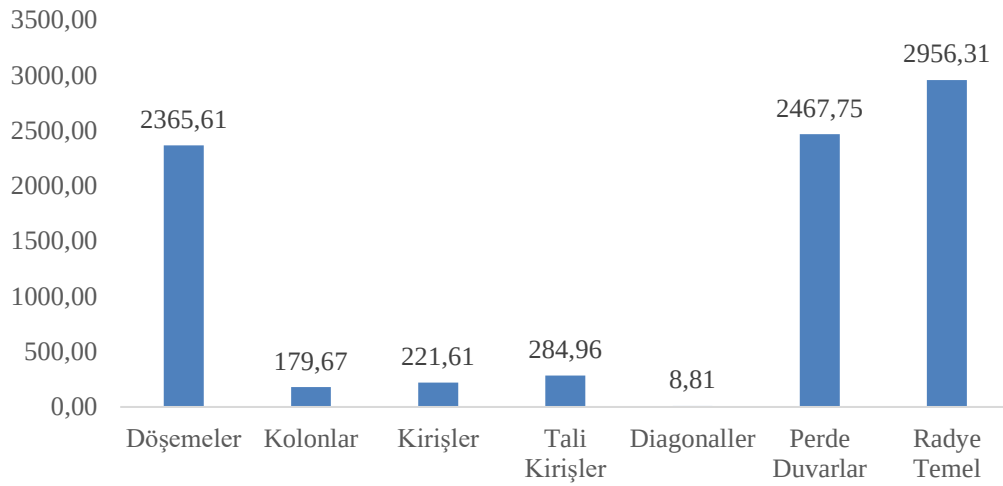
Profil Kesiti	Birim Ağırlık (kg/m)	Toplam Uzunluk (m)	Toplam Ağırlık (t)
HEA 600	178,00	1009,16	179,67
IPE 400	66,30	3333,87	221,61
IPE 240	30,70	6459,71	247,41
IPE 300	42,20	1531,60	33,59
UPN 120	13,30	92,31	2,73
UPN 140	16,00	170,50	1,23
CHS 127*4	12,10	728,23	8,81
Toplam			695,05

Çelik yapıda, betonarme yapıda olduğu gibi temel sistemi olarak betonarme radye temel kullanılmıştır. Ayrıca bodrum katta perde duvarlar ile asansör ve merdiven kovası için de perde duvarlar kullanılmıştır. Perdeli çelik çerçeve olarak tasarlanan taşıyıcı sistemde kullanılan C35 beton ve B420C donatı miktarları Çizelge 5.5’te görülebilmektedir. Radye temel ve perdelerde toplam 5651,50 ton C35 beton, 261,51 ton B420C çelik donatı kullanılmıştır.

Çizelge 5.5 : Çelik yapıda betonarme temel ve perdeler için malzeme miktarı.

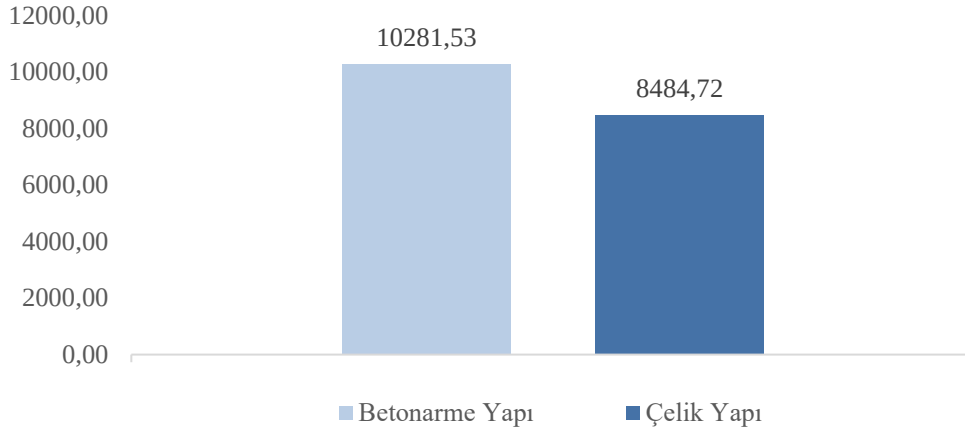
Malzeme	Hacim (m3)	Toplam Ağırlık (t)
C 35 Beton	2354,79	5651,50
B420C Donatı	-	261,51
Toplam		5913,01

Çelik yapıdaki malzeme miktarları her bir yapı elemanı bazında detaylı incelendiğinde, kolonlarda 179,67 ton çelik profil, ana kirişlerde 221,61 ton çelik profil, tali kirişlerde 284,96 ton çelik profil, diagonal elemanlarda ise 8,81 ton çelik profil kullanılmıştır. Ayrıca perde duvarlarda 2302,85 ton, radye temelde ise 2859,69 ton C35 sınıfı beton kullanılmıştır. Bunun yanında, perde duvarlarda 164,90 ton ve radye temelde 96,62 ton B420C çelik donatı kullanılmıştır. Çelik yapının elemanları bazında ağırlık kıyaslaması Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Çelik yapının elemanları bazında ağırlık kıyaslaması.

İncelenen örnek yapıya ait betonarme taşıyıcı sistemin malzeme miktarları ile toplam ağırlığının ve yeni tasarlanan çelik taşıyıcı sistemin malzeme miktarları ile toplam ağırlığının hesaplanması sonrası, bu iki yapıya ait ağırlıklar Şekil 5.13’te karşılaştırılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemin toplam ağırlığı 10281,53 ton olurken, çelik taşıyıcı sistemin toplam ağırlığı 8484,72 ton olarak ölçülmüştür. Bu karşılaştırmada incelenen binada betonarme taşıyıcı sistemin ağırlığı yeni tasarlanan çelik taşıyıcı sistemden daha fazladır.



Şekil 5.13 : Toplam yapı ağırlıklarının karşılaştırılması (ton).

5.6. Alternatif Taşıyıcı Sistemlerin Gömülü Karbon Kıyaslaması

İncelenen binanın betonarme ve çelik olmak üzere iki alternatif taşıyıcı sistem ile üretilmesi durumunda, sistemlerin gömülü karbonlarının ne derece değişeceği yapılacak olan malzeme miktarına bağlı karbon emisyonu hesaplaması ile ölçülebilir. Gömülü karbon hesaplaması yapmak için, bir malzemenin yaşam döngüsü evrelerinden yalnızca üretimi ve fabrikadan çıkışına kadar gerçekleşen karbon emisyonları hesaba katılır, yani “beşikten kapıya” metodu kullanılır.

