İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: BİR SANAYİ YAPISI ÜZERİNDE ÖRNEKLEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğçe AKMANDOR

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: BİR SANAYİ YAPISI ÜZERİNDE ÖRNEKLEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tuğçe AKMANDOR
(501091150)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Mayıs 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin AYDOĞAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet Işık SAYGUN (İTÜ)
Doç. Dr. Ali Fuat AYDIN (İTÜ)

HAZİRAN 2011

Canım Babama ve Arkadaşlarıma,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tezim sırasında, değerli vaktini, bilgilerini ve görüşlerini benimle paylaştığı için Sayın Prof. Dr. Metin AYDOĞAN'a,

Her türlü soruma sabırla cevap verdikleri, tezimin şekillenmesinde katkılarını inkar edemeyeceğim Sayın İnş. Müh. M. Şakir TUNA'ya, Sayın İnş. Müh. Osman YILMAZ'a ve Tuna Proje çalışanlarına,

Literatürden bulamayacağım prefabrike yapım sistemleri hakkındaki birçok bilgiyi benle paylaştığı için Sayın Proje Müdürü Mustafa KENAR'a ve Yüksek İnşaat Mühendisi Çağlar ÇELIKÖRS'e,

İnşaat ve Çevre Bilimleri'nin ortak bir ürünü olan bu yüksek lisans tezini hazırlamama olanak sağlayan tüm lisans ve yüksek lisans hocalarıma,

Son olarak ise, bitirme çalışmam süresince, bana gösterdikleri büyük sabırdan ötürü aileme ve arkadaşlarıma,

Çok teşekkür ederim.

Haziran 2011 Tuğçe AKMANDOR

(Çevre ve İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Anlam ve Önemi 1
1.2 Tezin Amaç ve Kapsamı 1
2. LİTERATÜR ÖZETİ **3**
2.1 İklim Değişikliği 3
2.2 İklim Değişikliği – Uluslararası Mekanizmalar 5
2.2.1 Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli – IPCC 5
2.2.2 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi - UNFCCC 5
2.3 Türkiye'nin İklim Değişikliği – Uluslararası Mekanizmalar Karşısındaki Konumu 8
2.4 Türkiye'de Sera Gazı Envanteri 9
3. ÇEVREYLE İLGİLİ KAVRAMLAR **15**
3.1 Sürdürülebilir Kalkınma 15
3.2 Sürdürülebilir Yapım 16
3.3 Çevresel Tasarım 20
3.3.1 Çevresel performans göstergelerin belirlenmesi 21
3.3.1.1 Global çevre 21
3.3.1.2 Bölgesel çevre 21
3.3.1.3 İnşaat sahası çevresi 21
3.3.2 Çevresel performans değerlendirmesi 22
3.3.3 LCA analizi 22
3.3.3.1 Amacın ve sistemin tanımlanması 22
3.3.3.2 Envanter analizi 23
3.3.3.3 Çevresel etkinin analizi 24
3.3.3.4 Sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlama 25
4. KONVANSİYONEL VE PREFABRİKE YAPIM SİSTEMLERİ **27**
4.1 Konvansiyonel Yapım Sistemi 27
4.2 Prefabrike Yapım Sistemi 28
5. KONVANSİYONEL VE PREFABRİKE BETONARME OLARAK İNŞAA EDİLEN BİR SANAYİ YAPISI ÜZERİNDE ÇEVRESEL PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI **31**
5.1 Amacın ve Sistemin Tanıtımı 31
5.1.1 Fonksiyon 31

5.1.2 Fonksiyonel birim 32
5.1.3 Anahtar parametreler 32
5.1.3.1 Konvansiyonel betonarme yapının anahtar parametreleri 32
5.1.3.2 Prefabrike betonarme yapının anahtar parametreleri 35
5.2 Envanter Analizi 38
5.2.1 Malzeme miktarları 38
5.2.1.1 Konvansiyonel betonarme yapının malzeme miktarları 38
5.2.1.2 Prefabrike betonarme yapının malzeme miktarları 40
5.2.2 Malzeme taşıma miktarları 44
5.2.2.1 Konvansiyonel betonarme yapının malzeme taşıma miktarları 44
5.2.2.2 Prefabrike betonarme yapının malzeme taşıma miktarları 44
5.2.3 Uygulama sırasındaki araç kullanım miktarları 45
5.2.3.1 Konvansiyonel betonarme yapının inşaat sahasındaki faaliyetleri 45
5.2.3.2 Prefabrike betonarme yapının üretim ve inşaat sahasındaki faaliyetleri 46
5.2.4 Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapıların envanter karşılaştırması 47
5.3 Çevresel Etkinin Analizi 50
5.4 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Yorumlama 53
6. ÇEVRESEL PERFORMANSLA İLGİLİ ÖRNEK ÇALIŞMALAR 55
6.1 Betonarme Rijit Çerçeveden Oluşan Viyadük 56
6.2 Yaya Geçidi 56
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 59
KAYNAKLAR 61
ÖZGEÇMİŞ 65

KISALTMALAR

AB	**:**	Avrupa Birliği
Annex I	**:**	Industrialized Countries that were Members of the OECD-Endüstrileşmiş OECD Üye Ülkelerdffi
Annex IET	**:**	Countries with Economies in Transition-Geçiş Ekonomili Ülkeler
BMİDÇS	**:**	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi
CIB	**:**	International Council for Research and Innovation in Building and Construction
COP7	**:**	Conference of the Parties 7-Kyoto Protokolü'ne Taraf Ülkeler Toplantısı 7
Eşd.	**:**	Eşdeğeri
IPCC	**:**	Intergovernmental Panel on Climate Change-Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
OECD	**:**	Organisation for Economic Co-operation and Development - Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü veya İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı
RDF	**:**	Refuse Derived Fuel-Atıktan Üretilen Yakıt
PEGSÜ	**:**	Pazar Ekonomisine Geçiş Sürecindeki Ülkeler
SAP2000	**:**	Structural Analysis Program –Yapısal Tasarım Programı
TS EN ISO 14040	**:**	Çevre Yönetimi -Hayat Boyu Değerlendirme-Prensipler ve Çerçeve (Türk Standartları Enstitüsü)
TÜİK	**:**	Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP-IETC	**:**	United Nations Environment Programme–International Environmental Technology Centre- Birleşmiş Milletler Çevre Programı - Uluslararası Çevre Teknolojisi Merkezi
UNFCCC	**:**	United Nations Framework Convention on Climate Change
WCED	**:**	The World Commission on Environment and Development-Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu
WMO	**:**	World Meteorological Organisation- Dünya Meteoroloji Teşkilatı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sera gazlarının özellikleri. 4
Çizelge 2.2 : UNFCCC katılımcı ülkelerin görev tanımları. 6
Çizelge 2.3 : Kyoto Protokolü'ne katılımcı ülkelerin görev tanımları. 6
Çizelge 2.4 : Toplam seragazı emisyonları (milyon ton CO_2 eşd.). 10
Çizelge 2.5 : Sektörlere göre toplam seragazı emisyonları (mil. ton CO_2 eşd.). 10
Çizelge 2.6 : Doğrudan CO_2 emisyonlarının sektörel dağılımı (%). 11
Çizelge 2.7 : Ayrıntılı sektörlere göre CO_2 emisyonları 11
Çizelge 2.8 : 2008 yılı sera gaz emisyonları. 13
Çizelge 3.1 : Hizmet ömürlerine göre yapılar. 22
Çizelge 3.2 : Faaliyetlere göre CO_2 emisyonları. 24
Çizelge 5.1 : Sistem tasarım parametreleri. 31
Çizelge 5.2 : Konvansiyonel sistemde kullanılacak malzeme miktarları. 38
Çizelge 5.3 : Prefabrike sistemde kullanılacak malzeme miktarları. 40
Çizelge 5.4 : Prefabrike elemanların birim malzeme miktarları. 42
Çizelge 5.5 : Prefabrike elemanlar için gerekli kalıp miktarları. 43
Çizelge 5.6 : Konvansiyonel betonarme yapının oluşturulma süreci sırasındaki malzeme inşaat sahasına taşıma miktarları. 44
Çizelge 5.7 : Prefabrike betonarme yapının oluşturulma süreci sırasındaki malzeme inşaat sahasına taşıma miktarları. 44
Çizelge 5.8 : Konvansiyonel betonarme yapının inşaat sahasındaki araç kullanım miktarı. 45
Çizelge 5.9 : Prefabrike betonarme yapının üretim tesisindeki araç kullanım miktarı. 46
Çizelge 5.10 : Prefabrike betonarme yapının inşaat sahasındaki araç kullanım miktarları. 47
Çizelge 5.11 : Konvansiyonel betonarme yapının malzeme üretiminden kaynaklı CO_2 emisyonu. 50
Çizelge 5.12 : Prefabrike betonarme yapının malzeme üretiminden kaynaklı CO_2 emisyonu. 51
Çizelge 5.13 : Konvansiyonel betonarme yapının malzeme taşınımından kaynaklı CO_2 emisyonu. 52
Çizelge 5.14 : Prefabrike betonarme yapının malzeme taşınımından kaynaklı CO_2 emisyonu. 52
Çizelge 5.15 : Konvansiyonel betonarme yapının inşaat sahası faaliyetlerinden kaynaklı CO_2 emisyonu 52
Çizelge 5.16 : Prefabrike betonarme yapının inşaat sahası faaliyetlerinden kaynaklı CO_2 emisyonu 52
Çizelge 5.17 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının toplam CO_2 emisyonu (kg CO_2 eşd.). 53

ŞEKİL LİSTESİ

Savfa

Şekil 2.1 : Atmosferin sera etkisi 3
Şekil 2.2 : İklim değişme durumu..... 4
Şekil 2.3 : Karbon ticareti. 7
Şekil 2.4 : Koyoto Protokolü'ne ülkelerin katılım durumu. 8
Şekil 2.5 : Sera gaz emisyonlarının ülkeler bazında değişimi. 12
Şekil 2.6 : UNFCCC gruplarına göre sera gaz emisyonlarının dağılımı. 13
Şekil 2.7 : Dünya ölçeğinde sera gazlarının sektörlere göre dağılımı. 14
Şekil 3.1 : Kilbert modeli. 17
Şekil 3.2 : Ülkesel koşullara bağlı sürdürülebilir yapım. 18
Şekil 3.3 : Betonarmenin yaşam döngüsü evreleri. 23
Şekil 4.1 : Konvansiyonel yapım sisteminde taşıyıcının oluşturulma süreci. 27
Şekil 4.2 : Prefabrike yapım sisteminde taşıyıcının oluşturulma süreci. 29
Şekil 4.3 : Prefabrike yapım sisteminde üretim süreci. 29
Şekil 5.1 : Sistem aksları. 31
Şekil 5.2 : Konvansiyonel betonarme yapının A-A kesiti. 32
Şekil 5.3 : Konvansiyonel betonarme yapının B-B kesiti. 33
Şekil 5.4 : Konvansiyonel betonarme yapının temel kalıp planı. 33
Şekil 5.5 : Konvansiyonel betonarme yapının ara kat kalıp planı. 34
Şekil 5.6 : Konvansiyonel betonarme yapının çatı katı kalıp planı. 34
Şekil 5.7 : Prefabrike yapının betonarme X-aksı kesitleri. 35
Şekil 5.8 : Prefabrike yapının betonarme yapının Y-aksı kesitleri. 36
Şekil 5.9 : Prefabrike betonarme yapının temel kalıp planı..... 36
Şekil 5.10 : Prefabrike betonarme yapının ara kat montaj planı. 37
Şekil 5.11 : Prefabrike betonarme yapının çatı katı montaj planı. 37
Şekil 5.12 : Konvansiyonel betonarme yapının -1.00m ile +4.20m kotları arası kolon aplikasyon planı 38
Şekil 5.13 : Konvansiyonel betonarme yapının T2 temeli donatı detayı..... 39
Şekil 5.14 : Konvansiyonel betonarme çatı döşemesi donatı detayı. 39
Şekil 5.15 : Konvansiyonel betonarme çatı kirişi donatı detayı. 39
Şekil 5.16 : Prefabrike betonarme elemanlarının donatı detayları. 41
Şekil 5.17 : Prefabrike betonarme makas kirişi. 41
Şekil 5.18 : Prefabrike betonarme S3 kolonunun ve konsolunun donatı detayları... 41
Şekil 5.19 : Prefabrike betonarme yapının yerinde dökme T1 temel donatı detayı. . 42
Şekil 5.20 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının malzeme üretimlerinin karşılaştırılması I. 48
Şekil 5.21 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının malzeme üretimlerinin karşılaştırılması II..... 48
Şekil 5.22 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının malzeme taşınımları sırasında kullanılan araçlar tarafından katedilen mesafelerin karşılaştırılması.. 49

Şekil 5.23 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının oluşturulması sırasında kullanılan araçların kullanım sürelerinin karşılaştırılması.....50
Şekil 5.24 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının toplam CO_2 emisyonu. ..... .53
Şekil 6.1 : Bağ kirişli ve bağ kirişsiz viyadüklerin kesitleri.....55
Şekil 6.2 : Bağ kirişli ve bağ kirişsiz viyadüklerin CO_2 emisyon karşılaştırmaları. 56
Şekil 6.3 : Öngerilmelili beton köprünün kesiti.....57
Şekil 6.4 : Yüksek dayanımlı betonarme köprü kesiti 57
Şekil 6.5 : Yüksek dayanımlı betonarme köprünün üst yapısının perspektif görünüşü 58
Şekil 6.5 : Yüksek dayanımlı betonarme köprünün üst yapısının perspektif görünüşü. 58
Şekil 6.6 : Öngerilmeli beton ile yüksek dayanımlı betonarme köprülerin CO_2 emisyon karşılaştırmaları. 58

SEMBOL LİSTESİ

CO_2	**:** Karbondioksit
R	**:** Mevcut Çevresel Performans
S	**:** Çevresel Performans Gereği
Z3	**:** Zemin Sınıfı 3 (DBYBHY Çizelge 6.2)
$\sigma_{z,em}$	**:** Zemin Emniyet Gerilmesi

BETONARME YAPILARDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: BİR SANAYİ YAPISI ÜZERİNDE ÖRNEKLEME

ÖZET

Son yıllarda, çevre sorunu deyince akla ilk olarak iklim değişikliği gelmektedir. İklim değişikliğine en büyük neden sera gazlarından biri olan CO_2 gazının emisyonudur. İklim değişikliği global ölçekte bir çevresel problem olduğundan, uluslararası çabalarla bu soruna önlem alınmaya çalışılmaktadır. Özellikle Kyoto Protokolü ile her ülkeye ileriye dönük zorlayıcı hedefler konulmuştur. Türkiye de dahil olmak üzere bu protokolü kabul eden ülkelerin CO_2 emisyon miktarlarını, bir takım kurallar çerçevesinde belirli seviyelerin altına düşürmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla, ekonominin lokomotifi olan inşaat sektörü başta olmak üzere tüm sektörlerin çevreye karşı daha duyarlı olmaları beklenmektedir. İnşaat sektöründe ise, en çok tercih edilen ve gaz emisyonuna neden olan betonarme yapılara, bu açıdan, diğerlerine nazaran daha çok itina edilmesi gerekmektedir.

Şimdiye kadar betonarme yapılar genellikle maliyetleri ve yapısal tasarımları bakımından incelenmiştir. Bu çalışmada ise, betonarme yapıların sürdürülebilirliği için yapısal tasarıma ek olarak çevresel performans kavramı yeni bir tasarım parametresi olarak tanıtılmak istenmiştir. Betonarme yapılarda yaşam döngüleri boyunca oluşacak CO_2 emisyonları için literatürdeki çalışmalardan bir emisyon envanteri hazırlanmıştır. Daha sonra, bir sanayi yapısı iki farklı betonarme yapım sistemi olan konvansiyonel ve prefabrike olarak tasarlanmış, kullanılacak beton, demir, kalıp vb. gibi malzeme miktarları hesaplanmıştır. Bu malzemelerin üretiminden, taşınmasından ve şantiyede uygulamalarından kaynaklanan çevresel etkileri CO_2 emisyonları açısından karşılaştırılmıştır. Ayrıca kaynaklardan alınan bazı örnek uygulamalar da verilmiştir.

SUSTAINABILITY FOR CONCRETE STRUCTURES: A CASE STUDY ON AN INDUSTRIAL BUILDING

SUMMARY

In recent years, climate change has come first in mind for environmental problem. The climate change is caused by CO_2 emissions mostly. Climate change is a global-scale environmental problem; therefore the measures are tried to be taken internationally to solve this environmental problem. Especially, due to Kyoto Protocol each country has compelling targets which must be carried out in the near future. Turkey is also one of the countries which has accepted the protocol and must reduce CO_2 emissions below specific levels. Therefore, all sectors and particularly construction sector that is thought as locomotive of economy, must be more sensitive to the environment. Concrete structures have more responsibilities than others because they are the most preferred and cause more gas emissions.

Until now, concrete structures have been surveyed in terms of cost and structural design. In this study, environmental performance is described as a new design parameter in additional to structural design for concrete structures. Therefore, inventory data of CO_2 emission during life cycle of concrete structures is prepared by literature survey. Then, the quantities of materials (concrete, steel, formwork etc.) are calculated for conventional and prefabricated design of an industrial structure. Environmental impacts of the manufacturing methods due to material production, transportation and application are compared. In addition, two more case studies from literature are included.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Anlam ve Önemi

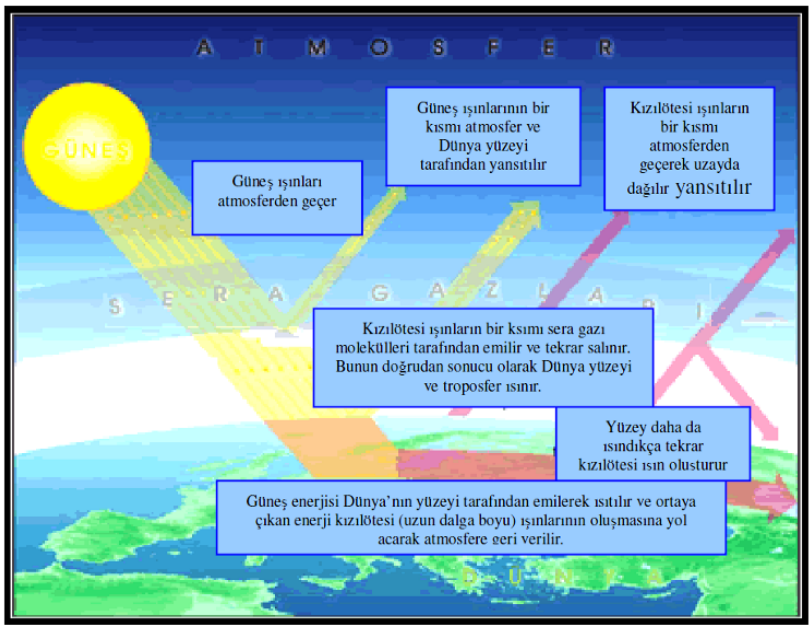
Son yıllarda, iklim değişikliği konusu oldukça önemli bir konu haline gelmiştir. İklim değişikliğine en büyük etken sera gazlarının ve özellikle CO_2 gazının emisyonudur. İklim değişikliği global ölçekte bir çevresel problem olduğundan, uluslararası çabalarla bu soruna önlem alınmaya çalışılmaktadır. Bilhassa, Kyoto Protokolü ile her ülkeye ileriye dönük zorlayıcı hedefler konulmuştur. Türkiye de dahil olmak üzere bu protokolü kabul eden ülkelerin CO_2 emisyon miktarlarını, bir takım kurallar çerçevesinde belirli seviyelerin altına düşürmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla, ekonominin lokomotifi olan inşaat sektörü başta olmak üzere tüm sektörlerin çevreye karşı daha duyarlı olmaları beklenmektedir. İnşaat sektöründe ise, en çok tercih edilen ve gaz emisyonuna neden olan betonarme yapılara diğerlerine nazaran daha çok görev düşmektedir. Şimdiye kadar betonarme yapılar maliyetleri, yapısal tasarımları bakımından incelenmiştir. Bu çalışmada ise, betonarme yapıların sürdürülebilirliği için yapısal tasarıma ek olarak çevresel performans kavramı yeni bir tasarım parametresi olarak tanıtılmak istenmiştir.

1.2 Tezin Amaç ve Kapsamı

Çalışma kapsamında, örnek olmak üzere, bir sanayi yapısı iki farklı betonarme yapım sistemi olan konvansiyonel ve prefabrike olarak tasarlanmış ve kullanılacak beton, demir, kalıp vb. gibi malzeme miktarları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar kapsamında malzemelerin üretiminden, taşınmasından ve şantiyede uygulamalarından kaynaklanan CO_2 emisyonları belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, iki betonarme yapım yönteminin CO_2 emisyonları açısından çevresel etkileri karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 İklim Değişikliği



Şekil 2.1 : Atmosferin sera etkisi [1].

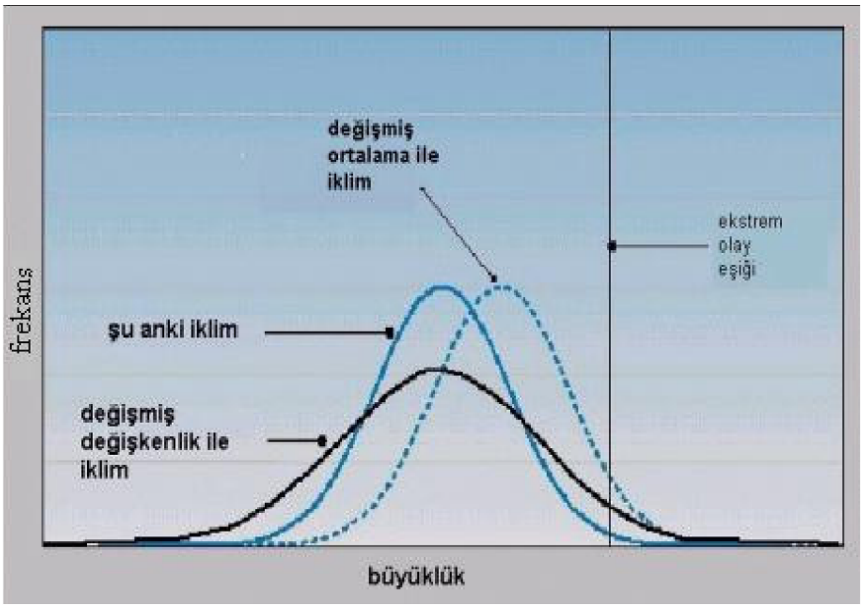
Fosil yakıt kullanılarak zamanla atmosferde bulunan sera gazı konsantrasyonları artmaktadır. Böylece, Şekil 2.1'de de görüldüğü üzere, atmosferin var olan sera etkisi dengesini bozulmaktadır.

