

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YEŞİL BİNA PROJELERİNDE İLERİ YAPIM
TEKNOLOJİLERİNİN KULLANIMI ÜZERİNE
BİR ARAŞTIRMA: PREFABRİKASYONUN
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE KATKILARI**

Erhan ARAR

Temmuz, 2018

İZMİR

**YEŞİL BİNA PROJELERİNDE İLERİ YAPIM
TEKNOLOJİLERİNİN KULLANIMI ÜZERİNE
BİR ARAŞTIRMA: PREFABRİKASYONUN
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE KATKILARI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Yüksek Lisans Programı

Erhan ARAR

Temmuz, 2018

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ERHAN ARAR tarafından DOÇ.DR. FAHRİYE HİLAL HALICIOĞLU yönetiminde hazırlanan “YEŞİL BİNA PROJELERİNDE İLERİ YAPIM TEKNOLOJİLERİNİN KULLANIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA: PREFABRİKASYONUN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE KATKILARI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



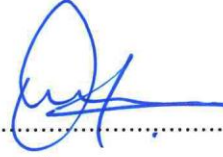
Doç. Dr. Fahriye Hilal HALICIOĞLU

Yönetici



Doç. Dr. Özgül YILMAZ KARAMAN

Jüri Üyesi



Dr. Öğretim Üyesi Gülben ÇALIŞ

Jüri Üyesi



Prof.Dr. Latif SALUM

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli hocam Doç.Dr. Fahriye Hilal Halıcıoğlu' na, desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen canım aileme ve ders döneminde bana yardımcı olan tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Erhan ARAR



YEŞİL BİNA PROJELERİNDE İLERİ YAPIM TEKNOLOJİLERİNİN KULLANIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA: PREFABRİKASYONUN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE KATKILARI

ÖZ

Yeşil binalar daha az enerji tüketimi, kaynakların daha verimli kullanımı, çevresel etkilerinin daha az olması ve kullanıcıları için daha sağlıklı bir ortam sunması gibi sürdürülebilirlik özellikleri ile bilinmektedir. Bu sürdürülebilirlik kriterlerinin sağlanmasında, yeşil bina projelerinin gerçekleştirilmesinde kullanılacak yapım teknolojisinin özellikleri de önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, bina endüstrisi binalarda sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada daha etkili olan yapım teknolojilerinin kullanımına yönelmiştir.

Bina yapımında konvansiyonel yapım teknolojilerinin kullanılması ile yüksek miktarda ham madde israfı, inşaat atığı ve enerji tüketimi gerçekleşmektedir. İnşaat sektöründe ileri yapım teknolojilerinin kullanılması işçilik hataları, yapım sırasında çevreye verilen zarar, uygun olmayan çalışma koşulları ve tahmin edilen inşaat maliyetlerinin aşılması gibi sorunlara çözüm bulmak açısından önem kazanmaktadır. İleri yapım teknolojilerinin özellikle prefabrikasyon teknolojilerinin yeşil bina yapımında kullanımının başlıca nedenlerinden biri, çevresel etkilerin azaltılması, güvenli çalışma ve sağlık koşullarının sağlanması, inşaat sırasında ortaya çıkan atığın azaltılması gibi sürdürülebilirlik kriterlerinin sağlanmasını kolaylaştırmaktır. Bu nedenle, çalışmanın amacı yeşil bina projelerinde ileri yapım teknolojilerinin kullanımını araştırmak ve prefabrikasyon yapım teknolojisinin sürdürülebilirliğe olan katkılarını ortaya çıkarmaktır. Çalışma kapsamında öncelikle yeşil bina özellikleri, yapım sistemleri ve ileri yapım teknolojileri hakkında bilgi verilmiştir. İkinci olarak, prefabrikasyon yapım teknolojisi detaylı olarak irdelenmiştir. Daha sonra, çalışmada prefabrikasyon teknolojileri ile yapımı gerçekleştirilen on adet yeşil bina yapım teknolojilerine ve yeşil özelliklerine göre incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, on adet yeşil binanın incelenmesi sonucunda elde edilen bulguların ışığında

prefabrikasyon yapım teknolojisinin sürdürülebilirliğe olan potansiyel katkıları belirlenmiştir. Ayrıca, gelecek çalışmalara yönelik bazı öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, yeşil bina, yapım sistemleri, ileri yapım teknolojileri, prefabrikasyon yapım teknolojisi



A STUDY ON THE USE OF ADVANCED CONSTRUCTION TECHNOLOGIES IN GREEN BUILDING PROJECTS: THE CONTRIBUTIONS OF PREFABRICATION TO SUSTAINABILITY

ABSTRACT

Green buildings have been well-known with sustainability features such as less energy consumption, more efficient use of resources, less environmental impact and a healthier environment for users. In order to meet these sustainability criteria, the characteristics of construction technologies to be used in the construction process of green building projects are also important. In this context, the building industry has turned to the use of construction technologies that are more effective in achieving sustainability goals in buildings.

The use of traditional construction techniques in building construction causes high amounts of raw material waste, construction waste, and energy consumption. Advanced construction technologies come into prominence in the construction industry in order to come up with a solution for problems such as workmanship errors, damage to environment during construction, inadequate operating conditions, and anticipated construction costs. One of the main reasons of the use of advanced construction technologies, particularly prefabrication technologies, in the construction of green buildings is to facilitate providing sustainability criteria such as reducing environmental impacts, ensuring safe working and health conditions, reducing the waste generated during construction. Thus, the purpose of this research is to investigate the use of advanced construction technologies in green building projects and to find out the contributions of prefabrication construction technology to sustainability. In the scope of the research, firstly information about green building features, construction systems, and advanced construction technologies were given. Secondly, prefabrication construction technology was reviewed in detail. After that, ten-green buildings constructed with prefabrication technologies were examined according to their construction technologies and their green features. As a result of this research, the potential contributions of prefabrication construction technology to

sustainability were determined through the findings obtained from the result of the examination of these ten-green buildings. In the conclusions, some recommendations for future investigations were also presented.

Keywords: Sustainability, green building, construction systems, advanced construction technologies, prefabrication construction technology



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Problemin Tanımlanması	3
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	4
1.3 Araştırma Yöntemi	4
1.4 Çalışmanın Organizasyonu.....	5

BÖLÜM İKİ - YEŞİL BİNALAR..... 7

2.1 Yeşil Bina Tanımı ve Kavramlar.....	7
2.1.1 Sürdürülebilirlik.....	9
2.1.2 Yaşam Döngüsü.....	11
2.1.3 Ekoloji ve Ekolojik Mimarlık.....	12
2.2 Yeşil Binaların Özellikleri ve Tasarım Süreci	12
2.2.1 Enerji etkin tasarım.....	13
2.2.2 İç mekan hava kalitesi ve sera gazı salımı.....	14
2.2.3 Su tüketimi.....	15
2.2.4 Arazi kullanımı	16
2.2.5 Kullanılan yapı malzemeleri.....	16
2.2.6 Yapım, İşletme ve yıkım sırasında ortaya çıkan atık.....	17
2.3 Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri.....	18
2.3.1 LEED	20
2.3.2 BREEAM.....	22

2.3.3 CASBEE.....	23
2.3.4 Green Star	24
2.3.5 SBTTool.....	25
2.4 Türkiye'de Yeşil Bina Kavramının Gelişim	26

BÖLÜM ÜÇ -YAPIM SİSTEMLERİ VE İLERİ YAPIM TEKNOLOJİLERİ 29

3.1 Yapım Sistemleri.....	29
3.1.1 İlkel Yapım Sistemleri.....	29
3.1.2 Geleneksel Yapım Sistemleri	30
3.1.3 Konvansiyonel Yapım Sistemleri.....	30
3.1.4 Rasyonelleştirilmiş Sistemler	31
3.1.5 Kısmen Endüstrileşmiş Sistemler	32
3.1.6 Tam Endüstrileşmiş Sistemler	33
3.2 İleri Yapım Teknolojileri.....	33
3.2.1 Otomasyon Teknolojileri	35
3.2.2 Prefabrikasyon Teknolojileri	37
3.2.2.1 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Sınıflandırılması	38
3.2.2.1.1 Yapım Sistemi Açısından Sınıflandırılması	38
3.2.2.1.2 Taşıyıcı Sistemine Göre Sınıflandırılması.	40
3.2.2.1.3 Yapı Elemanlarının Ağırlığına Göre Sınıflandırılması.....	43
3.2.2.2 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Türkiye'de ve Dünya'da Gelişimi .	44
3.2.2.3 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Olumlu Tarafları.....	46
3.2.2.4 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Olumsuz Tarafları.....	48
3.2.2.5 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Gelişmesinde Karşılaşılan Engeller	49
3.2.2.6 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Kullanımına İten Faktörler	50
3.2.2.7 Prefabrikasyon Teknolojileri ve Yalın Yaklaşım	50
3.2.2.8 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Sürdürülebilirliğe Olan Katkıları...	52

**BÖLÜM DÖRT - PREFABRİKASYON YAPIM TEKNOLOJİLERİ İLE
ÜRETİLEN YEŞİL BİNALARIN İNCELENMESİ 56**

4.1 Avusturya Örneği: Rauch Konutu	56
4.2 Egger Firması Ofis Binası	61
4.3 SoMa Modüler Apartmanı.....	64
4.4 Barrie Okulu Araştırma ve Öğrenme Merkezi	67
4.5 Beachaus I Konut Yapısı	70
4.6 Centennial Yurt Binası (Centennial Hall)	73
4.7 High Tech Lisesi	77
4.8 Bölgesel Çevresel Çalışma Merkezi (Regional Environmental Studies Center)	81
4.9 Mountaineer Yurt Binası	84
4.10 Van Dusen Botanik Bahçesi - Ziyaretçi Merkezi.....	88
4.11 Prefabrikasyon Yapım Teknolojileri ile Üretilen Yeşil Binaların Karşılaştırılması	91

BÖLÜM BEŞ - SONUÇ.....94

KAYNAKLAR 96

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sürdürülebilirlik kavramının dört ilkesi.....	11
Şekil 2.2 Bina Çevre Verimliliği ve Genel Kavramlar	24
Şekil 3.1 Yapıda endüstrileşme derecesini gösteren grafik	34
Şekil 3.2 Robot yardımı ile betonarme perde duvar yapımı	35
Şekil 3.3 Tehlikeli olan yıkım işlerinin uzaktan kumandalı robot ile yapılması	37
Şekil 3.4 Bir endüstri yapısında prefabrik çelik iskelet sistem uygulaması.....	40
Şekil 3.5 Prefabrik panellerin inşaat alanında vinç ile taşınması.....	41
Şekil 3.6 Bir modülün vinç yardımıyla yerine yerleştirilmesi	43
Şekil 3.7 Le Corbusier'e ait prefabrikasyon denemesi (solda) Dom-Ino (1914) ve (sağda) Citrohan Evi (1920).....	45
Şekil 3.8 Yalın Prefabrikasyon ve Sürdürülebilirlik arasındaki ilişki.....	52
Şekil 4.1 Rauch Konutu, Schlins, Avustralya	56
Şekil 4.2 Prefabrik sıkıştırılmış toprak duvar modülleri.....	58
Şekil 4.3 Rauch Evi, Planlar: a) Zemin Kat Planı; b) Birinci Kat Planı; c) İkinci Kat Planı	59
Şekil 4.4 Sıkıştırılmış toprak duvara bağlanan merdiven	59
Şekil 4.5 Zemin ve duvar kaplamalarında kullanılan ateşlenmiş kil fayansın üretim aşaması.....	60
Şekil 4.6 Egger firması, Radauti, Romanya' da bulunan ofis binası.....	61
Şekil 4.7 Modüler tasarım konseptinin farklı bir Egger binasında uygulanması.....	62
Şekil 4.8 Modüllerin şantiye ortamında birleştirilmesi.....	63
Şekil 4.9 Soma modüler apartmanı (Soma Studios), San Francisco, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri	64
Şekil 4.10 Soma modüler apartmanı daire planı	65
Şekil 4.11 Soma modüler apartmanı yaşama alanı	65
Şekil 4.12 SoMa modüler apartman binasında kullanılan modüllerin taşınması ve montaj işlemlerinin tamamlanması	66
Şekil 4.13 Barrie Okulu, Maryland, Amerika Birleşik Devletleri	67
Şekil 4.14 Barrie okulu araştırma ve öğrenme merkezi planı.....	68

Şekil 4.15 Fabrika ortamında modüllerin oluşturulması.....	69
Şekil 4.16 Fabrika ortamında oluşturulan yüksek oranda bitmiş olan modülün şantiye ortamına götürülmesi	69
Şekil 4.17 Beachaus I konut yapısı, White Rock, İngiltere	70
Şekil 4.18 Beachaus I konut planları.....	71
Şekil 4.19 Beachaus I binasında kullanılan modülün vinç yardımı ile yerine yerleştirilmesi	72
Şekil 4.20 Centennial yurt binası, İngiltere.....	73
Şekil 4.21 Centennial yurt binası oda tipleri	74
Şekil 4.22 Centennial Hall binası yapımında prefabrik modüllerin şantiye ortamında bir araya getirilmesi.....	76
Şekil 4.23 High Tech High Lisesi, Chula Vista, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri	77
Şekil 4.24 High Tech High Lisesi kat planı	78
Şekil 4.25 High Tech High Lisesi galeri alanı	78
Şekil 4.26 Bina çatısında bulunan fotovoltaiik paneller	79
Şekil 4.27 High Tech Lisesi yapımında kullanılan modüllerin vinç yardımıyla yerleştirilmesi	80
Şekil 4.28 Bölgesel Çevresel Çalışma Merkezi	81
Şekil 4.29 Foto voltaik panellere sahip çatının inşaat sırasında vinç yardımı ile yerleştirilmesi	83
Şekil 4.30 Modüllerin şantiye ortamına getirilmesi ve montajı.....	83
Şekil 4.31 Mountaineer Yurt Binası, Boone, Amerika Birleşik Devletleri	84
Şekil 4.32 Mountaineer yurt binası modül planı.....	86
Şekil 4.33 Mountaineer Hall binasında kullanılan hafif ahşap çerçeve modüllerin şantiye ortamına taşınması ve montajı	87
Şekil 4.34 Van Dusen Botanik Bahçesi Ziyaretçi Merkezi, Vancouver, Kanada.....	88
Şekil 4.35 Fabrika ortamında üretilen prefabrik çatı panelleri	90
Şekil 4.36 Prefabrik çatı panellerinin fabrika ortamında vinç yardımıyla yerleştirilmesi	90

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Yeşil bina değerlendirme sistemleri	20
Tablo 2.2 Türkiye'de LEED sertifikası alan projelerin dağılımı.....	22
Tablo 2.3 BREEAM Değerlendirme Kriterleri ve Yüzdeleri	23
Tablo 2.4 Green Star sertifika sistemi puanlaması.....	25
Tablo 2.5 ÇEDBİK-Konut Sertifika Sistemi değerlendirme ölçütleri ve puanları	28
Tablo 2.6 ÇEDBİK-Konut Sertifika Sisteminde puanlama sonucu alınan sertifika türü	28
Tablo 3.1 Prefabrikasyon teknolojilerinin sınıflandırılması	38
Tablo 4.1 Tez çalışma kapsamında incelenen yeşil binalar ve özellikleri	92
Tablo 4.2 Tez çalışma kapsamında incelenen yeşil binaların prefabrikasyon yapım teknolojisi, malzeme ve sürdürülebilirliğe katkıları açısından karşılaştırılması	93

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Son yıllarda "yeşil bina" terimi inşaat sektöründe çok sık kullanılan bir ifade olmaktadır. 18. ve 19. yüzyılda Sanayi Devrimi ile teknolojinin hızlı gelişimi, kırsal bölgelerden kentsel bölgelere göç edilmesi ve plansız kentleşme gibi faktörler çevresel sorunlara neden olmaktadır (Erdede ve Bektaş, 2014). Dünya genelinde hızlı nüfus artışının yaşanması, özellikle yirminci yüzyılda meydana gelen İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra ortaya çıkan konut krizi ve sanayileşme ile enerji talebinin artması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına itmiştir (Saka, 2011).

Yeşil bina kavramının ön plana çıkmasının en önemli sebebi; doğal kaynakların daha fazla kullanılması, küresel ısınma, su kıtlığı ve olumsuz çevresel etkiler gibi sorunların ortaya çıkmasıdır ve bina endüstrisinin çevreye daha az zarar veren çözüm arayışlarına yönelmesidir. Birçok araştırmacının ortak görüşü dünya üzerindeki enerji tüketiminin yaklaşık olarak %40' ından sorumlu olan binaların daha az kaynak kullanımı ile daha verimli olması gerektiği yönündedir. Bu nedenle, içinde yaşadığımız yirmi birinci yüzyılda en çok konuşulan konuların başında "yeşil bina" gelmektedir. Bina endüstrisinde çevresel etkilerin ve enerji kullanımının azaltılması gerekliliği ile yeşil bina kavramı ortaya çıkmıştır. Yeşil binalar; yenilenebilir enerji kullanımı, inşaat sırasında ortaya çıkan atık miktarının azaltılması, su ve enerji tasarrufu sağlaması ve kullanıcılara daha sağlıklı bir ortam sunması gibi faydalara sahiptir (Kilbert ve Grosskopf, 2007).

Küresel ısınmanın ve iklim değişikliklerinin artması, çeşitli su kaynaklarının yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalması, çevre kirliliği sorunlarının gün geçtikçe artması, yenilenemeyen enerji kaynaklarının büyük ölçüde azalması insan yaşamının devamlılığını tehdit etmektedir. Bu koşullar altında varlığını sürdürebilmek ve hatta çevresel koşulları iyileştirmek zorunda kalan insanların karşısına yapıli çevrenin kalitesinin geliştirilmesi konusu sorun olarak çıkmıştır. Bu durum ise, yeşil bina ve sürdürülebilirlik konularının hızlı gelişimine, uygulanmasına ve yayılmasına yol açan en önemli sebep olmaktadır.

Özellikle 1980-2000' li yıllar sürdürülebilir kalkınma ve yeşil bina kavramlarının önem ve farkındalık kazanmaya başladığı yıllardır. 1987 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu' nun yayınladığı Brundtland Raporu ve 1992 yılında 178 ülkenin katıldığı Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı, söz konusu farkındalığın hızlanarak devam edeceğinin bir kanıtıdır.

Yeşil binalar, sürdürülebilir kalkınmanın inşaat sektörüne etkisi olarak bilinmektedir. Geleneksel binaların aksine yeşil binaların tasarım ve yapım aşamalarında arazinin ve enerjinin verimli bir şekilde kullanılması, su ve enerji kaynaklarının korunması, kullanıcının konfor kalitesini arttırmak ve geri dönüştürülebilir veya yenilenebilir malzemelerin kullanımını arttırmayı amaçlamaktadır (Bora, 2012). Yeşil binalarda bulunması gereken özellikler çevre tahribatını en aza indirmesi, yenilenebilir enerji kullanımı, yağmur suyu kullanımı, doğal aydınlatma ve havalandırmadan faydalanılması, kullanıcılara sağlıklı bir ortam sunması ve yerel ekosistem ile entegre olması olarak sıralanabilmektedir (Kibert ve Grosskopf, 2007).

Günümüzde ülkelerin birçoğu sermayesinin büyük bir kısmını yapılaşmaya, altyapı düzenlenmesine ve yapıyı çevreye ayırmaktadır (Bock, 2015). Bina endüstrisinde konvansiyonel yapım yöntemlerinin kullanımı ile yüksek miktarda ham madde ve enerji tüketilmektedir (Bock, 2015). Konvansiyonel yapım teknolojilerinin kullanımı ile meydana gelebilecek hatalar, öngörülen inşaat maliyetlerinin aşılması, uygun olmayan çalışma koşulları ve özellikle düşük verimlilik gibi sorunlar ileri yapım teknolojilerinin kullanımına itmektedir (Linner, 2015). Alman makro-ekonomist Börsch-Supan, insan sermayesinin makine üretim teknolojilerinde kullanılması ile yapım teknolojilerinde üretkenliğin arttırılmasını ve emek yoğunluğunun azaltılmasını amaçlamaktadır (Supan ve diğerleri, 2009). "Endüstri 4.0" olarak bilinen ileri teknolojilerle geliştirilen üretim sanayisi stratejileri, emek yoğunluğu olan sistemlerden otomasyon sistemlere geçilmesi ile yüksek üretkenlik hedeflerinin karşılanması amacıyla ortaya çıkmıştır (Bock, 2015).

Richard (2005), üretim sanayisinde makine üretim teknolojilerinin kullanımı ile makine kullanımının ve sanayileşmenin yoğun olduğu sistemleri endüstrileşme dereceleri olarak tanımlamakta ve beş adet alt başlıkta toplamaktadır: İleri teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanabilirliğinin sağlanması kapsamında “Prefabrikasyon, mekanizasyon, otomasyon, robotik ve yeniden üretim” olarak adlandırılan endüstrileşme dereceleri ile yüksek verimlilik hedeflerinin karşılanması hedeflenmektedir.

1.1 Problemin Tanımlanması

Dinamik ve karmaşık özelliği ile birçok alt sektörü de bünyesinde taşıyan bina endüstrisi, günümüz bilgi ekonomisi ve küresel rekabetçi pazarda da çok önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle, bina endüstrisi çevresel önlemlerin ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının merkezinde yer almaktadır. Bu perspektiften bakıldığında, sürdürülebilir bina projelerinin dahil olduğu yeşil sistemin karmaşıklığı bina endüstrisinin daha fazla ileri yapım teknolojilerinin kullanımına olanak sağlayan çözümler sunmasını zorunlu kılmaktadır.

Bina yapımında sürdürülebilirlik hedeflerinin sağlanmasında yapım teknolojilerinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum, bina endüstrisinde yeşil bina projelerinin gerçekleştirilmesinde önemli bir problem alanı olarak görülmektedir. İleri yapım teknolojileri kapsamında yer alan prefabrikasyon teknolojileri; fabrika ortamında denetimli üretim ile ürün kalitesinin artırılması, işçilik hatalarının azaltılması, yapım sırasında oluşan inşaat atığının azaltılması, çevresel etkilerin azaltılması, geri dönüşüm olanaklarının artırılması, enerji ve ham madde verimliliği gibi faydalar sağlaması nedeniyle sürdürülebilirlik kriterlerinin karşılanmasında dikkat çekmektedir. Prefabrikasyon yapım teknolojilerinin kullanımı ile konvansiyonel yapım teknolojilerinin kullanımında yaşanan sorunların büyük ölçüde azaltılması amaçlanmaktadır (Jaillon ve Poon, 2010).

Özellikle yeni teknolojilerin kullanılmasıyla ve yeni sistemlerin dahil edilmesiyle daha karmaşık hale gelen yeşil binaların tasarım ve yapım sürecinin sürdürülebilirlik

odaklı gerçekleştirilebilmesi için öncelikle ileri yapım teknolojilerinin öneminin iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu bağlamda, bu tez çalışmasında belirlenen problem alanı; yeşil bina yapımında prefabrikasyon teknolojisinin kullanımının sürdürülebilirlik açısından hangi potansiyel katkılara sahip olduğunun ortaya çıkarılmasıdır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın amacı yeşil bina projelerinde ileri yapım teknolojilerinin kullanımını araştırmak ve prefabrikasyon yapım teknolojisinin sürdürülebilirliğe olan potansiyel katkılarını ortaya çıkarmaktır. Çalışma kapsamında, yeşil bina özellikleri, yapım sistemleri, ileri yapım teknolojileri hakkında bilgi verilmiştir ve prefabrikasyon yapım teknolojisi detaylı olarak irdelenmiştir. Çalışmada prefabrikasyon teknolojileri ile yapımı gerçekleştirilen on adet yeşil bina örneği yapım teknolojilerine ve yeşil özelliklerine göre incelenmiştir. Yeşil bina örneklerinin incelenmesi sonucunda elde edilen bulguların ışığında prefabrikasyon yapım teknolojisinin sürdürülebilirliğe olan potansiyel katkıları belirlenmiştir. Bu kapsamda incelenen yeşil bina uygulamalarının büyük bir kısmı LEED sertifikasına sahiptir. Uygulamaların incelenmesinde yaşam döngüsü maliyeti, tasarım ve yapım maliyeti konuları kapsam dışı tutulmuştur.

1.3 Araştırma Yöntemi

Yeşil bina yapımında prefabrikasyon teknolojilerinin kullanımının sürdürülebilirlik açısından sağlayacağı potansiyel katkıların belirlenmesini amaçlayan bu çalışmada; yeşil bina, yapım sistemleri, ileri yapım teknolojileri ve prefabrikasyon teknolojilerine yönelik bilimsel literatüre dayanan bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırması sonucunda elde edilen bilgilerin ışığında prefabrikasyon teknolojilerinin yeşil bina projelerinde kullanımı ile sürdürülebilirlik açısından sağladığı katkıların belirlenmesi amacıyla prefabrikasyon teknolojileri kullanılarak yapımı gerçekleştirilen on adet yeşil bina örneği incelenmiştir. Bunun sonucunda, çalışma kapsamında incelenen binalar yeşil özellikleri ve yapım

teknolojilerine göre karşılaştırılarak prefabrikasyon yapım teknolojilerinin sürdürülebilirlik açısından katkıları ortaya çıkarılmıştır.

1.4 Çalışmanın Organizasyonu

Bu tez, aşağıda açıklandığı gibi beş bölüm olarak organize edilmiştir:

"Giriş" başlığı ile tanımlanan birinci bölümde çalışmanın amacı, önemi ve kapsamı vurgulanmaktadır ve problemin tanımlanması üzerinde durulmaktadır. Aynı bölümde araştırmanın yöntemi ve hedefleri açıklanmaktadır.

"Yeşil Binalar" başlığıyla tanımlanan ikinci bölümde, yeşil bina tanımı ve özelliklerine ilişkin bilgi verilmektedir. İkinci olarak, yeşil binalarda kullanılan sertifikasyon sistemlerine değinilmektedir. Son olarak, yeşil bina kavramının Türkiye'deki öneminden ve Türkiye'nin yeşil bina sertifika sistemi olan ÇEDBİK Konut sertifika sisteminden bahsedilmektedir.

"Yapım Sistemleri ve İleri Yapım Teknolojileri" başlığıyla tanımlanan üçüncü bölümde, yapım sistemleri ve ileri yapım teknolojileri ile ilgili bilgi verilmekte ve prefabrikasyon yapım teknolojisi detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Bu bölümde ileri yapım teknolojilerine altyapı oluşturmak amacıyla yapım sistemleri hakkında bilgi verilmekte, ardından ileri yapım teknolojileri açıklanmaktadır. Son olarak, prefabrikasyon teknolojileri detaylı bir şekilde incelenmekte ve prefabrikasyon teknolojilerinin sürdürülebilirliğe olan katkıları açıklanmaktadır.

"Prefabrikasyon Yapım Teknolojileri ile Üretilen Yeşil Binaların İncelenmesi" başlığıyla tanımlanan dördüncü bölümde, ikinci ve üçüncü bölümde literatür incelemesi sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda prefabrikasyon yapım teknolojileri ile üretilen on adet yeşil bina incelenmektedir. Prefabrikasyon teknolojilerinin yeşil binaların sürdürülebilirliğine olan katkıları belirtilmektedir. Binaların incelenmesi sonucunda elde edilen bulgular Tablo 4.1 ve 4.2' de sunulmaktadır.

"Sonuç" başlıklı beşinci bölümde, tüm çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar açıklanmaktadır ve gelecekte yapılabilecek bilimsel araştırma önerileri sunulmaktadır.



BÖLÜM İKİ

YEŞİL BİNALAR

Bu bölümün amacı, yeşil binalara ilişkin özelliklerin açıklanmasıdır. Öncelikle, yeşil bina tanımı açıklanmıştır ve tasarım özellikleri belirtilmiştir. İkinci olarak, yeşil bina sertifikasyon sistemlerine değinilmiştir. Son olarak, yeşil bina kavramının Türkiye' deki önemine ve Türkiye yeşil bina sertifika sistemi olan ÇEDBİK Konut sertifika sistemlerinden bahsedilmektedir.