Farklı malzemelerin ve sistemlerin gömülü karbon miktarları hesaplanırken malzeme miktarları belirlenir ve ilgili yazılım veya veritabanı aracılığı ile ilgili karbon emisyon katsayıları ile çarpılır. Bu şekilde bir birim malzemenin üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları beşikten kapıya metodu ile ölçülebilir. (IEA, 2016)

Bu çalışmada hesaplama yapılırken malzemelerin birim miktarda açığa çıkardığı karbon emisyonlarını bir veritabanı halinde araştırmacılara sunan ICE (Inventory of Carbon & Energy) veritabanı kullanılmıştır. Taşıyıcı sistemin toplam gömülü karbonu hesaplanırken Formül 5.1’de görülen denklem kullanılmıştır. Denklemden her bir yapı malzemesi türünü temsil ederken n toplam yapı malzemesi türüdür. Q_{ci} toplam yapı malzemesi miktarını (kg) ve ECmi ICE veritabanından elde edilen birim malzemedeki CO₂ miktarını (kg CO₂) göstermektedir.

$$EC_i = \sum_{i=1}^n Q_{ci} \times EC_{mi} \quad (5.1)$$

ICE (Inventory of Carbon & Energy) veritabanında çelik profiller, sıcak haddehanede haddelenmiş her türlü I profiller, H profiller, geniş flanşlı profiller ve sac kazıklar olarak adlandırılmıştır. %100 geri dönüştürülmüş olması halinde 1 kg çelik profilde 0,95 CO₂/kg açığa çıkmakta iken, hiç geri dönüştürülmüş çelik kullanılmadığında 2,63 CO₂/kg açığa çıkmaktadır. (Hammond ve Jones, 2019) ICE veritabanı V3.0'a göre çelik ürünlerin %100 geri dönüştürülmüş olması durumunda gömülü karbon değerleri Çizelge 5.6'da görülmektedir. Ayrıca geri dönüştürülmüş malzeme bulunmayan çelik ürünlerin gömülü karbon değerleri de Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi geri dönüştürülmüş ürünlere göre bir hayli yüksektir.

Çizelge 5.6 : %100 geri dönüştürülmüş çelik malzemelerin CO₂ Salınımları (kg CO₂/kg).

Malzeme (%100 Geri Dönüştürülmüş)	ECO ₂ (kg CO ₂ /kg)
Çelik Donatı	0,95
Çelik Profil	0,95
Çelik Levha	1,05
Çelik Sac	1,54
Çelik Hasır Donatı	0,95

Çizelge 5.7 : Çelik malzemelerin CO₂ salınımları (kg CO₂/kg).

Malzeme (%0 Geri Dönüştürülmüş)	ECO ₂ (kg CO ₂ /kg)
Çelik Donatı	2,62
Çelik Profil	2,63
Çelik Levha	2,72
Çelik Sac	3,21
Çelik Hasır Donatı	2,62

Ayrıca beton malzemeler için de özelliklerine göre çeşitli CO₂/kg değerleri mevcuttur. Beton dayanımlarına ve sınıflarına göre değişiklik gösteren karbon salınım değerleri Çizelge 5.8'de görülmektedir. Buna göre 1 kg C 25/30 beton için 0,112 CO₂/kg, 1 kg C 28/35 beton için 0,126 CO₂/kg, C 35/45 beton için 0,149 CO₂/kg ve C 40/50 beton için 0,159 CO₂/kg salınımı gerçekleşmektedir.

Çizelge 5.8 : Beton sınıfları ve CO₂ salınımları (kg CO₂/kg).

Beton Sınıfları	ECO ₂ (kg CO ₂ /kg)
C 25/30	0,112
C 28/35	0,126
C 35/45	0,149
C 40/50	0,159

Hesaplama sürecinde taşıyıcı sistemlerin her bir bileşeninin toplam malzeme miktarları tespit edilmiştir. Formül 5.1'deki denklem ve malzeme miktarları excel tablosuna entegre edilmiş ve taşıyıcı sistemlerin toplam gömülü karbon miktarları hesaplanmıştır.

İncelenen betonarme taşıyıcı sistemin gömülü karbon emisyonları malzeme miktarlarına ve ilgili formüle göre hesaplanmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemde C35 sınıfı beton ve B420C donatı kullanılmıştır. Buna göre sistemin gömülü karbon emisyonları ilgili tablolara entegre edilerek Formül 5.1'e göre hesaplanmıştır. Çizelge 5.9'da betonarme taşıyıcı sisteme ait gömülü karbon emisyonları hesaplaması ve ölçülen toplam CO₂ emisyonu görülmektedir. Sisteme ait çelik donatılarda 1181,672 ton CO₂ emisyonu ve kullanılan toplam C35 betonda ise 1597,904 ton CO₂ emisyonu açığa çıkmıştır. Buna göre betonarme taşıyıcı sistemin gömülü CO₂ emisyonu 2779,577 ton olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.9 : Betonarme taşıyıcı sisteme ait toplam gömülü karbon emisyonları.

Malzeme	ECO ₂ (kgCO ₂ /kg)	Toplam Ağırlık (t)	Malzemenin Gömülü Karbon Emisyonu (ton CO ₂)
C 35 Beton	0,149	10724,19	1597,904
B420C Donatı	2,62	451,02	1181,672
Toplam Gömülü Karbon Emisyonu (ton CO ₂)			2779,577

Ayrıca betonarme taşıyıcı sisteme ait gömülü CO₂ emisyonları yapı elemanı bazında incelendiğinde 777,84 ton CO₂ ile perde duvarlar taşıyıcı sistemin en çok gömülü karbon emisyonuna sahip parçası olmuştur. Radye temel 679,23 ton, döşemeler 608,58 ton, kirişler 432,19 ton ve kolonlar 148,58 ton gömülü CO₂ emisyonuna sahiptir.

İncelenen binanın çelik konstrüksiyon olarak yeniden kurgulanması sonrası çelik taşıyıcı sisteme ait karbon emisyonları Formül 5.1'e göre hesaplanmıştır. Sistemde

kullanılan her bir yapı elemanına ait bileşenler ve bunlara ait malzeme miktarları ile üretimleri esnasında birim kg'da açığa çıkan CO₂ emisyonları kullanılan hesaplama tablosuna entegre edilmiş ve sistemin karbon emisyonları %100 geri dönüştürülmüş ve geri dönüştürülmemiş çelik kullanımına göre ayrı ayrı ölçülmüştür. Bu ölçümlerin sonuçları Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11'de görülmekte olduğu üzere %100 geri dönüştürülmüş çelik kullanılması durumunda toplam 2680,612 ton CO₂ emisyonu, geri dönüştürülmüş çelik kullanılmadığında ise 3952,953 ton CO₂ emisyonu olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.10 : Geri dönüştürülmüş çelik kullanılmayan çelik yapıya ait toplam gömülü karbon emisyonları.