Güneş'ten gelen kısa dalga boylu ışınlar atmosferden geçerek yeryüzü tarafından tutulmaktadır. Dolayısıyla yeryüzü, ısınmakta ve coğrafi yapının özelliklerine göre farklı kızılötesi ışın yayılmaktadır. Güneş'ten gelen her dalga boyundaki ışın atmosferden geçemediği gibi, benzer şekilde yeryüzünden yayılan her kızılötesi ışın da atmosferden uzaya tümüyle geçememektedir. Bununla beraber, yansıyan ışınlar, atmosferde bulunan ve sera gazı olarak adlandırılan CO_2, CH_4, N_2O ve H_2O (su buharı) gazları tarafından tutulmaktadır. Ayrıca, yansıyan ışınları tutan sera gazları da ısınmaktadırlar. Bu gazların ısınan molekülleri havadaki diğer moleküllerle çarpışarak atmosferin diğer kısımlarının da ısınmasına neden olmaktadır. Bu ışın yutucu gazlar ısındığında, onlar da ışın yaymaya başlamaktadırlar. Bu ışınların bir

kısmı uzaya kaçmakta, fakat bir kısmı yansıyarak yeniden yeryüzüne dönmektedir. Böylece yeryüzü, Güneş ışını ek olarak bir ışın daha kazanmaktadır [1].

Endüstri devrimi ile, fosil yakıtlarının kullanımı ve çimento üretimi gibi faaliyetlerden dolayı atmosferdeki başta CO_2 olmak üzere sera gazı konsantrasyonları artmaktadır. Dolayısıyla, uzaya yansıyacak olan ışınlar tutularak yeryüzünün gereğinden fazla ısınmasına neden olmaktadır. Buna sera etkisi denilmektedir [2]. Sera etkisi ise günümüzün en önemli çevre sorunlarından biri olan iklim değişikliğine yol açmaktadır.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde, iklim değişikliği; karşılaştırılabilir bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik biçiminde tanımlamıştır. Şekil 2.2'den de anlaşılacağı üzere, iklimin değişme durumu, iklimin ortalama değerlerinden sapma olarak da tanımlanabilir [3].



Şekil 2.2 : İklim değişme durumu [3].

Çizelge 2.1 : Sera gazlarının özellikleri [4].

Gaz	Atmosferdeki Konsantrasyonu (ppm)	Yıllık % Artış	Sera Etki Potansiyeli (CO_2 = 1)	Mevcut durumda sera oluşumuna katkı %
CO_2	351	0.4	1	57
CFC'ler	0.00225	5	15000	25
CH_4	1.675	1	25	12
N_2O	0.31	0.2	230	6

Sera etkisinde başlıca su buharı, karbondioksit ve metan rol oynamaktadır. Azot dioksitin rolü çok daha azdır. Diğer taraftan, bazı sentetik maddeler de sera olayına katkıda bulunmaktadırlar. Bunların arasında en önemlisi kloroflorokarbonlardır. Çizelge 2.1'de su buharının temel özellikleri değişken olduğundan onun dışındaki diğer sera gazlarının özellikleri verilmiştir. Çizelge 2.1'den de anlaşılacağı üzere, sera etkisinde en büyük pay karbondioksite aittir [4]. O yüzden, bu çalışmada özellikle karbon dioksit değerleri irdelenmiştir.

2.2 İklim Değişikliği – Uluslararası Mekanizmalar

İklim değişikliği için iki adet uluslararası mekanizma bulunmaktadır:

- Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli – IPCC
- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi - UNFCCC

2.2.1 Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli – IPCC

WMO ve UNEP tarafından 1988'de insan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek amacıyla kurulan IPCC 1990'da, 1995'te, 2001'de ve 2007'de olmak üzere 4 adet değerlendirme raporu yayınlamıştır. En önemli faaliyeti UNFCCC'nin uygulanmasına ilişkin konularda özel raporlar yayımlamaktır [5].

2.2.2 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi - UNFCCC

1994'de yürürlüğe giren UNFCCC'nin temel ilkeleri şunlardır:

- İklim sisteminin eşitlik temelinde, ortak fakat farklı sorumluluk ilkesine uygun olarak korunması,
- İklim değişikliğinden etkilenecek olan gelişmekte olan ülkelerin ihtiyaç ve özel koşullarının dikkate alınması,
- İklim değişikliğinin önlenmesi için alınacak tedbirlerin etkin ve en az maliyetle yapılması,
- Sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi ve alınacak politika ve önlemlerin ulusal kalkınma programlarına entegre edilmesi [6].

Katılımcı ülkelerin sorumlulukları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : UNFCCC katılımcı ülkelerin görev tanımları [6].

Listeler	Ülkeler	Tanımı	Sorumluluk
Ek-1	OECD + AB + PEGSÜ (40 ülke) Türkiye (Özel şartları tanınarak)	Gelişmiş	Emisyon Azaltımı
Ek-2	OECD + AB-15 (25 ülke) Türkiye (hariç)	Gelişmiş	Teknoloji Transferi ve Mali Destek Sağlamak
Ek-1 Dışı	Diğer Ülkeler (Çin, Hindistan, Pakistan, Meksika, Brezilya, …)	Gelişmekte	Yükümlülükleri yok…

2001 yılında Marakeş'te gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansı'nda (COP.7), "Sözleşmenin Ek-I listesinde yer alan diğer taraflardan farklı bir konumda olan Türkiye'nin özel koşullarının tanınarak, isminin EK-I'de kalarak EK-II'den silinmesi" yönünde karar alınmıştır. Türkiye sözleşmeye 24 Mayıs 2004 tarihi itibariyle taraf olmuştur.

Kyoto Protokolü bu çerçeve sözleşmenin 1997'de kabul edilen ekidir. Sözleşmenin amaçlarını paylaşan protokol, sözleşmeden yükümlülüklerinin hukuki niteliği bakımından ayrılmaktadır. Sözleşme sanayileşmiş ülkelere sera gazı emisyonları için bağlayıcı olmayan yükümlülükler tanımlarken, protokol sanayileşmiş ülke taraflarına bağlayıcı yükümlülükleri getirmiştir [5].

Protokole katılan ülkelerin sorumlulukları ise, Çizelge 2.3'te verilmiştir.

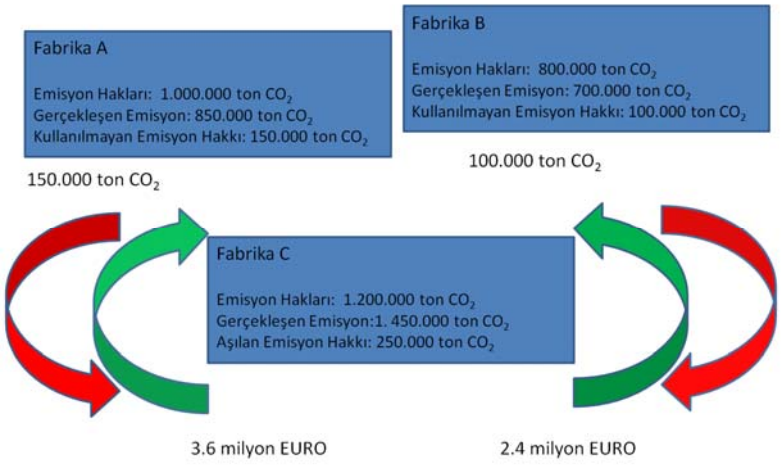
Çizelge 2.3 : Kyoto Protokolü'ne katılımcı ülkelerin görev tanımları [6].

Listeler	Ülkeler	Tanımı	Sorumluluk
Ek-1	OECD + AB + PEGSÜ (40 ülke)	Gelişmiş	Emisyon Azaltımı
Ek-2	OECD + AB-15 (25 ülke) Türkiye (hariç)	Gelişmekte	Teknoloji Transferi ve Mali Destek Sağlamak
Ek-1 Dışı	Diğer Ülkeler (Çin, Hindistan, Pakistan, Meksika, Brezilya, …)	Gelişmiş	Yükümlülükleri yok…
Ek-B	Ek-1 Ülkeleri(38 ülke) Türkiye ve Belarus (hariç)		2008-2012 arası dönem için 1990 seviyesine göre sera gazı emisyonlarında %5 azaltım

Ayrıca, bu protokol ile emisyon ticareti kavramı da ortaya çıkmıştır. Emisyon ticareti, basit bir mekanizmadır. Belirlenen emisyon azaltımı hedeflerine hızla

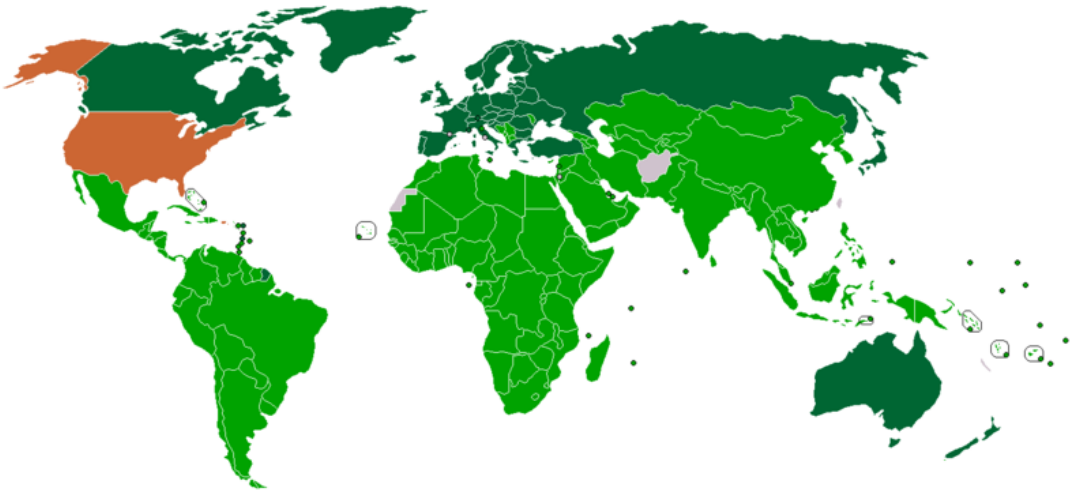
ulaşmak için, firmalara düşük maliyetli bir pazar çerçevesi sağlamayı amaçlar. Kısacası, sera gazı emisyonunu belirtilen hedeften daha fazla azaltan bir şirket/ülke, gerçekleştirdiği bu ek indirimi başka bir taraf şirkete/ülkeye satabilmektedir [7].

Protokol, gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyon hedeflerine ulaşabilmeleri için, emisyon azalması satın alabilmelerine imkan tanımaktadır. Pratikte, gelişmekte olan ülkelerin sera gazı sınırlamalarına tabi olmadıkları, ama sera gazını azaltan bir projenin uygulanması durumunda elde ettikleri karbondioksit kredisini gelişmiş ülkelere satabilmesine olanak sağlamaktadır. Protokol ayrıca, Japonya ve Hollanda gibi zaten az salınım yapan ve çevre standartlarına saygılı ülkeler için, kendi sera gazı salınımlarını azaltmak yerine karbondioksit kredisi almalarını sağlar. Bu şekilde gelişmekte olan ülkeler de sera gazı salınımlarını azaltmak için teşvik edilmiş olurlar; çünkü karbondioksit kredisi satarak bu projeleri için kaynak edinmiş olurlar [7]. Şekil CO_2 emisyon ticareti nasıl yapılacağı bir örnek ile açıklanmıştır.



Şekil 2.3 : Karbon ticareti [7].

2005'te yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'ne Mayıs 2010 itibariyle 191 ülke ve Avrupa Birliği taraftır. Şekil 2.4'te ülkelerin Kyoto Protokolü'ne katılımları gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Koyoto Protokolü'ne ülkelerin katılım durumu [8].

Türkiye, bir OECD üyesi olarak, UNFCCC 1992 yılında kabul edildiğinde gelişmiş ülkeler ile birlikte Sözleşme'nin EK-I ve EK-II listelerine dâhil edilmiştir. 2001'de Marakeş'te gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansı'nda (COP7) alınan 26/CP.7 sayılı Kararla Türkiye'nin diğer EK-I Taraflarından farklı konumu tanınarak, adı UNFCCC'nin EK-II listesinden çıkarılmış fakat EK-I listesinde kalmıştır. Türkiye 24 Mayıs 2004'te 189. taraf olarak UNFCCC'ne katılmıştır [5].

Türkiye 5386 Sayılı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolüne Katılmamızın Uygun Bulunduğuna Dair Kanun'un 5 Şubat 2009'da Türkiye Büyük Millet Meclisi'nce kabulü ve 13 Mayıs 2009 tarih ve 2009/14979 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararı'nın ardından, katılım aracının Birleşmiş Milletlere sunulmasıyla 26 Ağustos 2009 tarihinde Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur. Protokol kabul edildiğinde UNFCCC tarafı olmayan Türkiye, EK-I taraflarının sayısallaştırılmış salım sınırlama veya azaltım yükümlülüklerinin tanımlandığı Protokol EK-B listesine dâhil edilmemiştir. Dolayısıyla, Protokolün 2008-2012 yıllarını kapsayan birinci yükümlülük döneminde Türkiye'nin herhangi bir sayısallaştırılmış salınım sınırlama veya azaltım yükümlülüğü bulunmamaktadır [5].

2.3 Türkiye'nin İklim Değişikliği – Uluslararası Mekanizmalar Karşısındaki Konumu

- IPCC'nin 4. Değerlendirme Raporu'na göre, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden en çok etkilenecek bölgeler arasında yer alan Akdeniz Havzası'nda yer almaktadır.

- OECD, AB VE UNFCC EK-I ülkeleri arasında en yüksek nüfus artış hızına sahiptir.
- İnsani Kalkınma Endeksi'ne göre 2005 verilerine göre, 177 ülke içinde 84. sıradadır.
- Sanayileşme seviyesi diğer OECD & UNFCCC EK-I ülkeleri ile karşılaştırılabilir seviyede değildir.
- OECD & UNFCCC EK-I ülkeleri arasında; kişi başı sera gazı emisyon, kümülatif emisyon ve kişi başı birincil enerji tüketimi miktarında en düşük değere sahiptir.
- Avrupa Birliğine üye 27 ülkenin 2006 yılı kişi başı sera gazı emisyon miktarı ortalaması 10.4 ton CO2 eşdeğeri iken, Türkiye'de bu değer 4.55 ton eşdeğerdir.
- UNFCCC EK-I ülkeleri arasında, (%95) oranı ile 1990-2006 yılları arasında en yüksek sera gazı emisyonu artış oranına sahiptir [6].

UNFCCC'yi hukuki olarak daha bağlayıcı hale getirmek amacıyla oluşturulan UNFCCC Kyoto Protokolü'nün ilk yükümlülük dönemi 2012 yılında sona ermektedir. 2012 sonrası iklim rejimine yönelik çalışmalar başlanmıştır ve Kopenhag'da düzenlenecek olan UNFCCC 15. Taraflar Konferansı'nda karara bağlanılacaktır. Bu konuda Türkiye'nin temel amacı, insanlığın ortak kaygısı olan iklim değişikliğini önlemeye yönelik yürütülen ve uluslararası taraflarla işbirliği içerisinde, tarafsız ve bilimsel bulgular ışığında ortak akılla belirlenmiş küresel çabalara, sürdürülebilir kalkınma politikalarına uygun olarak, ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar prensibi ve ülkemizin özel durumları (Ek-1 ülkeleri dâhilinde) çerçevesinde katılmaktır [9].

2.4 Türkiye'de Sera Gazı Envanteri

TÜİK 2008 Emisyon Envanteri çalışmasına göre, 2008 yılında toplam serag azı emisyonu 366.5 Mt CO_2 eşdeğeri olarak belirlenmiştir. Ulusal seragazı emisyonları hesaplarında 1996 IPCC Rehberi kullanılmıştır [10]. Çalışmanın istatiksel verileri Çizelge 2.4-2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.4'ten de anlaşılacağı üzere, envanter sonuçlarına göre, 2008 yılında toplam seragazı emisyonu CO_2 eşdeğeri olarak 366.5 milyon ton (Mt) olarak tahmin edilmiştir. Çizelge 2.5'e göre, 2008 yılı emisyonlarında CO_2 eşdeğeri olarak en

büyük payı %76 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, ikinci sırayı %9 ile atık bertarafı almaktadır. Endüstriyel işlemler ve tarımsal faaliyetler ise sırasıyla %8 ve %7 paya sahiptir. CO_2 eşdeğeri olarak 2008 yılı toplam seragazı emisyonu 1990 yılına göre %96 artış göstermiştir [10].

Türkiye'de, 2008 yılı CO_2 emisyonunda 1990 yılına göre, enerji sektöründe %114, endüstriyel işlemlerde ise %79 artış gözlenmiştir. 2008 yılında toplam CO_2 emisyonlarının yaklaşık olarak %91'i enerji üretiminden, %9'u endüstriyel işlemlerden kaynaklanmaktadır. CH_4 emisyonlarının %59'unun atık bertarafından, %31'inin tarımsal faaliyetlerden, N_2O emisyonlarının ise %72'sinin tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı görülmüştür. Çizelge 2.6'dan da anlaşılacağı üzere, 2008 yılında enerji kaynaklı CO_2 emisyonu incelendiğinde, toplam CO_2 emisyonunun %36'sının çevrim ve enerji sektöründen kaynaklandığı, %19'unun sanayiden, %16'sının ulaştırma sektörü, geri kalan %21'inin ise diğer sektörlerdeki enerji üretiminden kaynaklandığı görülmüştür [10].

Envanter çalışmasında inşaat sektörü net bir şekilde ayrılmamıştır; ancak inşaat sektörünün sanayi, ulaştırma ve enerji sektörü ile yakından ilişkili olduğu aşikardır.

Ayrıca inşaat sektörü kaynak tüketimi yoğun bir sektör olduğu için, endüstriyel işlemler sektöründeki maden üretimindeki sera gazı emisyon değerlerinde payı vardır.

Çizelge 2.4 : Toplam seragazı emisyonları (milyon ton CO_2 eşd.) [10].

	1990	1995	2000	2005	2008
CO_2	141.36	173.90	225.43	259.61	297.12
CH_4	33.50	46.87	53.30	52.35	54.29
N_2O	11.57	16.22	16.62	14.18	11.57
F Gazları	0.60	0.52	1.66	3.73	3.51
Toplam	187.03	237.51	297.01	329.87	366.50

Çizelge 2.5 : Sektörlere göre toplam seragazı emisyonları (mil. ton CO_2 eşd.) [10].

	1990	1995	2000	2005	2008
Enerji	132.13	160.79	212.55	241.75	277.71
Endüstriyel İşlemler	15.44	24.21	24.37	28.75	29.83
Tarımsal Faaliyetler	29.78	28.68	27.37	25.84	25.04
Atık	9.68	23.83	32.72	33.52	33.92
Toplam	187.03	237.51	297.01	329.87	366.50
1990 yılına göre artış %	-	26.99	58.80	76.37	95.96

Çizelge 2.6 : Doğrudan CO_2 emisyonlarının sektörel dağılımı (%) [10].

	1990	1995	2000	2005	2008
Enerji	89.63	89.33	91.85	91.04	91.16
1. Çevrim ve Enerji Sektörü	24.06	27.21	34.06	34.11	35.66
2. Sanayi	26.55	24.14	26.56	25.96	18.84
3. Ulaştırma	18.36	18.88	15.51	15.61	15.83
4. Diğer Sektörler	20.66	19.10	15.72	15.36	20.83
Endüstriyel İşlemler	10.37	10.67	8.15	8.96	8.84
1. Mineral Üretimi	9.71	10.05	8.04	8.69	8.84
2. Kimya Endüstrisi	0.58	0.55	0.07	0.23	(*)
3. Maden Üretimi	0.08	0.06	0.05	0.04	(*)

(*) 5429 sayılı Kanun gereği gizlilik ilkesine göre istatistiki birim sayısı üçten az olduğu için birimlere ilişkin bilgiler verilememiştir.

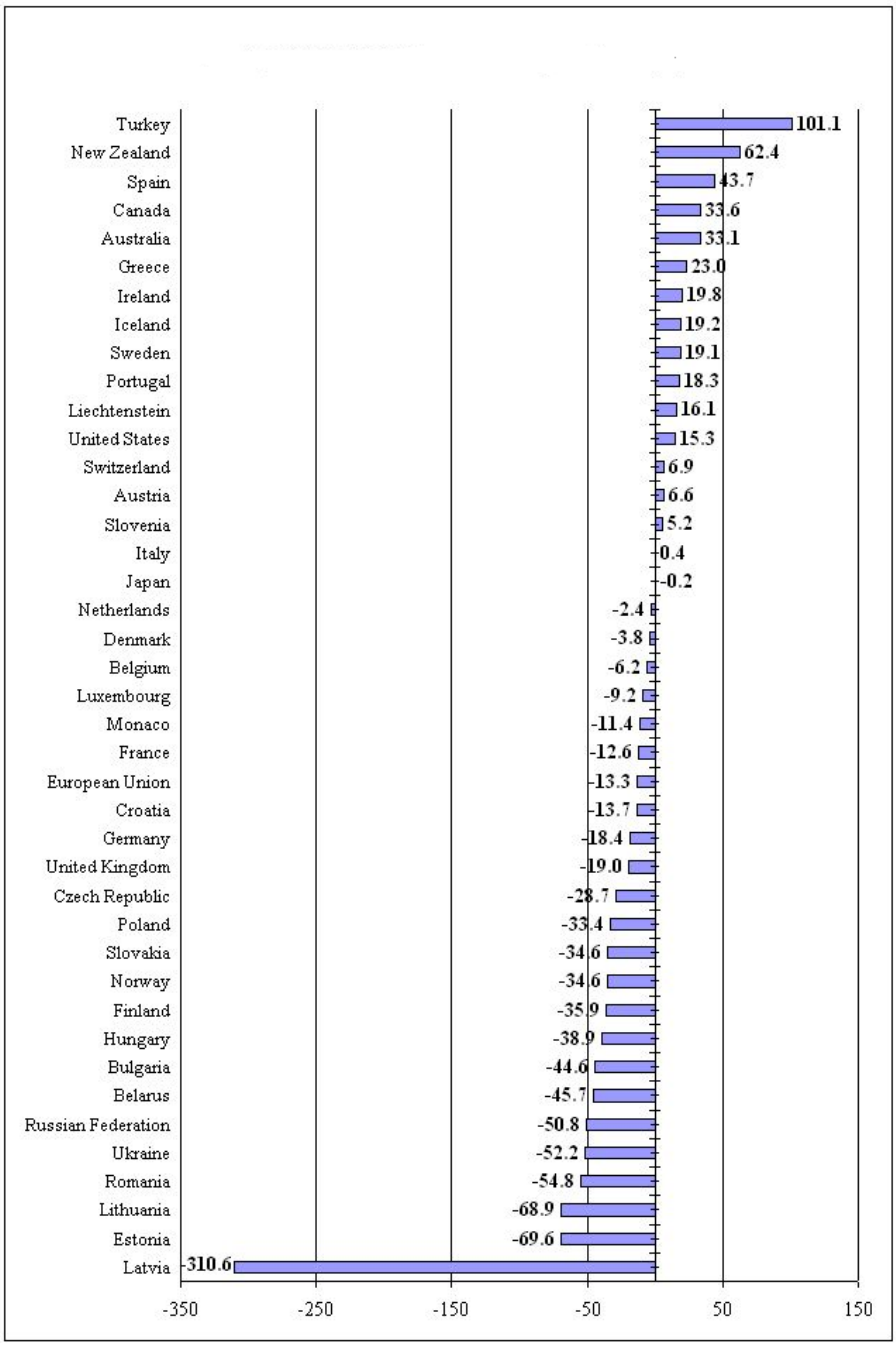
Çizelge 2.7 : Ayrıntılı sektörlere göre CO_2 emisyonları [10].