2.1 Yeşil Bina Tanımı ve Kavramlar

Doğal kaynakların insanlar tarafından kullanımının artması ile meydana gelen küresel ısınma, susuzluk, çevre kirliliği gibi faktörler inşaat sektörünü çevreye verilen zararı minimize eden bina yapımına itmiştir. İnşaat sektörü özellikle binaların yapımı ve kullanımında enerjinin yüksek miktarda tüketilmesi nedeniyle küresel iklim değişiklikleri ve diğer çevresel konular üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İnşaat sektöründe çevresel etkilerin ve enerji kullanımının azaltılması amacıyla “yeşil bina” kavramı ortaya çıkmıştır. Yeşil binalar, sürdürülebilir kalkınmanın inşaat sektörüne etkisi olarak bilinmektedir. Yeşil binalar binanın arazi seçiminden başlayarak yaşam döngüsü boyunca değerlendirilen; sosyal, çevresel ve ekolojik sorumluluk kriterleri ile yapılan, inşa edildiği bölgeye uygun iklim verileri ile tasarlanan, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelen, atık üretmeyen malzemelerin kullanıldığı ekosisteme duyarlı yapılar olarak tanımlanmaktadır (ÇEDBİK, 2018). Yeşil binaların genel amacı kaynakların verimli kullanımı, iç mekan hava kalitesinin artırılması ve çevresel etkilerin azaltılmasıdır. Konvansiyonel binaların aksine yeşil binaların tasarım ve yapımında arazi ve enerjiyi verimli bir şekilde kullanmak, su ve diğer kaynakları korumak, iç ve dış hava kalitesini artırmak, geri dönüştürülebilen ve yenilenebilir malzemelerin kullanımını arttırmak için çaba harcanmaktadır (Bora, 2012; Uğur ve Leblebici, 2015). Yeşil binalarda bulunması gereken başlıca özellikler şunlardır (Kibert ve Grosskopf, 2007; Erdede ve Bektaş, 2015):

- Konvansiyonel binalara göre daha az karbondioksit salımı
- İnşaat aşamasında çevre tahribatını en aza indirmesi

- Yenilenebilir enerjinin kullanımını ve geliştirilmesini sağlaması
- Hafriyat ile ortaya çıkan atık malzemenin değerlendirmeye alınması
- Yeşil çatı uygulaması ile yağmur sularının biriktirilip kullanılması
- Doğal ışıktan yararlanılması
- Enerji tasarrufu sağlaması
- İzolasyon sistemleri ile ısıtma soğutma maliyetlerini azaltması
- İşletme masraflarında azalma
- Kullanıcılara daha sağlıklı ve verimli ortam sunması
- Kentsel yaşam alanlarına değer katması
- Yerel ekosistem ile entegre olması
- İç mekan hava kalitesini arttıracak önlemlerin alınmasıdır.

Çelik (2009) ve Uğur ve Leblebici (2015), sürdürülebilirlik ve yeşil bina kavramının gelişimini önemli tarihlerle aşağıdaki şekilde sıralamaktadır:

- 1930'lu yıllarda Amerika'da yapay havalandırma sistemlerinin bulunması, strüktürel çelik kullanılması gibi yapım teknolojilerinde yaşanan gelişmeler kentsel çevreyi değiştirmiştir.
- 1973 yılında Organization of the Petrol Exporting Countries (OPEC)' in petrol ambargosu ve buna bağlı olarak diğer ülkelerin fosil yakıtlara alternatif olacak kaynaklar araştırması gerekmiştir.
- 1987 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (World Comission of Environment and Development)' nun yayınladığı Brundtland Raporu'nda sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilirlik kriterlerinden bahsedilmiştir.
- 1992 yılında Rio de Jeneiro'da 178 ülkenin katıldığı Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (United Nations Conference on Environment & Development)'nda çölleşme, iklim değişiklikleri ve biyolojik çeşitlilik ile ilgili "Gündem 21" isimli insanların çevreye olan etkilerini ve eylem planlarını kapsayan bildirinin yayınlanması, sürdürülebilirliği destekleyen birçok antlaşmaya imza atılması ve 2000 yılına kadar sera gazı azaltma

zorunluluğunun getirilmesi yeşil binaların gelişmesi açısından önem taşımaktadır.

- 1993 yılında Chicago'da yapılan Uluslararası Mimarlar Birliği (International Union of Architects): "Dönüm Noktasındaki Mimarlık" adlı konferansın günümüzdeki yeşil bina hareketinde önemli bir nokta olarak kabul edilmektedir.
- 1997 yılında Kyoto'da düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu (United Nations Framework Convention on Climate Change)' nun üçüncü toplantısında 2012 yılına kadar hava kirliliğinin ve sera gazı salımının azaltılması ile ilgili maddeler konulmuştur.
- 2002 yılında Johannesburg'da yapılan Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi (World Summit of Sustainable Development)' nde 1987 yılında yayınlanan Brundtland Raporu ve 1992 yılında yayınlanan "Gündem 21" bildirilerinin yeniden üzerinde durulmuş ve bunlara bağlı olarak yeni stratejiler geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Yeşil bina “sürdürülebilir” veya “yüksek performanslı” bina olarak da tanımlanmaktadır (Erdede ve Bektaş, 2014; Uğur ve Leblebici, 2015). Yeşil binalar, geleneksel binalara göre enerji tüketiminde %24-50, CO₂ salımında %33-39, su tüketiminde % 40 ve atık üretiminde %70 e varan düşüş sağlamaktadır (ÇEDBİK, 2018). Yeşil bina kavramı “sürdürülebilirlik”, “yaşam döngüsü” ve “ekoloji ve ekolojik mimarlık” kavramlarıyla da ilişkilidir. Bu nedenle aşağıda bu kavramlar açıklanmaktadır.

2.1.1 Sürdürülebilirlik

Sanayi devriminden sonra meydana gelen teknolojik gelişmeler, kırsal alanlardan kentlere göç edilmesi, tarımsal nüfusta azalma ve plansız kentleşme gibi faktörler çevresel sorunların kaynağını oluşturmaktadır (Erdede ve Bektaş, 2014). Bununla birlikte, dünya genelinde hızlı nüfus artışı ve sanayileşme sonucu enerji talebinin artması ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının hızlı tüketimi ile meydana gelen

çevresel problemler, dünyayı yenilenebilir enerji kaynağı kullanımına itmektedir (Saka, 2011).

Sürdürülebilirlik kavramı ilk kez 1972 yılında Stockholm' de yapılan İnsan Çevresi Konferansı'nda ortaya çıkmış olup, konferansın ardından Stockholm Çevre Bildirgesi yayınlanmıştır (Erdede ve Bektaş, 2014). Bununla birlikte, Massachusetts Institute of Technology (MIT)' den bilim insanları tarafından hazırlanan ve 1972'de yayınlanan Büyümenin Sınırları (Limits to Growth) adlı rapor kısıtlı kaynaklar ve kontrol edilmeyen büyüme konularına dikkat çekmiş, sürdürülebilir ilerleme süreci için yol gösterici seçeneklere dikkat çekmiştir (Kilbert ve Grosskopf, 2007). Bu gelişmelerin ardından, sürdürülebilirlik kavramının genel olarak dünya çapında kabul görmesi 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından yayınlanan "Ortak Geleceğimiz" adlı "Brundtland Raporu" olarak bilinen rapor ile olmuştur (Erdede ve Bektaş, 2014). Sürdürülebilirlik kavramı, Brundtland Raporu'na göre "gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden günümüz ihtiyaçlarını karşılayabilmek" olarak tanımlanmaktadır.

Sürdürülebilirlik kavramı içerisinde ekonomik, çevresel, sosyal ve kurumsal sürdürülebilirlik kavramlarını barındırmaktadır (Şekil 2.1) (Spangenberg, 2002). Sev ve Canbay (2009)' a göre doğal kaynakların ve çevrenin korunması ekolojik sürdürülebilirliği; verimli kaynak kullanımı ve bina maliyetlerinin azaltılması ekonomik sürdürülebilirliği; son kullanıcının konforu ve sosyal değerlere verilen önem ise sosyokültürel sürdürülebilirliği temsil etmektedir. Spangenberg (2002)' ye göre biyojeolojik süreçler ve bu sürecin elemanlarının toplamı çevresel sürdürülebilirliği; özveri, yetenek ve tecrübelerden oluşan insan sermayesi sosyal sürdürülebilirliği; hizmet aktiviteleri ile parasal gelirlerin ötesinde yaşam standardının arttırıldığı faaliyetler ise ekonomik sürdürülebilirliği tanımlamaktadır (Spangenberg, 2002).

Sürdürülebilir inşaat “ekolojik ilkelere dayanan ve kaynakların verimli bir şekilde kullanımı ile sağlıklı bir yapıyı çevre yaratılması” olarak tanımlanmaktadır (Kibert, 2008). Erdede ve Bektaş (2015)' a göre günümüzde inşaat alanında sürdürülebilirlik

Kibert (2008)' e göre sürdürülebilir inşaatın başlıca ilkeleri şunlardır:

- ### 2.1.2 Yaşam Döngüsü

11

değerlendirme sistemlerinin birçoğu, binaların yaşam süresi boyunca çevresel etkilerini, ürün ve servislerin çevresel performansını değerlendiren Yaşam Döngü Değerlendirmesini (Life Cycle Assessment) baz almaktadır (Sev ve Canbay, 2009; Arslan, 2015).

2.1.3 Ekoloji ve Ekolojik Mimarlık

Yunan dilinde ev anlamına gelen "oikos" ve bilim anlamına gelen "logia" kelimelerinde oluşan "Ekoloji" kavramı, insan ve diğer canlıların kendileri arasında ve bulundukları çevreyle olan ilişkilerini inceleyen bilim dalıdır (Bozdoğan, 2003; Erdede ve Bektaş, 2014). Bir süredir sadece bitkilerin ve hayvanların çevreleriyle olan ilişkilerini inceleyen ekoloji kavramı, 1970'li yıllardan sonra çevresel sorunların artması ve bu sorunların dünyada ana gündem maddelerinden biri haline dönüşmesiyle kapsamını arttırmış ve insan-doğa ilişkilerini de içermeye başlamıştır (Tokat, 2010; Erdede ve Bektaş, 2014).

Ekolojik mimarlık kavramı, Bozdoğan (2003)' e göre "Bir yapının enerji ihtiyacını en aza indirmek amacıyla tasarımın ve malzeme seçiminin bu yönde gerçekleşmesi" olarak tanımlanmaktadır. Ekolojik mimarlık kriterlerine göre yapılan ekolojik yapılar insan ve doğa ilişkisini göz önünde bulunduran, topoğrafik ve iklimsel verileri kullanan, pasif tasarım esaslarının uygulandığı, malzeme seçimi ve yapıya ait sistemlerle yapının enerji üretimine katkı sağlamayı amaçlayan yapılardır (Erdede ve Bektaş, 2014).

2.2 Yeşil Binaların Özellikleri ve Tasarım Süreci

Yeşil binalar ortaya çıkabilecek olan hataları azaltmak için tasarım ve yapım sürecinde multi-disipliner çalışma gerektirmektedir. Yeşil bina tasarımında mimarlar, şehir planlamacıları, mühendisler, yangın danışmanları, cephe aydınlatma danışmanları, akustik danışmanları, ekoloji danışmanları, enerji sistemleri danışmanları, sertifikasyon danışmanları ve pazarlama danışmanları gibi birçok

meslek grubundan uzmanlar birlikte hareket etmektedir ve sürecin içerisinde yer almaktadır (Bora, 2012).

Yeşil binaların tasarım ve yapımında dikkate alınması gereken başlıca kriterler aşağıda açıklanmaktadır:

2.2.1 Enerji etkin tasarım

Binalar bünyesinde yeşil özelliği barındırabilir, ancak enerjiyi verimli kullanmıyorsa bu binaları yeşil olarak tanımlamak zor olmaktadır. Bu nedenle, “Yeşil bina” teriminin belirsiz olabileceği düşünüldüğünde, literatürde bulunan bazı kaynaklar “yüksek performanslı bina” terimini kullanmayı tercih etmektedir. Yüksek performanslı bina, enerji verimliliği ve çevresel performansı geleneksel binalardan önemli ölçüde daha iyi olan bir binadır (USGBC, 2018).

Dünya genelinde binalar yüksek miktarda enerji tüketmektedir. Genel olarak, dünya üzerinde üretilen enerji miktarının %40'ının binalarda kullanıldığı bilinmektedir. 2008 yılında Uluslararası Enerji Ajansı, mevcut binaların dünyada toplam birincil enerji tüketiminin yüzde 40'ından ve küresel CO2 emisyonlarının %24'ünden sorumlu olduğunu belirtmiştir (Howe, 2010).

Bir binanın enerji verimliliğini iyileştirmenin birçok yolu vardır. Hava geçirmeyen kapı ve pencere bantları, giriş kapısının kapalı tutulması ve fırtına pencerelerinin uygulanması düşük maliyetli alternatif ve basit önlemlerdir (Ragheb ve diğerleri, 2016). Ayrıca, yeni veya mevcut iskelet sistemli binalara yalıtım malzemelerinin eklenmesi, ısıtma ve soğutma alanlarında bina enerji verimliliğini iyileştirebilmektedir. Malzeme üretimindeki yenilikler, yalıtım malzemelerinin üretiminde kullanılan enerjiyi azaltabilir ve yalıtım malzemesinin geri dönüştürülmesine veya biyolojik olarak parçalanmasına olanak sağlayabilmektedir (Howe, 2010). Mineral, lifli ve selüloz türevli malzemeler artık yalıtım amaçlı olarak temin edilebilmektedir.

Bir binada büyük miktarda enerji kullanan diğer sistem ise binanın ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemidir. Düzgün tasarlanmış ve monte edilmiş ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (Heating, Ventilating and Air Conditioning- HVAC) sistemleri, bir binanın ısıtılması ve soğutulması için kullanılan enerji miktarını azaltabilmektedir. HVAC sisteminin tüm sistem mekanizması olarak tasarımı, hava akışını izleyerek ve iç ortam sıcaklığını oldukça sabit tutarak enerji tasarrufu sağlamaktadır (Howe, 2010). Ayrıca, bina sakinlerinin yaşamlarını veya çalışma alanlarını ısıtma ve soğutmayı bireysel olarak kontrol etmelerine izin vermek, değişen ihtiyaçlara göre enerji kullanımını azaltmanın etkili bir yoludur.

Elektrik aydınlatması, tipik bir ticari binada kullanılan toplam enerji miktarının yaklaşık dörtte bir ile üçte bir oranında enerji tüketmektedir (Ragheb ve diğerleri, 2016). Aydınlatma armatürleri ışıkla beraber aynı zamanda ısı üretmektedir. Bu durumda etkili ve verimli aydınlatma ile aydınlatma için harcanan enerji miktarının azaltılması kışın ısıtma, yazın ise soğutma için gereken enerji miktarını azaltacaktır.

2.2.2 İç mekan hava kalitesi ve sera gazı salımı

Binaların büyük miktarda enerji kullandıklarını ve bu enerjinin çoğunun fosil yakıtların yakılmasından kaynaklandığını düşünürsek, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki binalar yıllık olarak milyonlarca ton sera gazı salımından sorumludur. Enerji Departmanı (Department Of Energy), 2006 yılında ABD'deki binaların yaklaşık olarak Birleşik Krallık, Fransa ve Japonya'nın toplam sera gazı salımına eşit olan 630 milyon metreküp sera gazı salımından sorumlu olduğunu açıklamıştır (Howe, 2010). Sera gazları binaların yaydığı tek zararlı madde değildir. İç mekan hava kirliliği zamanımızın çoğunu kapalı alanda geçirdiğimiz için özellikle önemlidir. Çevresel Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency), düzgün havalandırılmayan mekanlarda iç mekan hava kirliliğinin dış mekan hava kirliliği düzeylerinden iki ile beş kat daha fazla olabileceğini belirtmiştir (Howe, 2010). Bu kirliliğe sebep olan uçucu organik maddelerin varlığını azaltmanın bir yolu, iç ortam havasının sıklıkla dış hava ile değiştirilmesini ve bu dış havanın uygun şekilde filtrelenmesini sağlamaktır (Zuo ve Zhao, 2014).

Yeşil binaların öncelikli amaçlarından biri de kullanıcılarının sağlığı ve konforudur. Birçok eski bina, genel olarak “hasta bina sendromu” olarak adlandırılan bir sendroma sahiptir (Howe, 2010). Çevre Koruma Ajansı (Environment Protection Agency)' na göre bina sakinlerinin binada geçirdikleri zamana bağlı olarak görülen, genellikle binaların havalandırma sisteminin yetersiz olması ve çeşitli elektronik cihazların oluşturduğu manyetik alan nedeniyle yaşadıkları sağlık etkileri hasta bina sendromu olarak tanımlanmaktadır (Howe, 2010). Yeşil binalar, iç mekana yeterli temiz havanın verilmesini ve bu havanın zararlı partiküllerden arındırılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Havalandırma sistemi, iç mekanda havayı kirleten partiküllerin filtrelenmesini sağlamaktadır. Havalandırma sistemleri doğal veya mekanik olabilmektedir.

2.2.3 Su tüketimi

Binalarda, kullanımları sırasında yüksek miktarda su tüketilmektedir. Enerji tüketiminde olduğu gibi binalar çok fazla su kullanmakla beraber aynı zamanda suyu verimsiz bir şekilde kullanırlar. Örneğin, geleneksel bir pisuar sifon başına yaklaşık üç veya daha fazla litre su kullanmakta ve geleneksel bir klozet sifon başına yaklaşık 10 litrenin üzerinde su kullanmaktadır (Howe, 2010). Buna karşılık, az su ile çalışan pisuarlar her yıkamada sadece yarım litre su kullanmakta ve susuz pisuarlar hiç su kullanmamaktadır (Howe, 2010). Benzer şekilde, yüksek verimli klozetler, sifon başına 4.5 litre ila 6 litre arasında su kullanmaktadır (Ragheb ve diğerleri, 2016). Düşük su kullanan klozetler ve düşük akışlı duş başlıkları gibi su tasarrufu sağlayan armatürlerin kullanımı ile su tasarrufu sağlanabilir ve atık su miktarı azaltılabilmektedir (Ragheb ve diğerleri, 2016).

Konvansiyonel binalarda ortaya çıkan atık sular, içilemeyen amaçlar için kullanılmak yerine kanalizasyon sistemlerine aktarılmaktadır. Bu nedenle “Gri su” sistemleri, binaların çeşitli işlevleri için kullanılabilir. Gri su sistemi banyolarda, duşlarda, çamaşır makinelerinde ve lavabolarda kullanılan suyun başka işlevlerde kullanılmak üzere geri kazandırılmasıdır (Howe, 2010). Gri su sistemleri genellikle bitkilerin sulanması gibi işlevlerde kullanılmaktadır. Bir bina içerisinde gri

suların geri dönüştürülebilmesi için çift bölmeli bir sistem gerekmektedir. Çift tesisatlı sistemler, taze, gri ve siyah su için ayrı hatlara sahiptir, bu da, ek maliyet nedeniyle uygulanması zor bir sistemdir (Howe, 2010; Ragheb ve diğerleri, 2016).

2.2.4 Arazi kullanımı

Mevcut konut alanlarında ve ticari alanlarda inşa edilmeyen binalar yeni yolların, kanalizasyon hatlarının, elektrik direklerinin ve diğer altyapıların inşasını gerektirmektedir ve bu durum doğal çevrenin yok olmasına neden olabilmektedir (Howe, 2010). Ayrıca toplu taşıma araçlarıyla ulaşılamayan binalara bireysel araçla ulaşılması gerektiği için otopark veya garajların inşa edilmesi gerekmektedir. Yayılma problemi, bir şehrin ya da banliyölerinin daha önceden gelişmemiş ya da hafif gelişmiş alanlara yayılmasıdır (Howe, 2010).

Yeşil binalar yayılma problemlerinin çözülmesinde rol oynamaktadır. Yeşil bina yapımına uygun arazinin bulunması ve belirlenmesi, yeşil bir binanın tasarım sürecinin ilk adımıdır. Çevresel açıdan yeşil binalar, kentsel biyo çeşitliliğin geliştirilmesine ve sürdürülebilir arazi kullanımı ile ekosistemin korunmasına yardımcı olabilmektedir (Zuo ve Zhao, 2014). Yeşil bina için arazi seçimi stratejik olarak konumlandırılmalı, toplu taşıma araçlarına yakın olmalı ve araba bağımlılığını azaltmak için imar planına uygun olarak yapılmalıdır (Howe, 2010). Seçilen arazi, yaya ve bisiklet kullanımını erişilebilir yollar ve kaldırımlarla desteklemelidir.

2.2.5 Kullanılan yapı malzemeleri

İnşaat endüstrisi milyonlarca dolarlık bir endüstridir ve dünya çapındaki talebi karşılamak için milyonlarca tonluk çeşitli hammaddelerin sürekli üretimini ve işlenmesini gerektirmektedir (Howe, 2010). Dünya çapında inşaat faaliyetleri ile her yıl 3 milyar ton hammadde tüketildiği tahmin edilmektedir.

Yeşil yapı malzemeleri genellikle yenilenebilir kaynaklardan oluşmaktadır ve çevresel etkileri ürünün yaşam ömrü boyunca dikkate alınmaktadır (Howe, 2010).

Buna ek olarak, yeşil bina malzemeleri genel olarak binanın ömrü boyunca standart malzemelere göre daha az bakım ve değiştirme maliyetine sahiptir. Bunun yanı sıra, yeşil bina malzemeleri enerji tasarrufu sağlamakta ve kullanıcının sağlık ve verimliliğini arttırmaktadır (Ragheb ve diğerleri, 2016).

Uluslararası kabul gören malzemeler için de birçok standart ve sertifika bulunmaktadır. Bunların en yaygın kullanılanları şunlardır (Erten, 2011):

- BES6001:2008, Framework Standard for the Responsible Sourcing of Construction Products (BES6001: Yapı ürünlerinin sorumlu kullanımı için çerçeve standartlar, 2008)
- CSA (The Canadian Standards Association) Sustainable Forest Management Standard.
- Kanada Standard Birliği Sürdürülebilir Ormancılık İdaresi Standardı
- EU Label (Avrupa Birliği Çevre Etiket)
- FSC (Forest Stewardship Council) (Orman İdaresi Konseyi)
- SFI (Sustainable Forestry Initiative) (Sürdürülebilir Ormancılık Girişimi)
- PEFC (The Programme for the Endorsement of Forest Certification), (Orman Sertifikasyonu Destek Programı)
- TFT (The Forest Trust) (Orman Vakfı)

2.2.6 Yapım, İşletme ve yıkım sırasında ortaya çıkan atık

Bazı tahminlere göre, 185 m²' lik yeni bir ev yapımı sırasında şantiye alanında depolanan dört ton atık ortaya çıkmaktadır (Green Builder, 2008). Yeşil binalar genellikle yapım ve yıkım sırasında ürettikleri atık miktarını en aza indirmeye çalışmaktadır. Bunu yapmanın bir yolu, yapım ve yıkım işlemlerinden ortaya çıkan atık malzemelerini geri dönüştürmek veya otopark ve yol yapımı için bu atığı yeniden kullanmaktır (Howe, 2010). Yeşil binanın yapılacağı alanda mevcut bir yapı bulunması durumunda, tasarım sürecinin başlarında mevcut binanın yıkımından ortaya çıkan atık malzemenin mümkün olduğu kadar yeniden kullanılması için planlama yapılabilmektedir.

Yıkım işlemi sırasında ahşap, beton ve alçıpan gibi yeniden kullanılabilen veya geri dönüştürülebilir malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bütün bir binanın yıkılması yerine, bir kısmı sökülüp tekrar yapılabilir. Binanın sökülüp tekrar yapılması, yeniden kullanım veya geri dönüşüm için bina bileşenlerinin düzenli olarak sökülmesidir. Bina yıkımının aksine, binaların parçalarını ayırmayı veya içeriklerini yeniden kullanma amacıyla sökmek amaçlanmaktadır (Howe, 2010).

2.3 Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri

İnsanların bilinçlenmesi ve sürdürülebilirliğin inşaat endüstrisinde yaygınlaşmasından sonra, 1990'lı yıllarda yeşil binaların enerji etkinliğini belirlemek ve sınıflandırmak için standartlar geliştirilerek değerlendirme ve sertifikasyon sistemleri oluşturulmuştur. (Arslan, 2015). İlk ortaya çıktığında yeşil bina sertifika sistemlerinin daha prestijli ve büyük bütçeli projelerde uygulandığı görülsede günümüzde birçok devlet politikası ile teşvik edilmekte ve sertifika almayı neredeyse bir gereklilik haline getirmektedir (Bora, 2012).

Gönüllülük esasına dayalı olan sertifika sistemleri, yeşil binalar hakkında bir altyapı oluşturarak ve toplum bilincini arttırarak yeşil bina uygulamalarının çoğalmasında etken olmuştur (Erten, 2011). Yeşil bina sertifika sistemleri, binaların çevresel etkilerinin objektif ve somut verilere dayalı olarak belirtilmesinde ve doğal kaynakların korunmasındaki katkılarının ortaya çıkarılmasında referans olan derecelendirme sistemleri olarak tanımlanmaktadır (Erdede ve Bektaş, 2014). Erten (2011)' e göre değerlendirme sistemleri sayesinde binalar, üçüncü şahıs veya kurumlar tarafından standartlaştırılmış bir değerlendirme sistemi çerçevesinde incelenmekte ve bu değerlendirme sonucunda binanın ne kadar sürdürülebilir olduğu belgelenmektedir. İncelenen binalar aynı değerlendirme kriterlerine tabi tutulduğu için sistem kendi içinde tutarlıdır ve binalar hakkında sayısal bilgi sunduğu gibi karşılaştırmalı çalışmalar yapma imkanı da sağlamaktadır (Erten, 2011).

Binaların hangi bakımdan ve ne derecede yeşil olduğunun tanımlanması sertifika sistemleri ile mümkün olmaktadır (Erdede ve Bektaş, 2014). Sertifika sistemlerinde

incelenen kriterler, farklı sistemlerde farklı şekilde açıklansa da genel anlamda binanın bulunduğu arazi seçimi, araziye konumlanması, yapım aşamasından itibaren çevre ile ilişkisi, yaşam döngüsü boyunca ürettiği CO2 emisyonu, kullanıcının ihtiyaçlarını sağlayabilmesi, su tüketimi, işletme ve bakım maliyetlerinin azaltılması ve binaya ulaşım gibi çeşitli konuları kapsamaktadır (Erten, 2011).

Dünya genelinde farklı ülkelerce geliştirilmiş ve ülkelerin bulunduğu yerel çevreye göre değerlendirme kriterleri, yasal dokümanları, piyasa durumu ve ihtiyaçlarını baz alan yeşil bina değerlendirme sistemleri ortaya çıkmıştır (Tablo 2.1) (Erten, 2011; Arslan, 2015). Bu değerlendirme sistemleri arasında dünya genelinde kullanılan ve en gelişmiş kabul edilenler, 1990'lı yıllardan itibaren dünya çapında kullanılmakta olan İngiltere kökenli BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) ile 1998 yılında kullanılmaya başlanan ABD kökenli LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) dir (Erten, 2011; Erdede ve Bektaş, 2014). Bu sistemler dışında Kanada'da ortaya çıkan ve uluslararası kullanım alanına sahip olan ve iiSBE (International Initiative for Sustainable Built Environment) tarafından geliştirilmiş olan SBTool (Sustainable Building Tool), Avusturalya Yeşil Bina Konseyi tarafından geliştirilen Green Star, Japon Sürdürülebilir Bina Konseyi tarafından geliştirilen CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) gibi sistemler birçok Dünya Yeşil Bina Konseyi (World Green Building Council) üyesi ülkeler tarafından kullanılmaktadır (Erten, 2011; Erdede ve Bektaş, 2014).

Tablo 2.1 Yeşil bina değerlendirme sistemleri (Erdede ve Bektaş, 2014, sf. 8' den uyarlanmıştır)

Değerlendirme sistemi	BREEAM	LEED	Green Star	CASBEE	SBTool
Oluşturulduğu tarih	1990	1998	2003	2001	1998
Ülke	İngiltere	Amerika	Avustralya	Japonya	Kanada
Kriterler	Yönetim Enerji Su Ulaşım Sağlık ve Konfor Atık Malzeme Arazi kullanımı Kirlilik Yenilik	Yenilik ve Tasarım İç mekan hava kalitesi Malzeme ve kaynaklar Sürdürülebilir arsalar Su etkinliği Enerji ve atmosfer	Enerji Malzeme İç mekan çevre kalitesi Ulaşım Yönetim Su Arazi kullanımı ve ekoloji Kirlilik Yenilik	İç mekan çevresi Servis kalitesi Arsa çevresi Enerji Kaynaklar ve malzemeler	İç mekan hava kalitesi Enerji ve kaynak tüketimi Sosyal ve ekonomik esaslar Kültürel ve algısal esaslar Arsa seçimi, proje planlama ve geliştirme
Sertifika Düzeyi	Geçer (1 yıldız) İyi (2 yıldız) Çok iyi (3 yıldız) Mükemmel (4 yıldız) Olağanüstü (5 yıldız)	Sertifika (40-49) Gümüş (50-59) Altın (60-79) Platin (80 ve üstü)	4 yıldız (45-59 puan) 5 yıldız (60-74 puan) 6 yıldız (75-100 puan)	S, A, B+, B-, C	-1 olumsuz 0 kabul 3 iyi uygulama 5 en iyi uygulama

Belirtilen sertifika sistemlerindeki asıl amaç, her ülkenin kendi standartlarını ve iklimsel verilerini göz önünde bulundurarak kendisine özgü bir sistem oluşturmaktır, ancak LEED ve BREEAM sistemlerinin uluslararası geçerlilik kazanması ile kendisine ait değerlendirme sistemi bulunmayan ülkeler bu sistemleri kullanmaktadır (Saka,2011). Dünya Yeşil Bina konseyi (World Green Building Council) üyesi ülkelerde LEED ve BREEAM'ın yanı sıra Green Star ve CASBEE sistemleri de yerel standartlar ile bağdaştırılarak kullanılmaktadır (Erdede ve Bektaş, 2014).