Malzeme	ECO2 (kgCO2/kg)	Toplam Ağırlık (t)	Malzemenin Gömülü Karbon Emisyonu (ton CO2)
Trapez Sac	3,21	89,90	138,446
Hasır Donatı	2,62	27,06	25,707
Döşeme Betonu	0,149	2247,50	334,878
Çelik Profiller	2,63	695,05	1827,982
Çelik Levha	2,72	36,29	98,712
C 35 Beton	0,149	5651,50	842,074
B420C Donatı	2,62	261,51	685,156
Toplam Gömülü Karbon Emisyonu (ton CO2)			3952,953

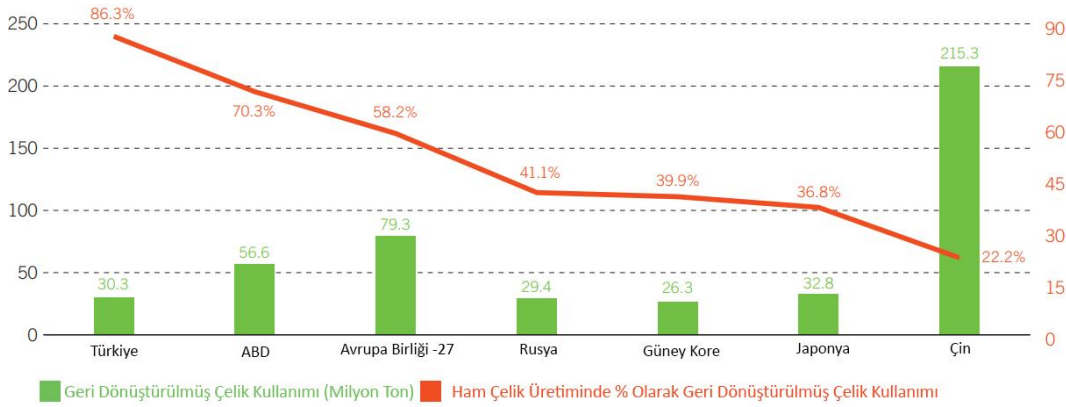
Çizelge 5.11 : %100 geri dönüştürülmüş çelik kullanılan çelik yapıya ait toplam gömülü karbon emisyonları.

Malzeme	ECO2 (kgCO2/kg)	Toplam Ağırlık (t)	Malzemenin Gömülü Karbon Emisyonu (ton CO2)
Trapez Sac	1,05	89,90	94,395
Hasır Donatı	0,95	27,06	25,707
Döşeme Betonu	0,149	2247,50	334,878
Çelik Profiller	0,95	695,05	660,298
C 35 Beton	0,149	5651,50	842,074
B420C Donatı	0,95	261,51	685,156
Toplam Gömülü Karbon Emisyonu (ton CO2)			2642,507

Bu çalışma kapsamında kullanılacak çelik yapı elemanlarının, geri dönüştürülmüş çelik içeriğini belirlemek için dünyada ve ülkemizde ham çelik üretiminde geri dönüştürülmüş yani hurda çelik kullanım miktarları araştırılmıştır. Ham çelik üretiminde hurda kullanımı, endüstriyel enerji tüketimini, sera gazı emisyonlarını ve kaynak tüketimini azaltıcı bir rol oynamaktadır. Ham çelik üretiminde kullanılan 1 ton

hurda; 1,5 ton karbondioksit emisyonunu önlemektedir. (Baş, 2023) Bu sebeple geri dönüştürülmüş çelik kullanımı karbon emisyonlarına bağlı çevre kirliliğini azaltmak için önemlidir.

Uluslararası Geri Dönüşüm Bürosu (BIR)'na göre (2022) ülkemizde ham çelik üretiminde geri dönüştürülmüş çelik kullanımı 2022 yılında 30.3 milyon ton olarak ölçülmüştür. Dünya çelik üretiminde önde gelen ülkeler incelendiğinde ise bu durum ABD'de 56.6 milyon ton, Avrupa Birliği ülkelerinde 79.3 milyon ton, Rusya'da 29.4 milyon ve Çin'de 215.3 milyon ton olarak ölçülmüştür. Ham çelik üretiminde geri dönüştürülmüş çelik kullanımı oranları ise Türkiye'de %86.3, ABD'de %70.3, Avrupa Birliği ülkelerinde %58.2, Rusya'da %41.1 ve Çin'de %22.2 olarak ölçülmüştür. Şekil 5.14'te ülkeler ve ham çelik üretiminde geri dönüştürülmüş çelik kullanım istatistikleri görülmektedir.



Şekil 5.14 : Ham çelik üretiminde geri dönüştürülmüş çelik kullanımı (milyon ton) (BIR, 2022).

Bu incelemeler ışığında ülkemizde üretilen çelik elemanlarının %86.3 oranında geri dönüştürülmüş çelik içerdiği görülmüştür. Tez çalışması kapsamında incelenen çelik yapıya ait çelik elemanların, ülkemizde üretilen geri dönüştürülmüş çelik oranına uygun olarak incelenmesi gerektiği öngörülmüştür. ICE veritabanında bu oranların tam sayı olarak verilmesi sebebi ile %86 geri dönüştürülmüş ürün kullanılması durumunda karbon emisyon miktarları incelenmiş ve Çizelge 5.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12 : %86 geri dönüştürülmüş çelik malzemelerin CO₂ salınımları (kg CO₂/kg).

Malzeme (%86 Geri Dönüştürülmüş)	ECO ₂ (kg CO ₂ /kg)
Çelik Donatı	1,19
Çelik Profil	1,19
Çelik Levha	1,28
Çelik Sac	1,77
Çelik Hasır Donatı	1,19

Buna uygun olarak incelenen çelik yapıya ait karbon emisyonları %86 geri dönüştürülmüş çelik kullanılması durumu için tekrar hesaplanmıştır. Bu hesaplamaya göre incelenen çelik yapıya ait gömülü karbon emisyonları toplamı 2926,994 ton CO₂ olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.13).

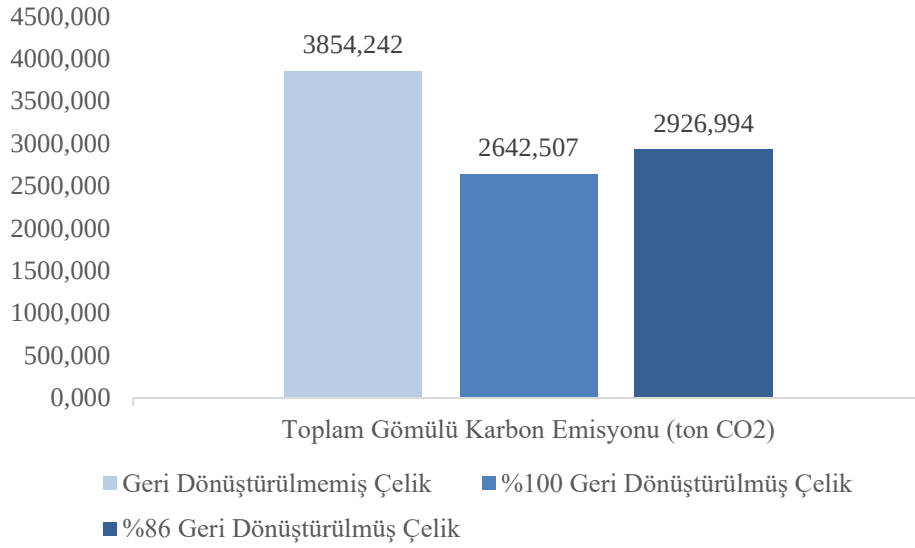
Çizelge 5.13 : %86 geri dönüştürülmüş çelik kullanılan çelik yapıya ait toplam gömülü karbon emisyonları.