	1990	2008		1990	2008
Enerji	126701	270862	Endüstriyel İşlemler	14661	26262
1. Çevrim ve Enerji Sektörü	34015	105941	1. Mineral Üretimi	13726	26262
a. Elektrik Üretimi	30325	101473	a. Çimento Üretimi	10535	23269
b. Elektrik Üretimi	3689	4468	b. Kireç Üretimi	3085	2992
2. Sanayi Sektörü	37531	55973	c. $NaCO_3$ Üretimi	106	(*)
a. Demir Çelik	9402	12769	2. Kimya Endüstrisi	826	(*)
b. Demir Harici Madenler	1011	265	a. Amonyak Üretimi	714	(*)
c. Kimyasallar	2514	492	b. Karpit Üretimi	112	C
d. Diğer	24604	42446	3. Metal Üretimi	110	(*)
3. Ulaştırma	25955	47048	Toplam	141362	297124
a. Havacılık	905	5181			
b. Karayolu	24036	39882			
c. Demiryolu	517	450			
d. Denizcilik	498	1535			
4. Diğer Sektörler	29201	61900			
a. Konut	23406	48224			
b.Tarım/Orman/Hayvancılık	5795	13676			

(*) 5429 sayılı Kanun gereği gizlilik ilkesine göre istatistiki birim sayısı üçten az olduğu için birimlere ilişkin bilgiler verilememiştir.

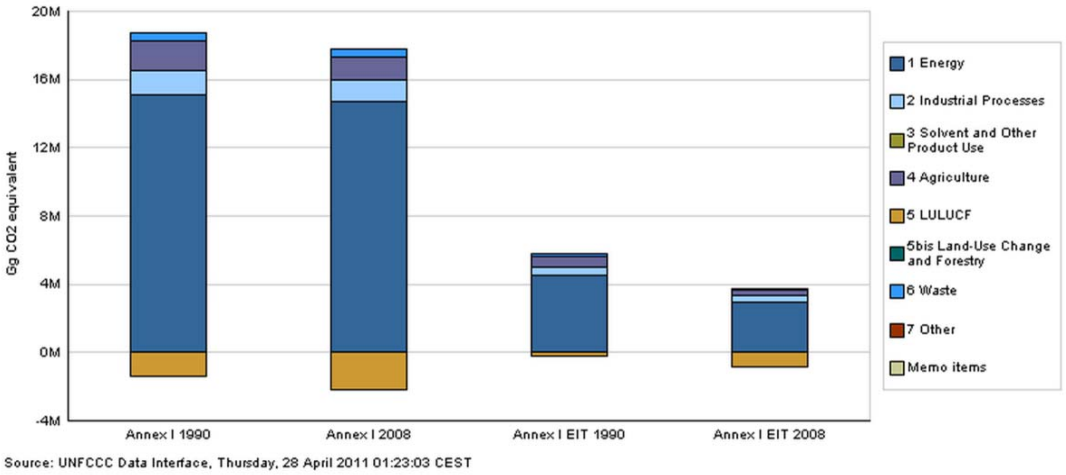
Çizelge 2.7'ye göre, inşaatla dolaylı olarak bağlantılı olan enerji sektöründe, 1990 referans yılına göre CO_2 emisyonları 2 kat artmıştır. Doğrudan alakalı olduğu demir çelik sanayiinde sera gaz emisyonu yaklaşık % 30 oranında artarken, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan çimento sektörü 1990 yılına göre sera gazı emisyon değerlerini ikiye katlamıştır.

Türkiye'nin 2008 yılı sera gazı emisyonları referans yılı 1990'a göre, diğer ülkeler arasında en fazla artış gösteren ülke olmuştur. Bu durum, Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Sera gaz emisyonlarının ülkeler bazında değişimi [11].

Şekil 2.6'da, 1990 ile 2008 yılları kıyaslandığında, Annex I ülkelerinin arazi kullanım ve tahribatı da dahil sera gaz emisyonu 17,340,613Gg CO_2 eşd.'den 15,642,677 Gg CO_2 eşd'ye düşerek % 9.8 azalırken, Annex IET ülkelerinin sera gaz emisyonu 5,582,900 Gg CO_2 eşd.'den 2,902,255.35 Gg CO_2 eşd'ye düşerek % 48 azalmıştır.

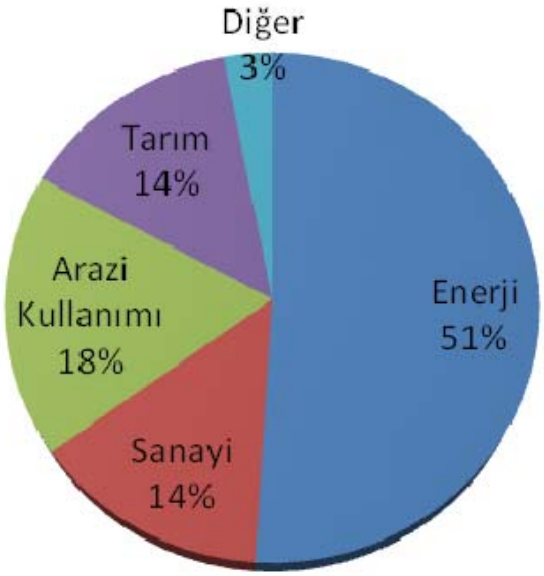


Şekil 2.6 : UNFCCC gruplarına göre sera gaz emisyonlarının dağılımı [11].

Çizelge 2.7'de Türkiye ve kritik önemi olan bazı ülkelerin 2008 yılı sera gaz emisyonları verilmiştir. Şekil 2.7'de ise dünya çapında sera gaz emisyonlarının sektörlere göre dağılımı verilmiştir.

Çizelge 2.8 : 2008 yılı sera gaz emisyonları [12].

	Milyar ton	% (2000 yılı)	% (2008 yılı)
Dünya	29.4	100.0	100.0
ABD	5.6	24.2	19.0
AB	3.8	15.4	12.9
Çin	6.5	13.8	22.1
Rusya	1.6	5.8	5.4
Japonya	1.1	5.0	3.7
Hindistan	1.4	5.0	4.8
Kanada	0.5	2.1	1.7
Türkiye	0.3	1.3	1.0



Şekil 2.7 : Dünya ölçeğinde sera gazlarının sektörlere göre dağılımı [12].

Sera gaz emisyonlarının büyük bir bölümünden, Şekil 2.7'den de anlaşılacağı üzere inşaat sektörü ile bağlantılı enerji, sanayi sektörü ve arazi kullanımı sorumludur.

3. ÇEVREYLE İLGİLİ KAVRAMLAR

3.1 Sürdürülebilir Kalkınma

Endüstri Devrimiyle birlikte insanoğlu, iki ciddi problemle karşı karşıya gelmiştir. Bunlardan biri, enerji/kaynak tüketimi diğeri ise küresel iklim değişikliğidir. Her iki çevresel sorun da insan faaliyetlerinin birer sonucu olup birbirlerinden bağımsız düşünülemezler.

Bu çevresel sorunlarla ilgili ilk uyarı 1971'de Rome Klubü'nün yayınladığı Büyümenin Sınırları adlı raporu ile gelmiş; ancak hakkettiği ilgiyi görememiştir [13]. Raporda, hızla artan nüfusa ve hızla büyüyen ekonomiye karşı bir önlem alınmazsa, kaynakların tükenip dünyanın geri dönüşü olmayan ekonomik bir krize gireceği ve hemen ekonomide küçülmeye gidilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Uluslararası çevre hukukunun ilk temelleri ise, Birleşmiş Milletler tarafından 1972 tarihinde Stockholm'da gerçekleştirilen İnsan Çevresi Konferansı ile atılmıştır. Bu konferans ile çevrenin korunmasında insanlara düşen görevler netleştirilmiştir. Konferansın ardından Stockholm Deklerasyonu kabul edilmiştir.

Dünya sisteminin dengeli bir şekilde sürdürülebilmesi ve eko-gelişme kavramları, Brundtland Komisyonu olarak da bilinen WCED'nin 1987 yılında yayınladığı Ortak Geleceğimiz adlı raporunda Sürdürülebilir Kalkınma olarak kavramlaştırılmış ve ardından politik ve ekonomik arenaya dahil edilmiştir [14]. Raporda, sürdürülebilir kalkınma gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılayabilmelerini tehlikeye sokmaksızın, bugünkü kuşakların ihtiyaçlarını karşılayabilen kalkınma olarak tanımlamıştır [15].

1992 Rio Yeryüzü Zirvesi'nde çevrenin korunumu ile ekonomik büyümenin arasındaki dengeyi sağlamak amaçlı ortaya atılan sürdürülebilir kalkınma kavramı tekrardan netleştirilip tüm insanlığın 21. yüzyıldaki ortak hedefi olarak benimsenmiştir. Bununla birlikte, 21. yüzyılda çevre ve kalkınma sorunlarıyla başa çıkılmasına ve sürdürülebilir kalkınma hedefine ulaşılmasına yönelik ilkeleri ve eylem alanlarını ortaya koyan Gündem 21 başlıklı Eylem Planı, Zirve'nin temel

çıktısı olarak, BM üyesi ülkelerce kabul edilmiştir. Ayrıca, Gündem 21 sürdürülebilir kalkınma için yeni bir küresel ortaklığın başlangıcı olarak tanımlanmaktadır [16].

3.2 Sürdürülebilir Yapım

Gündem 21 ve ondan sonra 1996'da gerçekleştirilen Habitat II Gündemi ile, özellikle sürdürülebilir kalkınmada insan yerleşimlerinin rolü önem kazanmıştır. Böylece, inşaat sektöründe de sürdürülebilirlik kavramının doğmasına neden olmuştur. İnşaat sektörünün hem artan nüfusun onla birlikte artan ihtiyaçlarını yerine getirmesi gerekmekte, hem de sürdürülebilirlik kavramını özümsemesi gerekmektedir.

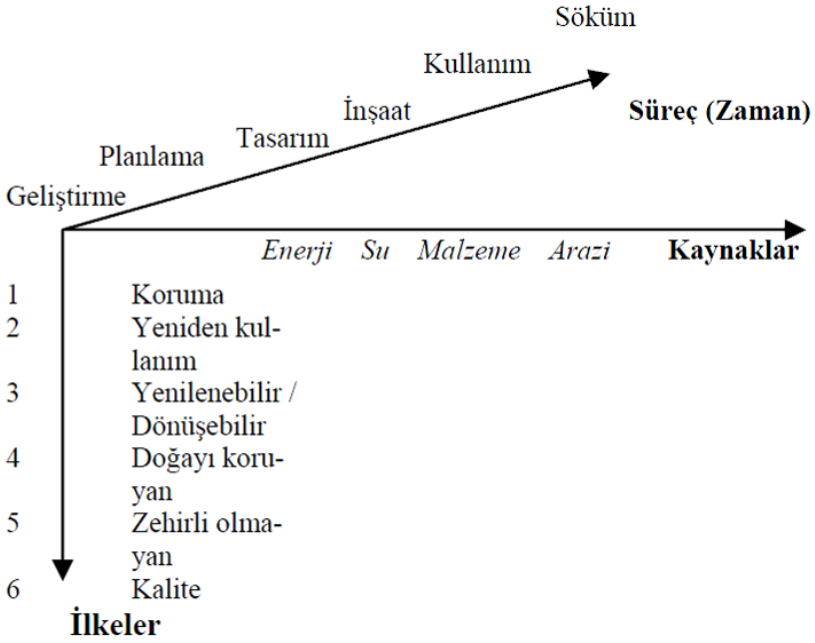
15 senelik süreçte, sürdürülebilir yapım ile ilgili sayılı çalışmalardan biri olan CIB'nin 1999'daki yayınladığı Sürdürülebilir Yapım için Gündem 21 adlı yayınla sürdürülebilir kalkınmanın global kavramı ile inşaat sektörü arasındaki bağlantıyı tanımlayan ve diğer gündemlerin yerel ve alt sektörel seviyelerde karşılaştırılmasına ve eşgüdümlenmesine imkân veren ve yerel bağlamda uygun bir şekilde duyarlı detaylandırılmış ölçümler tanımlayan kavramsal bir çerçeve ortaya koymayı hedeflemiştir. Ayrıca, CIB sürdürülebilir yapım için Gündem 21'in uygulanması adına ortaya konan eylem planının bir parçası olarak, UNEP-IETC ile birlikte 2002'de gerçekleştirilen Sürdürülebilir Kalkınma Dünya Zirvesi'nde de sunduğu, Gelişmekte Olan Ülkelerde Sürdürülebilir Yapım için Gündem 21 adında bir rapor daha yayınlamıştır. Bu raporun amacı, gelişmiş ülkelerdeki sürdürülebilir yapım yaklaşımıyla, gelişmekte olan ülkelerdeki yaklaşımın farklı olacağı düşüncesi benimsetmektir [14].

Sürdürülebilir yapım, yapıların beşikten mezara kadar tabiriyle yani tüm ömürleri boyunca sürdürülebilir kalkınma ilkelerinin hesaba katılmasıdır. Bir başka deyişle, bir yapının tasarımında kalite, maliyet ve zaman gibi konvansiyonel faktörlerin yanında çevre faktörünün de dikkate alınması gerekliliğidir.

Sürdürülebilir yapım konusunda, 2 tip yaklaşım vardır:

- Yaşam dönemi yaklaşımı,
- Ülkesel koşullara bağlı sürdürülebilir yapım.

Literatürde yaşam dönemi yaklaşımı için birçok model vardır. Parametreleri bakımından aralarında birtakım küçük farklılıklar göstermektedirler. Bu farklar dışında hepsinin amacı aynıdır. Bu modellerden en dikkat çekicisi Kilbert'ın sürdürülebilir yapım için kurduğu modeldir.



Şekil 3.1 : Kilbert modeli [14].

Şekil 3.1'den de görüldüğü üzere, model 3 eksenden oluşmaktadır: Süreç, kaynaklar ve ilkeler. Süreç, bir yapının yapılmaya karar verilmesinden yıkılmasına kadar geçen zamanı ifade etmektedir. Bu modelde, süreç kısmı 6 aşamadan oluşmaktadır: Geliştirme, planlama, tasarım, inşaat, kullanım (iyileştirme, onarım aşamaları da dahil) ve söküm.

Modelde, sürdürülebilir yapım sürecinde kaynaklar olarak sadece doğal kaynaklar olan enerji, su, malzeme ve arazi alınmıştır.

Son olarak, modelin ilkeleri ise altı adettir:

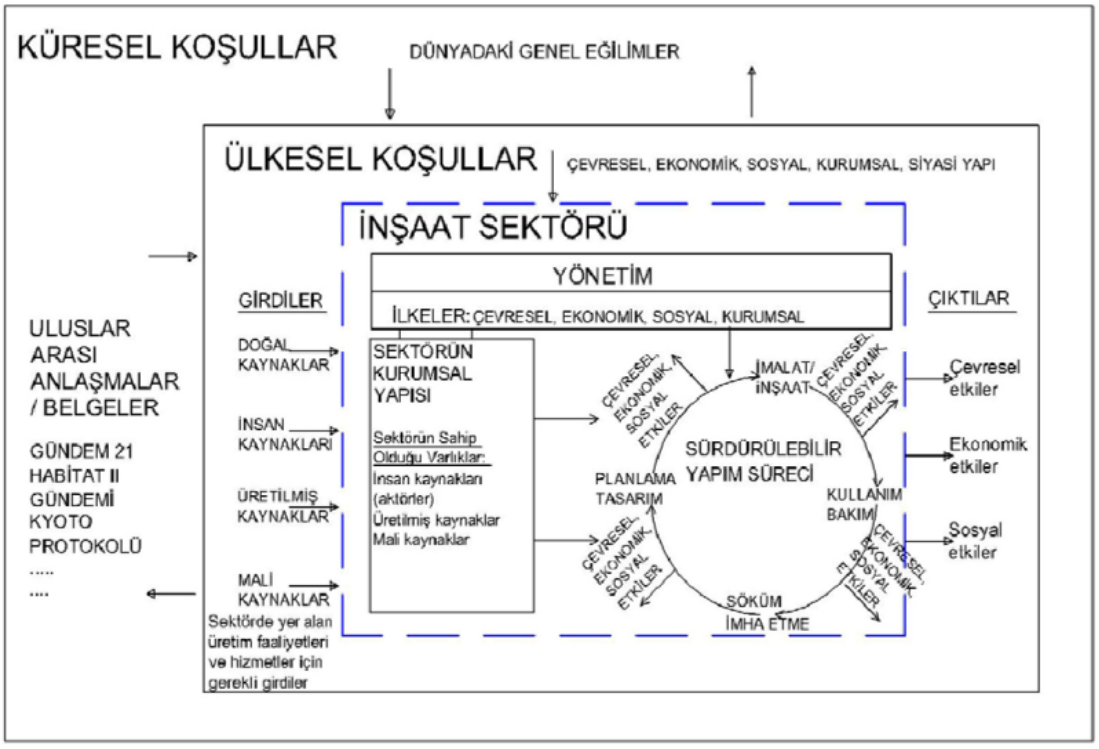
1) Kaynak tüketiminin minimuma indirgenmesi (Koruma),
2) Kaynakların yeniden kullanılmasının maksimize edilmesi (Yeniden kullanım),
3) Yenilenebilir veya dönüştürülebilir kaynakların kullanımı (Yenileme/ Dönüştürme),
4) Doğal çevreyi koruma (Doğayı koruma),
5) Sağlıklı ve zehirli olmayan bir çevre yaratma (Zehirli olmayan),
6) Yapay çevreyi yaratmada kaliteyi sürdürme (Kalite)

Bu modele göre, sürdürülebilir yapım, yaşam dönemi yaklaşımını esas alan yapım süreci boyunca, üretim faaliyetlerinde ve hizmetlerde, çeşitli aktörler tarafından

kullanılan kaynakların sürdürülebilir kalkınma ilkelerinden türetilen sürdürülebilir yapım ilkelerine uygun olarak kullanılmasıdır [14].

İnşaat sürecinde sürdürülebilir yapım ilkelerinin uygulanmasındaki temel amaç, inşaat sektörünün minimumda çevresel etkilere neden olurken, maksimum düzeyde ekonomik ve sosyal katkıda bulunmaktır. Bu hedef ülkesel koşullara ve sektörün kapasitesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla, bu değişken koşullar doğrultusunda öncelikli hedefler de farklı olabilecektir. Bazı ülkelerde çevresel konular öncelikli olurken, diğerlerinde sosyo-ekonomik konular öncelikli olabilecektir [14].

Şekil 3.2'de görüleceği üzere, inşaat sektörü hem dış çevresi olan ülkesel koşullardan ve küresel eğilimlerden etkilenmekte, hem de gerçekleştirdiği üretim faaliyetleri ve sunduğu ürün ve hizmetlerle dış çevresini etkilemektedir. İnşaat sektörünün etkileri çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarda gerçekleşmektedir. Bu etkilerle hem ülkedeki sürdürülebilir kalkınma düzeyini ve hem de dolayısıyla, küresel sürdürülebilir kalkınmayı etkileyebilmektedir [15].



Şekil 3.2 : Ülkesel koşullara bağlı sürdürülebilir yapım [14].

Sürdürülebilir inşaat, özellikle şu faktörler hesaba katıldığında gerçekleşmesi beklenir:

- Çevre dostu yapı malzemeleri
- Verimli enerji ve kaynak tüketimi
- Yapım ve yıkım atıkları yönetimi

Betonarme bir yapı, beton ve çelikten oluştuğundan yüksek miktarlarda enerji ve kaynak tüketimine neden olur. Betonun bileşimini ise yaklaşık %34 oranında ince agrega, %48 oranında iri agrega, %12 oranında çimento ve %6-12 oranında su oluşturmaktadır. Worldwatch Enstitüsü verilerine göre, yapılaşma faaliyetleri her yıl küresel olarak kullanılan taş, çakıl ve kumun % 40'ını tüketmektedir. Çimentonun üretimi, enerji yoğun bir süreçtir. Beton üretimi için tüketilen toplam enerjinin %94'ünün çimento üretiminden kaynaklanmaktadır. Bunu %5.9'luk oranla kırma taş takip etmektedir. Ülkemizde 35,000,000 ton/yıl üretim miktarıyla çimento sektörü önemli miktarda enerji (110 Kws/ton enerji, 100 kg/ton fuel-oil, 185 kg/ton kömür) tüketmektedir [17]. Ayrıca, agrega çıkartılarak doğanın tahribatına, habitat bozulmalarına neden olur. İnşaat ve yıkım atıklarının uzaklaştırması ise sorunludur. Diğer taraftan, çimentoda uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi birçok endüstriyel yan ürünler kullanılabilmektedir. Bütün bu nedenlerden dolayı, betonarme yapıların sürdürülebilir yapımda ciddi bir rolü vardır [18].

Çimento sektörünün çevre üzerindeki etkisini azaltmada akla ilk gelen önlemlerden biri alternatif hammaddelerin kullanılmasıdır. İçeriğinde metal oksit bulunan atıkların çimento endüstrisinde hammadde olarak kullanılması mümkündür. Örneğin asit üretiminin atığı olan pirit külü, demir cevheri yerine, gübre endrüstrisinin atığı olan veya enerji santrallerinin desülfirizasyon tesislerinin atığı olan fosfogibs, alçıtaşı yerine kullanılabilmektedir. Alternatif hammadde ya da katkı malzemesi kullanımı, kaynak tüketimini ve emisyonları azaltmasının yanında çimentoya birtakım özellikler de kazandırmaktadir. Örneğin, yüksek fırın cürufu ile çimentonun sülfat dayanımı artırılmaktadır [19].

Çimento sektöründe, çevresel etkileri azaltmada akla gelen diğer önlem ise, ek yakıt olarak RDF'lerin kullanılmasıdır. RDF'lere örnek olarak yüksek kalorifik değerlere sahip kullanılmış lastikler, ahşap, tekstil, plastik, kağıt, karton, ağartma toprağı, tehlikesiz arıtma çamurları verilebilinir [20]. Yüksek kalorifik değerlere sahip olan bu atıkların yakma tesislerindeki bertarafında yüksek bakiyeler kalmasına karşın,

çimento tesislerinde ek yakıt olarak kullanılması ile bakiye değerleri azalmaktadır. Bunun sebebi, çimento fırınlarının bertarafı en zor organik maddeler için bile uygun yanma ortamı sağlamasıdır. Bir başka deyişle, fırınların yüksek sıcaklıkta olup fırınlarda bekletme sürelerinin yeterli olması ile en zor organik atıkların bile bertarafı mümkün olmaktadır. Alev borusundaki yanıcı gazların sıcaklığı 2000º C ve önkalsinatördeki gazların sıcaklığı ise 1100º C'dır. Gazların yüksek sıcaklık şartlarında kalış süreleri, döner fırınlarda takriben 5-10 saniye, önkalsinatörde ise 3 saniyenin üstündedir. Ayrıca, çimento fırınlarında kısa sürelerde büyük ısı değişimleri gözlenmez ve konvansiyonel yakıta tekrardan kolaylıkla dönülebilinir [19].