2.3.1 LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) sertifika sistemi, 1993 yılında kurulan Amerikan Yeşil Bina Konseyi (United States Green Building Council-USGBC) tarafından 1998 yılında geliştirilen yeşil bina sertifika sistemidir (Bora, 2012; Erdede ve Bektaş, 2014; Arslan, 2015). 1998 yılında çıkarılan LEED

sertifika sistemi 2002 yılında LEED V2.1, 2005 yılında LEED V2.2, 2009 yılında LEED V3 ve son olarak 2014 yılında ise LEED V4 olarak değişen ihtiyaçlara göre geliştirilmiştir (USGBC, 2009; Arslan, 2015).

LEED sertifika sisteminde sertifikasyon ve dokümantasyon işlemleri belgelendirmeye dayalıdır ve yapılan çalışmalar halka açıktır (Bora, 2012; Arslan, 2015). LEED sertifika sisteminin ana hedefi çevresel etkilerin en aza indirilmesi, yeşil rekabetin desteklenmesi ve yeşil binalar ile ilgili farkındalığı arttırmaktır (Erdede ve Bektaş, 2014).

LEED V4 sertifika sisteminde altı alanda değerlendirme yapılmaktadır. Bunlar sürdürülebilir arazi, verimli su kullanımı, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı, malzeme ve kaynak kullanımı ve iç mekan hava kalitesidir (Türker, 2010;). Belirtilen alanlarda yapılan puanlamalar sonucunda binaya uygun olan sertifika tipi verilmektedir. 40-49 puan alan binalar sadece sertifika almaya, 50-59 puan alan binalar gümüş sertifikaya, 60-79 puan alan binalar altın sertifikaya, 80-110 puan alan binalar ise platin sertifika almaya hak kazanırlar (USGBC, 2018).

LEED V4 sisteminin yapı türüne göre altı farklı sertifika çeşidi bulunmaktadır (USGBC, 2018;). Bunlar:

- Bina tasarım ve yapım için LEED sistemi (LEED BD+C)
- Var olan binaların işletme ve bakımı için LEED sistemi (LEED O+M)
- İç mekan tasarımı ve yapımı için LEED sistemi (LEED ID+C)
- Yakın çevre gelişimi için LEED sertifika sistemleridir (LEED ND)
- Az katlı müstakil evler için LEED sistemi (LEED Homes)
- Şehir veya bölgeler için LEED sistemi (LEED Cities)

Türkiye'de LEED sertifikası alan uygulamalara bakıldığında, sertifika talebinde bulunan 357' nin üzerinde proje olduğu ve bunların sadece 90 tanesinin LEED sertifikasını almaya hak kazanmış olduğu belirtilmektedir (Tablo 2.2) (Arslan, 2015)

Tablo 2.2 Türkiye'de LEED sertifikası alan projelerin dağılımı (Arslan, 2015, sf. 27'den uyarlanmıştır)

Sertifika Çeşidi	Bina Türü	Platin Sertifika	Altın Sertifika	Gümüş Sertifika	Sertifikalı	Toplam	Sertifika Adayı	Toplam
LEED BD+C	-Yeni Binalar	4	38	7	1	50	142	192
	-Çekirdek ve Kabuk	3	14	1		18	71	89
	-Eğitim	1			1	2	7	9
	-AVM		1			1	1	2
	-Data Merkezleri						1	1
	-Sağlık						5	5
	-Konut						20	20
LEED ID+C	-Ticari Mekan		5	2		7	9	16
	-AVM	2						
LEED O+M	-Mevcut Bina		7	3		10	6	16
	-Okullar						1	1
LEED ND							4	4
Toplam		10	65	13	2	90	267	357

2.3.2 BREEAM

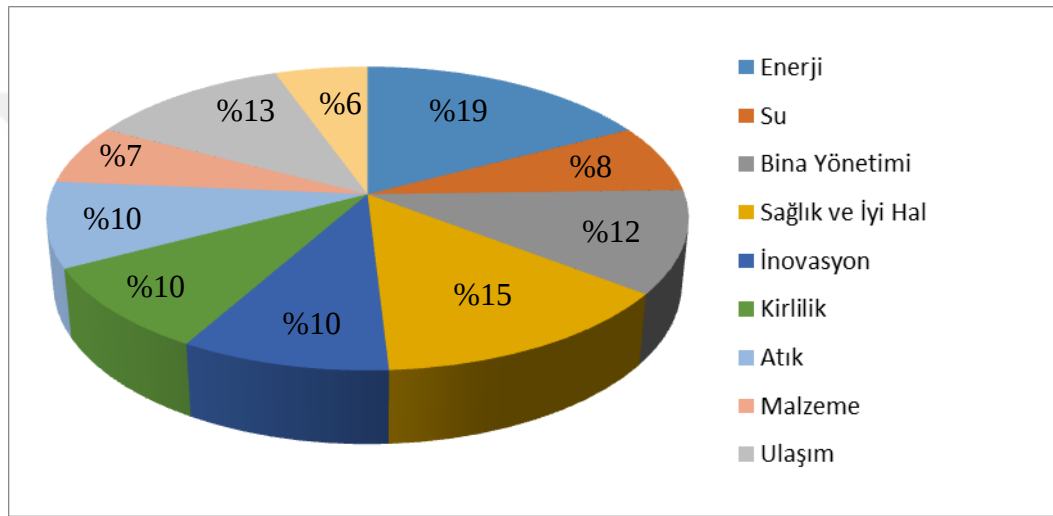
İlk yeşil sertifika sistemi olan BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), 1990 yılında İngiltere'de bulunan Yapı Araştırma Kurulu (Building Research Establishment-BRE) tarafından geliştirilen sertifika sistemidir (Türker, 2010; Bora, 2012). BREEAM sertifika sistemi, İngiliz bina yönetmeliklerine bağlı olarak güncellenmiş ve 1 Ağustos 2008 tarihinde önemli bir güncelleme sonucu BREEAM 2008 adını almıştır (Erten,2011; Arslan, 2015). Günümüzde 77 ülkede 564.679 adet BREEAM sertifikalı bina bulunmaktadır (BREEAM, 2018). BREEAM sertifika sistemi; gelişme planı, yeni yapılar, yenileme ve kullanımda olan binalar olmak üzere dört farklı sınıflandırma sistemine sahiptir (Arslan,2015). BREEAM kapsamında ofis binaları, ekokonutlar, apartmanlar, okullar, alışveriş merkezleri, yurtlar, bakım evleri, endüstri yapıları, devlet binaları ve hapishane binaları değerlendirilmektedir (Türker, 2010; Bora, 2012;).

BREEAM, yeni ve mevcut binaların arazi kullanımı, enerji kullanımı, su kullanımı, kullanılan yapı malzemeleri, kullanıcıların sağlığı ve refahı, ulaşım, çevre

kirliliği, ekoloji ve inovasyona dayalı çevresel performansını değerlendirmektedir (Tablo 2.3) (ÇEDBİK, 2018; Türker, 2010; Bora, 2012)

BREEAM sertifika sisteminde puanlama sonucu binalar BREEAM Pass (geçer), BREEAM Good (iyi), BREEAM Very Good (çok iyi), BREEAM Excellent (mükemmel) ve BREEAM Outstanding (sıra dışı) sertifikası almaya hak kazanmaktadır (ÇEDBİK, 2018).

Tablo 2.3 BREEAM Değerlendirme Kriterleri ve Yüzdeleri (Bora, 2012, sf. 57'den uyarlanmıştır)



2.3.3 CASBEE

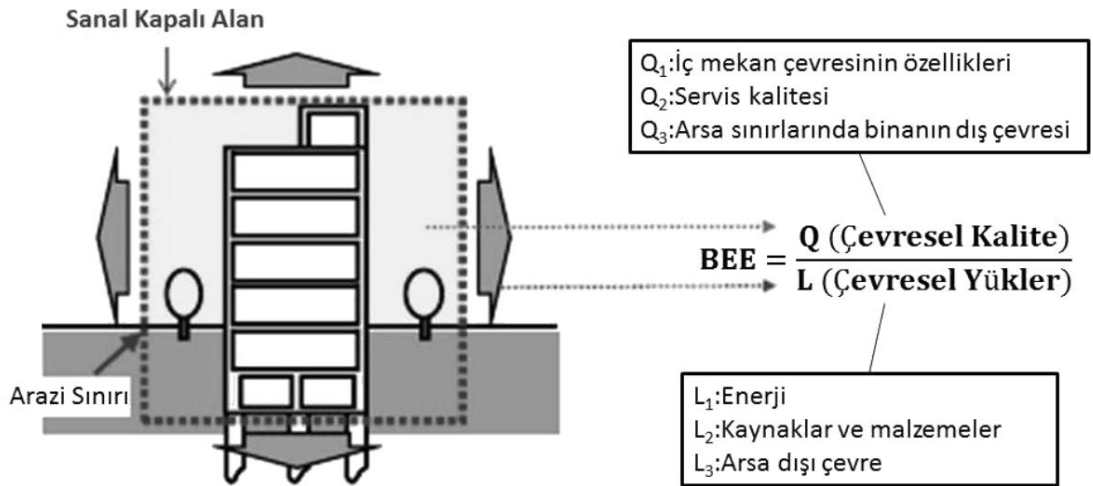
Japonya Sürdürülebilir Yapı Konsorsiyumu (Japan Sustainable Building Consortium-JSBC) ve Japonya Yeşil Bina Konseyi (Japan Green Building Council-JaGBC) tarafından 2001 yılında geliştirilen CASBEE (Binaların Çevresel Verimliliği için Kapsamlı Değerlendirme Sistemi), Japonya ve diğer Asya ülkelerinde sürdürülebilirlik kriterlerini dikkate alarak hazırlanmıştır (Arslan, 2015).

CASBEE sertifika sistemi, binaların yaşam döngüsü ile ilgili dört adet değerlendirme aracından oluşmaktadır. Bunlar tasarım öncesi için CASBEE, yeni binalar için CASBEE, renovasyon için CASBEE ve mevcut binalar için CASBEE olarak adlandırılmaktadır (Anbarcı ve diğerleri, 2012). Tasarım araçlarının amacı,

projeye uygun arazi seçimi ve projenin çevresel etkilerinin azaltılması konusunda tasarım ekibine katkı sağlamaktadır (Arslan, 2015).

CASBEE sertifika sisteminde değerlendirme sonuçları, hesaplanan Bina Çevre Verimliliği (BEE) değerine göre belirlenmektedir. Bu sertifika sisteminde yapının çevresel kalitesi ve performansı (Q) ve yapının çevresel yükleri (L) ile belirtilmekte, Q değerinin L değerine bölünmesi ile BEE değeri elde edilmektedir (Şekil 2.2) (Anbarcı ve diğerleri, 2012; Arslan, 2015)

CASBEE sertifika sistemi enerji, kaynaklar ve malzemeler, hava kirliliği, rüzgar hasarı, güneş ışığının engellenmesi, ışık kirliliği, gürültü ve akustik, termal konfor, aydınlatma, iç mekan hava kalitesi, dayanıklılık, güvenilirlik, esneklik ve uyumluluk konularını kapsamaktadır (Türker, 2010).



Şekil 2.2 Bina Çevre Verimliliği ve Genel Kavramlar (Anbarcı ve diğerleri, 2012)

2.3.4 Green Star

Green Star sertifika sistemi 2003 yılında Avustralya Yeşil Bina Konseyi (Green Building Council Australia-GBCA) tarafından geliştirilen, LEED ve BREEAM gibi sertifika sistemlerinden esinlenerek yapıların yaşam döngüsü etkilerini sürdürülebilirlik ilkeleri içerisinde değerlendiren sertifika sistemidir (Türker, 2010; Erten, 2011; Erdede ve Bektaş, 2014; Arslan, 2015).

Green Star sertifika sistemi yönetim, iç mekan kalitesi, enerji, ulaşım, su, malzeme, arazi kullanımı, kirlilik ve yenilik olmak üzere dokuz farklı performans kategorisini kapsamaktadır (Türker, 2010; Anbarcı ve diğerleri, 2012; Arslan, 2015). Green Star değerlendirme sisteminde ele alınan yapının performans kategorilerinde topladığı puanların, bölgesel olarak farklılık gösteren ağırlık katsayıları ile çarpılması sayesinde Avustralya'da farklı iklim bölgelerinde gerçekçi bir değerlendirme yapılabilmesine olanak sağlamaktadır (Erdede ve Bektaş, 2014).

Değerlendirilme sonunda yapılar kazandıkları puanlara göre bir ile altı yıldız arasında derecelendirilmekte ve yapının “yeşil yapı” olarak kabul görebilmesi için dört yıldız düzeyine ulaşması beklenmektedir. (Tablo 2.4) (Sev ve Canbay, 2009; Erdede ve Bektaş, 2014)

Tablo 2.4 Green Star sertifika sistemi puanlaması (Anbarcı ve diğerleri, 2012 sf. 374' den uyarlanmıştır)

Yıldızı	Puanı	Durumu
1	10-19	Düşük
2	20-29	Ortalama
3	30-44	İyi
4	45-59	Çok iyi
5	60-74	Avustralya'nın en iyisi
6	75-100	Dünya'nın en iyisi

2.3.5 SBTool

SBTool, daha önceki adıyla GBTool, 1998 yılında gelişmiş ülkelerin bir araya gelerek oluşturduğu binalar için çevresel ve sürdürülebilirlik performanslarını ölçen bir değerlendirme aracıdır (Erten, 2009). 1996 yılından beri geliştirilmekte olan Green Building Challenge (GBC) adlı değerlendirme metodunun yazılım uygulaması olan GBTool, yapılara ilişkin ekonomik ve çevresel sorunların çözümü için sürdürülebilirlik kriterlerinin eklenmesiyle SBTool' a dönüşmüştür (Sev ve Canbay, 2009; Erten, 2009). SBTool, her ülkenin kendi iklimsel ve çevresel özelliklere sahip olduğu düşüncesiyle, genel bir değerlendirme çerçevesi olup çeşitli ülkelerin iklim verilerine göre uyarlanabilen bir araçtır (Güven, 2010; Erdede ve Bektaş, 2014).

Çevresel etkiler, iç mekanda hava kalitesi, enerji ve kaynak tüketimi konuları SBTool değerlendirme sisteminde incelenen ve önem verilen kategorilerdir (Arslan, 2015). SBTool sertifika sisteminde puan olarak -1 alınması yetersiz, 0 alınması minimum performans, +3 alınması iyi kullanım ve +5 alınması ise en iyi kullanım olarak değerlendirilmektedir.

2.4 Türkiye'de Yeşil Bina Kavramının Gelişimi

Türkiye'nin enerji tüketimi incelendiğinde kullanılan enerjinin %31'i konutlarda, %40'ı sanayi bölgelerinde, %19'u ulaşımda, %5'i tarımda ve %5'i enerji dışı amaçlarla kullanılmaktadır (Olgun ve diğerleri, 2009).

Türkiye'de son zamanlarda binalarda enerji kullanımının azaltılmasına yönelik bazı uygulamaların zorunlu hale getirilmesi ve elde edilen sonuçların incelenmesini sağlamak amacıyla yasal düzenlemeler yapılmıştır. Ülkemizde Bina Enerji Performans Yönetmeliği (BEPY) ile yeni ve 1000m² nin üzerindeki binaların Enerji Kimlik Belgesi (EKB) alması zorunlu kılınmıştır (Korkmaz, b.t.). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği gereği alınması gereken Enerji Kimlik Belgesi, ulusal verilere dayalı olan BEP-TR yazılımı aracılığıyla oluşturulmaktadır (Mozaik Yazılım ve Bilişim sistemleri, 2017). BEP-TR yazılımı ile bina bilgisi ve bina geometrisinin tanımlanmasının ardından ulusal hesaplama yöntemine göre binanın enerji performansı ve sera gazı emisyonu hesaplanabilmektedir (Mozaik Yazılım ve Bilişim sistemleri, 2017). Bu bağlamda, ülkemizde çevresel farkındalığın ve yüksek performanslı binaların önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Yeşil binalar ile ilgili Enerji Verimliliği Kanunu, Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik, Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yürürlüğe konularak ülkemizde yeşil binalara olan farkındalığın arttırılması amaçlanmıştır (Gültekin ve Bulut, 2015). Buna ek olarak, 2014 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından "Sürdürülebilir Yeşil Binalar ile Sürdürülebilir Yerleşmenin Belgelendirilmesine

Dair Yönetmelik" yayınlanmıştır. Yapılan yasal düzenlemeler mevcut ve yeni yapılacak olan binaların doğal kaynakları ve enerjiyi verimli kullanmalarını sağlamak, çevresel etkileri azaltmak, değerlendirme ve belgelendirme sisteminin oluşturulmasını amaçlamaktadır (Gültekin ve Bulut, 2015).

Yeşil bina ve sürdürülebilirlik kavramları, Türk inşaat sektöründe de giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ülkemizde yönetmelik ve yasal çerçeveler dışında farklı kurum ve kuruluşlar sertifika danışmanlığı ve yerel koşullara dayalı sertifika sistemleri geliştirmek için çaba sarf etmektedir. Bu kuruluşlardan Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK), İngiltere'de ortaya çıkan BREEAM ve Amerika'da ortaya çıkan LEED sertifika sistemlerini kurumsal olarak desteklemektedir. ÇEDBİK; "BREEAM Türkiye" sertifika sistemi geliştirmeye yönelik uygulamalar üzerinde çalışmıştır. Bunun sebebi, İngiltere ve Türkiye'nin yönetmeliklerinin ve standartlarının çoğu Türkiye'nin Avrupa Birliğine katılım sürecinde Avrupa standartlarını kabul etmesi nedeniyle uyumlu olmasıdır (İlter ve İlter, 2011).

Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği, 2013 yılında düzenlenen 2. Uluslararası Yeşil Binalar Zirvesi'nde 100'den fazla akademisyen, kuruluş ve sektör temsilcilerinin katılımıyla "Yeşil Konut Sertifikası" adlı taslak bir sertifika sistemi hazırlamıştır (ÇEDBİK, 2018; Gültekin ve Bulut, 2015). Yaşanan gelişmeler doğrultusunda yeşil binalar alanındaki çalışmalarına devam eden ÇEDBİK, yeni konut projelerinde uygulanmak üzere Türkiye'nin yerel koşullarına uygun sertifika sistemi olan ÇEDBİK-Konut'u oluşturmuştur. ÇEDBİK-Konut sertifikasının amacı sağlıklı toplumlar, yaşanabilir çevre ve gelişmiş bir ekonomi yaratmakla birlikte inşaat sektöründeki çevresel sorunların giderilip yapılı çevrenin iyileştirilmesinde ve çevreye duyarlı hale getirilmesinde rol oynamaktır (ÇEDBİK, 2018; Gültekin ve Bulut, 2015). ÇEDBİK-Konut sertifika sistemi kapsamında konutlar Bütünleşik Yeşil Proje Yönetimi, Arazi Kullanımı, Su Kullanımı, Enerji Kullanımı, Sağlık ve Konfor, Malzeme ve Kaynak Kullanımı, Konutta Yaşam, İşletme ve Bakım, Yenilikçilik olmak üzere 9 başlık altında değerlendirilmektedir (Tablo 2.5) (ÇEDBİK, 2018). Bu başlıklar altında yapılan değerlendirme sonucunda 45-64 arasında puan alan binalar "onaylı", 65-79 arasında puan alan binalar "iyi", 80-94

arasında puan alan binalar "çok iyi" ve 95-110 arasında puan alan binalar "mükemmel" olarak sınıflandırılmaktadır (Tablo 2.6).

Tablo 2.5 ÇEDBİK-Konut Sertifika Sistemi değerlendirme ölçütleri ve puanları (ÇEDBİK-Konut Sertifika Klavuzu, sf. 13' den uyarlanmıştır)

Değerlendirme Ölçütü	Puan
Bütünleşik Yeşil Proje Yönetimi	9
Arazi Kullanımı	13
Su Kullanımı	12
Enerji Kullanımı	26
Sağlık ve Konfor	12
Malzeme ve Kaynak Kullanımı	15
Konutta Yaşam	14
İşletme ve Bakım	7
Yenilikçilik	2
Toplam	110

Tablo 2.6 ÇEDBİK-Konut Sertifika Sisteminde puanlama sonucu alınan sertifika türü(ÇEDBİK-Konut Sertifika Klavuzu, sf. 14 'den uyarlanmıştır)

Toplam Puan	Dereceler	Sertifika Türü
45-64	ONAYLI	
65-79	İYİ	
80-94	ÇOK İYİ	
95-110	MÜKEMMEL	

BÖLÜM ÜÇ

YAPIM SİSTEMLERİ VE İLERİ YAPIM TEKNOLOJİLERİ

Bu bölümün amacı, yapım sistemleri ve ileri yapım teknolojileri ile ilgili bilgi vermek ve prefabrikasyon yapım teknolojisini detaylı olarak incelemektir. Öncelikle, ileri yapım teknolojilerine altyapı oluşturması amacıyla yapım sistemleri hakkında genel bilgi verilmektedir. İkinci olarak, ileri yapım teknolojileri açıklanmaktadır. Son olarak, prefabrikasyon teknolojileri detaylı bir şekilde incelenmektedir.

3.1 Yapım Sistemleri

Yapım sistemleri altı ana grupta aşağıda açıklanmaktadır (Türkçü, 1988);

- İlkel Yapım Sistemleri
- Geleneksel Yapım Sistemleri
- Konvansiyonel Yapım Sistemleri
- Rasyonelleştirilmiş Yapım Sistemleri
- Kısmen Endüstrileşmiş Sistemler
- Tam Endüstrileşmiş Sistemler olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıda belirtilen yapım sistemlerinde emek yoğun bir sistemden makine yoğun bir sisteme doğru gelişmenin olduğu görülmektedir. Bu nedenle aşağıda açıklanan bu sistemlere, ileri yapım teknolojilerinin daha iyi bir şekilde anlaşılmasında temel bilgi oluşturması için çalışma kapsamında yer verilmiştir.

3.1.1 İlkel Yapım Sistemleri

İlkel yapım sistemleri, hiçbir yapım teknolojisinin olmadığı ve üretimin bireysel olduğu sistemlerdir. Bu yapım sistemlerinde inşaat malzemeleri doğadan elde edildiği şekilde veya çok az işlem görerek kullanılmaktadır. Üretim sürecinde el aleti kullanımı sınırlıdır. Bu sistemlerde tüm işlemler inşaat alanında yapılmaktadır.

3.1.2 Geleneksel Yapım Sistemleri

Geleneksel yapım sistemleri; “uzun yıllardan beri denenmiş ve alışlagelmiş yöntemlerle, yöresel malzeme kullanılarak uygulanan sistemlerdir” (Türkçü, 1988, sf. 37). Bu sistemler, yerel malzemelerle ve bulunduğu yörenin iklim koşullarına ve kültürel altyapısına göre beceri seviyesine bağlı olarak gelişen yapım sistemlerini kapsamaktadır. Bu yapım sistemlerinin başlıca ortak özellikleri şunlardır (Türkçü, 1988);

- Uzun bir süre içerisinde gelişim göstermiş ve denenmiş olması
- Yörenin iklim koşullarını ve kültürel değerlerini taşıması
- Basit ve iyi çözümlenmiş strüktür sistemlerinin yerel malzeme ile uygulanmış olmasıdır.

Geleneksel yapım sistemlerinde yapı malzemesi olarak yerel malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler genellikle el aletleriyle şekillendirilir, biçimlendirilir ve yerine yerleştirilir. Geleneksel yapım sistemleri, yerinde yapıma dayalı emek yoğun sistemlerdir. Bu yapım sisteminde işçilik kalitesi yörede bulunan işçilerin beceri düzeyine bağlı olarak değişmektedir.

İyi bir geleneksel yapım sistemi örneğinde, işçilik kalitesi oldukça yüksektir. Bu yapım sisteminde, yapının sahibi ile yapıyı yapacak olan ustalar birebir ilişki içerisinde yapının tasarımını ve üretimini sağlamaktadırlar (Türkçü, 1988). Tüm bahsedilenlerden anlaşılacağı üzere, ustanın kalitesine ve işçiliğine bağlı olan bu sistemler, emek yoğun üretim sistemidir.

3.1.3 Konvansiyonel Yapım Sistemleri

Konvansiyonel yapım sistemleri, malzemesi ve mimari üslubu ile uluslararası bir özellik gösteren, yapı malzemesiyle küçük boy yapı bileşenlerinin fabrikada endüstrileşmiş yöntemlerle üretildiği, fakat yapım sürecinde herhangi bir endüstrileşmenin gerçekleşmediği yapım sistemleridir (Türkçü, 1988). Yapımda

makine kullanımı mevcuttur, ancak bu makine kullanımı kazı ve beton dökümü ile sınırlıdır.

Konvansiyonel yapım sistemleri, geleneksel yapım sistemlerinin yeni malzeme ve yöntemler ile sentezlenmesi olarak ta düşünülebilir (Türkçü, 1988). Konvansiyonel sistemler genellikle betonarme olarak kurgulanmaktadır ve kalıp kullanımına bağlıdır.

Konvansiyonel yapım yöntemi, günümüzde teknolojilerin gelişmesiyle ortaya çıkan prefabrikasyon teknolojilerine göre süreç daha yavaş işlemektedir ve daha fazla zaman gerektirmektedir.

Konvansiyonel yöntemde kalıp yapımında kullanılan ahşap malzemesi, birkaç kereden daha fazla kalıp olarak kullanılamamaktadır ve bu durumda malzeme israfına yol açmaktadır . Bu yapım yönteminin en önemli bir diğer özelliği de, yapı elemanlarının kalıp yöntemiyle yerinde üretilmesidir.

3.1.4 Rasyonelleştirilmiş Sistemler

Rasyonelleştirilmiş yapım sistemleri, yapım sürecinde önemli değişiklikler olmamasına rağmen, alışlagelmiş yapım tekniklerinde organizasyon yoğunluğunun arttırılması ve düzenlenmesiyle oluşturulan yapım sistemleri olarak tanımlanırlar (Türkçü, 1988). Konvansiyonel yapım sistemlerindeki çok katlı veya büyük bir alana sahip karmaşık yapılar, yapım yöntemi açısından daha iyi bir organizasyonu ve üretim planlamasını zorunlu kılmaktadır. Bu sistemler sayesinde, birçok iş çakışmaları ve kötü organizasyondan doğan kayıplar önlenebilir (Türkçü, 1988). Bu yapım sistemlerinin özellikleri ise (Türkçü, 1988);

- Daha etkin bir üretim planlaması.
- Kaba inşaat süresince hazır beton, çok kez kullanılabilen geniş yüzeyli kalıpların uygulanması, ince yapıyı kolaylaştıracak ve hızlandıracak önlemlerin alınması.

- Standartlaşma oranının artırılması ve tekrar eden işlerin seri halinde yapılması.
- Yapım sürecinde makineleşme yoğunluğunun artması ve yapı makinelerinin rasyonel kullanımının sağlanması.
- Fabrikada üretilmiş malzeme ve bileşen kullanım oranlarının yerinde yapıma oranla artırılmasıdır.

Rasyonel yapım sistemlerinin en dikkat çeken özelliği, iyi bir üretim planlaması ve iyi bir şantiye organizasyonunun kurgulanabilmesidir. Bu sistemlerde insan gücü ve makine gücü dengededir. Konvansiyonel sistemler gibi yerinde üretim daha fazla rol oynamaktadır ancak hazır beton ve prefabrike eleman sayısı, konvansiyonel yöntemle göre daha fazladır (Türkçü, 1988).