Malzeme	ECO ₂ (kgCO ₂ /kg)	Toplam Ağırlık (t)	Malzemenin Gömülü Karbon Emisyonu (ton CO ₂)
Trapez Sac	1,77	89,90	159,123
Hasır Donatı	1,19	27,06	32,201
Döşeme Betonu	0,149	2247,50	334,878
Çelik Profiller	1,19	695,05	827,110
Çelik Levha	1,28	36,29	46,452
C 35 Beton	0,149	5651,50	842,074
B420C Donatı	2,62	261,51	685,156
Toplam Gömülü Karbon Emisyonu (ton CO ₂)			2926,994

Ayrıca çelik taşıyıcı sisteme ait gömülü CO₂ emisyonları yapı elemanı bazında incelendiğinde 777,84 ton CO₂ ile perde duvarlar taşıyıcı sistemin en çok gömülü karbon emisyonuna sahip parçası olmuştur. Radye temel 679,23 ton, döşemeler 526,20 ton, kirişler 263,72 ton ve kolonlar 213,81 ton, tali kirişler 339,10 ton ve diagonaller 10,41 ton gömülü CO₂ emisyonuna sahiptir.

Bunun yanı sıra, geri dönüştürülmemiş çelik kullanılan sistem, %100 geri dönüştürülmüş çelik kullanılan sistem ve ülkemiz şartlarına uygun %86 geri

dönüştürülmüş çelik kullanılan sistem karbon emisyonları bağlamında birbirleri ile karşılaştırılmış olup Şekil 5.15’de görülmektedir.



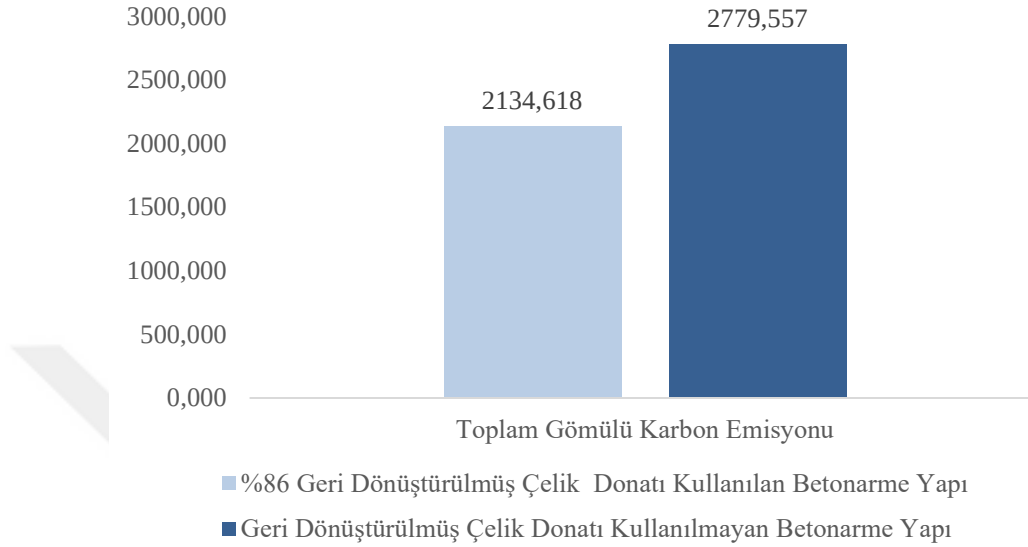
Şekil 5.15 : Çelik sistemlerin geri dönüştürülmüş malzeme kullanımına göre gömülü CO₂ emisyonları karşılaştırması.

Diğer bir yandan, betonarme taşıyıcı sistemde kullanılan çelik donatıların da %86 geri dönüştürülmüş çelikten üretildiği düşünülerek buna göre gömülü karbon emisyonları hesaplaması tekrar yapılmıştır. Buna göre %86 oranında geri dönüştürülmüş çelikten üretilen B420C donatının birim kilogramında 1,19 kg CO₂ açığa çıktığı görülmektedir. Çizelge 5.14’te %86 geri dönüştürülmüş donatı kullanılmış betonarme taşıyıcı sisteme ait gömülü karbon hesaplama tablosu görülmektedir. Bu hesaplamaya göre %86 geri dönüştürülmüş çelik donatı kullanılan betonarme taşıyıcı sistemin toplam CO₂ emisyonları 2134,618 ton olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.14 : %86 geri dönüştürülmüş çelik donatı kullanılan betonarme yapıya ait toplam gömülü karbon emisyonları.

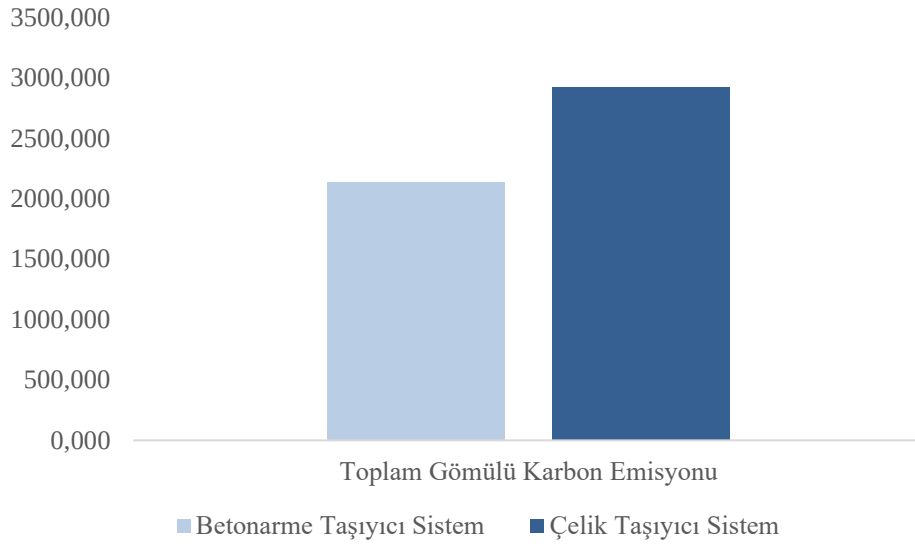
Malzeme	ECO ₂ (kgCO ₂ /kg)	Toplam Ağırlık (t)	Malzemenin Gömülü Karbon Emisyonu (ton CO ₂)
C 35 Beton	0,149	10724,19	1597,904
B420C Donatı (%86 Geri Dönüştürülmüş)	1,19	451,02	536,714
Toplam Gömülü Karbon Emisyonu (ton CO ₂)			2134,618

Bu hesaplama sonucunda, geri dönüştürülmemiş çelik donatı kullanılan sistem ve ülkemiz şartlarına uygun %86 geri dönüştürülmüş çelik donatı kullanılan sistem karbon emisyonları bağlamında birbirleri ile karşılaştırılmış olup Şekil 5.16’da görülmektedir.



Şekil 5.16 : Betonarme sistemlerin geri dönüştürülmüş malzeme kullanımına göre gömülü CO₂ emisyonları karşılaştırması.