Antimuan, arsenik, baryum, berilyum, kadmiyum, krom, bakır, kurşun, nikel, selenyum, vanadyum ve çinko gibi inorganik maddeler yanma sonucu imha olmazlar; ancak yaklaşık olarak % 100'ünün katı maddelerle birlikte klinker içinde kalmaktadır. Cıva ve talyum gibi aşırı uçucu metaller, klinkerle bu derecede birleşmedikleri için alternatif yakıtlar bu maddeler bakımından kontrol altında tutulmaktadır [19]. Bunlar için, çimento sektöründe mevcut toz tutma sistemi olan elektro filtreler yerine daha etkin olan torbalı filtrelere geçilmesi gerekliliği ortaya çıkar.

Türkiye'de yasal mevzuat RDF'lerin kullanılmasına 2005 yılından itibaren izin vermektedir; ancak konunun henüz çok yeni olması ve atıkların toplanması, depolanması ve bertarafı konusunda netlik olmamasından dolayı, atıkların çimento sektöründe yakıt olarak kullanılması Avrupa'da %30'larda iken, Türkiye'de ise sadece %3 gibi çok düşük seviyelerdedir [21].

3.3 Çevresel Tasarım

Betonarme bir yapı tasarım servis ömrü boyunca kullanılabilirlik, güvenlik, dayanıklılık ve çevresel etkiler bakımından kabul edilebilir düzeylerde tasarlanmalıdır. Bir yapının çevresel performansı bir takım çevresel performans göstergeler ile belirlenir. Bu göstergeler müşteri, yerel/global kanunlar, standartlar ve düzenlemeler tarafından belirlenen çevresel performans gereksinimlerini sağlamalıdırlar. Çevresel performans göstergeleri incelenen yapının çevre üzerindeki etkilerini ifade eden değerlerdir. Bunlar, etkiledikleri çevrelere göre 3 gruba ayrılırlar:

- Global çevre
- Bölgesel çevre
- İnşaat sahası çevresi

3.3.1 Çevresel performans göstergelerin belirlenmesi

3.3.1.1 Global çevre

Global çevre, küresel ısınma, ozon tabakasının yırtılması, ekosistemdeki değişikliklerden ya da herhangi bir global ölçekteki faktörlerden etkilenecek çevreye denir. Global çevre etkileri sera gazı emisyonlarından kaynaklı iklim değişikliği, enerji ve hammadde tüketimidir. Global ölçekte evrensel performans göstergelerine örnek vermek gerekirse, çimento üretimi ve beton işleri esnasında fosil yakıt tüketiminden dolayı, CO_2, NO_x ve SO_x emisyonları ya da betonarme yapının inşası sırasında poliüretan ve izolasyon malzemesi kullanımından dolayı CFC emisyonu olmaktadır. Sera gazlarına kontrol mekanizması Kyoto Protokolü ve diğer kirleticiler için Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği örnek verilebilinir. Ayrıca, beton üretimi esnasında çimento, doğal gaz, yağ, kum, su, çelik vb. gibi kaynaklar tüketilmektedir.

3.3.1.2 Bölgesel çevre

Bögesel çevre, hava, su veya toprak kirliliğinden etkilenecek çevredir. Örneğin, yıkama suyundaki Cr^{+6}, güçlü alkali ve ağır metal konsantrasyonları su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca, betonarme yapının herhangi bir yaşam döngüsü aşamasında su kaynaklarına yapılan deşarjlar BOD_5, amonyak, fosfat, yağ veya AKM yüküne sebep olmaktadırlar [18]. Betonarme yapılarının inşaatı sonucu oluşan hafriyat ve yıkım aşamasındaki tahta ve beton yıkıntıları da katı atık yükü bakımından önemlidir. Toprak Kirlilğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği bölgesel çevre için çevresel etkileri sınırlandırırlar.

3.3.1.3 İnşaat sahası çevresi

İnşaat sahası çevresindeki çevresel etkilere ise gürültü ve titreşim örnek verilebilir. Özellikle beton taşınımından kaynaklı trafik sıkışıklığı da çevresel etkilere neden olur. Ayrıca, yapının kullanımı sırasındaki asbest ya da izolasyon malzemelerindeki

CFC'ler, evde bulunan tozlar insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen havası hasta bina sendromuna sebep olan bina içi çevresinde etkili göstergelerdir [22]. İnşaat sahası için çevresel koruma mekanizmalarına ise, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği ile Hafriyat Toprağı, İnşaat Ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği örnek verilebilinir.

3.3.2 Çevresel performans değerlendirmesi

Çevresel performans değerlendirmesi çevresel etki büyüklüklerinin hesaplandığı, tahmin edildiği ya da ölçüldüğü aşamadır. Kullanılan method ise ömür süreci analizidir.

3.3.3 LCA analizi

LCA, bir ürünün, üretimi için kullanılan ham maddelerin tedarikinden, kullanımı, kullanım ömrü sonunda işlenmesi, geri dönüşümü ve nihaî bertarafına kadar hayatı boyunca (beşikten mezara kadarki sürecinde), çevresel boyutlarını ve muhtemel çevresel etkilerini (kaynakların kullanımı ve salınımların çevresel sonuçları gibi) incelemektir [23]. Yaşam döngüsü analizi demektir.

Ömür süreci analizi, dört temel evreden oluşur. Her evre, bir önceki evreyi yeniden gözden geçirilmesini neden olabilmektedir. Ömür süreci analizinin evreleri şunlardır:

3.3.3.1 Amacın ve sistemin tanımlanması

Fonksiyon: Betonarme yapının kullanım amacının belirlenmesidir.

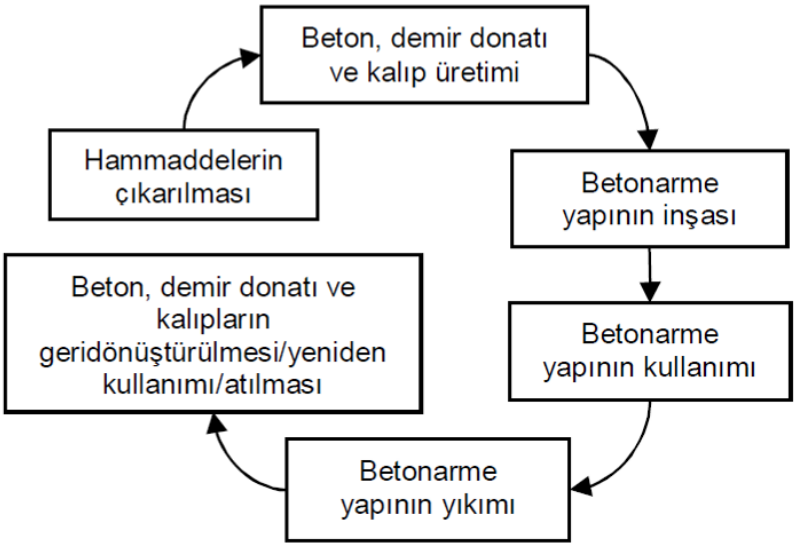
Fonksiyonel birim: Sistemin fonksiyonunu temsil eden büyüklüktür. Net ve ölçülebilir olmalıdır. Tutarlı değerlendirmeler yapılabilmesi için uygun fonksiyonel birimler tanımlanmalıdır [24]. Betonarme için fonksiyonel birim ise yapının hizmet ömrüdür. Çizelge 3.1'de yapıların hizmet ömürleri verilmiştir.

Çizelge 3.1: Hizmet ömürlerine göre yapılar [25].

Yapı Sınıfları	Tasarlanan Hizmet Ömrü	Örnek Yapılar
Geçici Yapılar	132.13	Şantiye
Orta Ömürlü Yapılar	15.44	Sanayi Yapısı
Uzun Ömürlü Yapılar	29.78	Konut, büro
Sürekli Yapılar	9.68	Tarihi yapılar

Anahtar parametreler: Fonksiyonel birimi karşılayacak nitelikte olmalıdır [24]. Betonarme taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların boyutlarıdır.

Sistemin limiti: Üzerinde çalışılan sistem temel evrelere ayrılır (Hammaddenin elde edilişi, taşıma, dönüştürme vs.) [24]. Temel evrelerden hangilerinin betonarme yapı üzerinde çevresel etkiye neden olacağına dikkat edilmelidir. Dikkate alınması gereken temel evreler Şekil 3.3'te verilmiştir:



Şekil 3.3 : Betonarmenin yaşam döngüsü evreleri [25].

3.3.3.2 Envanter analizi

Envanter analizi, ürünün yaşam süreci boyunca girdi ve çıktılarının tanımlandığı, enerji ve hammadde gereksinimlerinin, hava ve su emisyonlarının, katı ve diğer çevresel atıkların belirlendiği evredir [23]. Envanter analizi aşağıda belirtilenlerden oluşmaktadır:

Ham madde çıkarılması, üretim, ulaşım, yapım, bakım, yenileme, geri dönüşüm ve yıkım aşamalarında

- Kullanılacak hammadde gereksinimleri Çimento, agrega, tahta, çelik, su
- Farklı evrelere ait enerji gereksinimleri Elektrik, mazot
- Oluşan emisyonlar: CO_2

Bu çalışmada betonarme yapılarının yaşam döngüsü evrelerinden üretim, ulaşım ve yapım aşamalarına odaklanılacaktır. Bu doğrultuda, bu evrelerdeki CO_2 emisyonları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Faaliyetlere göre CO_2 emisyonları [26-31].

	Birim (*)	CO_2 birim emisyonu (kg/*)
Malzeme Üretimi		
Çimento	t	769
İri Agrega	t	2.90
İnce Agrega	t	3.70
Ahşap	t	124
Malzeme Üretimi		
Tuğla (taşıma dahil)	t	231
Çelik (profil)	t	1256
Çelik (donatı)	t	1213
Çelik (hasır)	t	1321
Yüksek Fırın Cürufu	t	26.50
Uçucu Kül	t	19.60
Kalker Tozu	t	16.10
Beton (tesiste)	t	7.68
Taşıma		
Kamyon (10t)	km*t	0.12
Kamyon (20t)	km*t	0.07
Kamyon (175HP)	saat	56.70
Damperli Kamyon (20t)	km*t	0.12
Mikser ($8m^3$)	saat	39.00
Mikser ($8m^3$)	$km*m^3$	0.30
Uygulama		
Yükleyici	saat	53.70
Ekskavatör	saat	51.70
Vibratör (0.75kW)	saat	0.45
Kalıp Vibratörü (0.2kW)	saat	0.02
Buhar kürü	m^3	38.50
Vinç (175HP)	saat	61.25
Vinç (45kW)	saat	27.00
Beton pompası ($100m^3/h$)	m^3	0.40

3.3.3.3 Çevresel etkinin analizi

Bu evrede, ekolojiyi ve insan sağlığı üzerinde olumsuz sonuçlara neden olacak etkiler belirlenmelidir. Belirlenen sistem içerisinde her evrede, oluşacak çevresel

etkiler sınıflandırılır ve karakterleri belirlenir. Bu çalışmada sistemin çıktısı CO_2, oluşan etki sera etkisi ve etkinin olumsuz sonucu küresel ısınmadır.

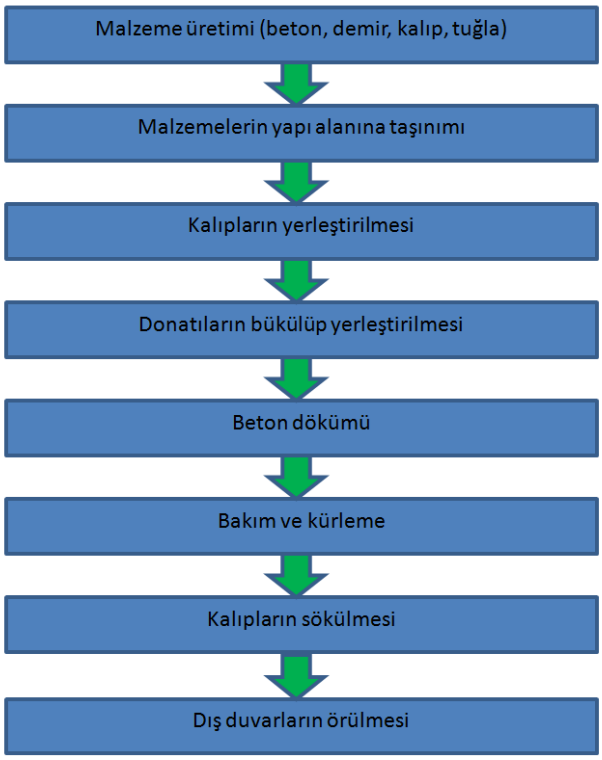
3.3.3.4 Sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlama

Ömür sürecinin her evresi için ürün veya sistemler arasında karşılaştırmalar yapılması gerekmektedir. Elde edilen sayısal verilerin çevresel etki olarak neyi ifade ettiği belirlenmelidir.

4. KONVANSİYONEL VE PREFABRİKE YAPIM SİSTEMLERİ

4.1 Konvansiyonel Yapım Sistemi

Konvansiyonel yapım sisteminin en belirgin özelliği, malzeme üretimi dışındaki tüm üretimin inşaat sahasında ve yoğun insan gücüyle gerçekleşmesidir. Teknolojik gelişmelere rağmen, ülkemizde yaygın olarak uygulanan bir yapım sistemidir. Konvansiyonel yapım sisteminde taşıyıcının oluşturulma süreci Şekil 4.1'de özetlenmiştir.



Şekil 4.1 : Konvansiyonel yapım sisteminde taşıyıcının oluşturulma süreci.

Konvansiyonel sistemin önemli çevresel etkilerinden söz etmek gerekirse,

- Konvansiyonel sistemde kaynak tüketimi, özellikle beton üretimi aşamasında olmakla beraber kalıpların en fazla 10 kere kullanılabilmesi kaynak tüketimini artırmaktadır.

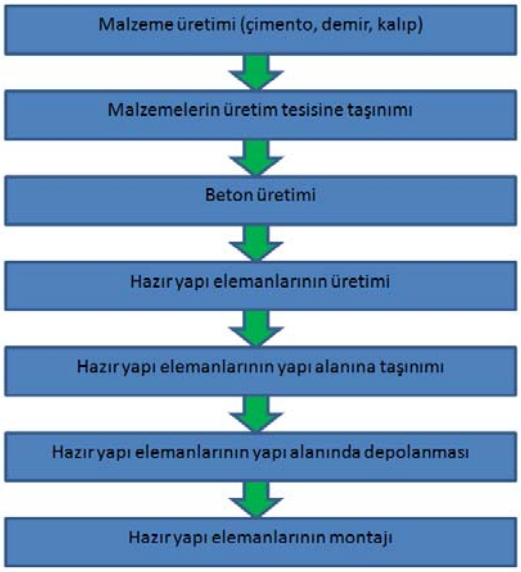
- Konvansiyonel sistemin beton dökümü aşamalarında kullanılan ekipmanların teknik özelliklerine göre, enerji tüketimi düşük seviyelerde olabilir [17].
- Bu sistemde su tüketimi ise, beton üretimi ile bakım ve kürleme aşamalarında olmaktadır.
- Kürleme aşamasında, özellikle yaz aylarında, sıcaklığın artması ile su tüketimi de artmaktadır. Ayrıca, toz emisyonlarını önlemek için zaman zaman yapı alanı sulanmaktadır.
- Konvansiyonel yapım sisteminde, katı atık oluşumu beton üretimi ile kalıp ve donatının hazırlanması aşamalarında yüksek düzeydedir. Beton dökümü aşamasında çevreye beton sıçraması nedeniyle kimi zaman düşük düzeyde de olsa katı atık oluşabilmektedir. Kalıpların sökülmesi sırasında ahşap parçacıkları ve sökülen çiviler çevrede kirlilik oluşturabilmektedir [17].
- Özellikle inşaat araçlarının çalışması sırasındaki gürültü de yakın çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir.
- Malzemelerin yapı alanına taşınmasında, yapı alanının çevresindeki trafiği olumsuz yönde etkilemektedir.
- Konvansiyonel betonarme yapım sistemlerinde kalıp malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılan ahşap, yenilenebilir bir kaynağa sahip olmasına rağmen, bir ağacın büyümesi uzun zaman almaktadır. Dolayısıyla bu malzemenin elde edilmesinde özenli

  bir üretim planlaması yapılmadığı takdirde, bir çok ekolojik ve fiziksel işleve sahip ormanlar ve buradaki yaşam alanları olumsuz olarak etkilenmektedir [17].
- Konvansiyonel sistemde kalıp ve donatı hazırlanması şantiyede gerçekleştiğinden, bunların depolandığı ve hazırlandığı alanlarda habitat bozulmakta, dolayısıyla doğal ortama olumsuz etki yaratmaktadır [17].

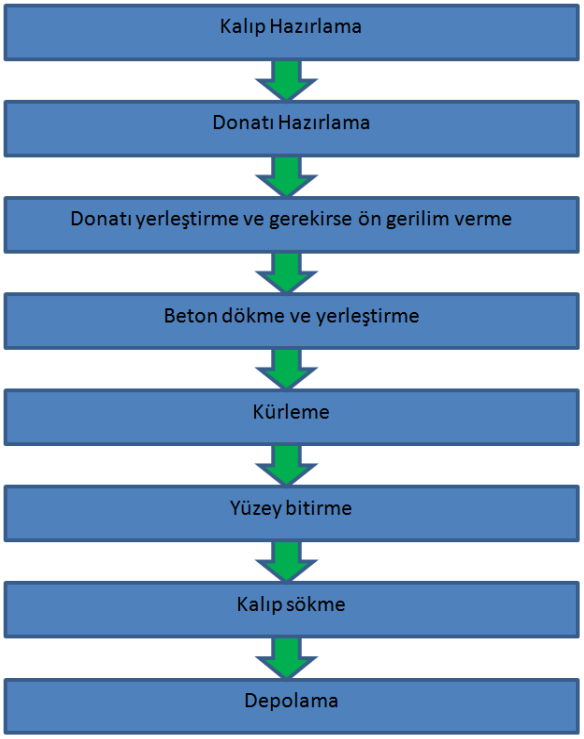
4.2 Prefabrike Yapım Sistemi

Prefabrikasyon, yapıyı oluşturan ana elemanların (kolon, kiriş, duvar, döşeme v.s.) fabrikada üretildikten sonra, inşaat sahasına taşınıp bir araya getirilmesini içeren bir yapım tekniğidir [32]. Tanımdan da anlaşılacağı üzere, prefabrike yapım sistemlerinde üretimin büyük bir bölümü fabrikada gerçekleşmektedir. Yapım

sisteminin prensibi fabrikada üretim, şantiyede montaja dayalı olduğundan, teknoloji için oldukça yüksek ön yatırım gerekmektedir. Ayrıca, teknolojinin ambalajlama, stoklama için yer ve taşıma zorlukları bulunmaktadır. Prefabrike yapım sisteminde taşıyıcının oluşturulma süreci Şekil 4.2'de ve Şekil 4.3'te üretim aşaması özetlenmiştir.



Şekil 4.2 : Prefabrike yapım sisteminde taşıyıcının oluşturulma süreci.



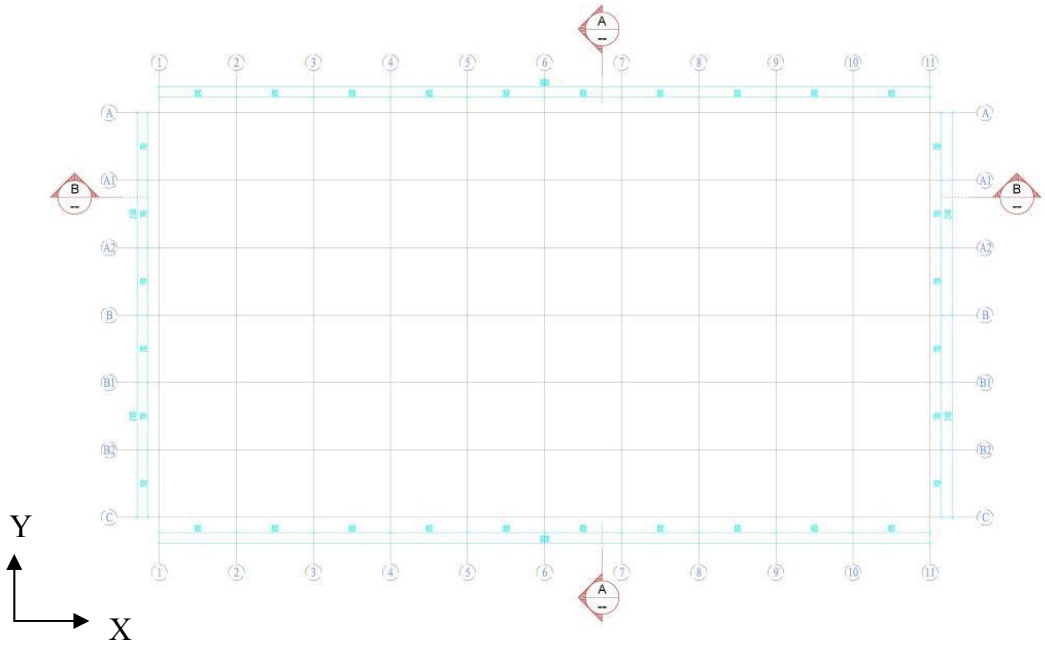
Şeil 4.3 : Prefabrike yapım sisteminde üretim süreci.

Prefabrike sistemin önemli çevresel etkilerinden bazıları ise şunlardır:

- Prefabrike sistemlerde işlemlerin çoğu üretim tesisinde gerçekleştirildiği için, enerji tüketimi çok yüksektir. Prefabrike yapı elemanı üreten bir tesisten alınan bilgilere göre, aylık ortalama elektrik faturaları 1500 TL'dir. Elektrik birim fiyatı 0.148496 TL olduğuna göre, prefabrike elemanların üretiminde tüketilen elektrik enerjisi yaklaşık 10000 KWh/ay'dır. Senelik 3000-10000 m^3 beton eleman üretenler küçük tesis ; 10000-40000 m^3'lük üretim yapanlar orta büyüklükte tesis, 40000 m^3'lük üretimden fazla üretim yapanlar ise büyük tesis sayılmaktadırlar [33]. Ortalama bir prefabrike üretim tesisinin aylık üretimi 900 m^3 olduğu kabul edildiğinde, tüketilen elektrik enerjisi 11 kW/m^3'tir. Başka bir kaynağa göre ise, tüketilen elektrik enerjisi yaklaşık 14 KWh/m^3, yakıt ise 3.00 lt/m^3'tür [17]. Bu sistemlerde, elemanların taşıma araçlarından şantiyeye indirilmesi, depolanması ve şantiyedeki montaj işlemleri vinçlerle yapılmaktadır. Bu nedenle, bu aşamalarda da yüksek miktarlarda enerji tüketilmekte, bunun sonucunda da emisyon oluşumu artmaktadır.
- Hazır yapı elemanlarını üretim tesisinden yapı alanına taşıyan ağır vasıtalar trafikte problemlere yol açarken enerji tüketimini de artırmaktadır. Prefabrike yapı elemanları için optimum taşıma mesafesinin 300 km olduğu belirtilmektedir [17].
- Prefabrike eleman üretim tesisinde su geri dönüşüm sisteminin olması su korunumu açısından önemlidir. Denetim kirliliğin azaltılması açısından önemlidir. Yıkama alanlarında her gün bir aracın yıkanması için yaklaşık 2.273.000 lt su tüketilmekte ve yıkama suyunun alkanite seviyesi pH 12'den daha yüksek olabilmektedir [17].
- Bu sistemde, taşıyıcı elemanlar fabrikada üretildiği için konvansiyonel sisteme nazaran katı atık oluşumu kontrol edilebilmektedir.