3.1.5 Kısmen Endüstrileşmiş Sistemler

Bu yapım sistemleri, adından da anlaşılacağı üzere yapım aşamalarının bir kısmında endüstrileşme bulunan sistemlerdir. Bu sistemlerde; malzeme ve yapıyı oluşturan parçaların yanı sıra, şantiye aşamasında endüstrileşmenin olduğu sistemlerdir. Kısmen endüstrileşmiş sistemlerin içerisinde; şantiyede seri üretimi yapılan sistemlerle, beton dökümünü hızlandıran, aynı kalıpların birden fazla sayıda kullanılarak zamandan ve maliyetten tasarrufun sağlandığı yapım yöntemleri yer almaktadır (Türkçü, 1988). Bu sistemlerde, uygulamaları en yaygın olan farklı yapım yöntemlerinden önemli olanlar şunlardır (Türkçü, 1988);

- Kayar Kalıp Yöntemi
- Tünel Kalıp Yöntemi
- Plak(döşeme)- Kaldırma Yöntemi (lift-slab)
- Blok-Kaldırma Yöntemi (Jackblock) dir.

Yukarıda belirtilen yöntemlerin amacı, şantiyede makine yoğun üretimle süreç içerisinde zaman, malzeme ve enerji tasarrufu sağlamaktır (Türkçü, 1988).

3.1.6 Tam Endüstrileşmiş Sistemler

Türkçü (1988, sf. 41) bu sistemleri "Yapının bütün malzemelerinin ve yapım süreçlerinin (tasarım, bileşen üretimi, nakliyat, yapının kendisinin üretimi veya montaj süreçleri vb.) endüstrileştiği; makina, sermaye ve organizasyon yoğunluğunun maksimum olduğu sistemler" olarak tanımlamaktadır. Tam endüstrileşmiş sistemlerde, yapıyı oluşturan bütün elemanlar fabrikalarda gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerde amaç, üretimi şantiye ortamından fabrika ortamına taşımaktır. Bunun nedeni, şantiyedeki montaj ve yapım işlerinde zamandan ve maliyetten tasarruf edilmek istenmesidir. Bu sistemler yapının tümü için geçerli olduğu zaman, prefabrikasyon adı verilen üretim yöntemi ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem, 3.2.2 bölümünde açıklanmaktadır. Tam endüstrileşmiş sistemlerde, ilke olarak birbirinin benzeri birçok elemanın üretimi fabrikada makine yardımı ile gerçekleştirilmektedir.

Tam endüstrileşmiş sistemlerde seri üretim söz konusudur. Bu sistemlerin temel amacı; şantiyede üretimi yani yerinde yapımı fabrikasyona dönüştürmek ve bu sayede nüfus artışından kaynaklı olan konut, fabrika, hastane gibi yapılara olan artan ihtiyacı daha kısa sürede karşılayabilmektir (Türkçü, 1988).

3.2 İleri Yapım Teknolojileri

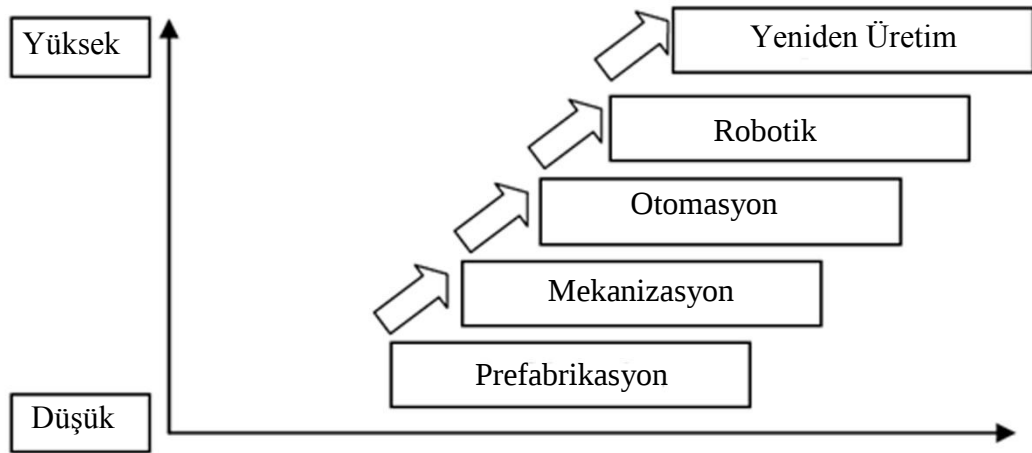
Günümüzde birçok ülkenin yatırımlarının yaklaşık olarak yarısı altyapı da dahil olmak üzere yapılaşmaya ayrıldığı tahmin edilmektedir (Bock, 2015). Uygun olmayan çalışma koşulları ve ileri yapım teknolojilerinin yetersiz kullanımı gibi faktörler inşaat sektörünün yüksek miktarda ham madde ve enerji tüketmesine sebep olmaktadır (Bock, 2015). Yüksek hata oranları, inşaat maliyetlerinin aşımı ve yönetim stratejilerinin verimsiz kullanımı geleneksel yapım teknolojilerinin dışında yeni yapım teknolojilerinin kullanımına itmektedir (Bock, 2015).

Alman makro-ekonomist Börsch-Supan'ın önerdiği üretim modelinde insan sermayesinin makine üretim teknolojilerinde kullanılarak yapım teknolojilerinde

retkenliği arttırmak amaçlanmaktadır (Supan ve diğerleri, 2009). Buna ek olarak "Endüstri 4.0" adı altında birçok üretim sanayisinden gelen stratejiler; esnek ve yoğun şekilde geliştirilmiş, emek yoğunluğundan makine yoğun otomasyon ve robot sistemlerine geçişin sağlandığı, karmaşık ürünlerin üretilmesini ve yüksek üretkenlik hedeflerini karşılamak adına ortaya çıkmıştır (Bock, 2015).

Richard (2005)' a göre inşaat yapımında beş adet endüstrileşme derecesi vardır. Bunlar prefabrikasyon, mekanizasyon, otomasyon, robotik ve yeniden üretimdir (şekil 3.1) (Richard, 2005).

- Prefabrikasyon, fabrika ortamında farklı malzemelerin bir araya getirilerek yapı bileşenlerini veya yapının tamamını oluşturan üretim işlemleridir.
- Mekanizasyon, alışanların iş yükünü hafifletmek için makine kullanımıdır.
- Otomasyon, alışanların yapamayacağı veya zorlandığı görevleri makinelerin tamamlamasıdır.
- Robotik, insan kullanımı olmadan robotların kendi başına çeşitlendirilmiş birçok görevi gerçekleştirebilmesidir.
- Yeniden retim, üretim aşamalarını kolaylaştıran yenilikçi süreçlerin araştırılması ve geliştirilmesi sürecidir.



şekil 3.1 Yapımda endüstrileşme derecesini/gelişimini gösteren grafik (Kamaruddin ve diğerleri, 2013 sf. 110'dan uyarlanmıştır)

3.2.1 Otomasyon Teknolojileri

Otomasyon teknolojileri; mal ve hizmet üretiminde insan gücüne duyulan ihtiyacı azaltmak için kontrol sistemlerinin, bilgi teknolojilerinin ve makinelerin kullanılmasıdır (Vaha ve diğerleri, 2013). Otomasyon teknolojileri, işçiler tarafından yapılan belirli görevleri yerine getirmeyi amaçlayan mekanik icatları ve inşaat sektöründe emek yoğunluğunun azaltılması için robot kullanımı gibi yenilikleri kapsamaktadır (Şekil 3.2) (Vaha ve diğerleri, 2013). İnşaat otomasyonu yapım sürecini makineleşmeye ve otomatik işletmeye dönüştürmeye odaklanan ve endüstriyel otomasyon ilkelerini inşaat sektörüne (yapı bileşenlerinin prefabrikasyonu vb.) adapte eden araştırma ve geliştirme alanı olarak tanımlanmaktadır (Saidi ve diğerleri, 2008). Şantiye ortamında karşılaşılabilecek zorlu koşullar ve karmaşıklıkların önüne geçebilmek için saha dışı üretim tekniklerinin kullanımı önem kazanmaktadır. Yapım sırasında şantiye ortamında veya şantiye dışında uygulanabilen robotik prefabrikasyon ve yerinde otomasyon çözümleri kullanıldığında harcanan zaman ve işgücü miktarının azaltılması, iş kalitesinde önemli ölçüde artış, güvenlik ve sağlık koşullarının iyileştirilmesi ve verimliliğin artırılmasına olanak sağlayabilmektedir (Pachon, 2012). Otomasyon ve robot teknolojileri inşaat sektöründe üretkenliğin azalması, vasıflı işgücü sıkıntısı, güvenlik ve kalite kontrolü gibi sorunlara çözüm olabileme yeteneğine sahiptir (Everett ve diğerleri, 1994; Kamaruddin ve diğerleri, 2013).



Şekil 3.2. Robot yardımı ile betonarme perde duvar yapımı (Francis, 2016)

İnşaat sektöründe otomasyon teknolojileri ve robotik kullanımı inşaat işlerini kolaylaştırır da bir dizi ek dikkat gerektirmektedir. Sınırlı hareketlilikleri, karmaşık olabilen ara yüzleri, robot veya makinelerin ağırlığı ve boyutları dikkat edilmesi gereken kriterlerden bazılarıdır (Pachon, 2012). Otomasyon teknolojilerinde kullanılacak olan robot ve makine ekipmanları kullanımı kolay kullanıcı ara yüzüne, işçilerin yapamayacağı tehlikeli aktiviteleri yerine getirebilmeye ve kullanımları sırasında işçi güvenliğini arttırmaya yönelik olmalıdır (Vaha ve diğerleri, 2013).

Yapım sırasında bilgilerin toplanması, işlenmesi ve analiz edilmesi için yeni yöntemlerin bulunması inşaat otomasyonu araştırmalarının önemli bir alanıdır (Vaha ve diğerleri, 2013). Bir projenin tasarımı, inşası ve bakımı aşamalarında veri toplanması, inşaat sürecinin durumunu değerlendirmek için sensör teknolojilerinin kullanımı, yapım sırasında meydana gelecek olayları planlamak, inşa edilebilirliği doğrulamak ve süreç durumunu değerlendirebilmek için görselleştirme sistemleri, bina bileşenlerinin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerini değerlendirmek için bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design-CAD) ve bilgi modellemesi (Building Information Modelling-BIM) gibi araçlardan yararlanılması otomasyon sistemlerinin altyapısını oluşturmaktadır (Saidi ve diğerleri, 2008).

Otomasyon teknolojilerinde robot kullanımı ve yapım aşamaları, proje kriterlerine göre değişmektedir. Japon firmalarından Kajima, Takenaka ve Tokyu İnşaat gibi firmalar tek görev robotlarını işçiler için zorlu ve tehlikeli olan yapım aşamalarında görevlendirmektedir (Şekil 3.3) (Pachon, 2012). Tek görev robotları cephe montajı, boya, beton sıkıştırma, iç ve dış mekan kaplama, çelik kaynak, fayans dizimi gibi görevleri yerine getirmektedir (Pachon, 2012). Tek görev robotlarına ek olarak, yerinde otomasyon teknolojileri farklı robotların senkronize ve bütünleşik şekilde belirli yapım aşamalarını gerçekleştirdiği fabrika ortamının şantiyede kurulmasıdır (Everett ve diğerleri, 1994).



Şekil 3.3 Tehlikeli olan yıkım işlerinin uzaktan kumandalı robot ile yapılması (Uncrate, 2018)

3.2.2 Prefabrikasyon Teknolojileri

Ön üretim olarak da bilinen prefabrikasyonu Eser (1960) “yapı bileşenlerinin yerinde imalatından vazgeçilerek çoğunlukla önceden üretilmesi, böylece yapının daha çok montaj süreci özelliğini kazanmasıdır” olarak tanımlamıştır (Eser, 1960) Türkiye Prefabrik Birliği'ne göre ise prefabrikasyon şu şekilde tanımlanmaktadır: “Prefabrikasyon sistemi, binayı oluşturan taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan elemanların fabrika ortamında üretilmesi ve bir koordinasyon planı dahilinde şantiyeye nakledilerek birleştirilmesidir” (Türkiye Prefabrik Birliği, 2018). İlgili literatürde genel olarak prefabrikasyon teknolojileri, yapı bileşenlerinin önceden fabrika ortamında denetimli bir şekilde üretilip, yapı yerinde montajının yapıldığı bir yapım teknolojisi olarak tanımlanmaktadır. İnşaat sektöründe prefabrikasyon teknolojileri otomasyon, robotik ve yeniden üretim sistemlerini kapsayan ileri yapım teknolojilerinin geliştirilmesinin ilk aşamalarındandır (Richard, 2005).

Prefabrikasyon teknolojilerinin, konvansiyonel teknolojiler ile yapım esnasında yaşanan toz, gürültü ve önemli miktarda inşaat atığı gibi çevresel kirlilik problemlerini büyük ölçüde azaltabileceği kabul edilmektedir (Jaillon ve Poon, 2010). Ayrıca, konvansiyonel yapım teknolojilerinde kalite kontrolü, fabrika ortamında üretim sağlayan prefabrikasyon teknolojilerine göre yetersiz

kalabilmektedir. Bu nedenle, prefabrikasyon yapım teknolojilerinde işçilik faktörüne dayalı hata oranı daha az olabilmektedir.

3.2.2.1 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Sınıflandırılması

Prefabrikasyon teknolojileri yapım sistemine, taşıyıcı sistemine ve yapı elemanlarının ağırlığına göre üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Yapım sistemi açısından açık ve kapalı sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Taşıyıcı sistemi açısından tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu sistemler olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Kullanılan bileşen ağırlıklarına göre hafif ve ağır olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma Tablo 3.1 'de sunulmaktadır ve aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

Tablo 3.1 Prefabrikasyon teknolojilerinin sınıflandırılması

YAPIM SİSTEMİ AÇISINDAN SINIFLANDIRILMASI	– Açık Sistemler – Kapalı Sistemler
TAŞIYICI SİSTEMİ AÇISINDAN SINIFLANDIRILMASI	– Tek Boyutlu Sistemler (İskelet Sistemler) – İki Boyutlu Sistemler (Panel Sistemler) – Üç Boyutlu Sistemler (Modüler Sistemler)
KULLANILAN BİLEŞENLERİN AĞIRLIKLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI	– Hafif Prefabrikasyon – Ağır Prefabrikasyon

3.2.2.1.1 Yapım Sistemi Açısından Sınıflandırılması.

- Açık Sistemler

Açık sistemler; bir yapıyı oluşturan yapı bileşenlerinin sektörde mevcut bulunan bileşenler arasından binada kullanılacak ölçülere göre seçilerek bir

yapıyı oluşturmasında kullanılmasıdır (Türkçü, 1988). Bu bileşenleri üreten kuruluşlar ile yapıyı yapan kişiler arasında genellikle bir bağ yoktur. Bu yapım sistemi kullanıldığı takdirde, sektörde hali hazırda var olan standart boyutlu ve seri üretim ile birden fazla fabrikada üretilen bileşenler kullanılmaktadır (Öğretmen ve diğeri, 2008). Bu tip sistemlerde ileri düzey bir standartlaşma gerekmektedir. Bunun sebebi, yapı bileşenlerinin seri üretim olması ve bu seri üretim için gerekli sayıları ve ebatları yakalayabilmek için bu bileşenlerin değişik işlevli başka yapılarda kullanılabilmesini sağlamak gerekmektedir (Türkçü, 1988). Açık prefabrikasyon sistemi, makineleşmiş yapım yöntemlerine olanak sağlayarak iş gücünden tasarruf sağlanmasını amaçlamaktadır (Köylüoğlu ve Tezcan, 1997)

Bu sistemlerin olumlu yönleri şunlardır (Türkçü, 1988):

- Bileşen üretim piyasasında serbest rekabet olduğu için fiyatlarda ucuzlama veya kalitede artma olabilmektedir.
- Birçok bileşen olduğu için tasarımcıya seçim olanağı sağlamaktadır.
- Eskiyen veya deforme olan bileşenler, kolaylıkla bulunabileceği için yeni bileşenle değiştirme olanağı mevcuttur.

Bu sistemlerin olumsuz yönleri ise şunlardır (Türkçü, 1988):

- Standartlaşma ve koordinasyonun en üst düzeyde olması gerekmektedir. Bunu sağlamak ise zor olabilmektedir.
- Tasarımda yeterli esnekliğin sağlanabilmesi için zaman zaman bileşen boyutlarının küçülmesi gerekmektedir. Bu durum dolaylı yoldan maliyet artışı gibi olumsuz bir etki yaratabilmektedir.

– Kapalı Sistemler

Türkçü (1988) kapalı sistemleri “özel bir firma, devlet veya kamu kuruluşunun imal ettiği belli bileşenler ve bunların gruplarıyla uygulanan yapım sistemleri” olarak tanımlamaktadır (Türkçü, 1988, sf. 44). Bu sistemlerde bileşenler, açık sisteme göre sadece bu sisteme özgü bileşenlerdir, ancak kapalı sistemler rijit ve esnek kapalı

sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bileşenlerle sadece tek bir bina türü yapılabilirse bu sistem rijit-kapalı sistem, bileşenlerle farklı tipte bina türü yapılmak istenirse bu sistem esnek-kapalı sistemdir. (Türkçü, 1988; Ayazoğlu, 2003).

Kapalı sistemlerin olumlu yönleri şunlardır (Türkçü, 1988):

- Uzun yıllardır uygulanmış olduğu için gerekli deneyim ve üretim tecrübesi bulunmaktadır.
- Sistem kapalı olduğu için üretim şişmeleri önlenir, organizasyon yoğunluğu artırılabilir

Kapalı sistemlerin olumsuz yönleri ise şunlardır (Türkçü, 1988):

- Üretim sayısı açık sisteme göre az olacağı için maliyette artış görülebilir.
- Talebe göre sistemi değiştirmek neredeyse olanaksızdır.

3.2.2.1.2 Taşıyıcı Sistemine Göre Sınıflandırılması.

- Tek Boyutlu Prefabrike Sistemler (İskelet Sistemler)

Tek boyutlu prefabrike sistemlerde taşıyıcı sistemi kolon ve kiriş gibi tek boyutlu strüktürel elemanlar oluşturmaktadır (Türkçü, 1988). Bu sistemlerde duvarlar taşıyıcı değildir. Bu sistemler genellikle konut ve endüstri tipi yapılarda kullanılmaktadır (Şekil 3.4). Bu sistemlerin en önemli özelliği, daha az malzeme ile geniş açıklık geçilmesine olanak tanımasıdır (Razin, 2007).



Şekil 3.4 Bir endüstri yapısında prefabrik çelik iskelet sistem uygulaması (Lucas Metal Works, 2018)

Tek boyutlu prefabrike sistemlerde yükler kirişlerden kolonlara, kolonlardan da temele aktarılmaktadır. Büyük açıklıklar geçilebilmesi nedeniyle köprü, otopark, depo, endüstriyel binalar ve spor tesislerinin yapımında prefabrik iskelet sistemler kullanılabilmektedir (Razin, 2007). Ortalama büyüklükteki bir binanın (150-200 m²) yapım süresi konvansiyonel yapım teknolojileri ile ortalama 8-12 ay, prefabrik iskelet sistemler ile yapım süreleri 4-5 aya kadar indirilebilmektedir (Baghchesaraei ve Baghchesaraei, 2015).

– İki Boyutlu Prefabrike Sistemler (Panel Sistemler)

Günümüzde panel sistemler olarak bilinen iki boyutlu prefabrike sistemler, yapıyı döşeme ve duvar elemanları olmak üzere iki boyutlu düzlemsel bileşenlere ayıran sistemlerdir (Ayazoğlu, 2003). Bu sistemlerde paneller taşıyıcı özelliğe sahiptir. Panel sistemlerde paneller çeşitli şekillerde ve çeşitli malzemelerle fabrika ortamında üretilmektedir. Dolu kesitli paneller, boşluklu paneller, sandviç paneller ve strüktürel izolasyonlu paneller (SIP) bilinen yaygın panel türleridir (Razin, 2007) Bu sistemlerde panellerin inşaat alanına ulaşım maliyetleri azaltılabilmektedir (Lopez ve Froese, 2016). Panel sistemlerde paneller dış kaplama, ısı yalıtımı, elektrik tesisatı, sıhhi tesisat ve pencere çerçeveleri gibi bileşenlere sahip olduğu için yerinde yapım işlerini en aza indirmek mümkün olabilmektedir (Razin, 2007). Paneller şantiye alanında vinç gibi ekipmanlarla kurulmaktadır (Şekil 3.5) (Lopez ve Froese, 2016).



Şekil 3.5 Prefabrik panellerin inşaat alanında vinç ile taşınması (Casa-prefabricata, 2018)

– Üç Boyutlu Prefabrike Sistemler (Modüler Sistemler)

Modüler sistemler, fabrikada üretilmiş olan hücre birimlerle oluşturulmaktadır. Bu sistemlerde duvar panelleri ve döşeme üniteleri bir araya gelerek üç boyutlu mekansal eleman oluşturmaktadır (Erturan ve Eren, 2012). Modüler sistemlerin temel özelliği, kendi içerisinde stabil olması nedeniyle farklı yönlerden gelecek olan yüklere karşı dayanabilecek kapasitede olmasıdır (Türkçü, 1988; Razin, 2007). Kullanım şekline bağlı olarak modüller yük taşıyacak şekilde veya sadece kendi ağırlığını taşıyacak şekilde yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra, modüler sistemler ahşap veya çelik iskelet sistemler ile kullanılabilir (Erturan ve Eren, 2012).

Modüler sistemlerde modüller panel şeklinde elemanların fabrika ortamında bir araya getirilmesi veya katı kalıplara dökülmesi ile üretilmektedir (Erturan ve Eren, 2012). Modül bileşenlerinin duvar, döşeme, elektrik tesisatı, su tesisatı, pencereleri ve kapıları çoğunlukla bitmiş haldedir (Erturan ve Eren, 2012; Lopez ve Froese, 2016). Modüllerin fabrika ortamından tamamıyla bitmiş halde çıkması nedeniyle yerinde yapım süreçleri hızlanmaktadır ve şantiye ortamında sadece montaj işlemleri yapılmaktadır (Şekil 3.6) (Boafo ve diğerleri, 2016). Modüller fabrika ortamında hazırlanırken şantiye çalışmalarının devam etmesi finansman, denetim maliyeti ve yapım süresinin azaltılmasına olanak sağlamaktadır (Erturan ve Eren, 2012). Modüler binaların hava geçirmezliği ve termal performansı duvar ve döşeme birleşimlerinin fabrika ortamında yapılması nedeniyle panel sistemlere göre daha yüksek olabilmektedir (Erturan ve Eren, 2012). Bunun sebebi, panel sistemlerde mekanik ve elektrik sistemlerin montajı ile panellerin birbirine şantiye ortamında montajı sonucu kalite kontrol standartlarının fabrika ortamına göre düşük olmasıdır (Lopez ve Froese, 2016).



Şekil 3.6 Bir modülün vinç yardımıyla yerine yerleştirilmesi (Kelly, 2018)

3.2.2.1.3 Yapı Elemanlarının Ağırlığına Göre Sınıflandırılması. Yapı elemanlarının ağırlığına göre sınıflandırmada yapı elemanlarında kullanılan malzemelerin özgül ağırlığı dikkate alınmaktadır (Öğretmen ve diğerleri,2008). Hafif ve ağır prefabrik sistemler olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır.

– Hafif Prefabrik Sistemler

Hafif prefabrik sistemler, döşeme ve duvar elemanları oldukça hafif ve küçük elemanlar halinde genellikle kolayca taşınabilen parçalardan oluşan sistemlerdir (Ayazoğlu, 2003; Öğretmen ve diğerleri, 2008). Genellikle bileşen ağırlıkları 30kg veya daha az olmaktadır (Türkçü, 1988; Ayazoğlu, 2003). 1000 kg/m^3 ün altında özgül ağırlığa sahip olan malzemelerle üretilen elemanların kullanıldığı sistemler hafif prefabrik sistemler olarak da tanımlanabilmektedir (Köylüoğlu ve Tezcan, 1997).

– Ağır Prefabrik Sistemler

Ağır prefabrik sistemler, ağır ve büyük prefabrike yapı elemanlarının vinçlerle montaj alanına yerleştirilmesine dayanan bir prefabrikasyon sistemidir (Öğretmen ve diğerleri, 2008). Bu sistemlerde döşeme ve duvar elemanları paneller halinde

hazırlanmaktadır (Ayazoğlu, 2003). 1000 kg/m³ ün üzerinde özgül ağırlığa sahip olan malzemelerle üretilen elemanların kullanıldığı sistemler ağır prefabrik sistemler olarak da tanımlanabilmektedir.

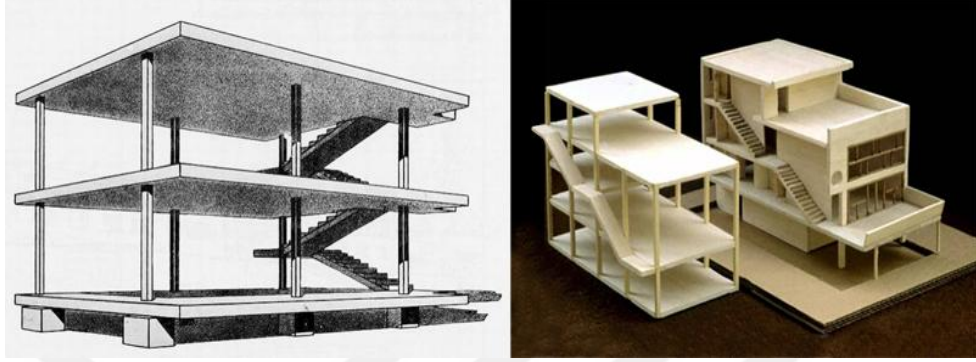
3.2.2.2 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Türkiye'de ve Dünya'da Gelişimi

Kemer ve kubbe gibi strüktürlerin taş ocaklarında üretilip yerinde montajının yapılması, ilkel prefabrikasyon aşamalarının eski çağlara uzandığının bir kanıtıdır (Acar, 2006; Öğretmen ve diğerleri, 2008). Teknolojide meydana gelen gelişmeler doğrultusunda yeni yapı malzemeleri ve yapım olanakları, kullanıcı gereksinimlerinin değişmesi ile paralel olarak yapım sistemlerinde değişimlere neden olmuştur.

18. ve 19. yüzyıllarda Sanayi Devrimi'nin etkisi ile üretim yöntemleri değişerek emek yoğun sistemlerden makine yoğun sistemlere geçilmesi, seri üretim kavramının ortaya çıkması ve buna bağlı olarak üretimin artarak yeni malzemelerin keşfedilmesi, yapım sektörünün de gelişmesine olanak sağlamıştır (Öğretmen ve diğerleri, 2008). 1824 yılında J. Aspdin tarafından keşfedilen portland çimentosu ve 1877 yılında J. Monier tarafından beton malzeme ve çelik malzemenin bir arada kullanılması ile oluşturulan betonarme sistemin bulunması, yapım sistemlerini etkileyen gelişmelerdendir (Acar, 2006). Seri üretim ve ön yapım sistemler de bu süreçte ortaya çıkmış olup, otomotiv ve makine üretimi gibi sektörlerde kullanılmıştır. Sanayi sektöründe kullanılan seri üretim tekniklerinin yapı üretiminde de kullanılmaya başlanması düşünülmüş ve otomobil endüstrisinde kullanılan yöntemlerin yapı endüstrisinde de kullanılabileceği vurgulanmıştır (Bemis, 1936). Bu dönemde Le Corbusier, Walter Gropius ve Auguste Perret'in prefabrik yapı elemanlarını kullandığı denemeleri bulunmaktadır (Şekil 3.7) (Öğretmen ve diğerleri, 2008).

Kentleşme ile paralel olarak okul, konut, hastane ve fabrika yapılarına duyulan ihtiyacın artması ile bu açığı kapatmak, yapıların kalitesini arttırmak, inşaat maliyetlerini en aza indirmek ve yapım sürelerini kısaltmak amacı ile farklı yapı

teknolojilerinin uygulanması gerekmiştir (Ayazoğlu, 2003). Prefabrikasyon sistemlerinin yapı sektöründe kullanımını; savaşlardan sonra yaşanan konut krizine daha çabuk, daha kolay, daha basit ve daha ucuz yapı araştırmaları gibi ihtiyaçlar tetiklemiştir (Eser, 1960).