Bu çalışma Türkiye sınırları içerisinde üretilen bir binanın betonarme ve çelik taşıyıcı sistemli alternatiflerini incelediği için ülkemiz koşullarında %86 geri dönüştürülmüş çelik kullanıldığı göz önüne alınmış ve karşılaştırma buna göre yapılmıştır. İncelenen binanın, ülkemiz koşullarında üretilen betonarme taşıyıcı sistem ve çelik taşıyıcı sistem olmak üzere iki alternatif sistem ile tasarlanması durumunda açığa çıkan CO₂ emisyonları Şekil 5.17’de görülmektedir. Buna göre incelenen binaya ait betonarme taşıyıcı sistemin gömülü karbon emisyonları 2134,618 ton, alternatif olarak tasarlanan çelik taşıyıcı sistemin gömülü karbon emisyonları ise 2926,994 ton olarak ölçülmüştür. Çelik taşıyıcı sistemin gömülü CO₂ emisyonları betonarme taşıyıcı sistemin gömülü CO₂ emisyonlarından %5,30 daha fazladır.



Şekil 5.17 : Taşıyıcı sistem alternatiflerinin gömülü CO₂ emisyonları.

6. SONUÇ

Her geçen gün gelişen inşaat sektörü ve artan inşaat faaliyetleri, doğal çevrenin yapılı çevre ile etkileşime girerek değişmesine sebep olmaktadır. Bu değişim bugün içerisinde yaşadığımız kentleri oluştururken aynı zamanda küresel kaynakların yoğun tüketimine ve yadsınamayacak derecede çevre kirliliklerine sebep olmaktadır. Binaların yaşam döngülerinin her döneminde küresel kaynakların en büyük tüketicilerinden biri olduğu bilinmektedir. Binaları oluşturan malzemelerin ve sistemlerin üretiminde harcanan enerji ile doğaya salınan sera gazı emisyonları bu çevresel kirleticilerinden başında gelmektedir. Gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre bırakmak amacıyla günümüzde yaşadığımız yapılı çevreyi ve binaları tasarlarken sürdürülebilir yaklaşımlar ile çevre kirliliği ve sera gazı emisyonlarının dikkate alınması gerekliliği büyük önem taşımaktadır.

Tez çalışmasında, ilk olarak binalar ve yaşam döngüleri ile ülkemizdeki yapı stokunun son 20 yıllık istatistikleri ulusal ve uluslararası birçok kaynak aracılığı ile literatür taraması yapılarak ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda son bölümde yapılacak olan ampirik çalışmanın kapsamı yapı stoku istatistiklerine göre belirlenmiştir. TÜİK istatistiklerine göre, 2000 ile 2021 yılları arasında ülkemizde üretilen yapı stokunun %86'sı ikamet amaçlı binalardan yani konutlardan, %14'ü ise ikamet amaçlı olmayan binalardan oluşmaktadır. Bu yıllar arası üretilen konut kullanım amaçlı binaların %93,91'i betonarme taşıyıcı sisteme, %4,72'si yığma taşıyıcı sisteme ve %1,35'i çelik taşıyıcı sisteme sahiptir. Ülkemizde üretilen konut kullanım amaçlı binaların %10,72'sinin İstanbul ilinde bulunduğu görülmektedir. Bu veriler göz önünde bulundurularak alan çalışmasının kapsamı İstanbul ili olarak belirlenmiştir. Çalışma içerisinde ülkemizdeki yapı stoku çizelge ve grafikler ile ortaya konulmuş ve bu istatistikler ile ilgili ayrıntılı bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır.

Tez çalışmasında üçüncü bölümde sürdürülebilirlik kavramı, sürdürülebilir mimari kavramı ve çevresel sürdürülebilirlik kavramları genelden özele doğru çeşitli kitaplar, ulusal ve uluslararası yayınlar ve bildiriler aracılığı ile literatür taraması yapılarak incelenmiştir. İnşaat sektörü küresel kaynakları tüketirken çevre kirliliği oluşturmakta

ve küresel ısınmaya sebep olan sera gazı emisyonları açığa çıkarmakta olup çevresel sürdürülebilirlik açısından ele alınması gereken önemli bir sektördür. Çevresel kirleticilerin en önemlilerinden olan ve küresel ısınmaya sebep olan sera gazı emisyonlarının önlenmesi çevresel sürdürülebilirlik için oldukça önemlidir. Bu sera gazı emisyonları arasında en yoğun olanı karbondioksittir. Endüstrileşme dönemi ile artan CO₂ emisyonları son yıllarda iklim değişikliği ve küresel ısınmanın en önemli sebeplerinden biri olup, bu konuda bir bilinç oluşturarak karbon emisyonlarını önleyici stratejiler geliştirmek ve bu bağlamda çevresel sürdürülebilirliği sağlamak önemli bir husustur. Tez çalışmasında yapılan incelemede, EUROSTAT istatistiklerine göre, ülkemizde son 30 yılda sera gazı emisyonlarının %187.4'lük bir artış gösterdiği ancak 27 ükeli Avrupa Birliği'nin bu süreçte sera gazı salınımlarının %33.3 azaldığı görülmektedir. Bu sera gazı emisyonları arasında CO₂ emisyonları %74.4 ile en yüksek paya sahip olan gazdır. Bu istatistiksel veriler ışığında ülkemizde sera gazı emisyonlarının azaltılması konusunda büyük bir farkındalık yaratılması gerektiği görülmektedir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde binaların en önemli sistemlerinden olan taşıyıcı sistemler hakkında çeşitli kitaplar, ulusal ve uluslararası yayınlar ve bildiriler incelenerek literatür taraması yapılmıştır. Bu bölümde taşıyıcı sistemlerin tanımı, amacı, tarihçesi, sınıflandırılması üzerlerine etkiyen yükler ve sonrasında betonarme taşıyıcı sistemler ile çelik taşıyıcı sistemler incelenmiştir. Bu incelemelerde beton ve çelik malzemelerin üretim süreçlerinde açığa çıkan CO₂ emisyonları da irdelenmiş ve son bölümde yapılacak ampirik çalışma için bilimsel altyapı güçlendirilmiştir.

Bu incelemeler sonucunda son bölümde yapılacak ampirik çalışma için çalışmanın sınırları, kapsamı ve bağlamı belirlenmiştir. Karbon emisyonları bağlamında yapılan çevresel performansa yönelik çalışmalar araştırılmış ve ülkemizde çok katlı konut yapıları için böyle bir çalışmaya rastlanamamıştır. Ülkemizde, İstanbul ili içerisinde konut mimarisinde taşıyıcı sistem alternatiflerinin CO₂ emisyonları bağlamında çevresel performanslarının incelenmesi, bu inceleme ile sistem seçiminde çevresel sürdürülebilirlik anlamında farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır.

Son bölümde yapılan çalışmada, incelenen betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapı çelik çerçeve sistem olarak tekrar tasarlanmıştır. İki sisteme ait malzeme miktarları ayrıntılı olarak hesaplanmış ve çizelge ve grafikler aracılığı ile aktarılmıştır. Malzeme miktarlarına bağlı olarak iki sisteme ait gömülü karbon emisyonları beşikten

kapıya metodu ile ilgili hesaplama tablolarına ilgili formülasyon ile aktarılarak hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalara göre ülkemizde üretilen çeliğin %86'sı geri dönüştürülmüş çelikten oluşmaktadır. Bu sebeple hesaplamalar esnasında ülkemiz şartlarında üretilen iki sistem için de %86 geri dönüştürülmüş çelik malzemenin karbon emisyonları esas alınmıştır. Bu hesaplamalara göre incelenen betonarme taşıyıcı sistemin gömülü karbon emisyonları 2134,618 ton CO₂, çelik taşıyıcı sisteme sahip alternatif sistemin gömülü karbon emisyonları 2926,994 ton CO₂ olarak ölçülmüştür.