5. KONVANSİYONEL VE PREFABRİKE BETONARME OLARAK İNŞAA EDİLEN SANAYİ YAPISI ÜZERİNDE ÇEVRESEL PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

5.1. Amacın ve Sistemin Tanıtımı



Şekil 5.1 : Sistem aksları.

Çizelge 5.1**:** Sistem tasarım parametreleri.

Parametreler	Değerler
Deprem Bölgesi	1^{o}
Zemin sınıfı	Z3
Zemin Emniyet gerilmesi ($\sigma_{z,em}$)	1.50 kg/cm^2

5.1.1 Fonksiyon

Çizelge 5.1'de gösterilen, X yönünde açıklığı 8m olan 11 akstan oluşan, Y yönünde de ise açıklığı 7m olan 6 akstan oluşan, +4.20m kotunda arakatı bulunan 2 katlı ve 2 açıklıklı bir endüstri yapısı konvansiyonel ve prefabrike olmak üzere 2 farklı betonarme yapım sistemi ile yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem tasarımparametreleri ise Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Toplam taban alanı 80*42 m^2

yani 3360m^2'dir. Boyutları SAP2000 v14.2 programından belirlenmiştir. Tasarımlar yapılırken gerek Deprem Yönetmeliği gerekse TS500 Şartnamesi SAP2000 tarafından desteklenmediği için, ACI318-IBC 2000 Tasarım Şartnameleri seçilmiş, ilgili katsayıları değiştirilerek kullanılmıştır. Çizimler Autocad 2010 programıyla hazırlanmıştır.

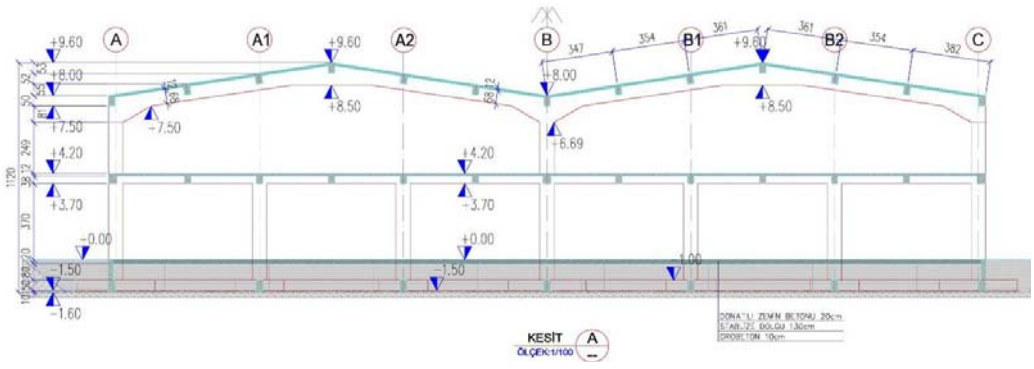
5.1.2 Fonksiyonel birim

Çizelge 3.1'e göre, sanayi yapılarının tasarlanan hizmet ömrü 25 ile 49 yıl arasıdır.

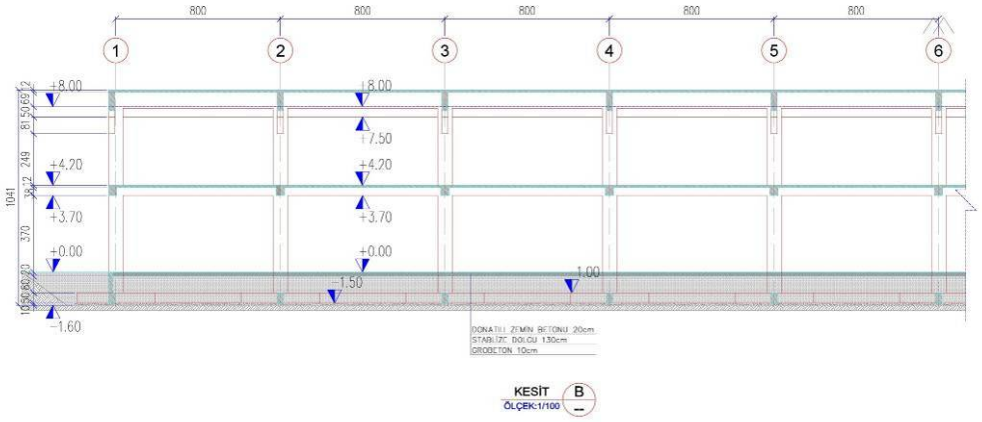
5.1.3 Anahtar parametreler

5.1.3.1 Konvansiyonel betonarme yapının anahtar parametreleri

Konvansiyonel olarak tasarlanan betonarme sistemin, A, B ve C ana akslardaki kolonları 70/70, temelleri ise 380/380/50 boyutlarında; A1, A2, B1 ve B2 akslarında ise kolonlar 60/60, temelleri 240/240/50 boyutlarında tasarlanmıştır. Yapının arakatındaki tüm asal doğrultudaki kirişler 40/50 iken, sistemin rahatlaması açısından X doğrultusunda aksların ortasına 30/50 boyutunda kirişler atılmıştır. X doğrultusundaki tüm kirişler 30/50 olarak boyutlandırılmıştır. Y doğrultusundaki çerçevelerin çatı kirişleri mesnet bölgelerinde ve orta açıklıklarda 30/80'den 30/140'a çıkacak şekilde değişken kesitli olarak tasarlanmıştır. Bu kirişler her iki doğrultu da eğimi yaklaşık %15 olacak şekildedir. Geri kalan Y doğrultusundaki kirişler ise 30/50 ebatlarındadır ve ara katta olduğu gibi X doğrultusunda da aks aralarına tali kirişler atılmıştır. Çatı ve ara kat döşemelerinin kalınlığı ise 12 cm seçilmiştir. Dış duvarlar tuğla olarak tasarlanması uygun görülmüştür. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te yapının kesitleri Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da ise yapının kalıp planları verilmiştir.

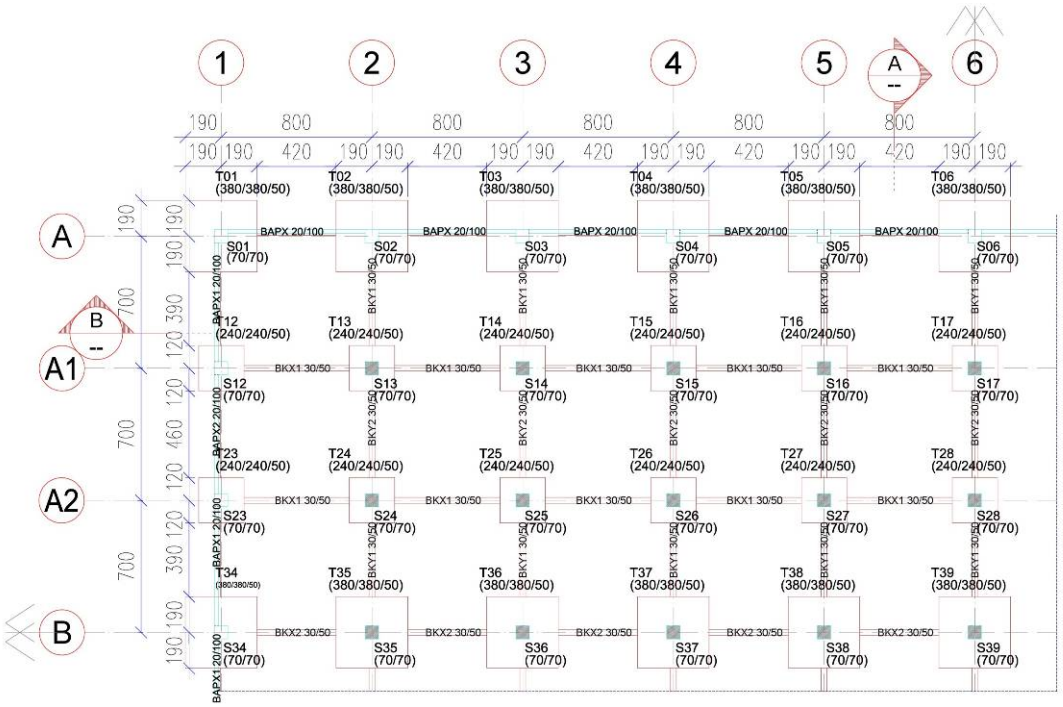


Şekil 5.2 : Konvansiyonel betonarme yapının A-A kesiti.

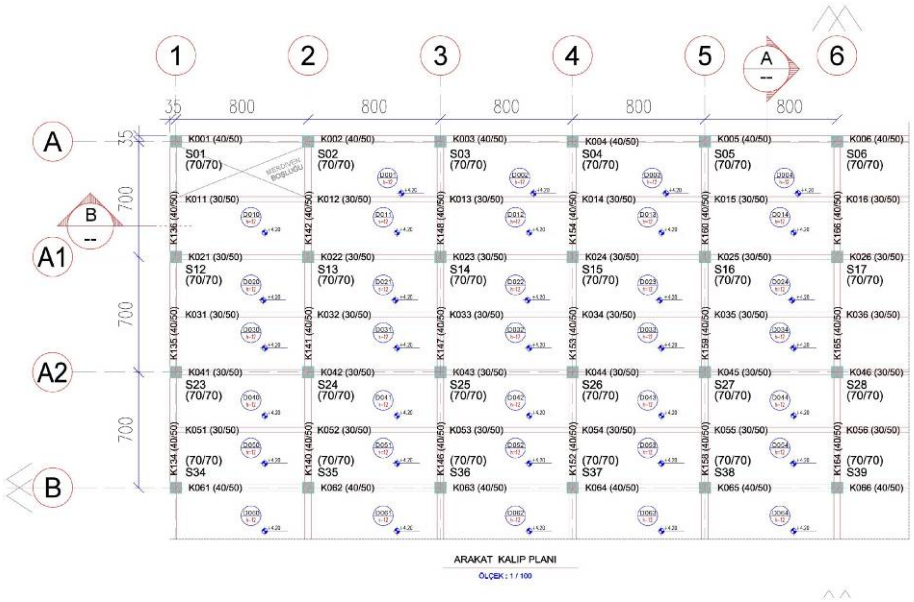


Şekil 5.3 : Konvansiyonel betonarme yapının B-B kesiti.

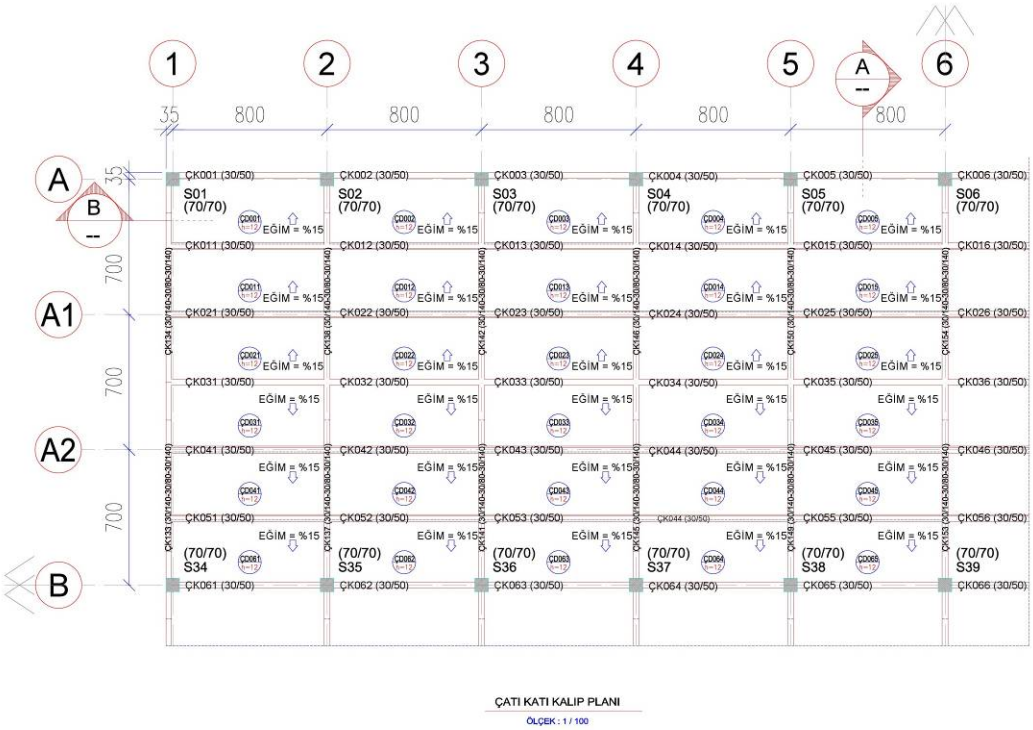
Aks sistemi çok büyük olduğu için, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilen konvansiyonel betonarme yapının kalıp planları yapının her iki eksende de simetrik olmasından faydanılarak, dörtte biri gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Konvansiyonel betonarme yapının temel kalıp planı.



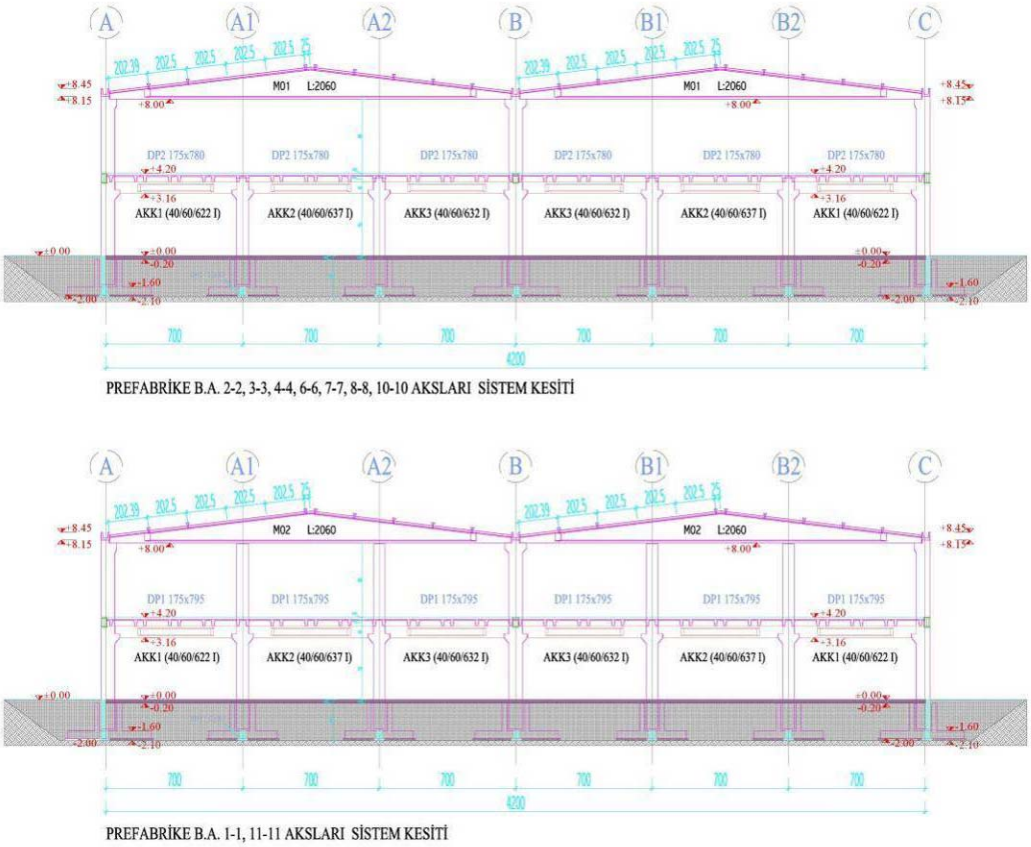
Şekil 5.5 : Konvansiyonel betonarme yapının ara kat kalıp planı.



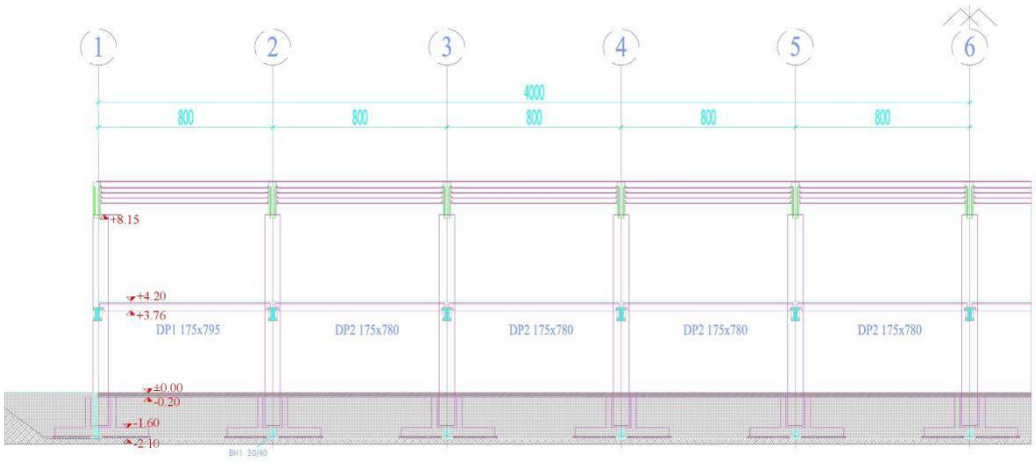
Şekil 5.6 : Konvansiyonel betonarme yapının çatı katı kalıp planı.

5.1.3.2 Prefabrike betonarme yapının anahtar parametreleri

Prefabrike olarak tasarlanan betonarme sistemin, A, B ve C ana akslardaki kolonları 60/60, temelleri ise 420/420/40 boyutlarında; A1, A2, B1 ve B2 akslarında ise kolonlar 60/60, temelleri ise 350/350/50 boyutlarında tasarlanmıştır. 1 ve 11 aks çerçeve ara kolonları makas kirişine kadar devam etmektedirler. Yapının ara katındaki tüm asal doğrultudaki kirişler 40/60 I kesit olarak, ara kat döşeme panelleri ise 175 cm genişliğinde TT döşeme olarak tasarlanmıştır. Makas kirişleri 164cm yüksekliğinde I kesittir. Yaklaşık 202.5 cm arayla aşık kirişleri atılıp oluk kirişleri U kesitinde 40/40 boyutlarındadır. Dış duvarlar da, yapının tasarım sistemiyle çelişmemesi için düşey cephe panelleri olarak tasarlanması uygun görülmüştür. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'te yapının kesitleri Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'da ise yapının montaj planları verilmiştir.

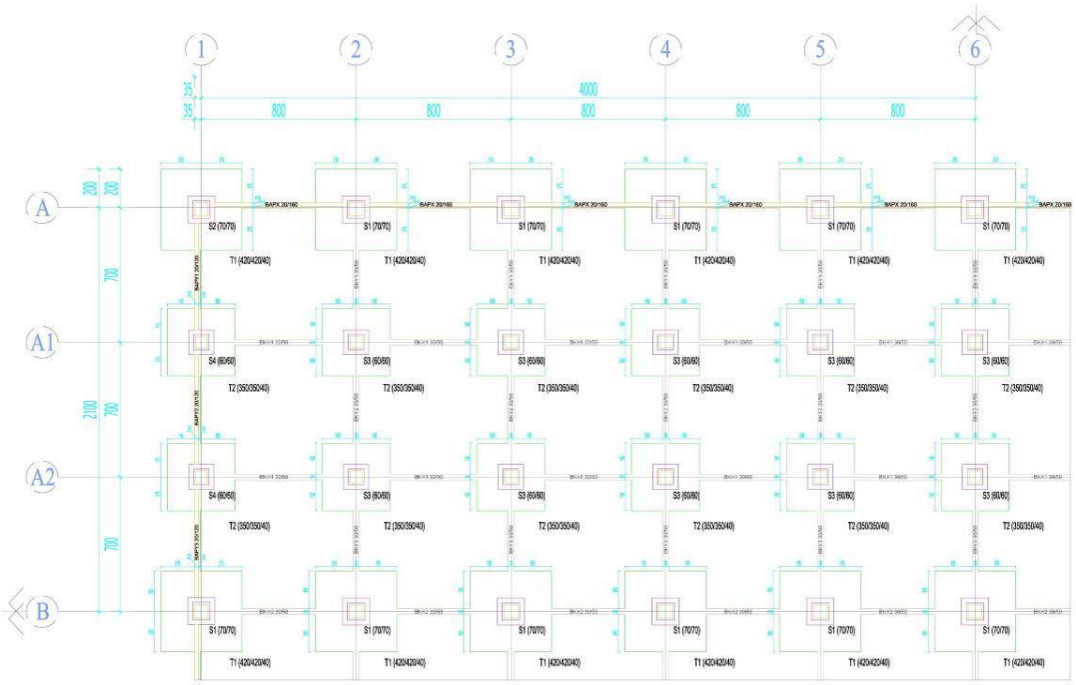


Şekil 5.7 : Prefabrike yapının betonarme X-aksı kesitleri.



Şekil 5.8 : Prefabrike yapının betonarme yapının Y-aksı kesitleri.

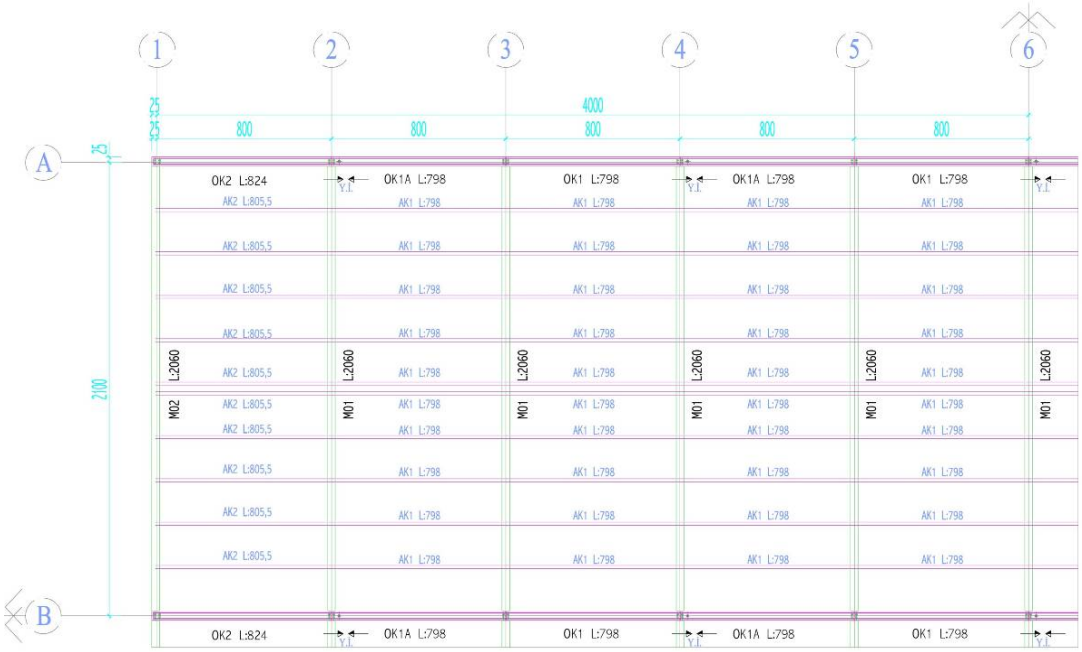
Prefabrike betonarme yapının temelleri, konvansiyonel betonarme yapıda olduğu gibi yerinde dökme olacaktır. Ayrıca, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da, konvansiyonel sistemde olduğu gibi, prefabrik sistemin iki eksene göre de simetrik olmasından dolayı dörtte bir çizimler verilmiştir.