Şekil 3.7 Le Corbusier'e ait prefabrikasyon denemesi (solda) Dom-Ino(1914) ve (sağda) Citrohan Evi(1920) (Cidark, 2016)

Özellikle 2. Dünya Savaşı'ndan sonra meydana gelen ekonomik kriz ve işçi eksikliği, inşaat sektöründe kalifiye işçi ihtiyacını azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmasını gerektirmesi de prefabrikasyon sisteminin gelişmesine olanak sağlayan bir diğer faktördür (Amil ve Aydın, 2003). Ayazoğlu (2003)' na göre Avrupa ülkelerinde 1950'li yıllarda devlet teşvikiyle prefabrikasyon sayesinde konut alanındaki sorunlar çözülmeye başlanmış ve bu ülkeler 60.000, 150.000, 300.000 dolaylarında yıllık konut üretimine ulaşabilmişlerdir.

Avrupa'da yaşanan gelişmelere kıyasla Türkiye'de prefabrikasyon sistemlerinin uygulanmasında geç kalınmıştır. Bu durumun en önemli sebebi, prefabrikasyona iten faktörlerin (üretim hızında artış, iklim koşullarından etkilenmeme vb) uzun yıllar fark edilmemesidir (Ayazoğlu, 2003). Prefabrikasyon sistemlerinin yanlış değerlendirilmesi, çok kaynak gerektireceği düşünülmesi gibi ön yargılar nedeniyle prefabrikasyon sistemlerine olan üretim yatırımları kalkınma programlarında desteklenmemiştir. 1968-1972 yıllarını kapsayan kalkınma planında “Konut inşaatının istihdam yaratıcı ve özellikle mevsimlik işsizliği emici niteliği dikkate alınarak, bu sektörde işgücü yoğunluğuna dayanan geleneksek teknolojilerin kullanılmasına devam edilecektir. Teknolojik gelişmeler rasyonalizasyon ve

standartlaşmaya yönelecek, prefabrike konut yapımından kesin zorunluluk olmadığı hallerde kaçınılacaktır" belirtilmektedir (Öğretmen ve diğerleri, 2008, sf. 6).

1978 yılında çıkan ekonomik kriz ile geleneksel yapım yöntemleri ile çalışan yapı üreticileri malzeme ve işçilikte ekonomik çözümler aramaya yönelmiştir. Bu arayışlar içerisinde kalıp tekniğini ortadan kaldıran teknolojiler denenmiş ve prefabrikasyonun ilk aşaması sayılan “yerinde üretim” girişimleri başlamıştır (Kulaksızoğlu, 1984). Yerinde üretim tekniklerinin uygulanmasından sonra, kazanılan deneyimler ile prefabrike yapı elemanları ve prefabrikasyon teknolojilerinin kullanılmasına başlanmıştır. Bu gelişmelerin paralelinde, endüstri binaları için hazır yapı elemanı üreten firmalar ortaya çıkmıştır. Endüstrileşmenin konut alanına göre endüstri binalarında daha erken başlamasının sebebi bu binalarda yapı elemanlarının daha kolay standardize edilebilmesi, yapı elemanlarının az oluşu ve ön yatırım maliyetlerinin elverişliliği, basit ve tekrar eden bir sistemin varlığıdır (Ayazoğlu, 2003). Konut yapımında endüstrileşme çabaları, 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren artmıştır (Toka, 2003). Türkiye’de mevcut konut ihtiyacını karşılamak adına 1984’te yayınlanan Toplu Konut Kanunu ile toplu konut politikası oluşturulmuş, konut alanına kaynak sağlanmış ve prefabrikasyon yaygınlaşmaya başlamıştır (Ayazoğlu, 2003). Ülkemizde prefabrikasyonun gelişmesine katkıda bulunan ve prefabrik sistemleri tanıtan kuruluş olan Türkiye Prefabrik Birliği’ de 1984 yılında kurulmuştur. Türkiye Prefabrik Birliği, prefabrikasyonun ülkemizde teknik altyapısının oluşturulmasına katkı sağlamıştır ve prefabrik beton ve betonarme yapı elemanları üreten kuruluşları bünyesinde barındırmaktadır. 2009 yılında 25 firmanın üye olduğu birliğin (Gökuç, 2011) 2018 yılında 38 üye firması bulunmaktadır (Türkiye Prefabrik Birliği, 2018).

3.2.2.3 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Olumlu Tarafları

Prefabrikasyon teknolojisi tekrar eden ve verimli bina yapım süreçlerini teşvik eden özellikleri olmakla birlikte, çevresel etkilerin azaltılmasında da rol oynamaktadır (Hampson ve Brandon, 2004). Yerinde yapım teknolojileri, prefabrikasyon teknolojilerine göre daha az etkili bir sistemdir ve yapı endüstrisinin

gelecekte gelişmesine engel olmaktadır (Halman ve diğerleri, 2008). Prefabrikasyon teknolojileri ile geleneksel yapım teknolojileri kıyaslandığında fabrika ortamında denetimli ve seri üretim, emek yoğunluğunun azaltılması, inşaat maliyetlerinin azaltılması ve üretim süreçlerinin daha hızlı olması gibi faydaların verimliliği arttırdığı göze çarpmaktadır (Öğretmen ve diğerleri, 2008). Prefabrikasyon teknolojilerinin başlıca olumlu tarafları şunlardır:

- *İnşaat maliyetlerinin azaltılması:* Prefabrikasyon teknolojilerinin gerçekleştirilmesi için fabrikanın kurulması, taşıma ve montaj araçlarına gereksinim duyulması sebebi ile ön yatırım gerekmektedir. Yapılan ön yatırımın geri kazanılması ve inşaat maliyetlerinin azaltılması için 10.000 adet ve üzeri üretim miktarına ulaşıldığında, geleneksel yapım teknolojileri ile yapılan bir binaya oranla yaklaşık olarak %58 daha ucuz olabilmektedir (Ayazoğlu, 2003). Fabrikada üretim ile yapım hızında yaşanan artış, şantiyede yapılacak olan işlerin azaltılması ve denetimli üretim ile malzeme kaybının en aza indirilmesi inşaat maliyetlerinin azaltılmasında etkili olmaktadır (Akısan, 1984). Fabrika ortamında seri imalat ve yüksek üretim hızı ile enflasyondan dolayı artan işçilik ve malzeme fiyatlarından daha az etkilenebilmektedir (Öğretmen ve diğerleri, 2008; Ayazoğlu, 2003). Prefabrike yapı bileşenlerinin üretiminde kalıbın bir defa kurulup aynı kalıbın çok sayıda tekrar kullanılması sayesinde inşaat maliyetleri azaltılabilmektedir. (Şentürer, 1983; Akısan, 1984).
- *Emek yoğunluğu:* Emek sektöründe meydana gelen değişiklikler nedeniyle, prefabrikasyon sisteminin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bunun sebebi, yetenekli işçilerin sayısında azalma, bu işçilere duyulan ihtiyacın giderek artması ve işçilik maliyetlerinde görülen artıştır (Luo ve diğerleri, 2005).
- *Pazar eğilimleri ve müşteri beklentisi:* Müşteri kitlesi, ortaya çıkan son üründe daha büyük bir beklentiye ve daha kaliteli bir ürüne kavuşma arzusu içermektedir. Prefabrikasyon teknolojisi ile üretim pazar eğilimlerini ve müşteri beklentisini karşılamada da etkili olabilmektedir.
- *Üretim sürecinin hızlı olması:* Prefabrikasyon sisteminin, konvansiyonel inşaat tekniklerine göre yapım süresi daha kısadır. Fabrika ortamında gerçekleştirilen üretim sayesinde yapı elemanlarının üretim sürecinin mevsim

şartlarından etkilenmemesi ve bu üretimin şantiyede yapılacak olan altyapı çalışmaları ile birlikte paralel olarak yürütülmesi, projenin yapım sürecini kısaltan önemli bir unsurdur (Toprak, 2002). Bu sayede, şantiye sahası hazırlanmasa bile fabrikadaki imalata devam edilebilmektedir. Modüler prefabrikasyon teknolojilerinde modüller inşaat alanına neredeyse bitmiş olarak nakledildiği için arazide yapılacak olan iş oldukça azalmaktadır (Lopez ve Froese, 2016).

- *Ürün Kalitesi:* Prefabrikasyon sistemlerinde üretimin her aşamasında düzenli olarak yapılan kontroller, fabrika ortamında yüksek kalitede üretimi mümkün kılmaktadır. Bunu sebebi, fabrika ortamında kalite kontrolü yapılması ve seri üretim ile birbirine eşit koşullarda üretilen elemanların kalite açısından standart bir yapı bileşeni elde edilmesidir (Ayazoğlu, 2003). Fabrika ortamında makine ile üretim, şantiye ortamında yapılabilecek işçilik hatalarının önüne geçmektedir. Konvansiyonel yapım teknolojilerinde yerinde yapılan elemanların kalite ve yapısal performansını tespit etmek zordur (Öğretmen ve diğerleri, 2008). Fabrika bazlı faaliyetler daha iyi kalite yönetimini kullanarak yapı elemanlarının şantiye ortamına ulaştırılmasından önce, fabrikada daha kolay uygulanan test ve kontrol prosedürleri de dahil olmak üzere kalitenin tespiti için fırsat sağlamaktadır (Gorgolewski, 2004). Bunun yanı sıra, fabrika koşullarında üretilen prefabrik elemanlar, hava koşulları ve çevresel etkilere maruz kalmadığı için konvansiyonel yöntemlerle üretilen elemanlara göre daha dayanıklıdır (Kamali ve Hewage, 2016; Luo ve diğerleri, 2005; Ayazoğlu, 2003).

3.2.2.4 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Olumsuz Tarafları

Prefabrikasyon teknolojileri, yapı bileşenlerinin prefabrike olarak üretilmesi için gerekli fabrikaların kurulması ve çeşitli araçların gerekliliği nedeniyle maliyetli olmaktadır (Ayazoğlu, 2003). Bu sorunun çözülebilmesi için ekonomik anlamda güçlü yatırımcılar gerekmektedir ve yatırımcı sayısı oldukça azdır (Öğretmen ve diğerleri, 2008). Fabrika ortamında üretilen bileşenlerin uzak bölgelere nakledilmesi ve nakliye ücretlerinin yüksek çıkması nedeniyle prefabrikasyon teknolojileri zaman

zaman ekonomik avantajını kaybedebilmektedir (Eşiyok, 2000). Bir diğer önemli sorun ise istihdam oranının azalacağının düşünülmesidir. İnşaat sektöründe makineleşme ve sanayileşmenin, şantiyelerde çalışan birçok işçinin işsiz kalmasına yol açabilmesi söz konusudur (Eşiyok, 2000). Bunun yanı sıra üretim, tasarım ve montaj aşamalarında nitelikli iş gücü ihtiyacı artmaktadır (Öğretmen ve diğerleri, 2008). Prefabrikasyon teknolojilerinin uygulanmasında ekip koordinasyonunda ve sistemde oluşabilecek sorunların stoklama ve nakliye problemleri gibi olumsuz sonuçlar doğurması bir diğer olumsuz tarafıdır.

3.2.2.5 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Gelişmesinde Karşılaşılan Engeller

Prefabrikasyon teknolojilerinin gelişmesinde ve yaygınlaşmasında birçok engelle karşılaşılmaktadır. Geleneksel yapım teknolojilerinden vazgeçilememesi, kullanıcıların önyargısı, prefabrikasyon ile ilgili yeterli yasa ve yönetmeliğin bulunmaması, üretim miktarının yetersiz oluşu, niteliksiz iş gücü ve yeterli sermaye sağlanamaması gibi faktörler prefabrikasyon teknolojilerinin gelişmesinde karşılaşılan başlıca engellerdendir (İlbay, 1992; Steinhardt ve diğerleri, 2014). Riskten kaçınan bankaların, finansçıların ve sigortacıların prefabrik endüstrisi ile ilgilenme konusundaki isteksizliği de gelişimi sınırlamaktadır (Steinhardt ve diğerleri, 2014).

Bildsten (2011)' in firmalar ile yaptığı görüşmeler sonucu tespit ettiği engeller yüksek geliştirme maliyetleri, belirli tedarikçilere bağlı olunması ve ev almak isteyen insanlar arasında kabul görmemesi gibi engellerdir (Bildsten, 2011). Nadim ve Goulding'in (2011) yaptığı bir çalışmada, prefabrikasyonun gelişmesine engel olan faktörler riski azaltmak için iş süreçlerinin modernleştirilmesini, saha dışı çalışmanın yüksek maliyetini ve karmaşıklığını içermiştir (Nadim ve Goulding, 2011).

Bununla birlikte, prefabrikasyon teknolojilerin kullanımı ile lojistik gerekliliğin artması, piyasanın konvansiyonel teknolojilerden prefabrikasyon teknolojilerine geçişi benimseyememesi, teknoloji ve bina bilgi sistemlerinin kullanımı içi nitelikli iş gücü gereksinimi ve ön yatırım gerektirmesi diğer faktörler incelenmiştir.

3.2.2.6 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Kullanımına İten Faktörler

Blismas ve Wakefield (2009)'a göre şantiye ortamına daha az iş bırakılması, inşaat atığının azaltılması, daha kaliteli bina üretimi, bina performansında artış ve sürdürülebilir olması prefabrikasyon teknolojilerinin kullanımına iten faktörlerden başlıcalarıdır (Blismas ve Wakefield, 2009). Bildsten (2011)' in firmalar ile yaptığı görüşmeler sonucunda bulduğu yararlar sabit fiyat-maliyet tahmini, malzeme standardizasyonu ve tekrarlanan görevler sonucu artan üretim olarak sıralanmaktadır. Fabrika ortamında malzemelerin ve yapı bileşenlerinin seri üretim ile düzenli olarak üretilmesi sağlanmaktadır. Prefabrik bileşenler ile üretilen bir konut, müşteriye sabit fiyat sunabilmektedir. Bunun sebebi, fabrika ortamında üretilen bileşenlerin maliyetlerinin bilinmesidir. Farklı meslek gruplarına sahip taşeronların sabit fiyat ve bitirme tarihi verememesi yapım şirketlerini prefabrikasyon kullanmaya iten önemli faktörlerden bir tanesidir (Bildsten, 2011). Goulding, Rahimian, Arif, ve Sharp' ın 2012 yılında yaptıkları çalışmada prefabrikasyon teknolojilerinin kullanımının tercih edilmesinde kültürel ve sosyo-ekonomik faktörlerin de etkili olduğu vurgulanmaktadır. Prefabrikasyon teknolojileri inşaat süresinde oluşan atığın azaltılması, fabrikada çalışan personelin eğitilerek daha verimli üretim sağlanması, otomasyon teknolojilerinin destekleyici rolüyle üretimde standardizasyon ve kaliteli üretime olanak sağlamaktadır (Goulding ve diğerleri, 2012).

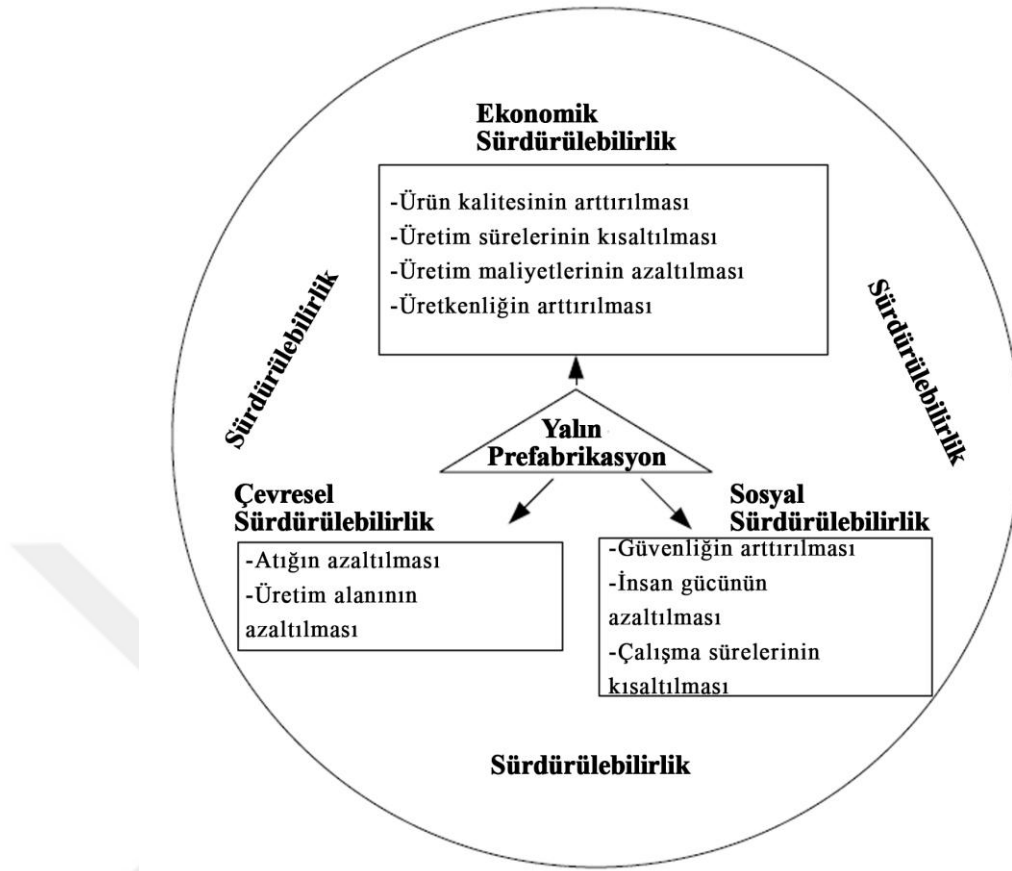
3.2.2.7 Prefabrikasyon Teknolojileri ve Yalın Yaklaşım

Prefabrikasyon teknolojileri konvansiyonel teknolojilere göre atığın azaltılması, güvenli çalışma koşulları, fabrika ortamında üretim kalitesinin arttırılması, inşaat atığının geri dönüştürülmesi ve çevresel etkilerin azaltılması gibi faydalar içermektedir (Luo ve diğerleri, 2005). Prefabrikasyon teknolojileri, fabrika ortamında mekanizasyon ve otomasyonun yaygın kullanıldığı imalata dayanmaktadır. Prefabrikasyon teknolojilerinin faydalarına rağmen üretim süreci nedeniyle aşırı üretim, nakliye problemleri, stok fazlalığı, hatalı parça üretimi gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi prefabrikasyon teknolojilerinin verimini arttırmaktadır (Senaratne ve diğerleri, 2010).

Prefabrik üretim süreci yüksek başlangıç maliyeti, tasarımda çeşitlilik eksikliği, ileri teknoloji ve eğitilmiş işçi gerektirmesi, kapsamlı kalite kontrol tekniklerine ihtiyaç duyulması gibi kusurlar içermektedir (Senaratne ve diğerleri, 2010). Bu nedenle, prefabrik üretim sürecinde sorunların çözülebilmesi için yalın üretim tekniklerinin benimsenmesi önem kazanmaktadır (Senaratne ve diğerleri, 2010).

Çoğu ürün için geçerli olan arz fazlalıkları, ürün ömrünün kısalması, ürünlerin kısa sürede taklit edilebilmesi, düşük maliyetle daha kaliteli ürün üretimini zorunlu kılan rekabetçi piyasa koşulları, İkinci Dünya Savaşı sonrasında ortaya çıkmıştır (Öğretmen ve diğerleri, 2008). İkinci Dünya Savaşı sonrası Japonya piyasasında, yeni teknolojilerin ve üretim tekniklerinin gelişmesine ortam oluşturulmuştur. Bu süreçte piyasa şartlarına uyum sağlamak, daha kaliteli ürünleri daha ucuza üretmek ve üretim koşullarını iyileştirmek amacıyla Toyota Motor Company tarafından yalın ilkeler geliştirilmiştir (Luo ve diğerleri, 2005). İmalat endüstrisi ile inşaat endüstrisi arasındaki benzerlikler, sadece otomotiv sektöründe değil inşaat sektöründe de yalın ilkelerin uygulanabilirliğini göstermektedir (Öğretmen ve diğerleri, 2008; Luo ve diğerleri, 2005).

Yalın üretim yaklaşımı, üretim süreci ile ilgili verimsizlikleri ele almakta ve ürün kalitesinin artırılmasında rol oynamaktadır. Yalın üretimde öncelikli amaç zaman, para ve ekipman israfından kaçınmaktır (Shingo, 1992; Senaratne ve diğerleri, 2010). Koskela (1992)'nin yaptığı araştırmada fabrika ortamında üretimde yalın üretim yaklaşımı ile üretkenliğin arttırıldığı, kalite ve iş güvenliğinin iyileştirildiği, ürün tedarik sürelerinin azaltıldığı, atığın azaltıldığı ve sürdürülebilirlik değerlerinin arttırıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.8) (Senaratne ve diğerleri, 2010).



Şekil 3.8 Yalın Prefabrikasyon ve Sürdürülebilirlik arasındaki ilişki (Senaratne ve diğerleri, 2010; sf. 41'den uyarlanmıştır)

3.2.2.8 Prefabrikasyon Teknolojilerinin Sürdürülebilirliğe Olan Katkıları

Prefabrikasyon teknolojileri fabrikada üretim sayesinde şantiyedeki uygulamaların ve emek yoğunluğunun azaltılması, denetimli üretim, inşaat maliyetlerinde azalma, inşaat atığının ve çevresel etkilerin azaltılması, yüksek seviyede enerji verimliliği ve yaşam döngü maliyetlerinin düşürülmesi gibi sürdürülebilirlik olanakları ile bağlantılıdır (Kamali, Hewage, 2016; Luo ve diğerleri, 2005). Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Bina Konseyi'nin Enerji ve Çevresel Tasarımında Liderlik (LEED) kredi sisteminde, prefabrikasyon teknolojisinin kullanımının en düşük sertifikasyon için neredeyse yeterli puanı almaya katkıda bulunmaktadır.

Prefabrikasyon teknolojilerinin sürdürülebilirliğe olan başlıca katkıları şunlardır:

- *Güvenli çalışma ve sağlık koşulları:* Yerinde yapım teknolojilerinde kaliteli inşaat veya işçi güvenliği için ideal bir ortam genellikle sağlanamamaktadır. Sahadaki inşaat çalışmaları tehlikeli olabilmekte, yaralanma ve ölümle sonuçlanabilmektedir. Yapım sürecinin büyük bölümünü daha kontrollü bir ortam sağlayan fabrika koşullarına taşınması, güvenlik gereksinimlerinin daha kolay karşılanmasını, sağlıklı çalışma koşullarını ve üretim sürecinin denetlenmesini sağlamaktadır (Gorgolewski, 2004). Prefabrikasyon teknolojileri ile yerinde yapılacak olan işler fabrika ortamında yapılmaktadır ve şantiye ortamında karşılaşılabilen kazalardan, hava koşullarından ve tehlikeli yerinde yapım işlerinden kaçınılmaktadır (Luo ve diğerleri, 2005). Lawson ve diğerlerine (2012) göre, modüler prefabrikasyon sistemi kullanıldığında, yerinde yapım sistemlere göre yaşanan kazalarda %80 oranında bir azalma görülebilmektedir. Prefabrikasyon süreci, kapalı alanda montaj imkanı sağladığı için hava koşullarından etkilenmeden devam etmektedir ve yapı bileşenlerinin neme maruz kalmasını önlemektedir. Yerinde yapım teknolojilerinde yapısal elemanlar hava şartları nedeniyle birkaç gün boyunca neme maruz kalabilmektedir ve bu durum bileşenlerin ömrünü etkileyen potansiyel olarak hızlandırılmış bozulmaya neden olmaktadır (Gorgolewski, 2004).
- *Çevresel etkilerin minimize edilmesi:* Konvansiyonel yapım teknolojilerinde şantiye çevresi gürültü, toz, ve atık gibi faktörlere maruz kalırken, prefabrikasyon sistemleri fabrikada üretim sayesinde çevreyi daha az etkilemektedir (Na, 2007). Chen' in 2010 yılında yaptığı bir araştırmada, inşaat belgeleri ve ampirik verilere dayanarak prefabrik konut binalarının çevresel etkilerini değerlendirmek için bir enerji tüketimi ve atık akışı hesaplama modeli oluşturmuştur. Sonuç olarak, prefabrikasyon teknolojilerinin konvansiyonel teknolojilere göre malzeme kullanımını ve enerji tüketimini % 20 düşürdüğünü, karbondioksit (CO₂), kükürt dioksit (SO₂) ve azot oksit (NOX) emisyonlarının % 20 azaldığını ve karbon

monoksit (CO) ve partikül emisyonlarının azaldığını gözlemlemiştir (Chen, 2010).

- *Malzeme ve yapı elemanlarının geri dönüştürülmesi ve atığın azaltılması:* Yapım aşamasında kaynak kullanımının azaltılması için malzemeyi verimli kullanan ve israfı en aza indiren yapım süreçlerine odaklanmak gerekmektedir. İngiltere'de kullanılan yerinde yapım yöntemlerinde, şantiyeye teslim edilen malzemelerin % 13 ila % 18'inin boşa harcanıp, hiçbir zaman doğru kullanılmadığı tahmin edilmektedir (Gorgolewski, 2004). Fabrikada üretim, konvansiyonel yöntemlere göre kaynakların ve atık akışının daha verimli bir şekilde yönetilmesine, malzemelerin daha verimli kullanılmasına ve standart boyutlara uygun tasarıma olanak tanımaktadır (Gorgolewski, 2004). Prefabrikasyon teknolojileri sanayileşmiş, esnek ve sökülebilir olduğundan, bu teknolojiler ile yapılmış bir binanın tamamen veya kısmi yıkımı önlenabilir, böylece daha sürdürülebilir binalar inşa edilmektedir. (Richard, 2007). Kim (2008)' in Michigan'da modüler ve konvansiyonel olarak inşa edilmiş bir evin yaşam döngüsü etkilerini, enerji kullanımını, malzeme tüketimini, sera gazı emisyonlarını ve atık üretimini analiz ettiği araştırmasında, konvansiyonel yapım teknolojilerinde modüler teknolojilere göre atık üretiminin 2,5 kat daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Hong Kong'da yapılan vaka çalışmalarında, prefabrikasyon teknolojilerinin geleneksel inşaat teknolojilerine göre bazı projelerde inşaat atığında ortalama % 65' lik bir azalma görülmektedir. (Jaillon ve Poon, 2010). Fabrika ortamında meydana gelen herhangi bir atık daha kolay toplanabilir, tekrar kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir. Birçok fabrikada üretim yapan tesiste atık bertaraf maliyetlerini azalttığı için geri dönüşüm tesisi bulunmaktadır.
- *Fonksiyon değişimine göre uyarlanabilirlik:* Esnek, uyarlanabilir ve uzun ömürlü prefabrik binalar kullanım sırasında talepler doğrultusunda yıkım ve yenileme ihtiyacını azaltarak kolayca güncellenebilir ve geliştirilebilir niteliğe sahiptir (Gorgolewski, 2004). Prefabrikasyon teknolojileri ile inşaat ve yıkım süresi en aza indirebilmektedir (Luo ve diğerleri, 2005).

- *Yaşam döngü maliyetlerinin düşürülmesi:* Yapım aşamasında fabrika ortamında kalite kontrolü, yapıyı oluşturan bileşen ve malzemelerin kullanım ömrü boyunca verimli bakımı ile yaşam döngü maliyetleri azaltılabilmektedir (Luo ve diğerleri, 2005). Gustavsson ve Joelsson' a (2010) göre, bir binanın üretim ve inşaat aşamalarında kullanılan enerji, bu binanın yaşam döngüsü boyunca kullanılan toplam enerjinin yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Bu nedenle, bina yapım aşamaları ve kullanım süresinin sona ermesini içeren diğer yaşam döngüsüne dahil olan evreler önem kazanmaktadır. Diğer yandan, bir malzemenin gömülü enerjisi malzemenin üretim ve inşaat aşamalarında artmaktadır (Kamali ve Hewage, 2016).



BÖLÜM DÖRT

PREFABRİKASYON YAPIM TEKNOLOJİLERİ İLE ÜRETİLEN YEŞİL BİNALARIN İNCELENMESİ

Bu bölümün amacı, prefabrikasyon yapım teknolojileri ile üretilen yeşil binaların incelenmesidir. Bu bölümde öncelikle, incelenen toplam on adet yeşil bina hakkında genel bilgi verilmektedir ve prefabrikasyon teknolojilerinin incelenen binaların yeşil özelliklerine ve sürdürülebilirliğine olan katkıları belirtilmektedir. Son olarak, binaların incelenmesi sonucunda elde edilen bulgular açıklanarak binaların yapım yılı, yapım teknolojisi, yeşil özellikleri ve prefabrikasyon teknolojilerinin kullanımı ile sürdürülebilirlik açısından sağlanan katkılar Tablo 4.1’ de sunulmaktadır.

4.1 Avusturya Örneği: Rauch Konutu

Yapım Yeri: Schlins, Avusturya

Tasarım: Martin Rauch, Roger Boltshauser

Yapım Yılı: 2008

Kullanılan Malzeme: Sıkıştırılmış Toprak

Yapım Teknolojisi: Prefabrikasyon



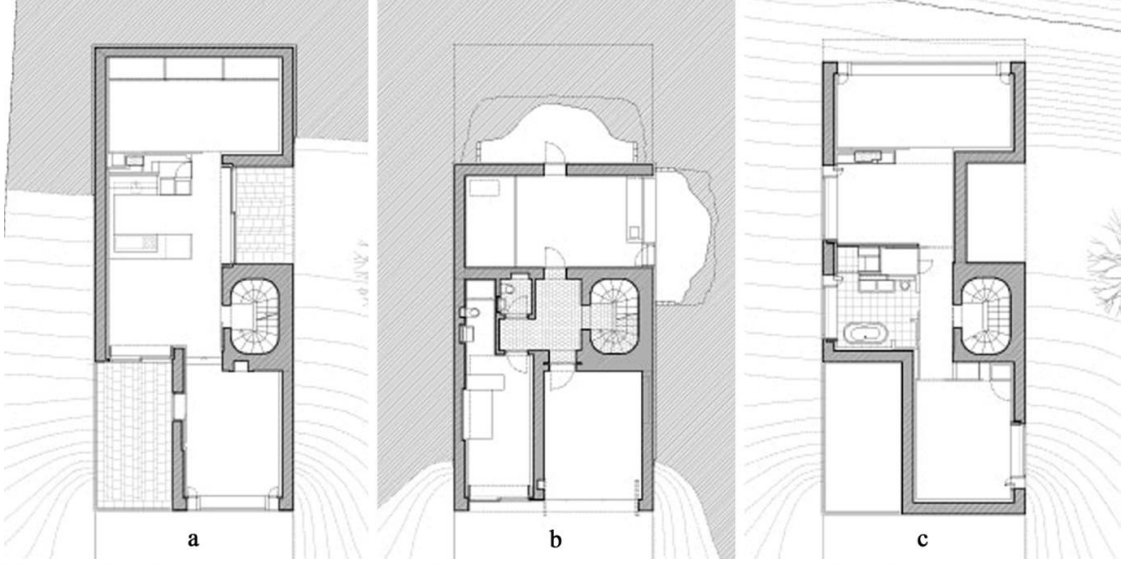
Şekil 4.1 Rauch Konutu, Schlins, Avusturya (Kişisel arşiv, 2017)

Sıkıştırılmış toprak duvar yapımında deneyimli olan Martin Rauch tarafından yapılan bu konut yapısı, Avusturya'nın Schlins kasabasında yer almaktadır (Şekil 4.1). Tez çalışma kapsamında verilen bu uygulama örneğindeki konut yerinde incelenmiştir ve Martin Rauch ve yapım ekibi ile yüzyüze görüşme yapılarak bilgi alınmıştır. İncelenen konut örneğinde Martin Rauch, sanayileşme ile seri üretimden dolayı önemini yitirmiş olan toprak malzemeyi prefabrikasyon teknolojisi ile uygulamaktadır. Konut, prefabrik olarak üretilen sıkıştırılmış toprak duvar ile inşa edilmiştir (Şekil 4.2). Sıkıştırılmış toprak duvarlar, mekanik sistemlere gerek olmadan iç mekanlarda oda sıcaklığını koruyabilmektedir. Bu konutta sıkıştırılmış toprak duvarlar iç mekan neminin %45-%55 arasında olmasında etkili olmaktadır. Ayrıca, duvarlarda herhangi kimyasal katkı bulunmamaktadır. Toprak malzemeden yapılan bu duvarlar, düşük bir gömülü enerjiye ve geri dönüştürülebilir özelliğe sahip olması nedeniyle sürdürülebilir niteliktedir (Dangel, 2010). Bazı sıkıştırılmış toprak duvar örneklerinde bağlayıcı olarak çimento kullanılsa da, Martin Rauch'un tutumu çimento kullanmamaktır. Bu konutun sıkıştırılmış toprak duvarlarında bağlayıcı malzeme olarak kireç kullanılmıştır. Toprak duvarların yapımında çimento yerine kireç kullanılması yapının kullanım ömrünü tamamladığında doğaya tamamen geri kazandırılmasına olanak sağlamaktadır. Yapım sırasında 3 km uzaklıkta bulunan depo alanı fabrikasyon alanına dönüştürülmüştür ve 8 km uzaklıktan toprak malzemesi temin edilmiştir.

Sıkıştırılmış toprak duvarlar fabrika ortamında hava basınçlı tokmak ve silindirlerle kalıpların içerisinde sıkıştırılmıştır. Bu duvarların kalınlığı 45 cm' dir ve 3 kat boyunca devam etmektedir (Şekil 4.3). Zemin ile temas eden sıkıştırılmış toprak duvarların yalıtımı cam yünü levhalar ile yapılmıştır ve su yalıtımı için bitümlü membran kullanılmıştır. Bina içerisinde bulunan 10 metre yüksekliğindeki merdiven sıkıştırılmış toprak duvarlarla desteklenmektedir. Sert kireç ile harmanlanmış topraktan yapılan merdiven basamakları 9 cm kalınlığındadır ve sıkıştırılmış toprak duvara sabitlenmiştir (Şekil 4.4). Merdivenin bulunduğu alanın aydınlatması tavanda bulunan cam kubbeden gelen doğal aydınlatma ile sağlanmaktadır. (Eu Mies Award, 2011).



Şekil 4.2 Prefabrik sıkıştırılmış toprak duvar modülleri (LehmTonErde, 2012)



Şekil 4.3 Rauch Evi, Planlar: a) Zemin Kat Planı; b) Birinci Kat Planı; c) İkinci Kat Planı (Architonic, b.t)



Şekil 4.4 Sıkıştırılmış toprak duvara bağlanan merdiven (MiesArch, 2018)

Toprak malzemesi erozyona uğrayabilen bir malzemedir. Bu nedenle yağmur suyu zaman içerisinde duvarların aşınmasına sebep olabilmektedir. Bu erozyon seviyesi, basit konstrüksiyonel detaylar ile kabul edilebilir bir seviyeye düşürülebilmektedir. İncelenen konut örneğinde, sıkıştırılmış toprak duvarlarda yatay olarak konumlandırılmış ve kilden yapılmış olan tuğlalar bulunmaktadır. Sıkıştırılmış toprak duvar yüzeyinde bulunan bu tuğlalar belli bir sıraya ve düzene göre konulmuştur ve yağmur damlalığı gibi çalışarak bozulmayı da azaltmaktır. Özel bir teknik ile üretilen fayanslar, aynı zamanda binanın zemin ve duvar kaplamalarında da kullanılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Zemin ve duvar kaplamalarında kullanılan fayansın üretim aşaması (Kişisel arşiv, 2017)

4.2 Egger Firması Ofis Binası

Yapım Yeri: Radauti, Romanya

Tasarım: Bruno Moser

Yapım Yılı: 2010

Kullanılan Malzeme: Ahşap

Yapım Teknolojisi: Prefabrikasyon



Şekil 4.6 Egger firması ofis binası, Radauti, Romanya’ da bulunan ofis binası (Egger, 2018)

Ahşap kompozit panel üreten Avusturyalı Egger firması, ormanlık bölgelere yakınlığı ve Doğu Avrupa pazarlarına kolay erişimi ile bilinen Radauti şehrinde ofis binası inşa etmiştir. 150 çalışana ev sahipliği yapan ve 3879 m² alana sahip bina (Şekil 4.6) Bruno Moser tarafından tasarlanmıştır. Üç katlı binanın merkezinde dört toplantı salonu, toplantı odaları, seminer odaları ve fuaye alanı bulunmaktadır (Schittich ve Schoof, 2011). Binada uygulanan tasarım konseptinin Egger firmasına ait yeni yapılacak olan diğer binalara da uygulanmak istenmesi nedeniyle modüller Orta Avrupa' da üretilmiştir (Şekil 4.7) (Egger, 2018). Yük taşıyıcı elemanlar ve iç mekanlar için Egger firmasının ürettiği ürünler kullanılmıştır.

Radauti' de bulunan ofis binası, Alman Sürdürülebilir Yapı Konseyi (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) tarafından yapılan değerlendirmeler sonucunda altın sertifika almaya hak kazanmıştır. Propilen kauçuk (Ethylene propylene diene

monomer - EPDM) gibi çevre dostu malzeme kullanılan binanın yapımı sırasında kereste kesim işleminden çıkan atıklar binada kullanılan kompozit ahşap levhaların üretiminde kullanılmaktadır. Herhangi bir yapı bileşeni üretilemeyen atıklar ise binanın bulunduğu bölgede bulunan biyokütle ısıtma tesislerinde binanın ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır. Yakınında bulunan üretim tesislerinden gelen atık ısı ile ısıtılan ofis binası, soğutma için 140kW kapasiteli iklimlendirme sistemi kullanmaktadır. Alman Sürdürülebilir Yapı Konseyi tarafından alınan sertifikaya göre, binanın ısıtma ihtiyacı için gereken enerji ihtiyacı 9kWh/m² olarak belirlenmiştir. Binada bulunan her modül iklimlendirme, ısıtma ve elektrik dağıtım sistemlerine sahiptir. Bu sistemler bireysel olarak ölçme, düzenleme ve kontrol ekipmanları ile kontrol edilmektedir. Merkezi olmayan sistemler sayesinde çalışanlar bireysel ihtiyaçlarına göre bina sistemlerini kontrol edebilmektedir ve enerji tüketimini azaltabilmektedir. İç mekan hava kalitesinin düzenlenmesi, karbondioksit miktarının artması ile devreye giren iklimlendirme (soğutma ve havalandırma) üniteleri ile sağlanmaktadır.



Şekil 4.7 Modüler tasarım konseptinin farklı bir Egger binasında uygulanması (Egger, 2016)



Şekil 4.8 Modüllerin şantiye ortamında birleştirilmesi (Schittich ve Schoof, 2011)

Modüler prefabrikasyon teknolojileri ile üretilen binanın taşıyıcı sistemini 2.8 m. x 11.4 m. olan ahşap modüller oluşturmaktadır. Modül yapımında kullanılan ahşap yapı elemanları, Egger firmasının üretebildiği maksimum boyut (2.8 m x 11.5 m.) baz alınarak üretilmiştir (Schittich ve Schoof, 2011). Ahşap yapı elemanlarının aralarında bulunan boşluğa elektrik ve havalandırma kabloları, ısıtma ve soğutma elemanları ve çakıl tabakası eklenmiştir. Modüller şantiye ortamına getirilmesinin ardından üst üste eklenerek köşe noktalarından birleştirilmiştir (Şekil 4.8). 21 modülden oluşan binaya, değişen ihtiyaçlara göre modül eklenebilmektedir. Her bir modül birbirinden bağımsız olan ofis alanları, çalışma odaları, arşiv ve tuvalet birimlerini içermektedir. Kullanılan çelik eklentiler, binanın dikey yüklerini temellere aktarmaktadır (Schittich ve Schoof, 2011). Temel ve bodrum katı yerinde dökme beton ile yapılan binanın modülleri Avusturya'da üretilerek kamyonlar ile şantiye ortamına getirilmiştir. Şantiye ortamında yapım işlemleri ve modüllerin fabrika ortamında üretilip şantiye ortamında montajı 5 ay sürmüştür. Modüllerin fabrika ortamında üretilmesi ile konvansiyonel yapım teknolojilerine göre daha yüksek kalite kontrollü üretim ve çevresel etkilerin azaltılması amaçlanmıştır.

4.3 SoMa Modüler Apartmanı

Yapım Yeri: San Francisco, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri

Tasarım: Taeko Takagi, Trachtenberg Architects

Yapım Yılı: 2013

Kullanılan Malzeme: Ahşap

Yapım Teknolojisi: Prefabrikasyon



Şekil 4.9 Soma Modüler Apartmanı (SoMa Studios), San Francisco, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri (Brinklow, 2016)

San Francisco'nun South of Market semtindeki SoMa modüler apartman binası (Şekil 4.9), mimar Taeko Takagi ile Tarchtenberg Architects tarafından tasarlanmıştır. Dört kattan oluşan bina, prefabrik olarak üretilen 23 adet modül ile inşa edilmiştir (Lowney Architecture, 2013). Her modül (Şekil 4.10) 28 m² olacak şekilde düzenlenen binanın yapımı 6 ay sürmüştür. Yapımda kullanılacak olan modüller 370 m²' lik bir alanda depolanmış ve 1 hafta içerisinde şantiyede montaj işlemleri tamamlanmıştır (Modular Building Institute, 2018).

SoMa modüler apartman binası güneş enerjili sıcak su ısıtma, geri dönüşümlü malzeme kullanımı, enerji tasarruflu armatür kullanımı, doğal aydınlatma (Şekil

4.11) ve havalandırma sistemleri ve yüksek performanslı pencereler gibi bir çok sürdürülebilir özelliği sayesinde LEED Platinum sertifikası almıştır (Bevk, 2012).



Şekil 4.10 Soma modüler apartmanı daire planı (Lubell, 2013)



Şekil 4.11 Soma modüler apartmanı yaşama alanı (Walter, 2014)



Şekil 4.12 SoMa modüler apartman binasında kullanılan modüllerin taşınması ve montaj işlemlerinin tamamlanması (Modular Building Institute, 2018)

Yapımda kullanılan modüllerin (Şekil 4.12) kalite kontrollü bir ortamda oluşturulması, binanın LEED sertifikası almasına katkıda bulunmuştur. Yapımda kullanılan Energy Star 4.0 bileşenlerinin kalite kontrollü bir ortamda kurulması gereksinimi, prefabrikasyon teknolojilerinin kullanımına olanak sağlamıştır. Projenin geliştiricisi olan ZETA'ya göre, üretim süreçlerinin önceden belirlenmesi ve fabrikada denetimli üretimin sağlanması ile konvansiyonel yöntemlere göre inşaat sırasında ortaya çıkan atık miktarının %50-%90 arasında azaltıldığı belirtilmektedir (Modular Building Institute, 2018). Buna ek olarak, konvansiyonel teknolojiler ile yapıldığında öngörülen 13 aylık inşaat süresi prefabrikasyon teknolojileri ile 6 ayda tamamlanmıştır. Modüllerin yapımı üç ay sürmüştür. Modüllerin fabrika ortamında üretilmesi ve inşaat süresinin kısaltılması, yapım aşamalarında çevreye verilen zararı azaltmıştır (Modular Building Institute, 2018).

Firma, döşemelerde 2x10cm ve tavanlarda 2x6cm ölçülü kereste ve ahşap panel kaplama kullanmıştır (Modular Building Institute, 2018). Duvar yapımında paneller arasında 2,5 cm ve modüller arasında 7,5 cm boşluk bırakılması, ilave enerji verimliliği için yalıtım malzemesi kullanımına olanak sağlamaktadır (Modular Building Institute, 2018).

4.4 Barrie Okulu Araştırma ve Öğrenme Merkezi

Yapım Yeri: Maryland, Amerika Birleşik Devletleri

Tasarım: Flansburg Architects

Yapım Yılı: 2017

Kullanılan Malzeme: Ahşap, Çelik

Yapım Teknolojisi: Prefabrikasyon



Şekil 4.13 Barrie Okulu, Maryland, Amerika Birleşik Devletleri (Modular Genius, 2018)

Flansburg Architects tarafından tasarlanan Barrie okulu araştırma ve öğrenme merkezi (Şekil 4.13), 2017 yılında inşa edilmiştir. Barrie okulu 7 sınıf, 1 ortak alan ve açık bir bahçeden oluşmaktadır (Flansburg Architects, 2018). Ortak alanda bulunan amfi tiyatro merdiveni, birinci kattaki geniş ve açık olan teras ile büyük toplanma alanını birbirine bağlamaktadır. "Stüdyo" adı verilen sınıflarda grup çalışmalarının kolay olması için sınıfların arasındaki duvarlar katlanabilir ve 2 sınıf birleştirilebilmektedir (Şekil 4.14) (Modular Building Institute, 2018).

Yapımında kullanılan malzemelerin yüzde 20'si kullanım sonrası geri dönüştürülmüş tüketim ürünleri, yüzde 2,5'i yenilenebilir malzeme ve yüzde 50'si yeşil sertifikalı ahşap malzemedir (Modular Building Institute, 2018; Modular Genius, 2018). Binada kullanılan boya malzemesinde organik uçucu madde

bulunmamaktadır. Binada kullanılan yeşil sistemler ile enerji ve su verimliliğini en üst düzeye ulaştırmak planlanmaktadır. Yeşil sistemler atık suyu yöneten ve geri kazandırılmasını sağlayan, yağmur suyunu depolayan sarnıçlar ve içilemez suyun sulama işlemlerinde kullanılmasını sağlayan alt sistemlerden oluşmaktadır (Modular Genius, 2018).



Şekil 4.14 Barrie okulu araştırma ve öğrenme merkezi planı (Modular Building Institute, 2018)

Prefabrik modüller ile üretilen binada modüllerin fabrika ortamında üretilmesi (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16), inşaat sürecinin daha sürdürülebilir olmasına ve konvansiyonel yöntemlere göre daha az atık üretilmesine olanak sağlamıştır (Modular Building Institute, 2018). Bunun yanı sıra, prefabrik modüller fabrika ortamında üretilirken şantiye ortamında yerinde yapım işlerinin devam etmesi yapım sürecini hızlandırmıştır. Bu durumun genel inşaat programını hafiflettiğini dile getiren Modular Genius başkanı Damon Pross, aynı zamanda fabrika ortamında denetimli üretim sayesinde kalite kontrol standartlarına da uyulduğunu vurgulamaktadır (Modular Building Institute, 2018).



Şekil 4.15 Fabrika ortamında modüllerin oluşturulması (Modular Genius, 2018)



Şekil 4.16 Fabrika ortamında oluşturulan yüksek oranda bitmiş olan modülün şantiye ortamına götürülmesi (Modular Genius, 2018)

4.5 Beachaus I Konut Yapısı

Yapım Yeri: White Rock, İngiltere

Tasarım: Pb Elemental

Yapım Yılı: 2012

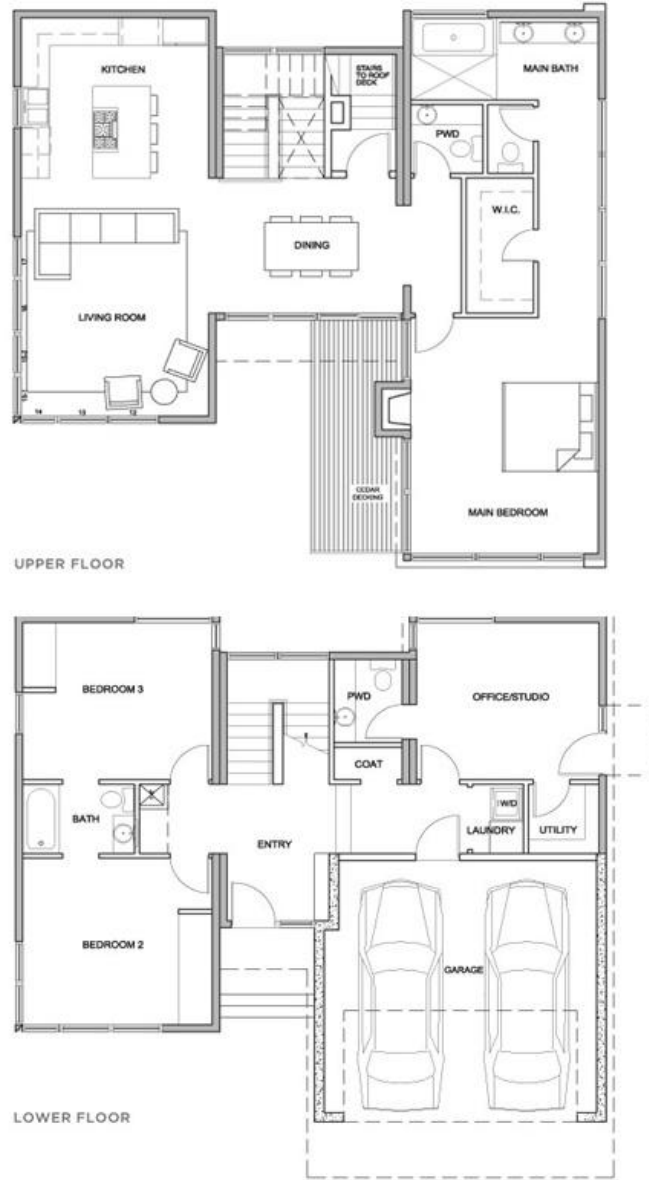
Kullanılan Malzeme: Ahşap, Çelik

Yapım Teknolojisi: Prefabrikasyon



Şekil 4.17 Beachaus I Konut Yapısı, White Rock, İngiltere (Mihai, 2012)

Pb Elemental mimarlık şirketi tarafından tasarlanan Beachaus I konut yapısı (Şekil 4.17), White Rock, İngiltere’ de bulunmaktadır. Semiahmoo Körfezi’ne 200 metre uzaklıkta bulunan iki katlı prefabrik ev akıllı ve verimli bir yaşam için tasarlanmıştır. Sürdürülebilirlik ödüllü Pb Elemental şirketinin tasarımını üstlendiği 200 m² alana sahip olan Beachaus I binasında 3 yatak odası, 4 banyo, ofis, çalışma alanı ve stüdyo alanı bulunmaktadır (Şekil 4.18) (Mihai, 2012).



Şekil 4.18 Beachaus I konut planları (HomeDSGN, 2012)

LEED Platinum sertifikasına sahip olan proje yüksek performanslı sprey köpük yalıtımı, Hepa filtreli hava değiştirici, Low-E fiberglas çerçeveli pencereler, radyant hidronik ısıtma gibi yeşil tasarım özelliklerine sahiptir (Meinhold, 2012). Yağmur suyu toplama sistemi ile yağmur suyu çatıdan toplanır ve peyzaj alanı sulaması için kullanılmaktadır. İç mekanda formaldehit içermeyen masif ahşap dolaplar, bambu döşemeler ve uçucu organik madde içermeyen boyaların kullanılması ile iç ortam kirleticileri asgari düzeyde tutulmuştur (Reynolds, 2012). Teknolojik olarak kullanıcılara bir çok imkan sunan Beachaus I konut yapısında duvara monte edilmiş

bir tablet bulunmaktadır. Bu tablet, evdeki otomasyon sistemlerinin kontrol merkezidir ve akıllı telefonlar ile kontrol edilebilmektedir. Kullanılan sistemler sayesinde evin kullanıcıları sıcaklığı, aydınlatmayı, müziği uzaktan kontrol edebilmeyi ve pasif güneş ışığı kazancını yükseltmek için perde ve çatı sistemlerini açıp kapatabilmektedir.

Binanın tasarımı ve modellemesi Sketchup programı üzerinden yapılmıştır. Ardından teknik çizimlerin tamamlanması için Autocad programı kullanılmıştır. Kanada'da standart bir uygulama olan “Hot2000” yazılımı ile evdeki Energy guide skorunu önceden belirlemek, binanın oryantasyonunu belirlemek ve planlanan konut inşaatının verimliliğinde değişiklik yapmaya yardımcı olmak amacıyla enerji modellemesi yapılmıştır. (Gangal, 2012).

Modüler prefabrikasyon teknolojileri ile yapımı tamamlanan binada arazi dışında prefabrikasyon teknolojileri ve yerinde yapım yapı bileşenleri birlikte kullanılmıştır (Şekil 4.19). Fabrika ortamında tamamlanan modüller bütün döşeme, duvar, dolap, banko ve kaplamaları bitmiş olarak şantiye ortamına taşınmaktadır.



Şekil 4.19 Beachaus I binasında kullanılan modülün vinç yardımı ile yerine yerleştirilmesi (Meinhold, 2012)

4.6 Centennial Yurt Binası

Yapım Yeri: İngiltere

Tasarım: WTW Architects, HKK & Associates

Yapım Yılı: 2011

Kullanılan Malzeme: Ahşap

Yapım Teknolojisi: Prefabrikasyon

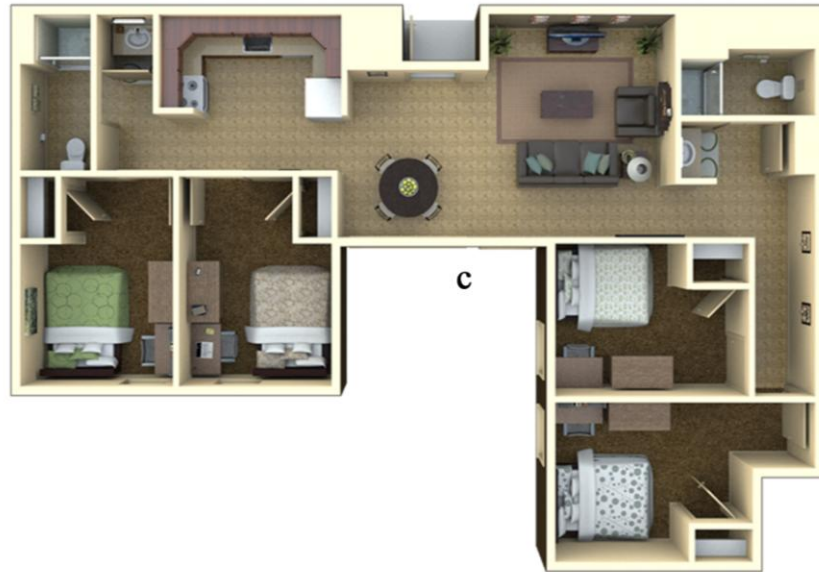
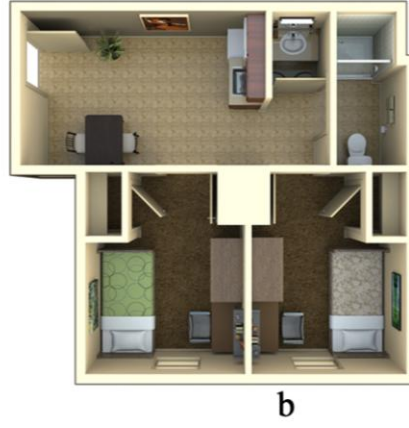


Şekil 4.20 Centennial yurt binası, İngiltere (Signature Custom Homes, 2018)

SUNY Çevresel Bilim ve Orman Koleji'nin yurt binası olarak tasarlanan Centennial yurt binası (Şekil 4.20), WTW Architects ve Hueber Breuer işbirliğinde 2011 yılında İngiltere'de yapılmıştır. 4 katlı Centennial yurt binasında kat yüksekliği 3 m. 15 cm. dir. 31 milyon dolara mal olan binada 454 yatak odası bulunmaktadır (SUNY - ESF Communications, 2011; Green, 2011). Binanın iki kanadında 4 yatak odalı, 2 yatak odalı ve tek yatak odalı olmak üzere üç farklı oda tipi bulunmaktadır (Şekil 4.21).

LEED Gold sertifikasına sahip Centennial yurt binası enerji tüketimi, aydınlatma, su kullanımı ve çevre dostu malzeme kullanımı gibi birçok sürdürülebilir özelliğe sahiptir. Standart yurt binalarına göre daha az su ve enerji kullanan LEED sertifikalı

binanın sürdürülebilir özellikleri sayesinde işletme ve tüketim maliyetleri azaltılmış, çevreye daha az sera gazı salınmıştır (SUNY - ESF Communications, 2011).



Şekil 4.21 Centennial yurt binası oda tipleri (SUNY - ESF Communications, 2011)

Yapıda bulunan yalıtımlı pencereler doğal aydınlatma ve doğal havalandırmaya olanak sağlarken ısı kaybını en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Binanın banyolarında da marmoleum zemin kaplaması ve granit lavabo gibi yeşil malzemeler bulunmaktadır. Marmoleum malzemesi tamamen doğal ve anti-bakteriyel olmakla birlikte keten tohumu yağı, ağaç reçinesi, hint keneviri ve kireç taşı gibi malzemelerin birleşiminden oluşmaktadır (Signature Building Systems, 2018). Pensilvanya'nın Allegheny Platosu'ndaki sürdürülebilir şekilde yönetilen ormanlardan elde edilen kırmızı akçaağaç ahşap kullanımı, binanın sürdürülebilirliğe verdiği önemi vurgulamakla birlikte diğer ağaç türleri olan kiraz ve meşe ağacından daha ucuz bir seçenek olmaktadır. Binada bulunan yağmur suyu işletme sistemi ve yağmur bahçeleri sayesinde peyzaj sistemlerinin bakım maliyetleri azaltılmakta ve su tasarrufu sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra yurttan kalan sakinlerin bisikletlerini veya arabalarını depolanan gri su ile yıkayabilecekleri depo ve yıkama odaları bulunmaktadır. Binanın sahip olduğu başlıca yeşil özellikler şunlardır: (Green, 2011)

- Yağmur suyu toplama sistemleri ve gri su sistemleri
- Energy Star belgeli aydınlatma armatürleri
- Tüm duvar ve tavanlarda kapalı hücre yalıtım sistemi
- Uçucu organik madde içermeyen boya, tavan kaplamaları, dolgu malzemeleri ve yapıştırıcı kullanımı
- ThermoLite pencere kullanımı ve yaşama alanlarında otomasyon sistemine bağlı pencereler
- Her modülde bireysel su kaynaklı ısı pompası kullanımı
- Düşük akışlı musluk ve duş başlığı kullanımı
- Energy Star belgeli buzdolabı, mikrodalga fırın ve bulaşık makineleri kullanımıdır.



Şekil 4.22 Centennial Hall binası yapımında prefabrik modüllerin şantiye ortamında bir araya getirilmesi (Green, 2018)

Prefabrik modüller (Şekil 4.22) kullanılarak inşa edilen Centennial Hall binasında genellikle sürdürülebilir yapı malzemeleri kullanılmıştır (SUNY - ESF Communications, 2011). Modüller Signature Building Systems of PA firması tarafından üretilmiş, Hueber Breuer inşaat firması tarafından şantiyeye taşınmış ve monte edilmiştir. Prefabrik modüler sistemlerin kullanılması ile hem atık miktarının hem de hammadde israfının azaltıldığını vurgulayan yapım şirketi, kısıtlı zamana sahip iş takviminin prefabrikasyon teknolojileri sayesinde uygulanabilmesi ile zamandan kazanılmış ve ekstra masraflardan kaçınılmıştır (ESF Communications, 2011). Bunun yanı sıra yüklenici firma şantiye alanındaki ses, gürültü ve toz gibi çevresel etkilerin konvansiyonel yöntemlere göre azaltıldığını belirtmiştir. 184 adet prefabrik ahşap modül ile inşa edilen binanın yapımı 16 ay sürmüştür (SUNY - ESF Communications, 2011).

4.7 High Tech Lisesi

Yapım Yeri: Chula Vista, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri

Tasarım: Studio E Architects

Yapım Yılı: 2009

Kullanılan Malzeme: Çelik

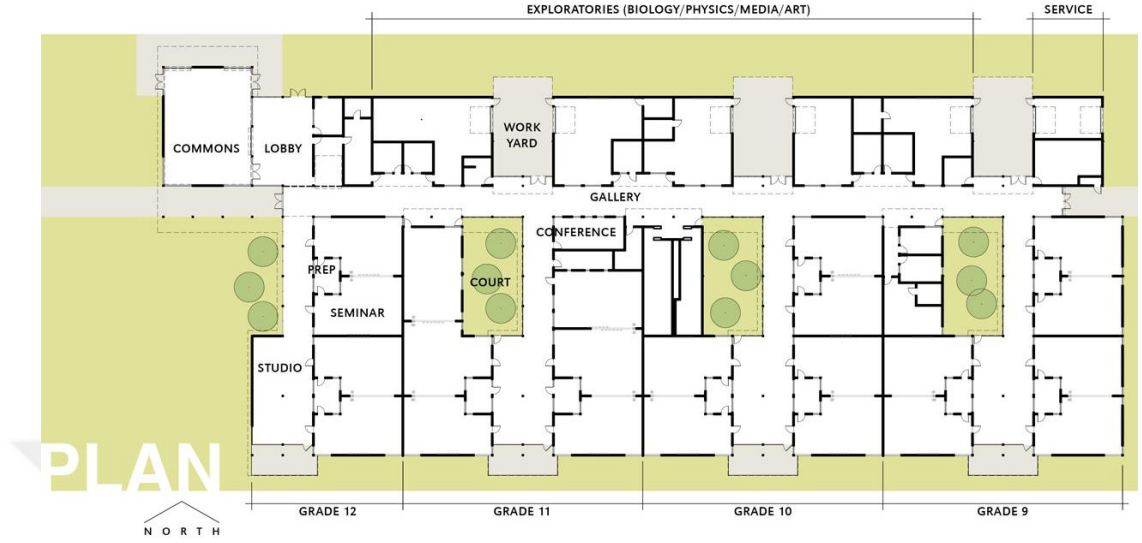
Yapım Teknolojisi: Prefabrikasyon



Şekil 4.23 High Tech Lisesi, Chula Vista, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri (ArchDaily, 2018)

High Tech lisesi (Şekil 4.23), 550 öğrencinin eğitimi amacıyla Studio E Architects tarafından tasarlanan 4,200 m² lik bir okul yapısıdır. Yapının tasarım amacı okulun üç temel değeri olan şeffaflık, toplum ve sürdürülebilirliği yansıtmaktır (ArchDaily, 2011). Sınıfların organizasyonu öğrencilerin ihtiyaçlarına ve yenilikçi uygulamalı müfredatın gerekliliklerine göre yapılmıştır. Okul içerisinde çalışma stüdyoları, geniş sınıflar, sanat ve fen eğitimi için çalışma alanlarına sahip laboratuvarlar ve okul toplantıları ile sunumlar için kullanılan ortak alanlar bulunmaktadır (Şekil 4.24). Binanın ortasında bulunan galeri alanı bütün birimleri birbirine bağlamaktadır. Bununla birlikte, binanın ihtiyaç duyduğu temiz havayı ve

gün ışığını okul içerisine almaktadır (Şekil 4.25). Projenin ana hedefi, çocuk eğitimindeki kriterleri minimum enerji kullanarak karşılayan bir okul yapılmasıdır.



Şekil 4.24 High Tech lisesi kat planı (ArchDaily, 2018)



Şekil 4.25 High tech lisesi galeri alanı (ArchDaily, 2018)

LEED for Schools-Gold sertifikasına sahip binada fotovoltaik güneş panelleri ile enerji üretilmektedir (Şekil 4.26). Bina, araziye hakim rüzgardan optimum faydalanabilecek şekilde konumlandırılmıştır (ArchDaily, 2011). Binada istenmeyen güneş ışınları için gölgelendirme sistemleri kullanılarak gün ışığı kontrollü olarak bina içerisine alınmaktadır. High Tech Lisesi, 100 yıl gibi uzun bir yaşam döngüsüne uygun olarak tasarlanmıştır. Cıva ve kurşun içeren inşaat malzemelerinden uzak durulmuştur. Binanın sahip olduğu yeşil özellikler başlıca şunlardır (AIA, 2011; ArchDaily, 2011):

- Serin çatı
- Gün ışığı optimizasyonu için gölgelikler
- Yüksek verimli ve düşük enerji tüketen merkezi HVAC sistemi
- Yüksek verimli camlar
- Yerel yapı malzemeleri kullanımı
- Yüksek geri dönüşüm oranına sahip yapı malzemeleri
- Elektrik ihtiyacının %80'ini karşılayabilen fotovoltaik panel kullanımı
- Yapının anlık enerji kullanımı gösteren elektronik sistemler
- Su tasarrufu sağlayan peyzaj düzenlemesi ve armatürler
- Yeniden kazandırılan suyun tamamı okulun ve çevresinin sulamasında kullanılması
- Kullanılan ekipmanların %90'ının Energy Star belgesine sahip olmasıdır.



Şekil 4.26 Bina çatısında bulunan fotovoltaik paneller (ArchDaily, 2018)



Şekil 4.27 High Tech Lisesi yapımında kullanılan modüllerin vinç yardımıyla yerleştirilmesi (AIA, 2011)

İnşaatin kısa sürede bitirilmesi hedefi, yapım şirketini modüler yapım teknolojilerinin kullanımına itmiştir. Binanın yapımı 18 ay sürmüştür ve şantiyede yapım işleri ile modüllerin üretimi toplamda 15 milyon dolara mal edilmiştir (AIA, 2011). Kazı ve temel atma işlemleri şantiye ortamında devam ederken modül üretimi fabrika ortamında gerçekleştirilmektedir. Endüstri standardı boyutlandırmasına dayanan ve montaj hattı üretimi ile tekrar edilen parçaların kullanılmasıyla inşaat atığı önemli ölçüde azaltılırken inşaat kalitesi büyük ölçüde arttırılmıştır (AIA, 2011). İzlenen bu strateji aynı zamanda fabrika ortamında kalite kontrollü bir üretime olanak sağlamıştır. Montaj hattı tekniğinin kullanımı ile zamanın verimli kullanılması ve maliyet etkin üretimin sağlanması amaçlanmıştır. Yapımda kullanılan modüller (Şekil 4.27) kolayca demonte edilebilir, başka bir binada kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir olması nedeniyle sürdürülebilirlik kriterlerine katkıda bulunmaktadır.

4.8 Bölgesel Çevresel Çalışma Merkezi (Regional Environmental Studies Center)

Yapım Yeri: Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri

Tasarım: American Modular Systems

Yapım Yılı: 2013

Kullanılan Malzeme: Ahşap ve Çelik

Yapım Teknolojisi: Prefabrikasyon



Şekil 4.28 Bölgesel Çevresel Çalışma Merkezi (Regional Environmental Studies Center), Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri (Green Technology, 2018)

Kaliforniya'nın Central Valley bölgesinde öğrencilere ve bölge sakinlerine ücretsiz bir tesis sağlanması amacıyla yapılan Bölgesel Çevresel Çalışma Merkezi (RESC) (Şekil 4.28), Amerikan Modüler Sistemleri ve Gen 7 firmaları işbirliği ile tasarlanmıştır (Inhabitat, 2014). RESC binası yeşil bina teknolojileri, sürdürülebilir ev geliştirme, enerji ve su tasarrufu, hava kalitesi ve inovasyon gibi konularda Manteca Birleşik Meslek Akademisi'nin vereceği kurslara ev sahipliği yapmaktadır (Gen7 Schools, 2014).

Projenin hedefi tasarım aşamasından itibaren LEED Gold ve Sıfır Net Enerji standartlarına sahip sağlıklı ve sürdürülebilir öğrenme alanı sağlamaktır. RESC binası sürdürülebilir arazi, su tasarrufu, enerji verimliliği, malzeme seçimi ve iç ortam kalitesi kriterlerinden yüksek puan alarak LEED sertifikasını almaya hak kazanmıştır (Gen 7 Schools, 2014). Son teknoloji ürünü binada, yıllık elektrik kullanımı karşılamak amacıyla enerji tasarruflu sistemler ve 10kW enerji üretebilen fotovoltaik paneller kullanılmıştır. Bu sayede Tasarımda Enerji ve İnovasyon kategorilerinden yüksek puan alınmıştır. Sürdürülebilirlik ve düşük enerji hedeflerini barındıran binada geri dönüştürülmüş ve düşük enerjili malzeme kullanımının yanı sıra Forest Stewardship Council (Orman Yönetim Konseyi) sertifikalı ahşap ve doğal havalandırma sistemlerinin kullanımı bu hedeflerin karşılanmasına olanak sağlamıştır (Inhabitat, 2014). Enerji verimliliğini üst düzeye çıkarmak için binanın oryantasyonu, pencere yerleşimi ve fotovoltaik sistemlerin konumlandırılmasında enerji modellemesi kullanılmıştır. Bina sistemleri web tabanlı Gen7 enerji izleme sistemine bağlı olması sayesinde binanın anlık kullandığı enerji miktarına İpad üzerinden erişilebilmektedir (Gen 7 Schools, 2014). Güneşin açısı ve enerji tüketimi ile ilgili veriler takip edilebilir ve gerçek zamanlı olarak yönetilebilmektedir. Enerji kullanımına ve üretimine dikkat edilmesi nedeniyle sistem mümkün olan optimum performansla çalıştığında, bina tükettiğinden daha çok enerji üretebilmektedir ve bu enerjiyi farklı yapılara dağıtabilmektedir (Howland, 2014). Bir yıl içerisinde RESC binası, kullandığı enerji miktarını %50 oranında azaltmıştır. Sınıfların ve ortak alanların üzerinde bulunan tam otomatik çatılar yapı sıcaklığının düzenlenmesi için açılıp kapanabilme özelliğine sahiptir (Şekil 4.29).

RESC binası, prefabrik binaların nasıl daha sağlıklı, daha sürdürülebilir ve düşük maliyetli bir şekilde yapılabileceğinin bir örneğidir. Gen 7 şirketi; binanın konvansiyonel yöntemlerle yapıldığında LEED sertifikası kriterlerinin sağlanabileceğini, ancak modüler prefabrikasyon (Şekil 4.30) sayesinde %30 daha az atık üretimi ve %60 oranında daha hızlı inşaat gerçekleştirdiklerini ve bu durumun sürdürülebilirlik kriterlerine önemli ölçüde katkıda bulunduğunu vurgulamaktadır (Howland, 2014).



Şekil 4.29 Foto voltaik panellere sahip çatının inşaat sırasında vinç yardımı ile yerleştirilmesi (Gen7 Schools., 2013)



Şekil 4.30 Modüllerin şantiye ortamına getirilmesi ve montajı (Gen7 Schools, 2013)

4.9 Mountaineer Yurt Binası

Yapım Yeri: Boone, Amerika Birleşik Devletleri

Tasarım: CJMW Architecture, SfL+ A Architects

Yapım Yılı: 2011

Kullanılan Malzeme: Ahşap ve Tuğla

Yapım Teknolojisi: Prefabrikasyon

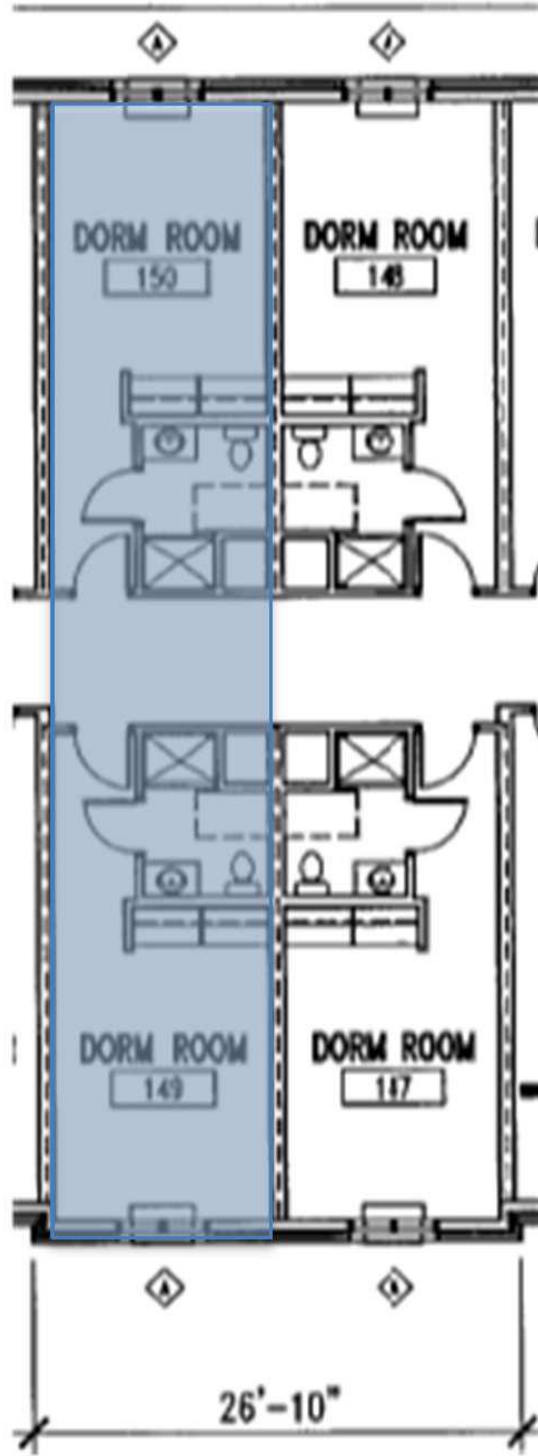


Şekil 4.31 Mountaineer Yurt Binası, Boone, Amerika Birleşik Devletleri (AppState, 2018)

Appalachian State Üniversitesinde öğrenci nüfusunun artması ile gelecek akademik yıl için yeni bir yurt binasına ihtiyaç duyulmaktadır. Üniversitede bulunan eski yurt binasının yıkılması ve bir yıl içerisinde yeni binanın inşa edilmesi gerekmektedir (Barista ve diğerleri, 2012). Bu nedenle üniversitenin talebi üzerinde 2011 yılında CJMW mimarlık ve SfL+A mimarlık işbirliğinde Mountaineer Hall binası tasarlanmıştır (Şekil 4.9.1) (FirstFloor, 2018). Modüler prefabrikasyon ile üretilen yurt binası dört kattan oluşmaktadır ve 234 modülden üretilmiştir (Şekil 4.32) (Design Curial, 2012). Binada bulunan odalarda 450 lisans öğrencisi kalmaktadır.

Mountaineer yurt binası LEED Gold sertifikasına sahiptir. LEED Gold sertifikası için 65 puan alması gereken bina, enerji tasarrufu, su tasarrufu, arazi kullanımı gibi LEED kriterlerine sahip olması ile toplam 68 puan almıştır (Barista ve diğerleri, 2012). Proje inşaat, çevre düzenlemesi ve yağmur suyu kontrolleri sırasında alınan erozyon kontrol önemlerini içerdiği için saha yönetimi kategorisinden 16 puan almıştır. Enerji performansını ölçen enerji ve atmosfer kategorisinde 13 puan alan bina, geri dönüşümlü alçıpan kullanımı gibi çevre dostu yapı malzemesi kullanımı sayesinde malzeme ve kaynak kategorisinden 11 puan almıştır (ASU News, 2012). Binanın enerji ve su tasarrufu özellikleri arasında enerji verimli renkli pencereler ve sıcak su sağlayan 40 panelli bir güneş enerjili termal sistem bulunmaktadır (Barista ve diğerleri, 2012). Bununla birlikte, tesiste enerji kullanımını azaltmak için hareket sensörlü aydınlatma armatürleri bulunmaktadır. Su tasarrufunu arttırmak amacıyla düşük akışlı duş başlıkları ve az su tüketen klozetler kullanılmıştır. Bina yapımında neme dayanıklı geri kazanılmış alçıpan malzeme kullanımı ile iç mekan hava kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Binanın dağlık bir bölgede yer alması nedeniyle inşaat sırasında erozyon kontrol önlemlerinin alınması, peyzaj ve yağmur suyu geri kazanım sistemlerinin bulunması binanın diğer sürdürülebilir özelliklerindendir (Barista ve diğerleri, 2012; Design Curial, 2012). Her bir konut ünitesi ısıtma ve soğutma için bireysel ısı pompasına sahiptir (Hopkins, 2014).

Öğrencilerin ve akademisyenlerin yaşam alanına ihtiyaç duyması, bu ihtiyacın hızlı karşılanması ve sürdürülebilirlik kriterlerine odaklanması nedeniyle modüler inşaat kullanılmıştır. 11.000 metrekarelik yurt yapısının inşaatına 2010 yılında başlanmıştır ve yapı 16,50 milyon dolara mal edilmiştir (Prefab Market, b. t.). Binanın zemin katı konvansiyonel yapım teknolojileri ile şantiye ortamında üretilmiş, zemin kat üzerindeki üç kat tamamen modüler prefabrikasyon teknolojisi ile üretilmiştir (WoodWORKS!, 2018). Modüler prefabrikasyon teknolojileri sayesinde inşaat dokuz aylık bir süre içerisinde tamamlanmış ve tamamen konvansiyonel teknolojiler ile üretilen aynı özelliklere sahip bir binaya göre inşaat süresinde bir yıl kazanç sağlanmıştır (WoodWORKS!, 2018). Üretim süresinin kısaltılması için ortalama 3.65 m. x 19.50 m. boyutuna sahip 3 m. yüksekliğinde hafif ahşap çerçeveler (Şekil 4.33) ve tuğla kaplama kullanılmıştır.



Şekil 4.32 Mountaineer yurt binası modül planı (Hopkins, 2014, sf. 129)



Şekil 4.33 Mountaineer Hall binasında kullanılan hafif ahşap çerçeve modüllerin şantiye ortamına taşınması ve montajı (Building Desing + Construction, 2012)

Yurt yapımında kullanılan modüller fabrika ortamında %80 oranında tamamlanmıştır. Modüllerin yapısal ahşap çerçeveleri, mekanik, elektrik ve sıhhi tesisatları, pencereleri ve kapıları, zemin ve duvar kaplamaları bitmiş halde şantiye ortamına nakledilmiştir. Dış cephede kullanılan tuğla kaplama ise modüller yerleştirildikten sonra yerinde yapılmıştır. Kampüs trafiğinin kesintiye uğratılmadan modülleri sahaya nakleden ve fabrika ortamında denetimli üretim ile yapımda güvenlik sorunlarını çözen Hunter Saak Modular şirketi, modüllerin üretimini ve şantiye ortamına nakledilmesini sadece 30 günde gerçekleştirmiştir (Barista ve diğerleri, 2012). Fabrikada hazırlanan modüller, şantiye ortamından iki mil uzaklıkta bulunan hazırlama alanından kurulum için şantiye ortamına nakledilmiştir.

4.10 Van Dusen Botanik Bahçesi - Ziyaretçi Merkezi

Yapım Yeri: Vancouver, Kanada

Tasarım: Perkins + Will

Yapım Yılı: 2011

Kullanılan Malzeme: Ahşap

Yapım Teknolojisi: Prefabrikasyon



Şekil 4.34 Van Dusen Botanik Bahçesi Ziyaretçi Merkezi, Vancouver, Kanada (Ahmed, 2012)

Van Dusen Botanik Bahçesi Ziyaretçi Merkezi (Şekil 4.34), Perkins+Will mimarlık şirketi tarafından 2011 yılında tasarlanmıştır. Ziyaretçi merkezinin tasarımında organik formlardan esinlenilmiştir. Tasarım aşamasında görsel ve ekolojik olarak mimari ve peyzaj arasında uyum kurmak amaçlanmıştır (Green Roofs, 2018). Botanik bahçesinin güneydoğu köşesinde yer alan ve 1765 m² alana sahip olan Ziyaretçi Merkezi kafe, kütüphane, çalışma tesisleri, dükkan, ofis ve sınıflar içermektedir. Dinamik tek katlı yapı, metaforik olarak dalgalanan yaprakları temsil eden prefabrik bir çatı formuna sahiptir (Keegan, 2012).

Çatı bölümü, konik ve yayvan kirişler tarafından oluşturulan ikizkenar yamuk panellerden meydana gelmektedir. Çatıda kullanılan bu panellerin en uzunları 20 metre olmakla beraber yaklaşık 5.5 ton ağırlığındadır (Wood WORKS!, 2018). Tavan kirişlerinin değişen yükseklikleri ve profil boyutları tavan formunda

dalgalanma yaratılmasını sağlamaktadır. Büyük çatı panelleri fabrika ortamında üretilmiştir.

Sürdürülebilir özellikleri ile LEED Platinum sertifikasına sahip Ziyaretçi Merkezi, tasarım aşamasında alınan kararlar doğrultusunda LEED Platinum seviyesini aşacak şekilde geliştirilmiştir (Keegan, 2012). Bina, Kanada bölgesinde ilk "Living Building Certification" alan yapı olmuştur (Green Roofs, 2018). Bunun yanı sıra net-sıfır enerji seviyesine ulaşan binada yenilenebilir kaynaklar kullanılmıştır. Prefabrik yeşil çatı yüzeyinde bulunan fotovoltaik paneller elektrik üretmektedir. Yağmur suyu depolama sistemleri ve gri su filtreleme sistemleri ile yapıda su tasarrufu sağlanmıştır. Binanın ihtiyaç duyduğu sıcak su, kuru odun atıkları kullanılan biyokütle kazanı tarafından sağlanmaktadır. Binada kullanılan suyun tamamı geri dönüştürülmüş sulardan sağlanmaktadır. Yapının çatısında bulunan dairesel merkez, sıcak havayı tahliye eden güneş bacası olarak hizmet etmektedir.

Çatı panellerinin prefabrik olarak üretilmesi (Şekil 4.35), inşaat süreçlerinin optimize edilmesine ve teslim tarihinin belirlenerek inşaatın konvansiyonel yöntemlere göre daha kısa sürede teslim edilmesine olanak sağlamıştır (Wood WORKS!, 2018). Prefabrik olarak üretilen paneller tavan ve üst eşikleri tamamlanmış olarak teslim edilmiştir (Şekil 4.36). Ahşap malzeme kullanılarak üretilen çatı panelleri ve kirişlerin fabrika ortamında üretilmesi minimum atık oluşmasına katkıda bulunmuştur. Paneller şantiye ortamına getirildikten sonra izolasyon, buhar bariyeri, kontrplak ve membran yüzeyleri panel mafsalları üzerine yerleştirilmiştir (Wood WORKS!, 2018).



Şekil 4.35 Fabrika ortamında üretilen prefabrik çatı panelleri (Structure Craft, 2018)



Şekil 4.36 Prefabrik çatı panellerinin vinç yardımıyla yerleştirilmesi (Structure Craft, 2018)

4.11 Prefabrikasyon Yapım Teknolojileri ile Üretilen Yeşil Binaların Karşılaştırılması

Tez kapsamında yeşil binaların incelenmesi bölümünde ele alınan toplam on adet yeşil binanın incelenmesi sonucunda elde edilen bulgular bu bölümde verilmektedir. Çalışma kapsamında incelenen yeşil binalar ve özellikleri Tablo 4.1' de sunulmaktadır. İncelenen örneklerden Rauch konutu ve Van Dusen botanik bahçesi binası panel prefabrikasyon teknolojileriyle yapılmıştır. İncelenen Radauti' de bulunan ofis binası, Soma Modüler apartmanı, Barrie okulu, Beachaus I konut binası, Centennial yurt binası, High Tech lisesi, Bölgesel Çevresel Araştırma Merkezi binası ve Mountaineer yurt binası örnekleri ise modüler prefabrikasyon teknolojileri kullanılarak yapılmıştır. İncelenen binalardan dört tanesi LEED Platinum sertifikasına (Soma Modüler Apartmanı, Barrie okulu, Beachaus I konut yapısı ve Van Dusen ziyaretçi merkezi), üç tanesi LEED Gold sertifikasına (Centennial yurt binası, High Tech lisesi ve Bölgesel Çevresel Araştırma Merkezi) ve bir tanesi ise LEED Silver sertifikasına (Mountaineer yurt binası) sahiptir. Egger firması ofis binası Alman sertifika sistemi olan DGNB Gold sertifikasına sahiptir. Rauch Konutu herhangi bir yeşil bina sertifikasına sahip değildir. İncelenen binaların ortak özellikleri yeşil bina kriterlerine sahip olması ve yapımında prefabrikasyon teknolojilerinin kullanılmasıdır. Bu binaların bir tanesi Avusturya, bir tanesi Romanya, beş tanesi Amerika, iki tanesi İngiltere ve bir tanesi Kanada' da bulunmaktadır. Bu binalardan iki adedi panel sistem olarak diğerleri ise modüler olarak üretilmiştir. Malzeme açısından bakıldığında ise bu binaların çoğunluğunda ahşap ve çeliğin kullanıldığı fark edilmektedir.

İncelenen yeşil binalarda prefabrikasyon yapım teknolojisinin sürdürülebilirliğe katkıları açısından karşılaştırılması Tablo 4.2' de sunulmaktadır. İnceleme sonucunda belirlenen başlıca katkılar şunlardır: inşaat sırasında oluşan atığın azaltılması, çevresel etkilerin azaltılması, kalite kontrollü ve denetimli üretim koşullarının sağlanması ve ham madde israfının azaltılmasıdır.

Tablo 4.1 Tez çalışma kapsamında incelenen yeşil binalar ve özellikleri

Bina Adı										
Yapım Yılı	2008	2010	2013	2017	2012	2011	2009	2013	2017	2017
Kullanılan Yapı Teknolojisi	Perforasyon (Panel)	Perforasyon (Panel)	Perforasyon (Panel)	Perforasyon (Panel)	Perforasyon (Panel)	Perforasyon (Panel)	Perforasyon (Panel)	Perforasyon (Panel)	Perforasyon (Panel)	Perforasyon (Panel)
Malzeme	Taştık	Alüminyum, Çelik	Alüminyum	Alüminyum, Çelik	Alüminyum, Çelik	Alüminyum, Çelik	Çelik	Alüminyum, Çelik	Alüminyum, Taştık	Alüminyum, Çelik
Akışın Sertifikası	—	LEED Gold	LEED Platinum	LEED Platinum	LEED Platinum	LEED Gold	LEED Gold	LEED Gold	LEED Silver	LEED Platinum
Yeşil Özellikleri	- Çatı bitümlenmesiyle suyun toplanması - Çatı bitümlenmesi ve bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi	- Çatı bitümlenmesiyle suyun toplanması - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi	- Çatı bitümlenmesiyle suyun toplanması - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi	- Çatı bitümlenmesiyle suyun toplanması - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi	- Çatı bitümlenmesiyle suyun toplanması - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi	- Çatı bitümlenmesiyle suyun toplanması - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi	- Çatı bitümlenmesiyle suyun toplanması - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi	- Çatı bitümlenmesiyle suyun toplanması - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi	- Çatı bitümlenmesiyle suyun toplanması - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi	- Çatı bitümlenmesiyle suyun toplanması - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi - Çatı bitümlenmesi

Tablo 4.2 Tez çalışma kapsamında incelenen yeşil binaların prefabrikasyon yapım teknolojisi, malzeme ve sürdürülebilirliğe katkıları açısından karşılaştırılması

No	Binalar	Prefabrikasyon Yapım Teknolojisi			Malzeme				Prefabrikasyonun Sürdürülebilirliğe Katkıları
		İskelet	Panel	Modüler	Toprak	Ahşap	Çelik	Tuğla	
1	Rauch Konutu		✓		✓				- İnşaat atığının azaltılması - Fabrika ortamında kalite kontrollü üretim
2	Egger Ofis Binası			✓		✓	✓		- Kalite kontrollü üretim - Çevresel etkilerin azaltılması -Atık yönetimi -Değişen ihtiyaçlara göre modül eklenebilmesi
3	SoMa Modüler Apartmanı			✓		✓			-Denetimli üretim ile atık miktarının azaltılması -Çevreye verilen zararın azaltılması
4	Barrie Okulu			✓		✓	✓		-Atığın azaltılması -Çevresel etkilerin azaltılması -Fabrikada üretim ile kalite kontrol standartları
5	Beachhaus I			✓		✓	✓		-İnşaat atığının azaltılması -Fabrika ortamında hızlı ve denetimli üretim ile kalite kontrol sağlanması
6	Centennial Yurt Binası			✓		✓			-İnşaat atığının önemli ölçüde azaltılması -Ham madde israfının azaltılması -Çevresel etkilerin azaltılması
7	High Tech Lisesi			✓			✓		-İnşaat atığının azaltılması -Kalite kontrollü üretim ile inşaat kalitesinin artması -Geri dönüştürülebilir veya başka binada kullanılabilen modüller
8	Bölgesel Çevresel Araştırma Merkezi			✓		✓	✓		-Modüler prefabrikasyon sayesinde inşaat atığının azaltılması -Fabrika ortamında üretim ve montaj ile çevresel etkilerin azaltılması
9	Mountaineer Yurt Binası			✓		✓		✓	-Fabrika ortamında denetimli üretim -Çevresel etkilerin azaltılması -İnşaat süresinde kısalma
10	Van Dusen Ziyaretçi Merkezi		✓			✓	✓		-İnşaat süreçlerinin optimize edilmesi -Fabrika ortamında kontrollü üretim ile minimum atık oluşması -Çevresel etkilerin azaltılması

BÖLÜM BEŞ

SONUÇ

Tez çalışmasında, binalarda sürdürülebilirliğin sağlanmasında yapım teknolojilerinin önemine dikkat çekmek amacıyla yeşil bina projelerinde ileri yapım teknolojilerinin kullanımına yönelik bilimsel literatüre dayanan bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, yeşil bina, yapım sistemleri, ileri yapım teknolojileri ve prefabrikasyon yapım teknolojilerine ilişkin teorik bilgi verilmiştir. Araştırma sürecinde yeşil bina uygulamalarının çoğunlukla ileri yapım teknolojilerinin ilk gelişim aşamalarından olan prefabrikasyon yapım teknolojileri ile gerçekleştirildiği fark edilmiştir. Bu nedenle, çalışmada prefabrikasyon yapım teknolojilerinin sürdürülebilirliğe olan katkılarının ortaya çıkarılması amacıyla on adet yeşil bina incelenmiştir ve bu incelenen binalar yeşil özelliklerine ve yapım teknolojilerine göre karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen ve karşılaştırılması yapılan on adet yeşil bina örneğinde prefabrikasyon yapım teknolojilerinin sürdürülebilirliğe olan potansiyel katkıları ortaya çıkarılmış ve Tablo 4.2’ de sunulmuştur. Çalışmanın sonucunda yeşil bina yapımında prefabrikasyon teknolojilerinin kullanımının sürdürülebilirliğe sağladığı potansiyel katkılar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Denetimli üretim ile yapım sırasında oluşan atık miktarı önemli ölçüde azaltılabilmekte ve oluşan atığın geri dönüştürülebilme potansiyeli fabrika ortamında arttırılabilmektedir,
- Yapım sırasında oluşan olumsuz çevresel etkiler azaltılabilmektedir,
- Doğal yapı malzemeleri prefabrikasyon teknolojileri ile uygulanabilmektedir,
- Değişen fonksiyonel ihtiyaçlara göre bina üzerinde yıkım işlemi yapılmadan modül eklenebilmektedir,
- Bina ömrü tamamlandığında prefabrik olarak üretilen modül veya panel yapı bileşenleri başka bir bina yapımında kullanılabilmektedir,
- Fabrika ortamında kalite kontrollü üretim ile bina üretim kalitesi arttırılabilmektedir,
- Kullanılan ham madde miktarı ve malzeme israfı azaltılabilmektedir,

- Fabrika ortamında güvenli üretim koşulları ve makine kullanımı ile işçilik ve yapım hataları azaltılabilmektedir,
- Kullanılacak olan malzemelerin boyutları ve miktarının kesin olarak belirlenmesi ile yapım süresi kısaltılabilmektedir.

Yeşil bina projelerinin planlama ve ön tasarım aşamalarında yapım teknolojisi, malzeme ve alt sistemlere ilişkin karar verme sürecinde enerji verimliliği, yapım ve yıkım aşamasında oluşacak atık ve çevresel etkiler gibi kriterlerin dikkate alınması sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, yeşil bina yapımında prefabrikasyon teknolojilerinin kullanımı sürdürülebilirlik kriterlerinin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Yapım teknolojilerinin gelişim sürecine binalarda sürdürülebilirliğin sağlanması açısından bakıldığında, yeşil bina projelerinin gerçekleştirilmesinde prefabrikasyon yapım teknolojilerinin kullanımı önem kazanmaktadır. Ülkemizde de binaların tasarım ve yapım sürecinin sürdürülebilirlik odaklı gerçekleştirilebilmesi için öncelikle yeşil bina projelerinde prefabrikasyon yapım teknolojilerinin katkılarının iyi anlaşılması ve kullanımına olanak sağlayabilecek çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında belirlenen prefabrikasyon yapım teknolojilerinin binaların sürdürülebilirliğine katkıları dikkate alındığında gelecekte yapılabilecek bilimsel çalışmalar için öneriler ise şunlardır: Modüler prefabrikasyon teknolojisi ile yapımı gerçekleştirilen binaların gerçek verilere dayalı çevresel etki analizlerinin yapılması, bu tip teknolojilerin yeşil bina projelerinde tercih edilmesinde yönlendirici olmada kanıt oluşturulması bakımından etkili olabilir; prefabrikasyon yapım teknolojilerinin yeşil binalarda kullanılmasını yaygınlaştırmak amacıyla maliyet analiz çalışmaları yapılabilir ve yaşam döngü maliyetlerinin azaltılmasına etkileri analiz edilebilir; prefabrikasyon yapım teknolojilerinde doğal yapı malzemelerinin kullanımına olanak tanıyabilecek yenilikçi yaklaşımlar araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Acar, M.Ş., (2006), Türkiye’de Beton Prefabrikasyonun Tarihçesi, *Türkiye Prefabrik Birliği*, İstanbul.
- Akısan, L.,(1984). *Prefabrikasyonun gelişmesinde karşılaşılan engeller*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ahmed, R. (2012). *VanDusen Botanical Garden Visitor Centre | Perkins+Will*. 10 Haziran 2014, <https://www.arch2o.com/vandusen-botanical-garden-visitor-centre-perkinswill/>.
- AIA (2011). *High Tech High Chula Vista*. 11 Haziran 2018, <http://www.aiatopten.org/node/462>.
- Anbarcı, M., Giran, Ö. ve Demir, H. İ. (2012). Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ile Türkiye'deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 7(1): 368-373.
- Appalachian Political Ecology Project. (2018). *Appalachian Political Ecology Project*. 2 Haziran 2018, <https://appstateresidencehalls.weebly.com/>.
- ArchDaily. (2011). *High Tech High Chula Vista / Studio E Architects*. 11 Haziran 2018, <https://www.archdaily.com/130879/high-tech-high-chula-vista-studio-e-architects>.
- Architonic. (b.t.). *Rammed earth house, Rauch family home by Boltshauser Architekten | Detached houses*. 15 Haziran 2018, <https://www.architonic.com/en/project/boltshauser-architekten-rammed-earth-house-rauch-family-home/5100620>.

Arslan, C. N. (2015). *Yeşil Bina Projelerinde Tasarım Süreci İçin Bir Yaklaşım: LEED V4 Sertifikalandırma Süreci Modeli*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

ASU News (2012). *Mountaineer Hall receives LEED® gold certification*. 15 Haziran 2018, <http://newsarchive.appstate.edu/2012/03/06/leed%C2%AE-gold-certification-2/>.

Ayazoğlu, İ., (2003), *Prefabrike panel sistemlerle konut üretiminde mimari tasarım sorunları*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Baghchesaraei, A. ve Baghchesaraei, O. R. (2015), Using prefabrication systems in building construction. *International Journal of Applied Engineering Research* 10(24), 44258-44262.

Barista, D., Cassidy, R., Caulfield, J. ve Malone, D. (2012). *Modular, LEED-Gold Certified Dormitory Accommodates Appalachian State University Growth*. 11 Haziran 2018, <https://www.bdcnetwork.com/modular-leed-gold-certified-dormitory-accommodates-appalachian-state-university-growth>.

Bemis, A., (1936), *A. Rational Design*, Massachusetts: Technology Press.

Bevk, A. (2012). *SoMa Studios Go Tiny and Prefab*. 11 Haziran 2018, <https://sf.curbed.com/2012/9/7/10331578/soma-studios-go-tiny-and-prefab>.

Bildsten, L. (2011). Exploring the opportunities and barriers of using prefabricated house components. *19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Peru, 1-10.

Blismas, N., ve Wakefield, R. (2009). Drivers, constraints and the future of offsite manufacture in Australia. *Construction Innovation: Information, Process, Management*, 9(1), 72-83.

- Boafo, F., Kim, J.H. ve Kim, J.T. (2016). Performance of modular prefabricated architecture: case study-based review and future pathways. *Sustainability*, 8(6), 558.
- Bock, T. (2015). The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. *Automation in Construction*, 59, 113-121.
- Bora, A. (2012) *Yeşil Binaların Proje Yönetimi Üzerine Bir İnceleme*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bozdoğan, B., (2003). *Mimari Tasarım Ve Ekoloji*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Brinklow, A. (2016). *Developer proposes 200 tiny prefab homes that fit together like LEGO*. 20 Haziran 2018, <https://sf.curbed.com/2016/8/5/12389646/prefab-modular-micropad-panoramic-sf>.
- Building Design + Construction. (2012). *Modular, LEED-Gold Certified Dormitory Accommodates Appalachian State University Growth*. 16 Haziran 2018, <https://www.bdcnetwork.com/modular-leed-gold-certified-dormitory-accommodates-appalachian-state-university-growth>.
- Casa-prefabbricata.net. (2018). *Costruire la propria casa in totale relax grazie al metodo della prefabbricazione si pu*. 25 Haziran 2018, <http://casa-prefabbricata.net/hp18014/Costruire-la-propria-casa-in-totale-relax-grazie-al-metodo-della-prefabbricazione-si-pu.htm>.
- Chen, Y., Okudan, G. ve Riley, D. (2010). Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. *Automation in Construction*, 19(2), 235-244.

Cidark (2016). *About the Prefabrication Concept: Le Corbusier*. 15 Mayıs 2018, <http://www.cidark.com/about-the-prefabrication-concept-le-corbusier/>.

ÇEDBİK, (2014). *Yeşil Bina*. 20 Mayıs 2018, <https://cedbik.org/tr/yesil-bina-7-pg>.

Çelik, F., (2009), *Yeşil bina sertifika sistemlerinin incelenmesi Türkiye'de uygulanabilirliklerinin değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

DesignCurial. (2012). *Appalachian State University's Mountaineer Hall receives LEED Gold - DesignCurial*. 10 Haziran 2018, <http://www.designcurial.com/news/appalachian-state-university-s-mountaineer-hall-receives-leed-gold>.

Egger.com. (2016). *Concept house - refugee housing project | EGGER*. 30 Haziran 2018, https://www.egger.com/shop/en_SE/inspiration/concept-house.

Egger. (2018). *Administrative building Radauti*. 30 Haziran 2018, https://www.egger.com/shop/en_AZ/inspiration/administrative-building-radauti.

Erdede, B., Bektaş, S. (2014) Ekolojik açıdan sürdürülebilir taşınmaz geliştirme ve yeşil bina sertifika sistemleri. *Electronic Journal of Map Technologies*, 6(1): 1-12.

Erten, D.(2011), *Yeşil Binalar, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları V*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye.

Erturan, B., Eren, Ö., (2012), Modüler yapım tekniği ile bina etkinliğini ve verimliliğini geliştirme yaklaşımının değerlendirilmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy*. 7(4), 677-695.

ESF Communications. (2011). *Centennial Hall Earns LEED Gold Certification*. 2 Haziran 2018, <https://www.esf.edu/communications/view.asp?newsID=1383>.

Eşiyok, Ü., (2000), *Konut üretiminde prefabrikasyona bağlı teknolojiler*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Everett, J. ve Slocum, A. (1994). Automation and Robotics Opportunities: Construction versus Manufacturing. *Journal of Construction Engineering and Management*, 120(2), 443-452.

FirstFloor. (2018). *Mountaineer Hall, Appalachian State University* | FirstFloor. 11 Haziran 2018, <https://www.firstfloor.biz/portfolio-item/mountaineer-hall-appalachian-state-university/>.

Flansburgh Architects (2018). *Barrie School* | Flansburgh Architects. 11 Haziran 2018, <http://flansburgh.com/portfolio/barrie-school/>.

Francis, S. (2016). *construction robots ERO*. 20 Haziran 2018, <https://roboticsandautomationnews.com/construction-robots-ero/>.

Gangal, S. (2012). *Beachaus I in White Rock, Canada by InHaus Development Ltd.*. 11 Haziran 2018, <https://www10.aecafe.com/blogs/arch-showcase/2012/09/18/beachaus-i-in-semiahmoo-bay-canada-by-inhaus-development-ltd/>.

Gen7 Schools, (2013). *Gen7 Schools*. 15 Haziran 2018, <https://www.facebook.com/Gen7Schools/photos/a.258623510857854.74409.132116500175223/532935676759968/?type=3&theater>.

Gen7 Schools. (2014). *Regional Environmental Studies Center - Gen7 Schools*. 15 Haziran 2018, <https://www.gen7schools.com/projects/regional-environmental-studies-center/>.

Gorgolewski, M. T., (2004), Prefabrication and sustainability in UK housing. *Thermal performance of the exterior envelopes of whole buildings IX international conference, buiding IX proceedings*, 1(1), 1-6.

Goulding, J., Rahimian, F. P., Arif, M., ve Sharp, M. (2012). Offsite construction: strategic priorities for shaping the future research agenda. *Architectoni. ca*, 1, 62-73.

Gökuç, Y. T., (2011), *Türkiye beton prefabrikasyon sektöründe teknolojik yenilik yeteneklerinin kurumsal performans etkisinin araştırılması*. Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gültekin, A. B., Bulut, B. (2015). Yeşil bina sertifika sistemleri: Türkiye için bir sistem önerisi. *2nd International sustainable building symposium*. Ankara, Türkiye.

Güven, E. G. (2010). *Mimari Tasarımda Ekoloji ve Sürdürülebilirlik Düşüncesi ve Bu Çerçeve Toplumsal Boyutun İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

Green, J. (2011). *LEED Gold Hall Built with 184 Modules*. 11 Haziran 2018, <http://www.jetsongreen.com/2011/12/centennial-leed-gold-modular-syracuse.html>.

Green Builder, (1999). *Construction waste*. 27 Haziran 2018, <http://infohouse.p2ric.org/ref/20/19122/ConstructionWaste.html>.

Greenroofs (2018). *Projects - VanDusen Botanical Garden Visitor Centre*. 27 Haziran 2018, <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1519>.

Green Technology. (2018). *ams - Green Technology*: 17 Haziran 2018, <https://www.green-technology.org/ss/ams/>.

- Halman, J. I. M., Voordijk, J. T., & Reymen, I. M. M. J. (2008). Modular Approaches in Dutch House Building: An Exploratory Survey. *Housing Studies*, 23(5), 781-799.
- Hampson, K. D., ve Brandon, P. (2004). Construction 2020-A Vision For Australia's Property And Construction Industry. *CRC Construction Innovation* Brisbane, Avustralya.
- HomeDSGN (2012). *Beachaus I by Pb Elemental*. 30 Haziran 2018, <https://www.homedsgn.com/2012/05/16/beachaus-i-by-pb-elemental-video/>.
- Howe, C. J. (2010). *Overview of Green Buildings*, 3-14.
- Howland, M. (2018). *ams - Green Technology*. 11 Haziran 2018, <https://www.green-technology.org/ss/ams/>.
- Inhabitat. (2014). *Über Green Environmental Studies Center Practices What it Preaches in California*. 20 Haziran 2018, <https://inhabitat.com/uber-green-environmental-studies-center-practices-what-it-preaches-in-california/>.
- Inhaus (2017). *Beachaus I – SOLD | InHaus Development Ltd. | Live Smart, Not Large*. 11 Haziran 2018, <http://inhausdevelopment.com/homes/current-projects>.
- İlbay, G., (1992), *Türkiye’de prefabrikasyon sanayi’nin yer seçim kararlarının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- İlter, D. ve İlter, T. (2011). An overview of green building practice in Turkey. In: *Management and Innovation for a Sustainable Built Environment*. Amsterdam. 25 Haziran 2018, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A%20e2bdfd9b-e4ac-4379-8a31-018461dc0394>.

- Jaillon, L. ve Poon, C. (2010). Design issues of using prefabrication in Hong Kong building construction. *Construction Management and Economics*, 28(10), 1025-1042.
- Kamali, M. ve Hewage, K. (2017). Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods. *Journal of Cleaner Production*, 142, sf. 3592-3606.
- Kamaruddin, S., Mohammad, M., Mahbub, R. ve Ahmad, K. (2013). Mechanisation and Automation of the IBS Construction Approach: A Malaysian Experience. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 105, 106-114.
- Keegan, E. (2012). *Van Dusen Botanical Garden Visitor Center*. 27 Haziran 2018, http://www.architectmagazine.com/design/buildings/vandusen-botanical-garden-visitor-centre_o.
- Kelly, J. (2018). *Modular construction gains traction as an alternative to traditional construction techniques* | *Memery Crystal*. 30 Haziran 2018, <https://www.memerycrystal.com/articles/modular-construction/>.
- Kibert, C.J. ve Grosskopf, K. (2007). *Radical sustainable construction: envisioning next-generation green buildings*, 20 Haziran 2018, <http://www.treeo.ufl.edu/rsc06/WhitePaper-RSC06.pdf>.
- Kibert, C. J. (2008). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*, (2. Baskı), Florida.
- Kim, D. (2008). *Preliminary life cycle analysis of modular and conventional housing in Benton Harbor, Michigan*. Yüksek Lisans Tezi, School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA.

Korkmaz, E. (b.t.). *Binalarda enerji performansı*. 1 Temmuz 2018, <http://www.atermit.com/Sayfalar/bep-tr>.

Köylüoğlu, M. A. ve Tezcan, S. S. (1997). *Prefabrike inşaat teknolojileri sempozyumu*: Haziran, İstanbul.

Kulaksızoğlu, E., (1973). *Mimarlık alanında çağdaş inşaat sistemleri gelişimi ve ilgili tasarım olanakları*, Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Lawson, R., Ogden, R. ve Bergin, R. (2012). Application of Modular Construction in High-Rise Buildings. *Journal of Architectural Engineering*, 18(2), 148-154.

Lehmtonerde.at. (2012). *Ricola Kräuterzentrum | Loam Clay Earth, Martin Rauch, Vorarlberg*. 20 Haziran 2018, <http://www.lehmtonerde.at/en/projects/project.php?pID=87>.

Lopez, D. & Froese, T. (2016). Analysis of costs and benefits of panelized and modular prefabricated homes. *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*. 1291-1297.

Lowney Architecture (2013). *38 Harriet Street SmartSpace*. 11 Haziran 2018, <http://lowneyarch.com/project/38-harriett-street-smart-space/>.

Luo, Y. , Riley, D.R. & Horman, M.J. (2005), Lean Principles for Prefabrication in Green Design-Build (GDB) Projects, *13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Sydney, Australia, 539-548.

Lubell, S. (2013). *Home Sweet Shoebox.*, 28 Haziran 2018, <https://archpaper.com/2013/01/home-sweet-shoebox/>.

Lucas Metal Works (2012). *What to look for when requesting a metal building quote*. 25 Haziran 2018, <http://lucasmetalworks.com/wp-content/uploads/2012/04/building01.png>.

Meinhold, B. (2012). *Pb Elemental's Beachaus I is a Smart LEED Platinum Prefab in British Columbia*. 11 Haziran 2018, <https://inhabitat.com/pb-elementals-beachaus-i-is-a-smart-leed-platinum-prefab-in-british-columbia/>.

Miesarch.com. (2018). *EUMiesAward*. 11 Haziran 2018, <http://miesarch.com/work/2329>.

Mihai (2012). *Beachaus I : LEED Platinum Prefab House by Pb Elemental*, 11 Haziran 2018, <https://freshome.com/2012/05/16/beachaus-i-leed-platinum-prefab-house-by-pb-elemental/>.

Modular Building Institute (2018). *LEED Urban Prefab SoMa*. 11 Haziran 2018, http://www.modular.org/HtmlPage.aspx?name=LEED_Urban_Prefab_SoMa.

Modular Building Institute (2018). *Barrie School*. 11 Haziran 2018, http://www.modular.org/HtmlPage.aspx?name=Barrie_School_MA.

Modular Genius. (2018). *Project of the Month*. 11 Haziran 2018, <http://www.modulargenius.com/Project-of-the-Month-Barrie-School.html>.

Mozaik Yazılım ve Bilişim Sistemleri. (2017). *BEP-TR Yazılım Programı 2. Versiyon Kullanım Klavuzu*. 1 Temmuz 2018, <http://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/ustmenu/ustmenu568.pdf>.

Na, L., (2007). *Investigation of the Designers' and General Contractors' Perceptions of Offsite Construction Techniques in the United States Construction Industry*. Doktora Tezi. Clemson University, Clemson.

Nadim, W., ve. Goulding, S. (2011) Offsite production: a model for building down barriers: A European construction industry perspective, *Engineering, Construction and Architectural Management*,18(1), 82-101.

Olgun, B., Kurtuluş, O., Heperkan, H. (2009). Yeşil Binalar ve LEED. *Mühendis ve Makina*, 50(594), 72-77.

Öğretmen,M.;Karahana,O.; Yalın,O.; İşçioğlu, Y., (2005) *İnşaat Sektöründe prefabrik yapıların üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve planlanması*, Bitirme Projesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Pachon, A. (2012). Construction Site Automation: guidelines for analyzing its feasibility, benefits and drawbacks. *Advanced Construction and Building Technology for Society*. Munich: Technische Universität München (TUM), 38-45.

PrefabMarket. (b. t.). *Coolest Modular Buildings to Explore in Street View*. 11 Haziran 2018, <http://www.prefabmarket.com/coolest-modular-buildings-street-view/>.

Ragheb, A., El-Shimy, H. ve Ragheb, G. (2016). Green Architecture: A Concept of Sustainability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 778-787.

Razin, A., (2007), *Simulation of industrialised building system formation for housing construction*, Yüksek Lisans Tezi, Universiti Teknologi Malaysia., İnşaat Mühendisliği Fakültesi, Malezya.

Reynolds, M. (11 Mayıs 2012). *LEED Platinum pre-fab homes*. 11 Haziran 2018, <https://www.ecohome.net/guides/1573/leed-platinum-prefab-homes-becoming-credible-players-in-the-high-end-housing-market/>.

Richard, R. (2005). Industrialised building systems: reproduction before automation and robotics. *Automation in Construction*, 14(4), 442-451.

Saidi, K. S., O'Brien, J. B., Lytle, A. M. (2008). Robotics in construction. *Handbook of Robotics* içinde (1079-1099). Berlin: Springer.

Saka, İ., (2011), *Sürdürülebilirlik Açısından İstanbul'da Bir Ofis Binasının Leed Sertifikalandırma Sistemi Kapsamında Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Schittich, C. ve Schoof, J. (2011). Office building in Radauti. *Detail Green*, 1868-3843, 30-35.

Senaratne, S., Ekanayake, S. D., & Siriwardena, M. (2010). Lean prefabrication: a sustainable approach. *Building a Better World: CIB 2010 World Congress Proceedings (CIB2010) Salford Quays, England*. 29 Haziran 2018, <http://www.disaster-resilience.net/cib2010/index.php>.

Sev, A., Canbay, N. (2009). Dünya Geneline Uygulanan Yeşil Bina Değerlendirme ve Sertifika Sistemleri, *Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji Eki*, 329, 42-47.

Signature Building Systems. (2018). *Centennial Hall - Student Housing Signature Building Systems | Custom Modular Home Manufacturer* 11 Haziran 2018, <http://signaturecustomhomes.com/centennial-hall/>.

Spangenberg, J. (2002). Environmental space and the prism of sustainability: frameworks for indicators measuring sustainable development. *Ecological Indicators*, 2(3), 295-309.

Steinhardt, D., Manley, K. and Miller, W. (2014). Reshaping housing using prefabricated systems. In: *World Sustainable Building Conference (SB14)*. Australia: Queensland University of Technology, 30-36.

StructureCraft Builders. (2018). *VanDusen Botanical Gardens Visitor Centre*. 20 Haziran 2018, <https://structurecraft.com/projects/vandusen-botanical-gardens-visitor-centre>.

SUNY - ESF Communications. (2011). *ESF's First Residence Hall Ready for Students*. 11 Haziran 2018, <http://www.esf.edu/communications/view.asp?newsID=1108>.

Şentürer, A., (1983), *Endüstrileşmenin bina alanında gelişimi ve Türkiye'nin geçiş dönemi teknolojileri üzerine bir inceleme*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Toka, F., (2003), *Türkiye'deki kalıcı prefabrike konut sistemlerinin örnek bazında analizi ve değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Tokat, U. M. (2010). *Küreselleşme Sürecinde Ekoloji ve Sürdürülebilirlik Kavramlarına Yaklaşım ve Mimarlık Alanındaki Yansımaları*. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

Toprak, Z., (2002), *Prefabrike sanayi yapılarının deprem etkisine göre değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Türkçü, Ç. (1988). *Endüstrileşmiş yapı konut sorunu açısından irdelenmesi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Basım Ünitesi.

Türker, M. (2010). *Green building rating systems: An Assessment for Turkey and the case of Erzurum Shopping Center – the first BREEAM Certified Building of Turkey*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Uğur, O. L., Leblebici, N. (2015). Yeşil Bina Sertifikalandırma Sistemlerinin İnşaat Maliyetleri ve Taşınmaz Değeri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 3: 544-576.

Uncrate. (2018). *Husqvarna DXR 310 Demolition Robot*. 25 Haziran 2018, <https://uncrate.com/husqvarna-dxr-310-demolition-robot/>.

USGBC, (2018). *LEED v4.1*. 10 Haziran 2018, <https://new.usgbc.org/leed-v41>.

Vähä, P., Heikkilä, T., Kilpeläinen, P., Järviluoma, M. ve Gambao, E. (2013). Extending automation of building construction — Survey on potential sensor technologies and robotic applications. *Automation in Construction*, 36, 168-178.

Zuo, J. ve Zhao, Z. (2014). Green building research—current status and future Sustainability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 778-787.

Wood WORKS!. (2014), 20 Haziran 2018, <http://cwc.ca/wp-content/uploads/publications-casestudy-VanDusen.pdf>.

Walter, A. (2014). *Urban Land Institute releases new report about the role of Micro Units*. 22 Haziran 2018, <https://archinect.com/news/article/116274455/urban-land-institute-releases-new-report-about-the-role-of-micro-units>.