Bu hesaplamalar sonucunda, seçilen çalışma alanında seçilen betonarme taşıyıcı sisteme ait CO₂ emisyonları yeni tasarlanan çelik çerçeve taşıyıcı sisteme ait CO₂ emisyonlarından daha az çıkmıştır. Ancak bu çalışmanın farklı bir deprem bölgesinde ve farklı bir konumda yapılması çalışmanın sonuçlarında değişikliğe sebep olabilir. Bunun yanında istatistiklere göre ülkemizde kullanılan çeliğin %86'sının geri dönüştürülmüş olması da bir diğer önemli girdi olup geri dönüştürülmüş çelik kullanım oranı da çalışmanın sonuçlarını değiştirebilecek bir diğer parametredir.

Bunun yanında çalışmanın sınırlarını belirleyici diğer parametreler de çalışmanın bulgularını değiştirebilecek niteliktedir. Seçilen yapının tipolojisinin değişmesi, taşıyıcı sistem tasarımını da değiştirecek olup sonuçları değiştirebilecek önemli bir unsurdur. Bunun yanında seçilen yapının kat sayısı da çalışmanın sonuçlarını değiştirebilecek bir diğer önemli noktadır. Bu çalışmada gömülü karbon hesaplaması yaparken kullanılan beşikten kapıya metodu yerine, beşikten mezarametodu kullanılması da taşıyıcı sistem alternatiflerinin çevresel performans kıyaslamasını başka bir boyuta taşıyacak bir diğer unsurdur.

Bu ve bunun gibi birçok parametrenin değişiklik göstermesi sistemlerin karbon emisyonlarında ve dolayısı ile karşılaştırma sonuçlarında değişikliğe sebep olabilmektedir. Bu sebeple günün sonunda kazanan sistemi kesin olarak belirlemek mümkün değildir. Bu çalışmanın, ülkemizin bulunduğu deprem kuşağında tasarlanacak yapı ile, konut mimarisinde taşıyıcı sistem seçiminin çevreye getirdiği yüklerin değerlendirilmesi ve bu konuda bir bilinç oluşturarak erken tasarım evresinde araştırmacılara fikir vermesi amaçlanmaktadır. Taşıyıcı sistemlerin çevresel performanslarının karbon emisyonları bağlamında karşılaştırması şeklinde yapılan bu çalışmanın araştırmacılara taşıyıcı sistem seçim kriterleri arasına çevresel performans

kriterinin eklenmesi konusunda farkındalık kazandırması ve gelecek çalışmalar için ilham olması çalışmanın en önemli motivasyonu olmuştur.

Gelecek dönemde yapılacak araştırmalara ilham vermesi amaçlanan bu çalışmada, gelecek araştırmacılara, çalışmanın sınırlarının ve metodunun değiştirilmesi neticesinde sonuçların da değişiklik göstereceği verilecek en önemli mesajlardan biridir. Özellikle çalışmanın metodunun değiştirilerek, beşikten mezara metodu izlenmesi ile ortaya çıkacak sonuçlar ve çevresel performans verileri merak konusudur. Aynı zamanda bu çalışmada konut binaları incelenmiş olup, bina tipolojisi ile fonksiyonunun ve hatta kat sayısının ve dolayısı ile taşıyıcı sistem çözümlerinin değişimi de betonarme ve çelik sistemlerin gömülü karbon emisyonlarını değiştirecektir. Çalışmanın farklı bir deprem kuşağında ve bölgede incelenmesi neticesinde ortaya çıkacak sonuçlar da merak konusudur. Bir diğer yandan araştırmacılar tarafından çalışmada ortaya konulan sonuçları ele alınarak, geçmiş 20 yılda yapı stoku üretiminde ortaya çıkan emisyonlar ile önümüzdeki yıllarda yapı sektörü bazlı emisyonların hesaplanması üzerine bir araştırma yapılabilir. Tüm bu hususlar, bu çalışmanın bir sonucu olarak çevresel performans konusunda farkındalık oluşması, sınırların değiştirilerek yeni bilimsel çalışmalar yapılması ve gelecek araştırmacıların bu soruların cevaplarını bulmak üzere teşvik edilmesi noktasında önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aghayere, A., Vigil, J.** (2020). Structural Steel Design, Third Edition, Mercury Learning And Information, Virginia, USA
- Akbarnezhad, A., & Xiao, J.** (2017). Estimation and minimization of embodied carbon of buildings: A review. *Buildings*, 7(4), 5.
- Akbıyıklı, R.** (2009). İnşaat Sözleşmeleri Esasları ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Akşar, S.** (2022). Geleneksel Ve Çağdaş Ahşap Yapıların Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Karşılaştırmalı Analizi, (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Allen, E., & Iano, J.** (2009). Fundamentals of Building Construction: Materials and Methods. Wiley & Sons, Incorporated, New Jersey, USA.
- Arun, E., G.** (2011). Çelik yapı tasarımı, *Mimarlıkta Taşıyıcı Sistemler Sempozyumu*, 24-26 Kasım, İstanbul.
- Asif, M., Muneer, T., and Kelley, R.** (2007). Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*, 42(3), 1391-1394.
- Atalay, T.** (2002). Geniş Açıklıklı Mekanların Üstünü Örtten Taşıyıcı Sistem İncelemesi, (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Avlar E. ve Ustaoglu S.S.** (2017). 2000’li Yılların Başında Endüstriyel Ahşap Ürünlerle Gelişmiş Yapı Üretimi", *Mimarlık Dergisi*, s.75-80.
- Ay, Z., Çelik, İ., D., Kımılı, N., A.** (2010). Çaprazlı çelik çerçevelerin sismik performansı üzerine bazı değerlendirmeler, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 26(1): 7-17
- Bal, Y.** (2022). Geçmişten Günümüze Dünyada Ve Türkiye’de Pnömatik Sistemlerin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Baş, D.** (2023). Türkiye Çelik Sektörünün Karbonsuzlaşması: Mevcut Durum, İstanbul Politikalar Merkezi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul.
- Batur, A.** (2004). Gelişmiş Ahşap Yapım Sistemleri ve Türkiye Koşulları Yönünden Değerlendirmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Beedle, L. S. ve Rice, D. B.** (1995). Structural Systems for Tall Buildings. Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3. New York: McGrawHill Inc.
- Berkin, G.** (2021). Mimarlıkta Malzeme ve Detay, YEM Yayın, İstanbul.
- BIR,** (2023). World Steel Recycling In Figures 2018-2022, BIR Ferrous Division