Şekil 5.9 : Prefabrike betonarme yapının temel kalıp planı.



Şekil 5.10 : Prefabrike betonarme yapının ara kat montaj planı.



Şekil 5.11 : Prefabrike betonarme yapının çatı katı montaj planı.

5.2 Envanter Analizi

Bu aşamada, karşılaştırmalı olarak hem konvansiyonel betonarme yapının hem de prefabrike betonarme yapının sadece malzeme üretimi, taşıma ve inşaat sahasındaki uygulama evrelerindeki metrajları çıkartılıp bunlardan kaynaklı CO_2 emisyon envanteri oluşturulacaktır.

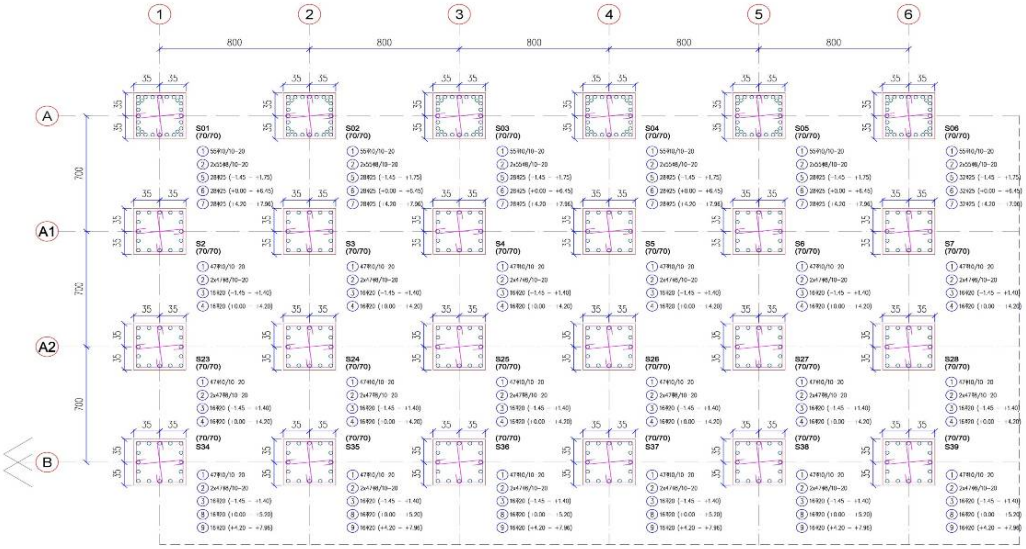
5.2.1 Malzeme miktarları

5.2.1.1 Konvansiyonel betonarme yapının malzeme miktarları

Konvansiyonel betonarme yapının malzeme miktarları Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

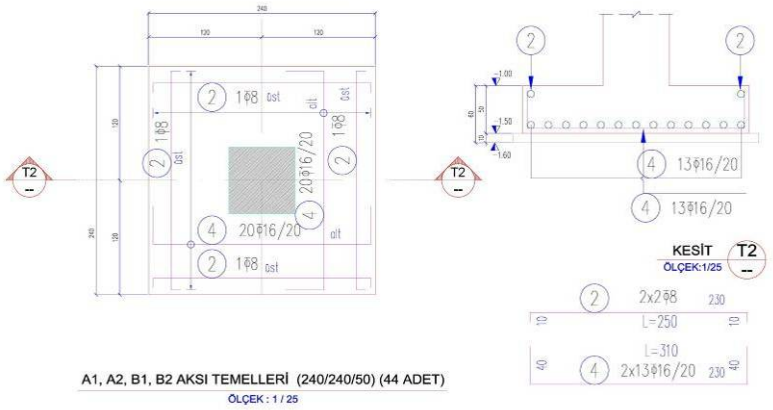
Çizelge 5.2 : Konvansiyonel sistemde kullanılacak malzeme miktarları.

Malzeme	Birim	Miktarı (ton)
Beton	t	7093
Çimento	t	908
1 No Mıcır	t	1631
2 No Mıcır	t	1535
Kum	t	1415
Katkı	t	11
Çubuk Donatı	t	202
Hasır Donatı	t	20
Kalıp (Plywood)	t	40
İskele (0.9m-3m)	t	116
Tuğla (13.5*19*19)	t	75

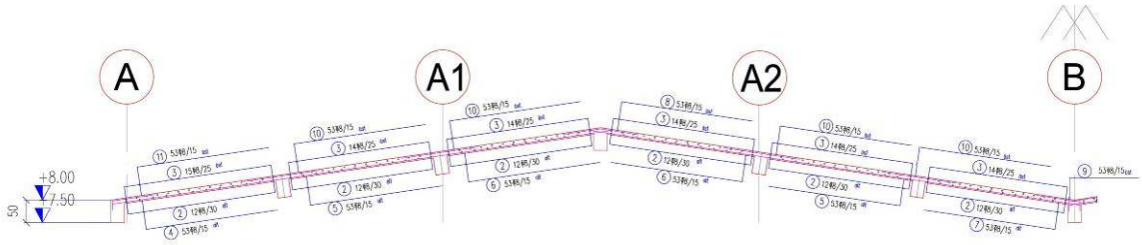


Şekil 5.12: Konvansiyonel betonarme yapının -1.00m ile +4.20m kotları arası kolon aplikasyon planı.

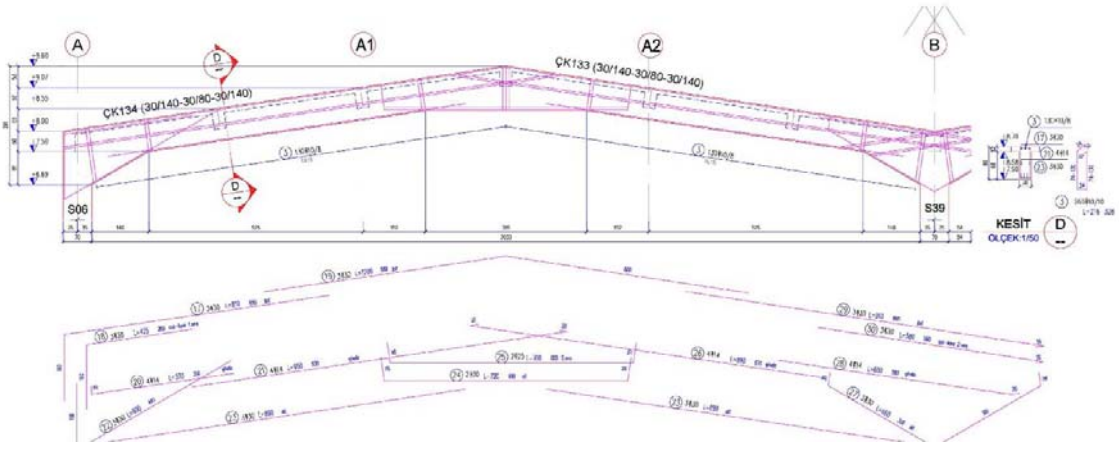
Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 ile malzeme miktarları hesaplanacak konvansiyonel betonarme yapının bazı yapısal elemanlarının donatı detayları verilmiştir. Autocad 2010'da yapılan çizimlerden beton, donatı ve kalıp hesabı için faydalanılmıştır.



Şekil 5.13 : Konvansiyonel betonarme yapının T2 temeli donatı detayı.



Şekil 5.14 : Konvansiyonel betonarme çatı döşemesi donatı detayı.



Şekil 5.15 : Konvansiyonel betonarme çatı kirişi donatı detayı.

Konvansiyonel betonarme yapının malzeme miktarı hesaplanırken izlenen yollar şunlardır:

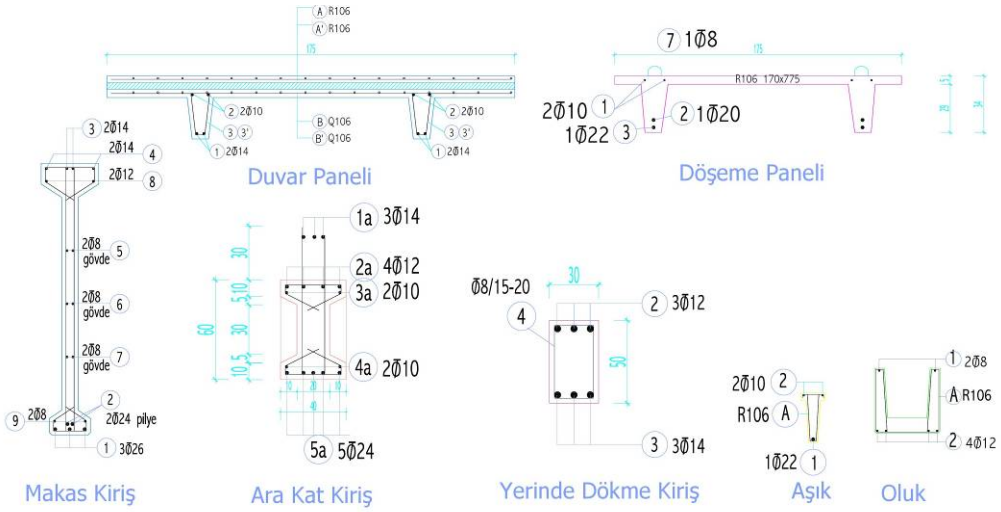
- Beton miktarı çizimlerden faydanılarak hesaplanmıştır.
- Üretici firmalar ile yapılan görüşmeler doğrultusunda, çimento, 1 no mıcır, 2 no mıcır, kum ve katkı miktarı kg cinsinden beton m^3 cinsinden hacmi sırasıyla 310 ile, 575, 541, 378 ve 3.72 ile çarpılarak hesaplanmıştır.
- Donatılar beton gibi çizimlerden faydanılarak hesaplanmıştır.
- Kalıplar çizimlerden m^2 cinsinden hesaplanmıştır. Kalınlıkları 21mm, birim hacim ağırlıkları 725 kg/m^3 olarak alınmıştır. İskele elemanları için eleman başına ağırlıklar, 100 cm dikmeler için 15 kg, 90 cm yatay elemanlar 3.6 kg alınmıştır [34].
- 1 m^2 duvar için 25 adet birim ağırlığı 2.8 kg olan 13.5*19*19'lik tuğla ve 0.0143m^3 harç gideceği ve 1m^3 harcın 1m^3 kum, 200 kg çimento ve 0.17m^3 kireçten oluştuğu varsayılmıştır.

5.2.1.2 Prefabrike betonarme yapının malzeme miktarları

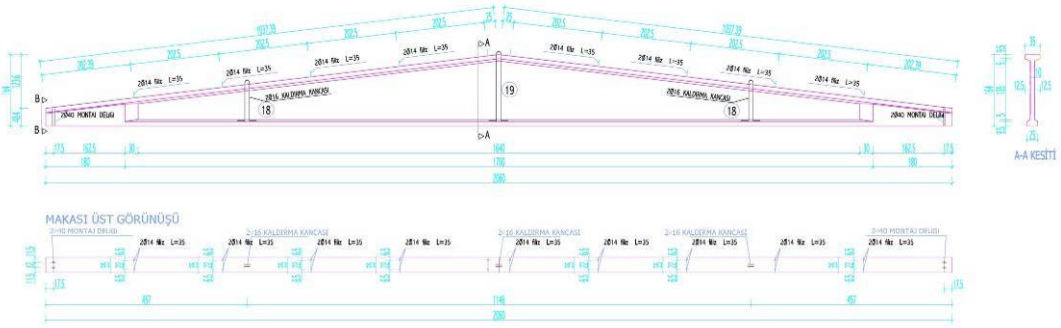
Prefabrike betonarme yapının malzeme miktarları Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : Prefabrike sistemde kullanılacak malzeme miktarları.

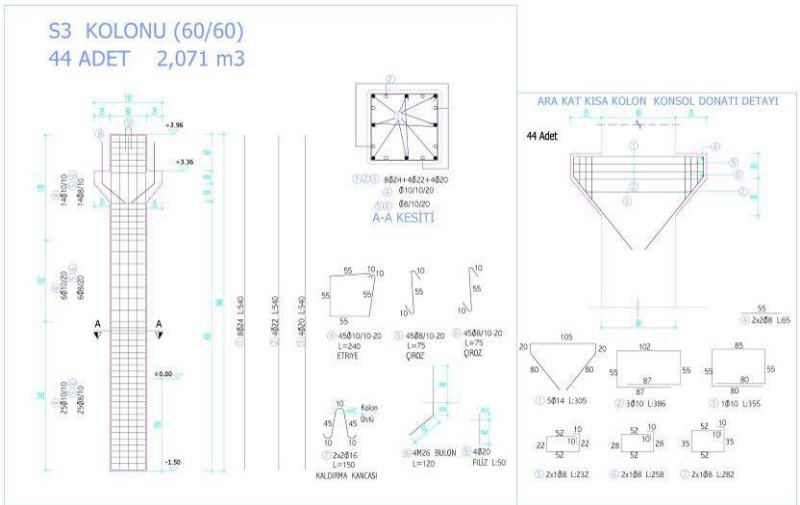
Malzeme	Birim	Miktarı (ton)
Beton	t	7204
Çimento	t	894
1 No Mıcır	t	1658
2 No Mıcır	t	1560
Kum	t	1090
Katkı	t	11
Kalıp (Plywood)	t	39
Kalıp (Çelik)	t	63
Çubuk Donatı	t	206
Hasır Donatı	t	34



Şekil 5.16 : Prefabrike betonarme elemanlarının donatı detayları.

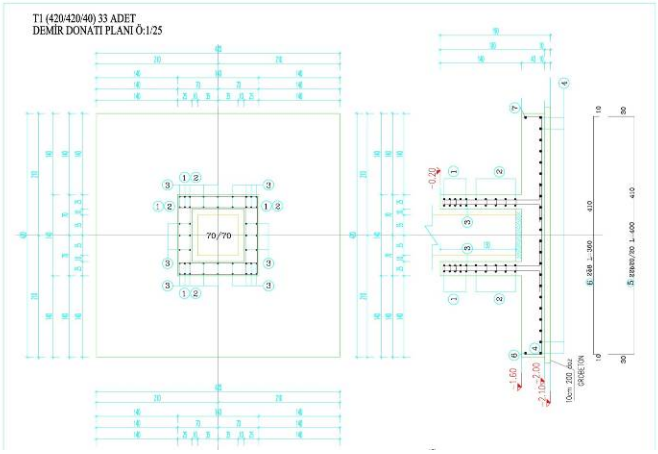


Şekil 5.17 : Prefabrike betonarme makas kirişi.



Şekil 5.18 : Prefabrike betonarme S3 kolonunun ve konsolunun donatı detayları.

Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19 ile malzeme miktarları hesaplanacak prefabrike betonarme yapının bazı yapısal elemanlarının donatı detayları verilmiştir. Autocad 2010'da yapılan çizimlerden beton, donatı ve kalıp hesabı için faydalanılmıştır.



Şekil 5.19 : Prefabrike betonarme yapının yerinde dökme T1 temel donatı detayı.

Prefabrike betonarme yapı için konvansiyonel betonarme yapıdan farklı olarak tesiste üretilecek prefabrike elemanlar için eleman başına gerekli beton ve donatı miktarları Çizelge 5.4'te verilmiştir. Prefabrike elemanlar için gerekli toplam beton hacmi 786 m^3, çubuk donatı 159 ton ve hasır çelik 6.5 ton'dur.

Çizelge 5.4 : Prefabrike elemanların birim malzeme miktarları.

Eleman	Adet	Beton (m^3)	Çubuk Donatı (kg)	Hasır Çelik (kg)
KOLON				
Konsol1	11		26	
Konsol2	22		21	
Konsol3	11		37	
Konsol4	44		21	
Konsol5	22		29	
S1	29	4.768	734	
S2	4	4.768	671	
S3	44	2.071	399	
S4	8	3.507	480	
ÇATI				
M01	18	3.261	840	
M02	4	3.261	816	
AK1	160	0.192	43	8.08
AK2	40	0.194	43	8
OK1	9	0.655	40	20.45
OK2	6	0.682	41	21.55
OK1A	15	0.0655	40	20.45

Çizelge 5.4 : (devam) Prefabrike elemanların birim malzeme miktarları.

Eleman	Adet	Beton (m^3)	Çubuk Donatı (kg)	Hasır Çelik (kg)
ARAKAT				
AKK1	22	1.19	292	
AKK2	22	1.215	296	
AKK3	22	1.207	295	
PANEL				
DP1	192	1.282	261	18.05
DP2	48	1.307	263	18.40
CP1	60	2.408	88	81
CP2	24	2.801	25	112
CP3	8	1.208	11	48

Prefabrik elemanlar için gerekli kalıp miktarları Çizelge 5.5'te verilmektedir. Benzer elemanlarda, kalıp ebatları farklı olmasına rağmen aynı kalıplar kullanılmaktadır. Sonuç olarak, toplam kalıp ihtiyacı 62.5 ton'dur. Toplam adet ise 17'dir.

Çizelge 5.5 : Prefabrike elemanlar için gerekli kalıp miktarları.

Eleman Adı	Kalıp Ebatları	Hacim (m^3)	Adet	Kalıp Sayısı	Ağırlık (ton)
Kenar Kolon	70/70/965	4.786	22	1	6
Ortakolon	70/70/965	4.932	11		
Arakat Kolonu	60/60/546	2.076	36	1	5
Arakat Kolonu	60/60/945	3.507	8		
Makas	25/25/2060	3.367	22	1	8
Oluk Kirişi1	40/40/798	0.655	24	1	2
Oluk Kirişi2	40/40/834	0.69	6		
Aşık Kirişi1	T15/30/798	0.192	160	1	4
Aşık Kirişi2	T15/30/805	0.194	40		
Arakat Kirişi1	40/60/622 I	1.19	22	2	5
Arakat Kirişi2	40/60/637 I	1.125	22		
Arakat Kirişi3	40/60/632 I	1.207	22		
Döşeme Kirişi1	175/780/34	1.283	192	6 (3+3)	15
Döşeme Kirişi2	175/795/34	1.307	48		
Cephe paneli1	266,5/870	2.408	60	4	17.5
Cephe paneli2	262,5/10,20	2.801	24	(2+1+1)	
Cephe paneli3	262,5/4,40	1.208	8		

5.2.2 Malzeme taşıma miktarları

5.2.2.1 Konvansiyonel betonarme yapının malzeme taşıma miktarları

Konvansiyonel betonarme yapının oluşturulması sürecinde üretilen malzemelerin inşaat sahasına taşınımının miktarları Çizelge 5.6'da verilmiştir. Bu hesaplamalarda üzerinde durulması gerekilen konu toplam taşıma mesafesi hesaplanırken, araçların geri döneceğini de hesaba katılarak değerler 2 ile çarpılmıştır.

Çizelge 5.6 : Konvansiyonel betonarme yapının oluşturulma süreci sırasındaki malzeme inşaat sahasına taşıma miktarları.

Malzeme	Birim	Miktarı	Taşıma Yöntemi	Araç Sayısı	Üretici-şantiye mesafesi (km)	Toplam Taşıma Mesafesi (km*araç)
Beton	m^3	2837	Mikser ($8m^3$)	355	15	10639
Çubuk Donatı	t	202	Kamyon (20t)	10	30	606
Hasır Donatı	t	20	Kamyon (20t)	1	30	30
Kalıp (Plywood)	t	40	Kamyon (20t)	2	30	120
İskele (0.9m-3m)	t	116	Kamyon (20t)	6	30	348
Tuğla (13.5*19*19)	t	75	Kamyon (20t)	4	40	300

5.2.2.2 Prefabrike betonarme yapının malzeme taşıma miktarları

Prefabrike betonarme yapının oluşturulması sürecinde üretilen malzemelerin inşaat sahasına taşınımının miktarları Çizelge 5.7'de verilmiştir. Konvansiyoneldeki hesaplama esası prefabrike sistem için de geçerlidir.

Çizelge 5.7 : Prefabrike betonarme yapının oluşturulma süreci sırasındaki malzeme inşaat sahasına taşıma miktarları.

Malzeme	Birim	Miktarı	Taşıma Yöntemi	Araç Sayısı	Üretici-şantiye mesafesi (km)	Toplam Taşıma Mesafesi (km*araç)
Beton	m^3	1876	Mikser ($8m^3$)	235	15	7050
Çubuk Donatı	t	42	Kamyon (20t)	3	30	180
Hasır Donatı	t	20	Kamyon (20t)	1	30	60
Kalıp (Plywood)	t	39	Kamyon (20t)	2	30	120
Yapı Elamanı	t	2697	Kamyon (20t)	135	50	13487

5.2.3 Uygulama sırasındaki araç kullanım miktarları

5.2.3.1 Konvansiyonel betonarme yapının inşaat sahasındaki faaliyetleri

Çizelge 5.8'de, konvasiyonel betonarme yapının inşaası sırasındaki araç kullanım miktarları bazı araçlar için km*araç cinsinden bazı araçlar içinse saat bazında verilmiştir. Tablodaki değerleri hesaplarken bazı kabuller yapılmıştır:

- Ekskavatörün kapasitesi 300m^3/gündür.
- Kazı sırasında çıkan hafriyat inşaat sahasının içinde depolanıp daha sonra dolgu işleminde tekrar kullanıldığı kabul edilmiştir ve damperli kamyonun depolamaya gittiği yer kazı alanından 300 m mesafededir.
- Yükleyici damperli kamyonlara 1 dakika 0.40 m^3 yükleme yaptığı kabul edilmiştir. Ayrıca, kazı hafriyatının % 20 oranında şiştiği kabul edilerek bulunan hacim üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Hafriyatın birim ağırlığı 1.6 t/m^3'tür.
- Yükleyicinin dolgu kapasitesi 300m^3/gün olduğu kabulü yapılmıştır.
- Hafriyat depolama alanının inşaat sahasından 10 km uzaklıkta olduğu kabul edilmiştir.
- Kule vincinin kapasitesi 0.1ton/dk, beton pompasınınki ise 100 m^3/saat olduğu kabul edilmiştir.
- Vibratör kullanım saati beton döküm saatine yakın bir değer alınmıştır.

Çizelge 5.8: Konvansiyonel betonarme yapının inşaat sahasındaki araç kullanım miktarı.

İnşaat Faaliyeti	Birim	Miktarı	Araç	Adet	Birimi	Top. Araç Kul. Süresi
Kazı	m^3	6803	Ekskavatör	1	saat	238
			Yükleyici	1	saat	330
			Damperli Kamyon (20t)	544	km*araç	326
Dolgu	m^3	5532	Yükleyici	1	saat	187
			Damperli Kamyon (20t)	442	km*araç	265
Malz. Taş.	t	378	Kule vinç	1	saat	62

Çizelge 5.8 : (devam) Konvansiyonel betonarme yapının inşaat sahasındaki araç kullanım miktarları.

İnşaat Faaliyeti	Birim	Miktarı	Araç	Adet	Birimi	Toplam Araç Kullanım Süresi
Beton dökümü	m^3	2837	Beton pompası ($100m^3$/sa)	1	saat	28
			Kule vinç	1	saat	28
			Vibratör	2	saat	33
Hafriyat	m^3	1071	Damperli Kamyon (20t)	85	km*araç	1714

5.2.3.2 Prefabrike betonarme yapının üretim ve inşaat sahasındaki faaliyetleri

Prefabrik betonarme yapının üretim ve inşaat sahasındaki faaliyetleri sırasında kullanılan araçların çalışma miktarları sırasıyla Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da verilmiştir. Konvansiyonel sistemdeki benzer faaliyetler için yapılan kabuller prefabrike sistem için de geçerlidir. Bunlara ek olarak;

- Üretici firma tarafından alınan bilgiler doğrultusunda, prefabrike elemanların üretiminin günde yaklaşık 25m3 olacak şekilde 30 günde biteceği kabulü yapılmıştır.
- Tesiste 2 adet köprü vincinin olduğu ve günde ortalama 2 saat çalıştığı kabulü yapılmıştır.
- Vibratörler, $100m^3$ beton/saat kapasiteli olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 5.9 : Prefabrike betonarme yapının üretim tesisindeki araç kullanım miktarı

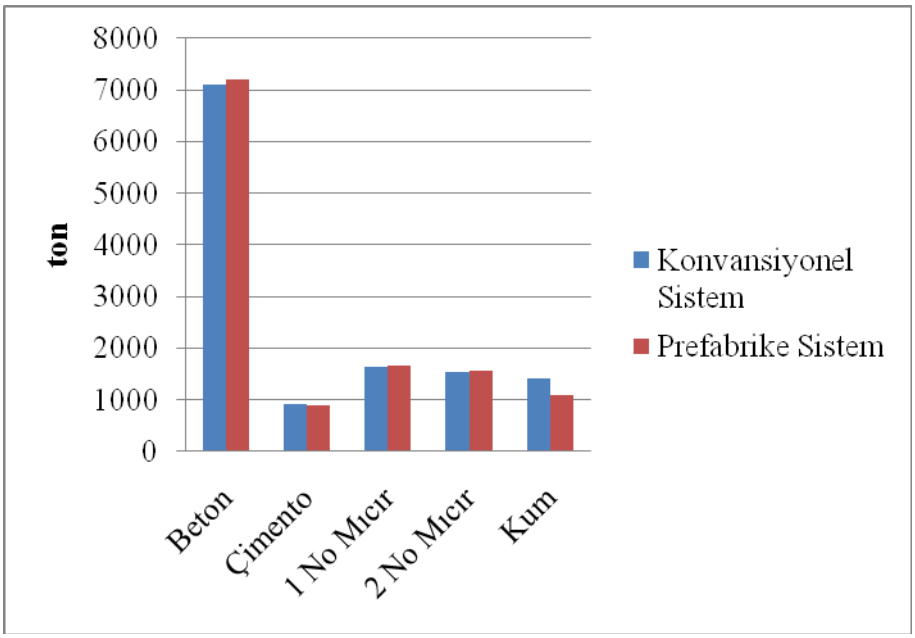
Tesis Faaliyeti	Birim	Çalışma Miktarı
Buhar kürü	m^3	1007
Kalıp vibratör	saat	10
Köprü vinç	saat	240

Çizelge 5.10 : Prefabrike betonarme yapının inşaat sahasındaki araç kullanım miktarları.

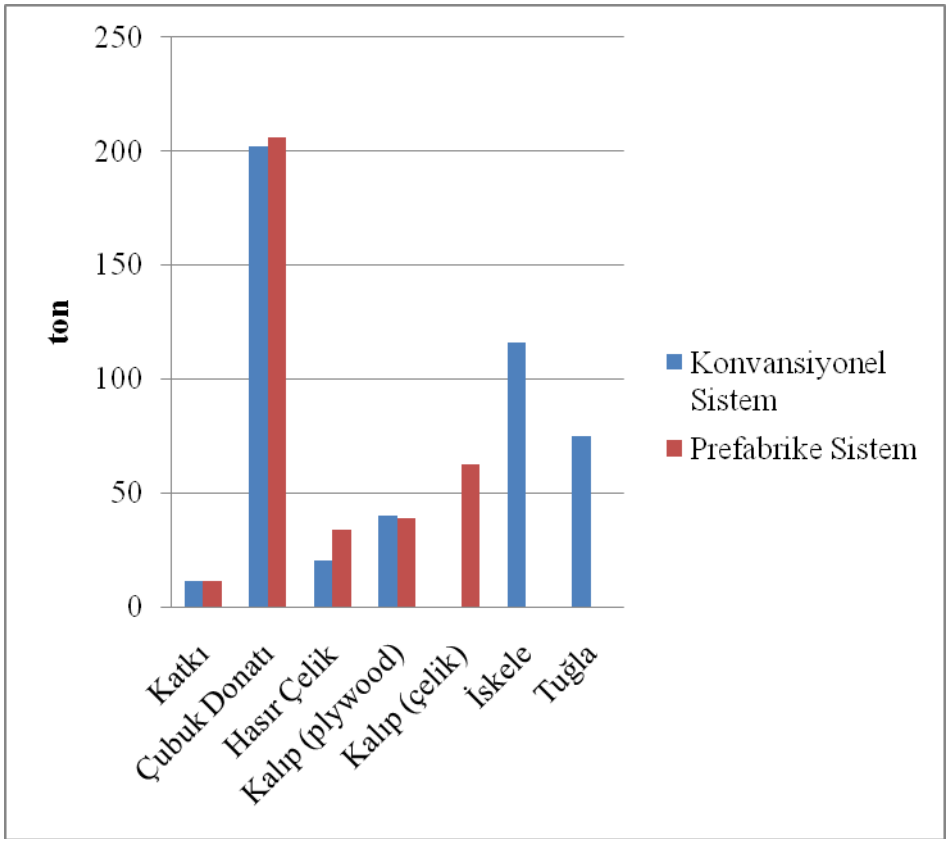
İnşaat Faaliyeti	Birim	Miktarı	Araç	Adet	Birimi	Toplam Araç Kullanım Süresi
Kazı	m^3	9131	Ekskavatör	1	saat	180
			Yükleyici	1	saat	260
			Damperli Kamyon (20t)	730	km*araç	438
Dolgu	m^3	7626	Yükleyici	1	saat	150
			Damperli Kamyon (20t)	610	km*araç	366
Saha içi malzeme taşınımı	t	100	Kule vinç	1	saat	17
Beton dökümü	m^3	1876	Beton pompası ($100m^3$/sa)	1	saat	19
			Kule vinç	1	saat	19
			Vibratör	2	saat	22
Yapı elemanı montajı	t	2130	Kule vinç	1	saat	24
Hafriyat	m^3	1505	Damperli Kamyon (20t)	120	km*araç	2408

5.2.4 Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapıların envanter karşılaştırması

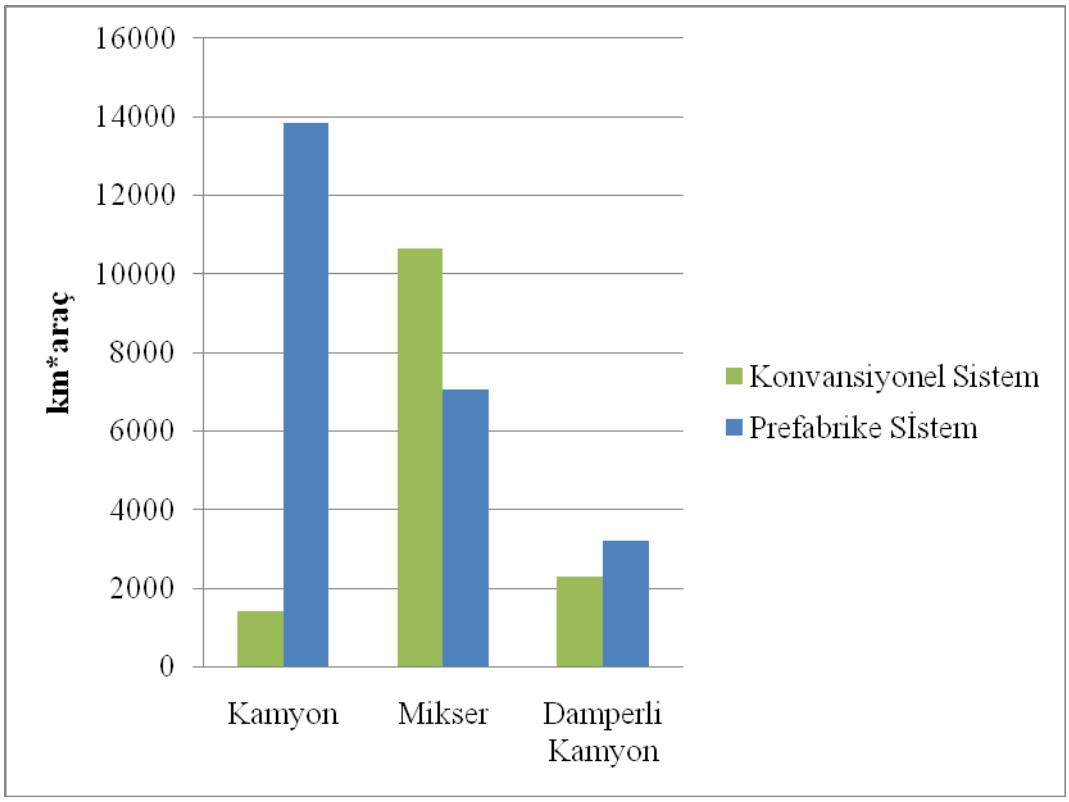
Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de her iki sistemin malzeme üretim miktarları gösterilmiştir. Şekil 5.20'deki malzemeler düşünüldüğünde, her iki sistemde de önemli bir üretim farkı yoktur. Şekil 5.21'de ise, bir sistemde kullanılıp diğer sistemde kullanılmayan bazı malzemeler görülmektedir. Bıu malzemeler konvansiyonel sistemde iskele profilleri ile tuğla iken, prefabrike sistemde çelik kalıplardır.



Şekil 5.20 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının malzeme üretimlerinin karşılaştırılması I.

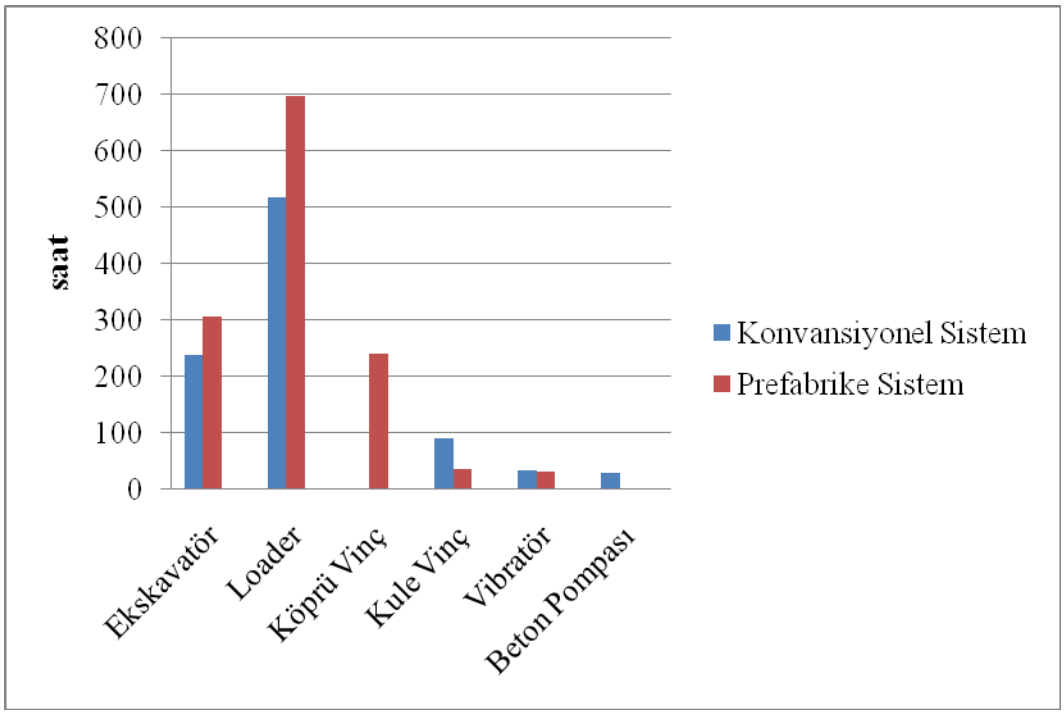


Şekil 5.21 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının malzeme üretimlerinin karşılaştırılması II.



Şekil 5.22 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının malzeme taşınımları sırasında kullanılan araçlar tarafından katedilen mesafelerin karşılaştırılması.

Şekil 5.22'de de görüldüğü üzere, her iki yöntemde kullanılan kamyon ve mikser tarafından katedilen toplam yol mesafesinde farklılık gözlenmektedir. Sistemlerde kullanılan kamyonların katettiği yol farkı, prefabrike sistemdeki prefabrike elemanlarının taşınımından kaynaklanmaktadır. Mikserledeki fark ise, konvansiyonel sistemde kullanılacak tüm betonun yerinde uygulanması gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Damperli kamyon emisyonları inşaat faaliyetlerine girmesine rağmen, birim çelişkisi olmaması adına bu bölümde verilmiştir.



Şekil 5.23 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının oluşturulmaları sırasında kullanılan araçlar kullanım sürelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.23'te gösterilen her iki sistemin uygulamaları aşamasındaki kullanılan araçların kullanım süreleri karşılaştırıldığında, köprü vinç kullanımının sadece prefabrike sistemde olduğu görülmektedir. Son olaraksa, yükleyicide kullanımlarındaki farklılık ise prefabrike sistemdeki kazı ve dolgunun daha fazla çıkmasıdır.

5.3 Çevresel Etkinin Analizi

Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapıların çevresel etkiye neden olacak CO_2 çevresel göstergesinin malzeme üretiminden, malzeme taşınımından ve tesiste ve inşaat sahasındaki üretimlerinden kaynaklı emisyon analizi yapılmıştır. Bu değerler sırasıyla Çizelge 5.11'den Çizelge 5.16'ya kadar gösterilmiştir.

Çizelge 5.11 : Konvansiyonel betonarme yapının malzeme üretiminden kaynaklı CO_2 emisyonu.

Malzeme	Miktar	Birim (*)	Birim CO_2 (kg/*)	Toplam CO_2 (kg)
Beton	7093	t	7.68	54474
Çimento	908	t	769	698252
1 No Mıcır	1631	t	2.9	4731

Çizelge 5.11 : (devam) Konvansiyonel betonarme yapının malzeme üretiminden kaynaklı CO_2 emisyonu.

Malzeme	Miktar	Birim (*)	Birim CO_2 (kg/*)	Toplam CO_2 (kg)
2 No Mıcır	1535	t	2.9	4451
Kum	1415	t	3.7	429
Katkı	11	t	26.5	292
Çubuk Donatı	202	t	1213	245026
Hasır Donatı	20	t	1321	26420
Kalıp (Plywood)	40	t	124	4960
İskele (0.9m-3m)	116	t	1256	145696
Tuğla (13.5*19*19)	75	t	231	17325

Çizelge 5.12 : Prefabrike betonarme yapının malzeme üretiminden kaynaklı CO_2 emisyonu.

Malzeme	Miktar	Birim (*)	Birim CO_2 (kg/*)	Toplam CO_2 (kg)
Beton	7204	t	7.68	55326
Çimento	894	t	769	687486
1 No Mıcır	1658	t	2.9	4808
2 No Mıcır	1560	t	2.9	4524
Kum	1090	t	3.7	4033
Katkı	11	t	26.5	292
Çubuk Donatı	206	t	1213	249878
Hasır Donatı	34	t	1321	44914
Kalıp (Plywood)	39	t	124	4836
Kalıp (Çelik)	63	t	1256	1570

Malzeme üretiminden kaynaklı CO_2 emisyonları hesaplanırken katkı malzemesi için yapılan CO_2 envanterindeki en büyük birim değere sahip olan yüksek fırın cürufu dikkate alınmıştır. Ayrıca, tuğla üretiminden kaynaklı birim CO_2 emisyonu içine taşınımı da dahil olduğu için taşınım emisyonlarına tuğla dahil edilmemiştir. Kalıp üretim kaynaklı CO_2 emisyonları hesaplanırken ise, çelik kalıpların en fazla 500 kere, ahşap kalıpların ise en fazla 10 kere kullanıldıkları dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.13 : Konvansiyonel betonarme yapının malzeme taşınımından kaynaklı CO_2 emisyonu.

Araç	Miktar	Birim (*)	Birim CO_2 (kg/*)	Toplam CO_2 (kg)
Kamyon	168180	km*ton	0.07	11772
Mikser	30182133	km*m^3	0.30	9054640

Çizelge 5.14 : Prefabrike betonarme yapının malzeme taşınımından kaynaklı CO_2 emisyonu.

Araç	Miktar	Birim (*)	Birim CO_2 (kg/*)	Toplam CO_2 (kg)
Kamyon	36395061	km*ton	0.07	2547654
Mikser	13225800	km*m^3	0.30	3967740

Çizelge 5.15 : Konvansiyonel betonarme yapının inşaat sahası faaliyetlerinden kaynaklı CO_2 emisyonu.

Araç	Miktar	Birim (*)	Birim CO_2 (kg/*)	Toplam CO_2 (kg)
Ekskavatör	238	saat	52	12305
Yükleyici	517	saat	54	27752
Kule Vinç	90	saat	61	5512.5
Vibratör	33	saat	0.45	14.85
Beton Pompası	2837	m^3	0.4	1135
Damperli Kamyon	8831123	km*ton	0.12	1059735

Çizelge 5.16 : Prefabrike betonarme yapının inşaat sahası faaliyetlerinden kaynaklı CO_2 emisyonu.

Araç	Miktar	Birim (*)	Birim CO_2 (kg/*)	Toplam CO_2 (kg)
Ekskavatör	306	saat	51.7	15820
Yükleyici	697	saat	53.7	374297
Köprü Vinç	240	saat	27	6480
Kule Vinç	36	saat	61.25	2205
Vibratör	22	saat	0.45	9.9
Beton Pompası	1876	m^3	0.4	750
Buhar kürü	1007	m^3	38.5	30261
Kalıp vibratör	240	saat	0.02	4.8
Damperli Kamyon	16663254	km*ton	0.12	1999590

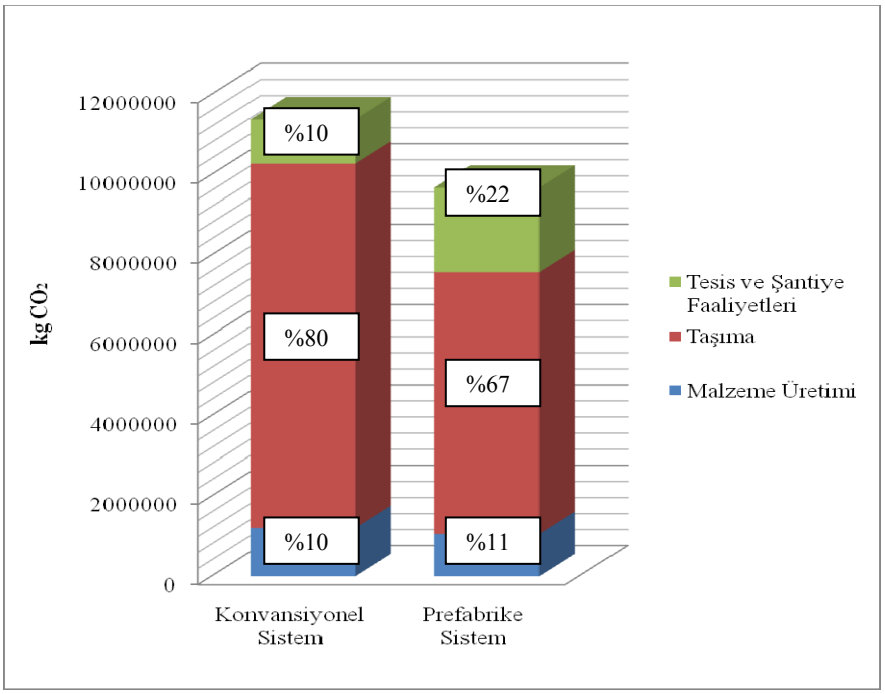
5.4 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Yorumlama

Çizelge 5.17'de ve grafiksel olarak Şekil 5.24'de konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılar için hesaplanan toplam CO_2 değerleri gösterilmiştir. Sonuçlara göre, konvansiyonel sistemin prefabrike sisteme göre CO_2 emisyonu %18 daha fazladır. Bir başka deyişle, çevresel performansı prefabrike sisteme göre daha düşüktür.

Sistemlerin CO_2 emisyonları betonarme yapıların yaşam döngü evreleri bazında düşünüldüğünde, her iki sisteminde ağırlıklı CO_2 emisyonları malzeme taşınımında gerçekleşmektedir. Daha sonra da, tesis ve üretim faaliyetleri gelmektedir. Son sırada ise malzeme üretimi gelmektedir. Ancak, unutulmamalıdır ki, malzeme üretimi evresi için maden çıkarma kısmı yani hammaddenin elde edilişi ihmal edilmiştir.

Çizelge 5.17 : Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının toplam CO_2 emisyonu (kg CO_2 eşd.).

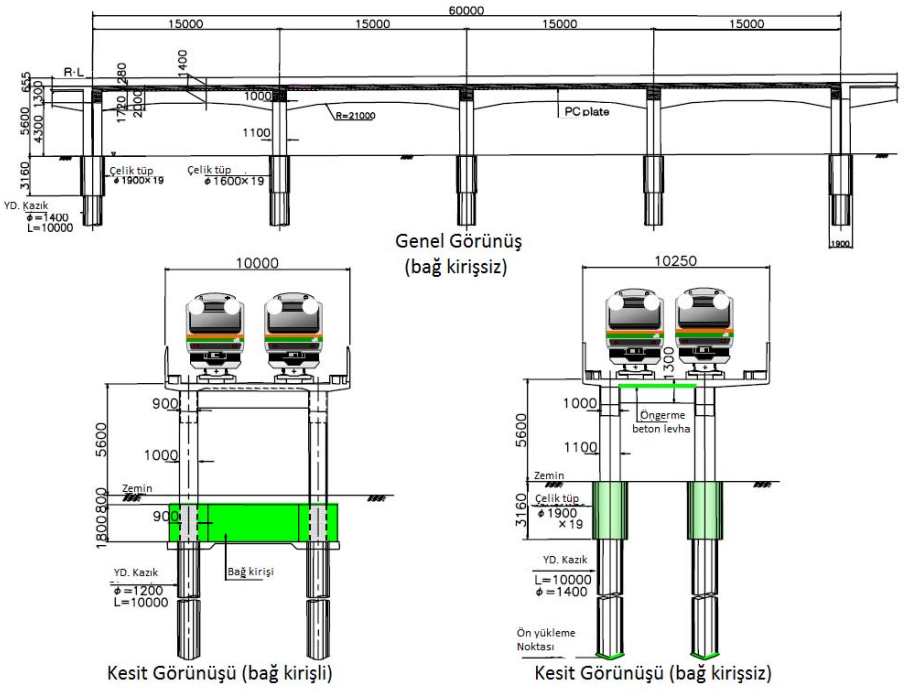
	Konvansiyonel Sistem	Prefabrike Sistem
Malzeme Üretimi	1206862	1057667
Taşıma	9066413	6515394
Tesis ve Şantiye Faaliyetleri	1106454	2101055
Toplam	11379728	9674116



Şekil 5.24: Konvansiyonel ve prefabrike betonarme yapılarının toplam CO_2 emisyonu.