- Brander, M., & Davis, G.** (2012). Greenhouse gases, CO₂, CO₂e, and carbon: What do all these terms mean. *Econometrica, White Papers*.
- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A.** (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 394-416.
- Camagni, R., Capello, R., Nijkamp, P.** (1998). Towards sustainable city policy: an economy- environment technology nexus, *Ecological Economics*, 24, 103 – 118.
- Candemir, B., Beyhan B., K. S.** (2012). İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik: Yeşil Binalar ve Nanoteknoloji Stratejileri, Sis Matbaacılık, İstanbul.
- Çelik, M., D.** (2003). Yüksek Yapılarda Çelik Taşıyıcı Sistemler (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chan, S.L. ve Teng, J.G.** (1999). *Advances in Steel Structures*, Iclass'99, Elsevier
- Cheng, C., Pouffary, S., Svenningen, N., Callaway, M.** (2008). The Kyoto Protocol, The Clean Development Mechanism and the Building and Construction Sector – A Report for the UNEP Sustainable Buildings and Construction Initiative, *United Nations Environment Programme*, Paris, France.
- Ching, F. D. K., Onouye, B. S., & Zuberbuhler, D.** (2014). *Building Structures Illustrated*. Wiley & Sons, Incorporated, New Jersey, USA.
- Crawford, R.** (2011). *Life Cycle Assessment in the Built Environment*, Taylor&Francis, London, UK.
- Dabby, R., & Bedi, A.** (2012). *Structure for Architects*. Wiley & Sons, Incorporated, New Jersey, USA.
- Dabby, R., & Bedi, A.** (2019). *Structure for Architects: A Case Study in Steel, Wood, and Reinforced Concrete*, Taylor & Francis Group, New York, USA.
- Dalkılıç B., Aşkın M.** (2017). Gayrimenkul ve Konut Sektörüne Bakış (Mart), Emlakkonut GYO A.Ş.
- Dalkılıç B., Aşkın, M.** (2017). Gayrimenkul ve Konut Sektörüne Bakış (Eylül), Emlakkonut GYO A.Ş.
- Davies, D., Johnson, L., Doepker, B., Hedlund, M.** (2018). Quantifying Environmental Impacts of Structural Material Choices Using Life Cycle Assessment: A Case Study, *Embodied Carbon in Buildings, Measurement, Management and Mitigation*, 123-142.
- Dilber, K., K.** (2001). Taşıyıcı Sistem Malzemesinin Seçimindeki Etkenler, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dillard, J., Dujon, V., & King, M. C.** (2008). *Understanding The Social Dimension of Sustainability*, Routledge, London, UK.
- Ding, Z., Fan, Z., Tam, V. W., Bian, Y., Li, S., Illankoon, I. C. S., & Moon, S.** (2018). Green building evaluation system implementation. *Building and Environment*, 133, 32-40.

- Doğangün, A.** (2014). Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı (11. Baskı), Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Edwards, B.** (2007). Sürdürülebilirlik kültürü ve mimari tasarımın önündeki güçler, *Ekolojik Mimarlık ve Planlama Ulusal Sempozyumu*, Antalya, s: 22-34
- Egger, S.** (2006). Determining a sustainable city model, *Environmental Modelling and Software*, 21, 1235 – 1246.
- Emre, S.** (2010). Çelik-Beton Karma Yapıların Sismik Tasarımı, (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Engel, H.** (2004). Strüktür Sistemleri, Tasarım Yayın Grubu, 3. Baskı, İstanbul.
- Erdede, S. B., Erdede, B., & Bektaş, S.** (2014). Sürdürülebilir yeşil binalar ve sertifika sistemlerinin değerlendirilmesi. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, 14, 17.
- Erten, E.** (2018). Mimarlıkta Yapı-Yapım, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Eştürk, Ö., Başaran, N.,** (2022). Tormuş Türkiye’de İklim Değişikliği ve İnşaat Sektörü: Paris İklim Antlaşması, *VI. Anadolu International Conference on Economics*, May 13-15, Eskişehir.
- Fan, Z., Friedmann S., J.** (2021). Low-Carbon Production of Iron and Steel: Technology Options, *Economic Assessment and Policy*, 5, 4: 829–62,
- Fu, F.** (2018). Design and Analysis of Tall and Complex Structures, Butterworth-Heinemann, London, UK.
- Gökçe, G.** (1977). Başlangıçtan Günümüze Mimaride Strüktür, *Yapı Dergisi* (23).
- Guo, Z.** (2014). Principles of Reinforced Concrete, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
- Gürü, M. ve Yalçın, H.** (2012). Malzeme Bilgisi (3. Baskı). Palme Yayıncılık, Ankara.
- Hydrogen Europe** (2022). Steel From Solar Energy Report, A Techno-Economic Assessment of Green Steel Manufacturing, Hydrogen Europe.
- IEA** (2016). Evaluation of Embodied Energy and CO2 for Building Construction (Annex 57): Overview of Annex 57 Results. Tokyo: Institute for Building Environment and Energy Conservation.
- İMO (2023).** Yapı Malzemeleri ve Yapı Kısımlarının Birim Hacim Ağırlıkları, https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f7deb880ca6b4b7_ek.pdf Son Erişim Tarihi: 27.11.2023
- Kaya, E.** (2021). Yüksek Binaların Taşıyıcı Sistemlerinin Mimari Form ve Yapısal Davranış Açısından İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kayıhan, K., S. ve Tönük, S.** (2008). Sürdürülebilir temel eğitim binası tasarımı bağlamında arsa seçimi ve analizi konusunun irdelenmesi, *Megaron*, 3 (2): 137-154.
- Kim, S.** (1998). Life-cycle assessment of embodied energy for building materials-focused on high-rise apartments, *Proceedings of the World Renewable Energy Congress (WREC)*, Florence, 1559-62.

- Kısa Ovalı, P.** (2009). Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri, (Doktora Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Kohler, N.** (1999). The relevance of The Green Building Challenge: an observer's perspective, *Building Research & Information*, 27(4/5): 309-20.
- KUDEB,** (2009). Geleneksel Ahşap Yapı Uygulamaları Kitabı, KUDEB Ahşap Eğitim Atölyesi, İBB KUDEB Yayınları, İstanbul.
- Kuruşcu, A. O., & Girgin, Z. C.** (2013). Effective Use of Structural Materials in Sustainable Design. In *Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*.
- Kweku, D., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K., Danso, K., Oti-Mensah, E., Quachie, A. ve Adormaa, B.** (2018). Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming. *Journal of Scientific Research and Reports*, 17(6), 1-9
- Leeuw, S.** (2019). Social Sustainability, Past and Future: Undoing Unintended Consequences for the Earth's Survival, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- McMullin, P., W., Price, S., J.** (2016). Introduction to Structures, Routledge, New York, USA.
- Moldan, B., Janoušková, S., Hák, T.** (2012). How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets, *Ecological Indicators*, 17, 4–13.
- Muralikrishna I., V., Maickam, V.** (2017). Environmental Management: Science and Engineering for Industry, Butterworth-Heinemann, London, UK.
- Nolan, T., Doyle-Kent, M.,** (2018). An Investigation into the Role of Building Structure on Energy Use & CO2 Emissions over the Life Cycle of a Medium-Rise Residential Building, *IFAC*, 51(30), 60–65.
- Öğüt, M., R.** (2006). Az Katlı Yapılarda Taşıyıcı Sistem Olarak Çelik Malzemenin Kullanımı, (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Orhon, A. V.** (2012). Tasarımdan yapıma, sürdürülebilir beton yaklaşımları, 2. *Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, 13-16 Eylül 2012, İzmir.
- Oymael, S.** (2015). Yapı Bilgisi I, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Özcan, U., Duran, G. & Erol, İ.** (2019). Çok Katlı Yapılarda Betonarme Döşeme Sistemleri / İstanbul Örneği, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 161-175.
- Özlü, B.** (2015). Çok Katlı Betonarme Binalarda Taşıyıcı Sistem Türlerinin Davranışlarının İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, E.** (2012). Çelik Taşıyıcı Sistemli Konutların Enerji Korunumu Açısından Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Öztürk, M.** (2008). Çelik Taşıyıcı Sistemli Yapılarda Taşıyıcı Yapı Elemanlarının Farklı Malzemeli Yapı Bileşenleri İle Bağlantılarının İrdelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Pamuk, R., & Kuruoğlu, M.** (2016). İnşaat sektöründe sürdürülebilirlik ve bina inşaatlarında evrensel uygulama örnekleri. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1).
- Patterson, M.** (2011). Structural Glass Facades and Enclosures, John Wiley &
- Peters, G. P.** (2010). Carbon footprints and embodied carbon at multiple scales. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(4), 245-250.
- Pul, S.** (2018). Betonarme II “Betonarme Temeller” [PDF Belgesi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi Ders Notları, Trabzon.
- Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D.** (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins, *Sustainability Science*, 14, 681–6951
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P.** (2020). CO₂ and greenhouse gas emissions. Our world in data.
- Rosenberg, A. A., Fogarty, M. J., Sissenwine, M. P., Beddington, J. R., & Shepherd, J. G.** (1993). Achieving sustainable use of renewable resources. *Science*, 262(5135), 828-829.
- Rüstemoğlu, H.** (2021). Türkiye’de konut sektörü, ticari hizmetler ve kamu hizmetlerinin CO₂ emisyonlarının 1990-2017 dönemi için incelenmesi, *Akdeniz İİBF Dergisi*, 21 (1), 56-67.
- Salmon G., C., Johnson J., E.** (2008). Steel Structures Design And Behavior (5th Edition), Pearson, London, UK.
- Şenel, A.** (2010). Sürdürülebilir Bina Yapım İlkelerinin ve Yeni Yaklaşımların İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Sev, A.** (2009). Sürdürülebilir Mimarlık, 1. Baskı, YEM Yayınları, İstanbul.
- Sev, A., Canbay, N.** (2009). Dünya Geneline Uygulanan Yeşil Bina Değerlendirme ve Sertifika Sistemleri, *Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji Eki*, Sayı 329, s.42-47.
- Sevinç Kayıhan, K.** (2006). “Sürdürülebilir Mimarlığın Yarı Nemli Marmara İkliminde Tasarlanacak Temel Eğitim Binalarında İrdelenmesi ve Bir Yöntem Önerisi, (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Taş, N., C.** (2013). Betonarme Binaların Tasarımına İlişkin Temel İlkeler ve Betonarme Bir Konutun Yürürlükte Bulunan Yönetmeliklere Göre Tasarımı, (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- TSE (2007).** Çevre yönetimi - Hayat boyu değerlendirme - İlkeler ve çerçeve, Environmental management-life cycle assessment-Principles and framework, (TS EN ISO 14040). <https://kutuphane.itu.edu.tr/>

- TSE (2007).** Yapılar üzerindeki etkiler - Bölüm 1-4: Genel etkiler - rüzgâr etkileri (eurocode 1), Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, (TS EN 1991-1-4). <https://kutuphane.itu.edu.tr/>
- TSE (2012).** Yapı işlerinin sürdürülebilirliği- Binaların çevresel performansının tetkiki-Hesaplama yöntemi, Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method, (TSE EN 15978). <https://kutuphane.itu.edu.tr/>
- TSE (2013).** Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Requirements for design and construction of reinforced concrete structures (TS 500). <https://kutuphane.itu.edu.tr/>
- Tunçez, F., D. (2021).** Sürdürülebilir Çimento Üretiminde Çevre Yönetimi Yasal Bileşenleri, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(1): 41-56.
- Türkçü, H. Ç. (2003).** Çağdaş Taşıyıcı Sistemler, Birsen Yayınevi, İzmir.
- Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Çetiner, G. (2000).** Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri, *Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları (13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası)*, 7-24, ÇKÖK Gn. Md., Ankara.
- Urfalı, F., K. (2012).** Güncel Çelik Yapı Sistemlerinin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Üstündağ, C. (2013).** Çelik Yapılar, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu, [Powerpoint Sunumu]. <https://web.itu.edu.tr/ustunda1/course/celiksunum.pdf>
- Vicat, L. J. (1997).** Mortars and Cements (1st Edition). Routledge, Newyork, USA.
- Yeang, K., Woo, L. (2010).** Dictionary of Ecodesign. 1st Edition, Routledge, New York, USA.
- Yılmaz, T. (2006).** Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem ve Donatı Düzenleme İlkeleri, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhao, X., Ma, H., (2015).** Structural system embodied carbon analysis for super tall buildings, *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*
- Url-1**<<https://www.betonvecimento.com/uncategorized/binalarda-gomulu-karbon-nedir>>, erişim tarihi 03.12.2023
- Url-2**<<http://www.sitasbeton.com.tr/hazir-beton-nedir-nasil-uretilir>>, erişim tarihi 03.12.2023
- Url-3**<<https://www.sanalsantiye.com/kolon-nedir-kolon-turleri-ve-uygulamalari/>>, erişim tarihi 03.12.2023
- Url-4**<<https://continuingeducation.bnppmedia.com/courses/the-steel-institute-of-new-york/introducing-the-steel-plate-composite-core/2/>> erişim tarihi 03.12.2023
- Url-5**<<https://www.safsteelstructure.com/news/why-space-frame-is-developing-fast/>> erişim tarihi: 03.12.2023

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Çetintaş

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Fatih Sultan Vakıf Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR VE SUNUMLAR:

- **Çetintaş, M., Yazıcıoğlu, F.** 2023. Türkiye’de dönüşen yapı stoğu kapsamında konut mimarisinde taşıyıcı sistemler ve çevresel sürdürülebilirlik, *XIII. Uluslararası Sinan Sempozyumu*, 27 – 28 Nisan 2023 Trakya Üniversitesi, Edirne

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Çetintaş, M., Özkan, H. C., & Beşoluk, D.** 2021. Yüksek yapılarda diagrid taşıyıcı sistemler, *XII. Uluslararası Sinan Sempozyumu*, 8 – 9 Nisan 2021 Trakya Üniversitesi, Edirne.
- **Çetintaş, M., Ağırbaş, A.** 2019. Differentiation of Anatolian-Turkish carpet motifs by using shape grammars: A case study, *ISLAH İkinci Uluslararası İslami Mimari Mirası Konferansı*, 26-28 Ağustos, İstanbul.