6. ÇEVRESEL PERFORMANSLA İLGİLİ ÖRNEK ÇALIŞMALAR [18]

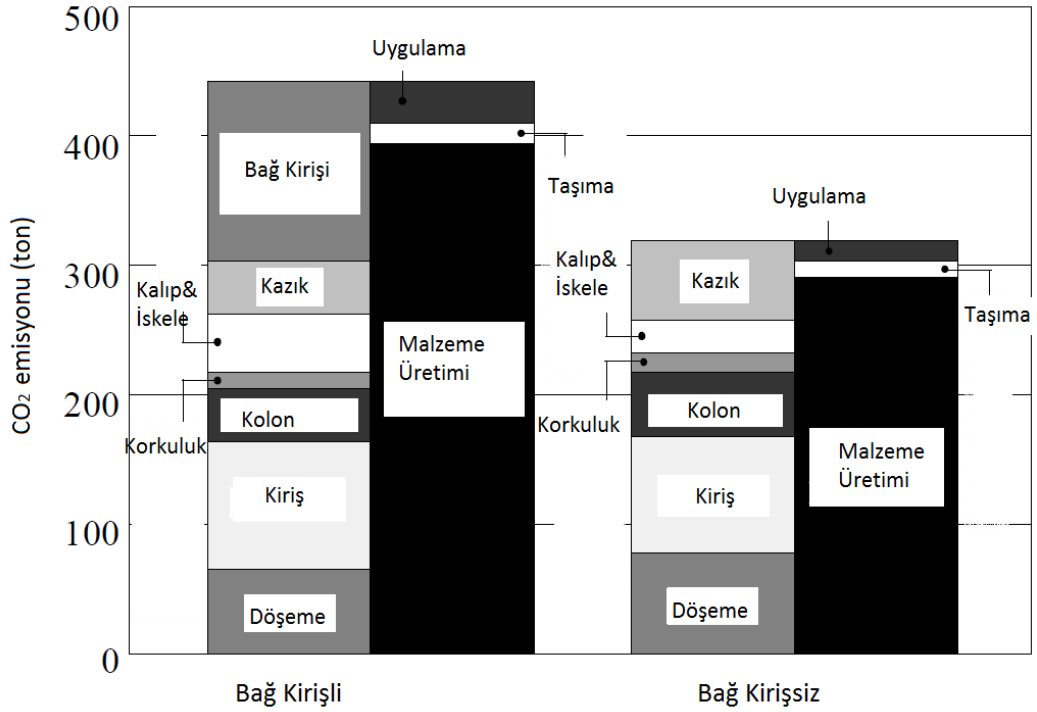
Bu bölümde, 2005 yılında Sakai tarafından yapılan bir çalışmada gösterilmiş iki örneğe yer verilerek çevresel performans kavramı pekiştirilmek istenmiştir. Verilen bu örneklerden biri, bağ kirişsiz ve bağ kirişli olmak üzere 2 farklı şekilde tasarlanan betonarme rijit çerçeveden oluşan viyadük, diğeri ise öngerilmeli beton ve yüksek mukavemetli çelik fiber betonarme olmak üzere 2 farklı şekilde tasarlanan yaya geçididir. Her iki örnekte de yapıların inşaat aşamalarındaki CO_2 emisyonlarına odaklanılmıştır. Çevresel performans gerekleri S ile yapıların mevcut performansları ise R ile ifade edilmiştir. Bu örneklerde, değerlendirme koşulu çevresel etkideki azalma olduğu için, beklenilen sonuç R > S'dir.



Şekil 6.1: Bağ kirişli ve bağ kirişsiz viyadüklerin kesitleri.

6.1 Betonarme Rijit Çerçeveden Oluşan Viyadük

Bu örnekte, mevcut durumda yapılması planlanan viyadük bağ kirişlidir; ancak çevresel performans gereksinimleri doğrultusunda CO_2 emisyonlarında %20 azalma amaçlanmaktadır. Bir başka ifadeyle çevresel performans gereği olan S %20'dir. Bu sınırlamayı yerine getirmek için de, alternatif çözüm olarak kazıkları çelik tüpler olarak tasarlayarak bağ kirişsiz bir tasarım düşünülmüştür. Her iki tasarımın da kesitleri Şekil 6.1'de verilmiştir. Şekil 6.2'deki grafikten de anlaşılacağı üzere, alternatif çözümle bağ kirişi ve ondan kaynaklı malzeme üretimi azaldığından CO_2 emisyonlarında da %28 oranında azalma görülmektedir. %28 de anlaşılacağı üzere R değeridir.Böylece, R > S denklemi sağlanmış olmaktadır.

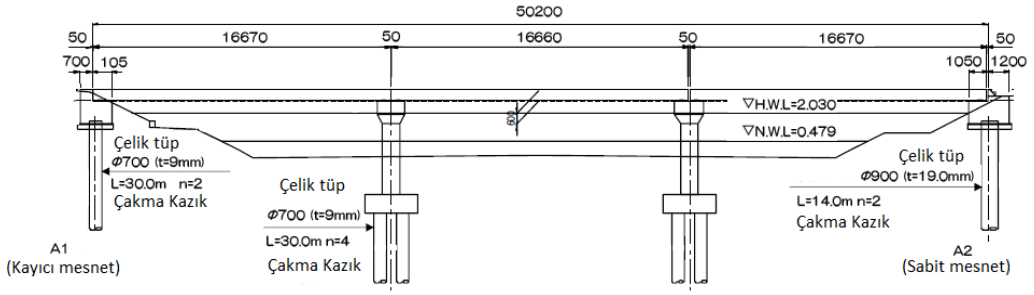


Şekil 6.2: Bağ kirişli ve bağ kirişsiz viyadüklerin CO_2 emisyon karşılaştırmaları.

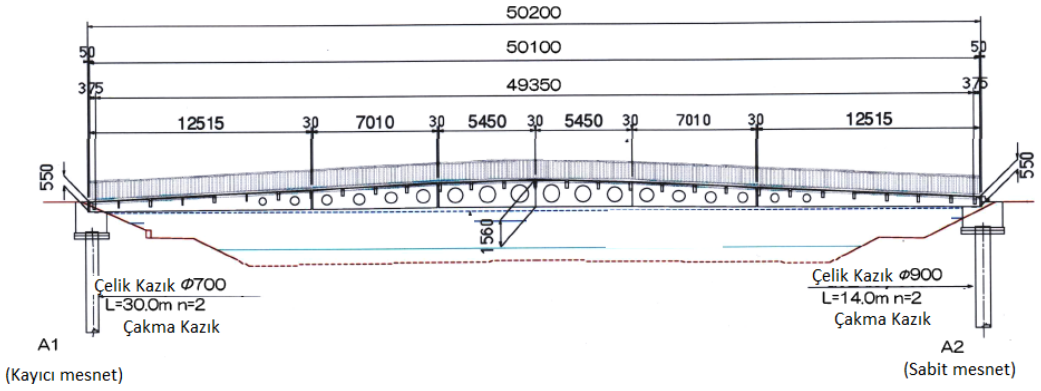
6.2 Yaya Geçidi

Bu örnekte, mevcut durumda yapılması planlanan yaya kaldırımı 3 açıklıklı öngerilmelili beton köprüdür; ancak çevresel performans gereksinimleri doğrultusunda CO_2 emisyonlarında %20 azalma amaçlanmaktadır. Bu yüzden de, alternatif çözüm olarak öngerilmelili beton yerine yüksek mukavemetli çelik fiber betonarme uygun görülmüştür. Mevcut planlanan tasarımın çizimi Şekil 6.3'te,

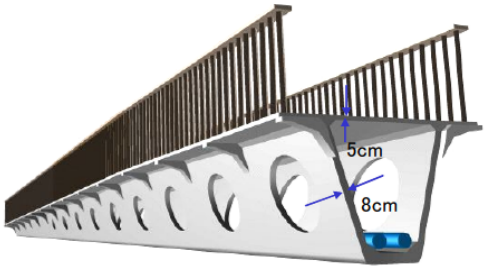
alternatif olarak sunulan tasarımın çizimleri de Şekil 6.4'te ve Şekil 6.5'te verilmiştir. Şekil 6.6'daki grafikten de anlaşılacağı üzere, alternatif çözüm ile yüksek mukavemetli malzemenin kullanılmasından kaynaklı yapı özağırlığı düşürülerek temellerin daha ince kesitlerde seçilmesine olanak sağlamıştır. Bunun sonucunda, CO_2 emisyonlarında da %25 oranında azalma görülmektedir. Böylece R > S denklemi sağlanmış olmaktadır.



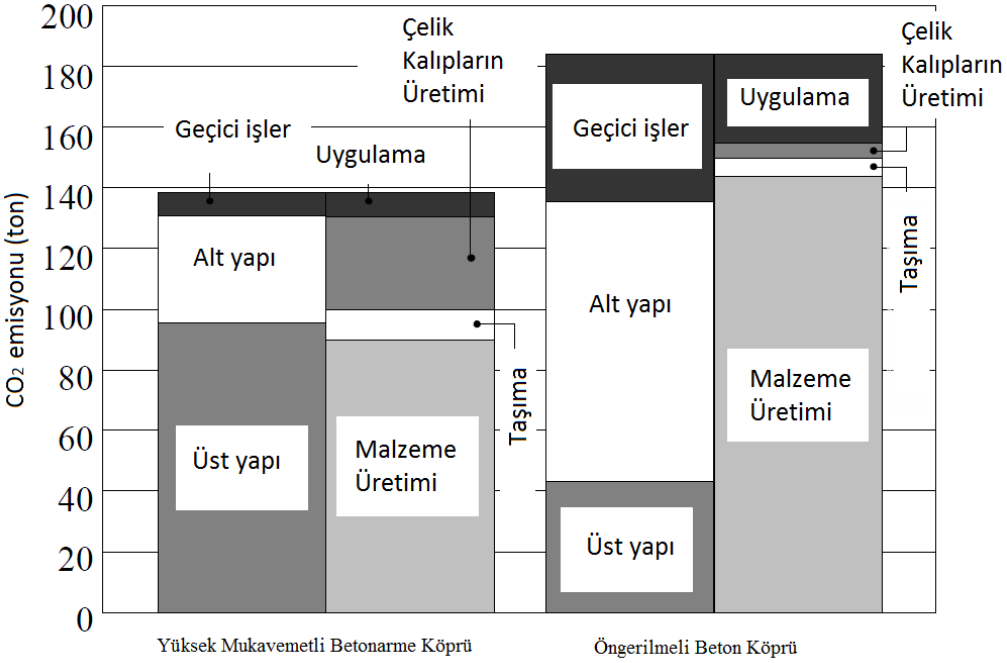
Şekil 6.3 : Öngerilmeli beton köprünün kesiti.



Şekil 6.4: Yüksek dayanımlı betonarme köprü kesiti.



Şekil 6.5: Yüksek dayanımlı betonarme köprünün üst yapısının perspektif görünüşü.



Şekil 6.6: Öngerilmeli beton ile yüksek dayanımlı betonarme köprülerin CO_2 emisyon karşılaştırmaları.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesine ve iklim değişikliğinin önlenmesine yönelik oluşturulan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında gerçekleştirilen Kyoto Protokolü'nün ilk yükümlülük dönemi 2012 yılında sona ermektedir. Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ne 2009 yılında katılımıyla sera gazı emisyonları açısından herhangi bir bağlayıcı sınırlaması yoktur. Ancak, 2012 sonrası iklim değişikliğine dair çalışmalar başlanmış bulunmakta ve iklim değişikliğine yönelik yaptırımlar Kopenhag'da düzenlenecek olan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 15. Taraflar Konferansı'nda karara bağlanılacaktır. Türkiye'nin de bu konferans ile iklim değişikliğinin önlenmesi konusundaki sorumlulukları netleştirilecektir. Türkiye'nin bu konferanstan beklentisi, iyi niyet çerçevesi içerisinde, sürdürülebilir kalkınma politikalarına uygun olarak iklim değişikliğine karşı alınacak her türlü önlemi uygulanmasında gönüllü olduğunu; ancak farklılaştırılmış sorumluluklar prensibine de inandığının bilinmesidir.

Bu durum doğrultusunda, her sektör gibi inşaat sektörü de kendine düşen görevin bilincinde olmalı ve sürdürülebilir kalkınmayı benimseyerek çevreye karşı daha duyarlı olmalıdır. Sadece, binalarda değil, bütün yapılarda çevresel tasarımı ilke edinmelidir.

Bu çalışma kapsamında, inşaat faaliyetlerine dair Türkiye'ye ait birim CO_2 emisyonlarıyla ilgili yeterli kaynak mevcut olmadığı için yabancı kaynaklardan yararlanılmıştır. Bu doğrultuda, Türkiye için acilen detaylı birim CO_2 emisyonları envanterinin oluşturulması gereği önemli bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır.

Yapılan literatür araştırmasında, yapıların çevresel etkilerine sadece binalar bazında bakıldığı ve özellikle işletme durumundaki etkilerinin önemsendiği görülmüştür. Sıklıkla, binaların işletmeleri sırasındaki enerji tüketimleri incelenmektedir. Bu da, enerji korunumunun ne kadar güncel bir mesele olduğunu göstermektedir. Zaten, dünya ve Türkiye ölçeğinde bakıldığında CO_2 emisyonu bakımından en yoğun

sektörün enerji sektörü olduğu da bilinmektedir. İnşaat sektörünün de enerji sektörüyle yakından ilişkili olduğu yadsınamaz bir gerçektir.

Bu çalışmada, aynı aks sistemine ve işleve sahip bir sanayi yapısının biri konvansiyonel diğeri prefabrike olmak üzere iki farklı betonarme yapım yöntemi ile tasarlandığında hangisinin çevresel performansının daha iyi olacağı araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar ve elde edilen bilgiler doğrultusunda yapılan varsayımlarla bu örnek çalışmada prefabrike sistemin çevresel performansı konvansiyonel sisteme göre %18 daha iyi çıkmıştır. Emisyonlardaki bu farkın konvansiyonel yapım sistemindeki çimento üretimi ve taşınımından kaynaklı CO_2 emisyonu olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada çevresel etkilerin tümüyle dikkate alınmayıp bazılarının ihmal edildiği, bilhassa yapı sistemleri için önemli olan etkilerin dikkate alındığı hatırlanmalıdır. Bir başka deyişle, bu çalışma prefabrike yapı sistemlerinin konvansiyonel sistemlere göre daha iyi çevresel performansı olduğunu anlatmayı amaçlamamaktadır. Burada, inşaat mühendisliğinde alışagelmiş tasarım kriterlerine; yani emniyet, ekonomi, estetik gibi yapılardan sağlaması beklenen üç ana kritere ilaveten, dördüncü bir etken olarak çevresel performanslarının da değerlendirilmesi gereği özellikle vurgulanmıştır.

Son bölümde, Sakai'nin 2005 yılında yaptığı örnek çalışmalar anlatılarak çevresel performans konusundaki örnekler zenginleştirilmeye çalışılmıştır. Çevresel performans, her ne kadar yeni bir konu ise de, literatürde bu konuda yapılan çalışmaların azlığına rağmen, alışagelmiş yapısal tasarım ve maliyet analizlerinden bağımsız değildir. Genellikle, inşaası planlanan yapıların yapısal tasarımlarıyla uyum göstermektedir. Bundan dolayı, gerek iklim değişikliğinin önlenmesi amacıyla gerekse diğer tasarımlarla gösterdiği uyum sayesinde tasarımlarda çevresel etkiye hak ettiği önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] **Babus, D.,** 2005. Küresel Isınma Sorununun Uluslararası Çevre Politakası İçerisinde İrdelenmesi ve Türkiye'nin Yeri, *Y.L.Tezi*, Çukurova Üniversitesi.

[2] **Gürel, M.,** 2004. Global Environment, *Ders Notu*, İTÜ.

[3] **Eyinç, A.,** 2007. Küresel İklim Değişiklikleri ve Türkiye İklimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *Y.L.Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi.

[4] **Tünay, O., ve Alp, K.,** 1996.Sera Olayı, *Hava Kirlenmesi Kontrolü*, 70-74, Mega Ajans Basın Yayın Hizmetleri, İstanbul.

[5] **Url-1,** *<http://www.iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa.aspx?sflang=tr>,* TC ÇOB Resmi Sitesi, alındığı tarih: 24 Nisan 2011.

[6] **Şahin, M.,** 2009. Birleşmiş Milletler iklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ve Türkiye, *Rio Sözleşmesi Kapsamında Türkiye'nin Kapasitesinin Değerlendirilmesi Projesi*, Ankara.

[7**] Url-2,** 2008. Karbon Ticareti, **<***http://www.gte.com.tr/presentations/GTE-karbon-tic areti. ppt>,* GTE*,* alındığı tarih: 12 Nisan 2011.

[8] **Şahin, Ü.,** İklim Değişikliğinin Çözüm Yolları Kyoto ve Türkiye, **<**www.*halks agligi.pamukkale.edu.tr/.../iklim_sunumu_KYOTO_umit.ppt>,* alındığı tarih: 31 Nisan 2011.

[9] BMİDÇS 15. Taraflar Konferansı, 2009. *Çevre ve İnsan Dergisi*, **78**, 18-19.

[10] **TÜİK,** 2010. Seragazı Emisyon Envanteri, 2008, *Haber Bülteni*.

[11] **Url-3, <***http://unfccc.int/di/DetailedByCategory.do>,* UNFCCC Resmi Sitesi*,* alındığı tarih: 31 Nisan 2011.

[12] **Dellal İ.,** 2010. İklim Değişikliği ve Tarım, *MDG_F 1680 Türkiye'nin İklim Değişikliğine Uyum Kapasitesinin Geliştirilmesi Projesi*, Ankara.

[13] **Sakai, K.,** 2004. Environmental Design for Concrete Structures, *Journal of Advanced Concrete Technology*, **3 (1)**, 17-28.

[14] **Hoşkara, E. ve Sey, Y.,** 2008. Ülkesel Koşullar Bağlamında Sürdürülebilir Yapım, *İtü Dergisi/A*, **7 (1)**, 50-61.

[15] **Çokgör, E.,** 2007. Çevre Etiği, *Ders Notu*, İTÜ.

[16] **Emrealp, S.,** 2005. Tanıtıcı Bilgiler, *Yerel Gündem 21 Uygulamalarına Yönelik Kolaylaştırıcı Bilgiler Elkitabı*, 13-16, Birmat Matbaası, İstanbul.

[17] **Esin, T. ve Coşgun, N.,** Betonarme Yapım Sistemlerinin Ekolojik Açıdan Değerlendirilmesi,**<***www.yapkat.com/images/Malzeme/.../6914026141 1663414 837121963.pdf>,* alındığı tarih: 04 Şubat 2011.

[18] **Sakai, K., Hàjek, P., Kawai, K., Mizuguchi, H.,ve Stepànek P.,** 2008. Environmental Design of Concrete Structures-General Principles, *International Federation for Structural Concrete*.

[19] **Url-4,** 2006. Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013): Çimento Sanayii Ön Raporu, *Taş Ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu*, Devlet Planlama Teşkilatı Müşteşarlığı *<plan9. dpt.gov .tr/oik47_ ta stoprak/cimento-9p-oik.pdf>,* alındığı tarih: 30 Haziran 2011.

[20] **Url-5,** 2011. Çimento Sektöründe Atıkların Ek Yakıt ve Alternatif Yakıt Hammadde Olarak Kullanılması, *7. Uluslararası Geri Dönüşüm Çevre Teknolojileri ve Atık Yönetimi Fuarı, İstanbul, <www.**rec**.org.tr/dyn_files/42/3665-TcMB.pdf>,* TÇMB**,** alındığı tarih: 30 Haziran 2011.

[21] **Url-6,** 2008. İklim Değişikliği ile Mücadele Faaliyetlerinin Türk Çimento Sanayiine Etkileri, *Uzmanlık Tezleri, <www.dpt.gov.tr/DocObjects /Download/3191/iklim. pdf >,* DPT*,* alındığı tarih: 30 Haziran 2011.

[22] **İskender, G.,** 2006. Halk ve İş Yeri Sağlığı, *Ders Notu*, İTÜ.

[23] **TS EN ISO 14040,** 2007. Çevre Yönetimi - Hayat Boyu Değerlendirme -İlkeler ve Çerçeve, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[24] **Canan, F. ve Bakır, İ.,** 2008. Enerji ve Çevre Etkin Bina Tasarımında Ömür Süreci Analizi Yönteminin Değerlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi ISSN 1302/6178 Journal of Technical-Online Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu*, **7(2)**, 153-174.

[25] **Bekem, İ., Gültekin, A. B. ve Dikmen Ç. B.,** 2009. Yapı Ürünlerinin "Hizmet Ömrü" Açısından İrdelenmesi: Betonarme Örneği, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük.

[26] **Url-7,** Akçansa 2007-2009 Sürdürülebilirlik Raporu, *<http://www.akcansagri raporu.com/akcansa-surdurulebilirlik-raporu-2010.pdf>,* alındığı tarih: 01 Mayıs 2011.

[27] **Akakın, T. ve Engin, Y.,**Yeni Yüzyılda Beton, *<20www.thbb.org/ Utility.aspx ?o=file&id=64>,* alındığı tarih: 01 Mayıs 2011.

[28] **URBEMIS,** 2007. Appendix I–Construction Equipment Emission Factors, *URBEMIS 2007 for Windows Users' Guide.*

[29] **Kawai, K., Sugiyama T., Kobayashi K. ve Sano S.,** 2005. Inventory Data and Case Studies for Environmental Performance Evaluation of Concrete Structure Construction, *Journal of Advanced Concrete Technology*, **3(3)**, 435-456.

[30] **Kawai, K. ve Fujiki A.,** 2005. A Case Study on Environmental Impact Assessment of Precast Concrete Products with a Revegetation Function, *<www.claisse.info/special%20papers/kawai_full_text.pdf>*, alındığı tarih: 20 Nisan 2011.

[31] **Url-8,** Why Brick?, *<http://www.brick.org.uk/about-us/why-use-brick.html>,* Brick Development Association alındığı tarih: 01 Mayıs 2011.

[32] **Aydemir, B.,** 2005. Prefabrike Betonarme İskelet Sistemlerle İnşa Edilen Endüstri Yapılarında Prefabrike Döşeme Bileşenlerinin Yük ve Açıklık Kriterleri Açısından İrdelenmesi, *Y.L.Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi.

[33] **Url-9,** 2010. Hazır Prefabrik Elemanların İmalat ve İmalat Sorunları, Mesleki Eğitim, **<***http://www.insaathaberleri.net/haber/7741-meslek-eitim-hazir-prefa brk-elemanlarin-malat-ve-malat-sorunlar.html* >, alındığı tarih: 12 Şubat 2011.

[34] **Url-10,** Pelit Kalıp Sunumu <*http://www.turanlar group.com/PELIT/PDF/pelit _tanitim.pdf*>, alındığı tarih: 01 Mayıs 2011.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Tuğçe AKMANDOR

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 08.07.1987

Adres: Kadiköy / İstanbul

Lisans Üniversite: İTÜ Çevre Mühendisliği (2008) & İnşaat Mühendisliği (2009)

Yayın Listesi: