

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPIDA KULLANILAN MALZEMENİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK
KAPSAMINDA OLUŞUM ENERJİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar İlker ERDOĞMUŞ

Anabilim Dalı: Mimarlık

Programı: Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi

MAYIS 2005

**YAPIDA KULLANILAN MALZEMENİN
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA OLUŞUM
ENERJİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mim. İlker ERDOĞMUŞ
(502021369)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Haziran 2005**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Nihal ARIOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Erol GÜRDAL (İ. T. Ü.)
Doç. Dr. Leyla TANAÇAN (İ.T.Ü.)**

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyip, yaptığım çalışmalarımın sonuca ulaşmasında büyük rolü olan Sayın danışmanım Doç. Dr. Nihal ARIOĞLU ' na,

Maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme, teşekkür ederim.

İlker ERDOĞMUŞ

Mayıs, 2005

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Ekolojik Olarak Sürdürülebilir Gelişme	3
1.2. Sürdürülebilir Mimarlıkta Enerji Faktörü ve Oluşum Enerjisi İlişkisi	4
1.3. Konu Alanında Yapılan Araştırmalar	5
1.4. Amaç ve Kapsam	7
1.5. Sonuçlar	9
2. MALZEMELERİN OLUŞUM ENERJİSİ KAVRAMI	11
2.1. Malzemenin Oluşum Enerjisi	11
2.2. Oluşum Enerjisinin Hesaplanması	14
2.3. Oluşum Enerjisini Etkileyen Faktörler	15
2.3.1. Oluşum Enerjisi ve Geri Dönüşüm	15
2.3.1. Oluşum Enerjisi ve Süreç	16
2.3.3. Oluşum Enerjisi ve Nakliye	16
2.3.4. Oluşum Enerjisi ve Zaman	17
2.4. Oluşum Enerjisini Hesaplama Yöntemlerinin Kalitesi ve Güvenilirliği	17
2.5. Oluşum Enerjisi ve Enerji Geri Ödeme	19
2.6. Oluşum Enerjisinin Azaltılma Yöntemleri	20
2.7. Sürdürülebilirlik Kapsamında Yapı Malzemelerinin Oluşum Enerjisi Düzeyleri	20
2.7.1. Çok Yüksek ve Yüksek Düzeyli Enerjili Malzemeler	20
2.7.2. Orta Düzeyli Enerjili Malzemeler	21
2.7.3. Düşük Düzeyli Enerjili Malzemeler	21
2.8. Sürdürülebilirlik Kapsamında Yapıda Kullanılan Malzemelerin Oluşum Enerjisi Analizleri	22
2.8.1. Portland Çimentosu	22
2.8.2. Kireç	24
2.8.3. Alçı Sıva	25

2.8.4. Metaller	26
2.8.5. Tuğla ve Kiremit	26
2.8.6. Kum ve Bina Taşı	29
2.8.7. Cam	30
2.8.8. Beton	31
2.8.9. Ahşap	33
2.8.10. Isı Yalıtım Malzemeleri	35
2.8.10.1. Sert Köpük Yalıtımlar	37
2.8.10.2. Mineral Köpük Yalıtımlar	38
2.8.10.3. Selülozlar	38
2.8.11. Komposit Levhalar	40
2.8.12. Kapı ve Pencereleler	43
2.8.13. Boya ve Vernikler	46
2.8.14. Döşeme Kaplamaları	47
2.9. Sonuçlar	49
3. SÜRDÜRÜLEBİLİR GELİŞME VE OLUŞUM ENERJİSİ GÖZ	
ÖNÜNE ALINARAK YAPILAN ÖRNEKLERİN İNCELENMESİ	50
3.1. Friendly Plaj Pansiyonu	51
3.1.1. Tasarım Kararları	51
3.1.2. Yapı ve Oluşum Enerji	52
3.1.3. İşletme Enerji İhtiyaçları	54
3.2. Dağ Evi	54
3.2.1. Tasarım Kararları	54
3.2.2. Yapı ve Oluşum Enerji	55
3.2.3. İşletme Enerji İhtiyaçları	57
3.3. Tatil Evi	57
3.3.1. Tasarım Kararları	57
3.3.2. Yapı ve Oluşum Enerji	58
3.3.3. İşletme Enerji İhtiyaçları	59
3.4. Peake Serisi Modüler Kit Evi	60
3.4.1. Tasarım Kararları	60
3.4.2. Yapı ve Oluşum Enerji	62
3.4.3. İşletme Enerji İhtiyaçları	63
3.5. ACF(Australian Conservation Foundation) Yeşil Evi	64
3.5.1. Tasarım Kararları	64
3.5.2. Yapı ve Oluşum Enerji	65
3.5.3. İşletme Enerji İhtiyaçları	67
3.6. Gösteri Proje Evi	68

3.6.1. Tasarım Kararları	68
3.6.2. Yapı ve Oluşum Enerji	68
3.6.3. İşletme Enerji İhtiyaçları	70
3.7. Karşılaştırmalar ve Sonuçlar	71
4. UYGULAMA ÖRNEĞİ: VİLLA TİPİ BİR YAPININ OLUŞUM	
ENERJİSİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN İNCELENMESİ	76
4.1. Seçim Gerekçesi	76
4.2. Seçilen Konutun Malzeme Analizi	81
4.3. Seçilen Konut İçin Malzeme Alternatiflerinin Oluşturulması	91
4.3.1. Oluşum Enerjisi Yüksek Alternatif	91
4.3.2. Oluşum Enerjisi Düşük Alternatif	93
4.4. Alternatiflerin Karşılaştırılması ve Sonuçları	96
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	102
EKLER	105
ÖZGEÇMİŞ	116

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1	Dünya malzeme üretimindeki artış, 1960-1995 1
Tablo 2.1	Genel yapı malzemelerinin oluşum enerjileri 11
Tablo 2.2	Yalıtım malzemeleri için oluşum enerjisi geri ödeme zamanları 19
Tablo 2.3	Yapı malzemelerinin karşılaştırmalı oluşum enerjisi miktarları 21
Tablo 2.4	Çimento üretimi için oluşum enerjisi miktarları 22
Tablo 2.5	Harç katkıları için sürdürülebilirlik miktarları 24
Tablo 2.6	Kireç üretimi için oluşum enerjisi miktarları 25
Tablo 2.7	Alçı sıva üretimi için oluşum enerjisi miktarları 25
Tablo 2.8	Metal malzemelerin üretimi için oluşum enerjisi miktarları 26
Tablo 2.9	Tuğla ve kiremit üretimi için oluşum enerjisi miktarları 27
Tablo 2.10	Tuğla, beton bloklar ve harç katkıları için sürdürülebilirlik değerlendirmesi 28
Tablo 2.11	Kum ve bina taşı üretimi için oluşum enerjisi miktarları 29
Tablo 2.12	Taş için sürdürülebilirlik değerlendirmesi 30
Tablo 2.13	Cam üretimi için oluşum enerjisi miktarları 30
Tablo 2.14	Beton blok üretimi için oluşum enerjisi miktarları 31
Tablo 2.15	Tuğla, beton bloklar ve harç katkıları için sürdürülebilirlik değerlendirmesi 33
Tablo 2.16	Ahşap üretimi için oluşum enerjisi miktarları 34
Tablo 2.17	Yapı malzemeleri için yaklaşık enerji miktarları 34
Tablo 2.18	Karşılaştırmalı oluşum enerjisi değerleri 35
Tablo 2.19	Yalıtım malzemeleri ısı yalıtım değerleri 35
Tablo 2.20	Yalıtım malzemeleri için sürdürülebilirlik değerlendirmesi 36
Tablo 2.21	Isı yalıtım malzemeleri üretimi için oluşum enerjisi miktarları 39
Tablo 2.22	Levhalar için sürdürülebilirlik değerlendirmesi 41
Tablo 2.23	Çerçeve ve kullanılan boyalar için sürdürülebilirlik değerlendirmesi 45
Tablo 2.24	Boyalar için sürdürülebilirlik değerlendirilmesi 46
Tablo 2.25	Halı ve döşeme kaplamaları için sürdürülebilirlik değerlendirmesi 48
Tablo 3.1	Friendly Plaj Pansiyonu oluşum enerjisi değerleri 53
Tablo 3.2	Dağ Evi için oluşum enerjisi değerleri 56
Tablo 3.3	Tatil Evi için oluşum enerjisi değerleri 59
Tablo 3.4	Peake Serisi Modüler Kit Evi için oluşum enerjisi değerleri 63
Tablo 3.5	ACF (Australian Conservation Foundation) Yeşil Evi için oluşum enerjisi değerleri 67
Tablo 3.6	Gösteri Proje Evi için oluşum enerjisi değerleri 70
Tablo 3.7	Örnek konutların karşılaştırmalı oluşum enerjileri değerleri 72
Tablo 4.1	Ele alınan konutun (Villa), betonarme iskeletli sistemi için malzeme analiz tablosu 82
Tablo 4.2	Örnek villa betonarme taşıyıcı iskeletli sistem alternatif-1 için malzeme analiz tablosu 92
Tablo 4.3	Örnek villa betonarme taşıyıcı iskeletli sistem alternatif-2 için malzeme analiz tablosu 94
Tablo A.1	Döşeme malzeme kesitleri için oluşum enerjileri 105

Tablo A.2	Duvar malzeme kesitleri için oluşum enerjileri	107
Tablo A.3	Çatı malzeme kesitleri için oluşum enerjileri	113

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 Dünya yapı malzemeleri üretimi 1963-1995	2
Şekil 1.2 Farklı yapı sistemlerinin sürdürülebilirlik kıyaslanması	5
Şekil 1.3 Üç tip konutun oluşum enerjileri ve kullanım enerjileri kıyaslaması	7
Şekil 1.4 Malzeme hayat dönüşüm evreleri	8
Şekil 2.1 Ayırık bir konut malzemeleri için yaklaşık toplam oluşum enerjileri grafiği	12
Şekil 3.1 Friendly Plaj Pansiyonu, kesit ve genel kullanımı, iç/dış ilişkisini gösteren kat planı	52
Şekil 3.2 Dağ Evi: Giriş, birinci kat ve kesit	55
Şekil 3.3 Tatil Evi kat planı ve görünüş	58
Şekil 3.4 Peake Serisi Modüler Kit Evi kat planı ve görünüşler	61
Şekil 3.5 Peake Serisi Modüler Kit Evi için tasarlanan modüler sistem	62
Şekil 3.6 ACF (Australian Conservation Foundation) Yeşil Evi için vaziyet planı	65
Şekil 3.7 ACF (Australian Conservation Foundation) Yeşil Ev için kat planları ve kesit	66
Şekil 3.8 Gösteri Proje Evi için kat planı ve kesit	69
Şekil 3.9 Analiz edilen hafta sonu evleri için karşılaştırmalı toplam oluşum enerjisi tablosu	71
Şekil 3.10 Analiz edilen hafta sonu evleri için yapı elemanları karşılaştırmalı oluşum enerjisi tablosu	73
Şekil 4.1 Örnek villa bodrum kat planı	77
Şekil 4.2 Örnek villa giriş kat planı	77
Şekil 4.3 Örnek villa birinci kat planı	78
Şekil 4.4 Örnek villa çatı katı planı	78
Şekil 4.5 Örnek villa A-A kesiti	79
Şekil 4.6 Örnek villa B-B kesiti	79
Şekil 4.7 Örnek villa arka görünüş	80
Şekil 4.8 Örnek villa ön görünüş	80
Şekil 4.9 Örnek villa için betonarme kesit malzeme açılımı	83
Şekil 4.10 Örnek villa metrekare oluşum enerji yüzdelik grafiği	84
Şekil 4.11 Döşeme yapı sistemleri oluşum enerji değerleri	85
Şekil 4.12 Dış duvar yapı sistemleri oluşum enerji değerleri	86
Şekil 4.13 Çatı yapı sistemleri oluşum enerji değerleri	87
Şekil 4.14 Döşeme kaplama sistemleri oluşum enerji değerleri	88
Şekil 4.15 Örnek villa ve analiz edilen konutların birim oluşum enerjilerinin karşılaştırılması	89
Şekil 4.16 Örnek villa ve analiz edilen konutların yapı elemanlarının oluşum enerjilerinin karşılaştırılması	90
Şekil 4.17 Örnek villa alternatif-2 için yapı elemanları birim oluşum enerjisi yüzdelik grafiği	93
Şekil 4.18 Örnek villa alternatif-3 için yapı elemanları birim oluşum enerjisi yüzdelik grafiği	95

Şekil 4.19	Örnek villa ve iki alternatif için toplam oluşum enerjisi karşılaştırması	96
Şekil 4.20	Örnek villa ve iki alternatif için malzeme açılımları oluşum enerjileri karşılaştırması	97

YAPIDA KULLANILAN MALZEMENİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA OLUŞUM ENERJİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

ÖZET

Dünya genelinde malzeme üretimindeki artış ve buna bağlı olarak tüketilen enerjinin artması, enerji kullanımının da yarısının yapılarla ilgili faaliyetlerde kullanılması, sürdürülebilir mimarlıkta enerji faktörünü günümüzde ve yakın gelecekte üzerinde durulması gereken önemli bir unsur olarak karşımıza çıkarmaktadır. Bu bağlamda çalışmada, yapı malzemeleri gruplandırılarak sürdürülebilirlik ve oluşum enerjisi kriterlerine göre incelenmiş, örnek bir villa ele alınarak bu kriterler doğrultusunda analiz edilmiş ve günümüz villalarından bir örnekleme ile toplu konutlara uyarlanabilecek bir model oluşturulması amaçlanmıştır.

Birinci bölümde, dünya genelinde enerji sorunu, malzeme üretimindeki artış ve sürdürülebilirlik kavramlarının açıklaması yapılmış, yapı malzemelerinin oluşum enerjilerinin önemi vurgulanmıştır.

İkinci bölümde, oluşum enerjisi kavramının tanımı verilip hesaplama yöntemleri ve etkileyen faktörler hakkında detaylı bir inceleme yapılmıştır. Tezde ele alınan villa analizi için gerekli veri tabanı oluşturulması amacıyla yapıda kullanılan malzemeler özelliklerine göre gruplara ayrılıp sürdürülebilirlik ve oluşum enerjisi bakımından detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bir proje için malzeme seçimi yaparken yardımcı olacak, o malzemenin hammaddesinin ne olduğu, hangi koşullarda üretildiği ve üretilirken çevreye verdiği zararın derecesi, üretimi için ne kadar enerji harcandığı, üretildikten sonra kullanım aşamasında sağlıklı olup olmadığı, geri dönüşümü, yeniden kullanımı veya yok edilebilirliği konularının göz önünde bulundurulduğu malzeme analiz tablolarına yer verilmiştir. Oluşum enerjisi kavramı çerçevesinde sadece bir yapı malzemenin oluşum enerjisi (mesela tuğla, cam, çelik, vb) şeklinde ele alınabileceği gibi, yapı elemanının oluşum enerjisi (pencere, kapı, sandviç panel, vb) veya bütün bir yapının oluşum enerjisi şeklinde de ele alınıp değişik düzeylerde bir karşılaştırma veya analiz yapılabilir.

Üçüncü bölümde, sürdürülebilirlik faktörleri göz önünde bulundurularak, oluşum enerjisi en aza çekilerek yapılmış olan altı konut incelenmiştir. Küçük ölçekte metrekaresi olarak birbirinden çok farklı olmayan altı konutta incelediğimiz kadarıyla yapılacak bir konut için seçilecek taşıyıcı yapı sistemi, kullanılacak malzemeler ve oluşturulacak detaylandırmaların ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Yapılacak malzeme değişikliğinin oluşum enerjisinde nasıl bir fark oluşturduğunu ve bu farkın bina ölçeği büyüdükçe daha da artacağı incelenen örneklerde görülmüştür. İncelenen altı konut, ele alınan örnek villanın analizi için gerekli yöntem hakkında bir ön çalışma niteliğinde olmuştur.

Dördüncü bölümde, örnek bir villa ele alınarak tezin amacına uygun değişiklikler yapılmış ve bu tasarım kararları açıklanmıştır. Böylelikle, ülkemiz koşullarında çok kullanılan taşıyıcı sistemi betonarme iskelet olan bir yapı elde edilmiş ve bu yapının döşeme, duvar ve çatı gibi elemanları başta olmak üzere sistem kesiti içerisinde yer alan malzemelerin analizleri ve metrajı yapılmış ve toplam oluşum enerjisi hesaplanmıştır. Daha sonra aynı yapıdaki elemanlar için malzeme seçenekleri sistem kesiti düzeyinde belirlenmiş ve bunların birim oluşum enerjileri çubuk diyagramlar olarak verilmiştir. Bu bilgilere bağlı olarak ele alınan villada sistem kesiti düzeyinde oluşum enerjisi en yüksek ve en düşük olan iki alternatif oluşturulmuştur. Her iki çözümde de yapının toplam alanı aynı olup, temel, döşeme, duvar ve çatı yapı elemanları değiştirilmiştir. Ele alınan örnek villa ve oluşturulan iki alternatiflerin toplu karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde, çalışmada elde edilen sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bu sonuçların toplu konutlara nasıl uyarlanabileceği konusunda bir öneriye yer verilmiştir. Ekler bölümünde ise döşeme, duvar ve çatı yapı gibi yapı elemanlarında; bütünleştirilmiş sistem düzeyinde yer alan parça ve bileşenlere ait malzeme alternatiflerini içeren çözüm önerileri tablolar şeklinde yer almaktadır.

IN THE PERPECTIVE OF SUSTAINABLITY, THE ANALYSIS OF BUILDING MATERILAS IN TERMS OF EMBODIED ENERGY

SUMMARY

In this study, classified building materials were analyzed in terms of sustainability and embodied energy. After that, a sample villa was taken up to calculate embodied energy cost because, the aim of this project is to constitute a model that can be applicable to mass housing projects

In the first section, the concepts of the world wide energy problem, increasing of material production and sustainability were explained. After that, the importance of building materials embodied energy was emphasized.

In the second section, the definition of embodied energy was given. After that, the calculation of embodied energy of building materials and factors that affect the embodied energy calculations were studied. Classified materials according to specification were analyzed detailed by the means of sustainability and the embodied energy, so that a data base was constituted to be able to study on the sample villa at the end of this study. Material analyze tables describe that what the raw material is, what the circumstances are to product such a material, how harmful to the environment, how much energy used when it is producing, how healthy when it is being used, how recycling and reusing is possible, or it is disposable and like topics to help the selection of the building materials for a project. Although, the concept of embodied energy can be taken as a material embodied energy (like brick, glass, or steel embodied energy), some components of building like window, door, sandwich panel, outer wall or roof embodied energies or whole building embodied energy can also be taken as a unit to make easier a comparison and an analysis.

In the third section, in the light of sustainability six weekend houses which were intended to design a minimum embodied energy house were examined. It was seen that how important to select a structure of a building, to select a material of it and to design a good detail of it when such a small house will be design according to these criterions. When one of the materials selections was changed of the building, how it affects the total embodied energy of it and actually how big change of embodied energy would be as the scale of the building increases was understood. By means of these six houses, preliminary study of sample villa analysis was completed.

In the fourth part, design decisions and some modifications was clarified for the sample villa. In Türkiye circumstances, reinforced concrete structural system designed villa was constituted in the parts of floor, walls and roof construction elements and studied accordingly so that, total embodied energy of it was calculated.

After that, for the components of the same building materials were determined and embodied energy analyses tables were given in column bar chart diagram. Later, for the same villa by changing the material selection two alternatives were designed and compared with each another. One of them is alternative-1 having high embodied energy and the other one is alternative-2 having a low embodied energy material selection.

In the fifth section, conclusions and recommendations are summarized. The proposal was given about how these results can be applied to mass housing projects. In the appendix part, material sections charts for floor, wall and roof construction used for analyzing of the villa were given.

1. GİRİŞ

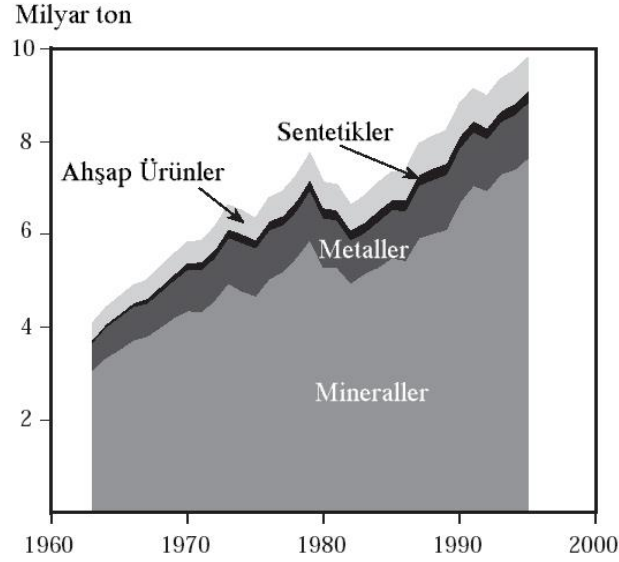
Çevre sorunlarının başında enerji sorunu gelmektedir. Enerji problemi bütün dünyada olduğu gibi yurdumuzda da 21. yüzyılın önde gelen problemlerinden biri olacak gibi gözükmemektedir. Dünya genelinde, artan insan sayısı ile birlikte her geçen gün daha fazla malzeme üretilmekte ve tüketilmektedir. Diğer bir değişle her geçen gün daha fazla metal, cam, ağaç, çimento ve kimyasal, vb malzeme kullanılmaktadır. (Bk. Tablo 1.1, Şekil 1.1) Malzeme tüketimi yalnız artmakla kalmayıp, aynı zamanda geçmişe göre iki açıdan da farklılık göstermektedir. Birincisi; üretilen malzemeler giderek karmaşık bir hal almaya başlamış ve buna bağlı olarak malzemelerin geri-dönüşümü, yeniden kullanılması ve doğada yok olması zorlaşmış, bunlara ek olarak tüketime hazır hale gelinceye kadar gördüğü işlem sayısı arttığı için malzeme oluşum enerjisi de artmıştır. Ayrıca, insan sağlığına ve çevreye zarar veren önceden tahmin edilemeyen toksit gazlar ortaya çıkmaktadır. İkinci olarak da, malzeme üretimi sonucunda ortaya çıkan atık maddeler de giderek fazlaşmakta ve bunların nasıl yok edileceği veya nasıl geri dönüşeceği bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. [1]

Tablo 1.1. Dünya malzeme üretimindeki artış, 1960-1995 [1]

MALZEME	1995’TE ÜRETİM (MİLYON TON)	1960 BAŞINDAN İTİBAREN ARTIŞ (DEĞİŞİM FAKTÖRÜ)
Mineraller	7,641	2.5-kat
Metaller	1,196	2.1-kat
Ahşap Ürünler	724	2.3-kat
Sentetikler	252	5.6-kat
Bütün malzemeler	9,813	2.4-kat

Kökleri 20. yüzyılın başlarındaki sanayi devrimine dayanan teknolojik gelişmeler, malzeme endüstrisinin gelişimi ve malzeme kullanımının fazlaşması neticesinde şimdilerde karşımıza karmaşık bir sorun olarak çıkmaktadır. Fakat şunu da göz

önünde bulundurmak gerekir ki; malzeme üretim alanındaki bu ilerlemeler, malzemeyi ham olarak yer altından çıkarmak, işlemek ve sanayide kullanıma hazır hale getirmek, yapı sektörünü besleyen ve bu sektörden beslenen diğer yan sektörler olsun gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ekonomisinin temelini oluşturmaktadır. [1]



Şekil 1.1. Dünya yapı malzemeleri üretimi 1963-1995 [1]

İnşaat sektörü, doğrudan veya dolaylı olarak çevresel problemlere katkıda bulunmaktadır. Yapıların çevreye doğrudan etkilerinin başında üretimde kullanılan kaynak ve tüketilen enerji gelmektedir. Diğer bir önemli etken ise yapıların içindeki ve dışındaki yaşam alanlarının ve malzeme seçimlerinin etkileridir. Özellikle mimarlık alanında kullanım aşamasında alınan tasarım kararları bu açıdan çok önemli olmaktadır. Bazı endüstrileşmiş ülkelerde alınan kesin kararlardan bazıları şöyle özetlenebilir;

- Küresel çevreye zarar verecek olan yapı malzemelerinin azaltılması ve yerlerine kullanılabilecek alternatiflerin belirlenmesi,
- Dünyamızın akciğerleri olarak nitelendirdiğimiz ormanların kaybına sebep olan ağaç kesiminin azaltılması,
- Malzemelerin geri-dönüşüm yollarının belirlenmesi,
- Fosil yakıtlarının kullanımının azaltılması, vb.

Dünya çapındaki malzemelerin kullanımındaki artış birincil olarak inşaat sektöründe ortaya çıkmıştır. *World Watch Institute*'e göre dünyada bir yılda tüketilen

hammadenin 3 milyar tonu, % 40'lık bir oranla inşaat sektörünün elinde bulunmaktadır. Buna ek olarak binalar, dünya ormanlarının 1/4'ünü, malzeme ve enerji kullanımının 2/5'ini, ve içme suyunun da 1/6'sını tüketmektedir. Gün geçtikçe dünya nüfusunun ve bina sayısının arttığını ve doğal kaynakların da gittikçe azaldığını düşündüğümüzde bu oranların gelecekte daha da büyüyeceği açıktır.

1.1. Ekolojik Olarak Sürdürülebilir Gelişme [2]

İlk defa 1987'de Birleşmiş Milletler Dünya Komisyonu tarafından *Bizim Ortak Geleceğimiz (Our Common Future)* olarak adlandırılan rapor yayımlanarak sürdürülebilirlik çalışmaları dünya genelinde resmi olarak başlamıştır. Brundtland Raporu olarak da bilinen raporda Ekolojik Sürdürülebilir Gelişme (Ecologically Sustainable Development – ESD) birçok devlet tarafından kabul görmüştür. Bu rapor esas olarak aşağıdaki cümleyi temel almaktadır;

“(Ekolojik olarak) Sürdürülebilir kalkınma kendi ihtiyaçlarımızı karşılamak, fakat bunu yaparken gelecek neslin kendi ihtiyaçlarını karşılamalarını engelleyecek davranışlarda bulunmamaktır.”*

Dünya yapı endüstrisini göz önüne aldığımızda binaların yapım ve kullanım aşamalarında tüketilen malzeme ve harcanan enerji çok büyük miktarlardadır. Bu enerjinin büyüklüğü bilinçsizce yapılan inşaatlar ve kullanılan yapı malzemeleri yüzünden daha da artmaktadır. İnşa edilmiş çevre için kısaca şu yorumu yapabiliriz;

- Küresel ekonomik aktivitenin %10'unu,
- Enerji kullanımının %50'sini,
- Dünya malzemelerinin %40'ını,
- Temiz su tüketiminin %17'sini,
- Ozona zararlı kimyasal kullanımın %50'sini,
- Yıllık küresel ahşap ürününün %25'ini kullanıyor. [3, 4]

* “(Ecologically) Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.” (World Commission on Environment and Development 1990, p.87).

Bu değerlerden de anlaşılacağı gibi, nüfus arttıka kullanılan -tüketilen- kaynaklar da hızla artmaktadır. Bugün farkındayız ki, doğal kaynaklarımız sınırsız değil ve bir gün tükenecektir ve bu tarih belki sandığımızdan da erken olacaktır. Ekolojik Sürdürülebilir Gelişme (ESD) bu gerçeği göz önüne alarak, doğal hammadde ve enerji kaynaklarını en ekonomik bir şekilde kullanmanın yollarını araştırmaktadır.

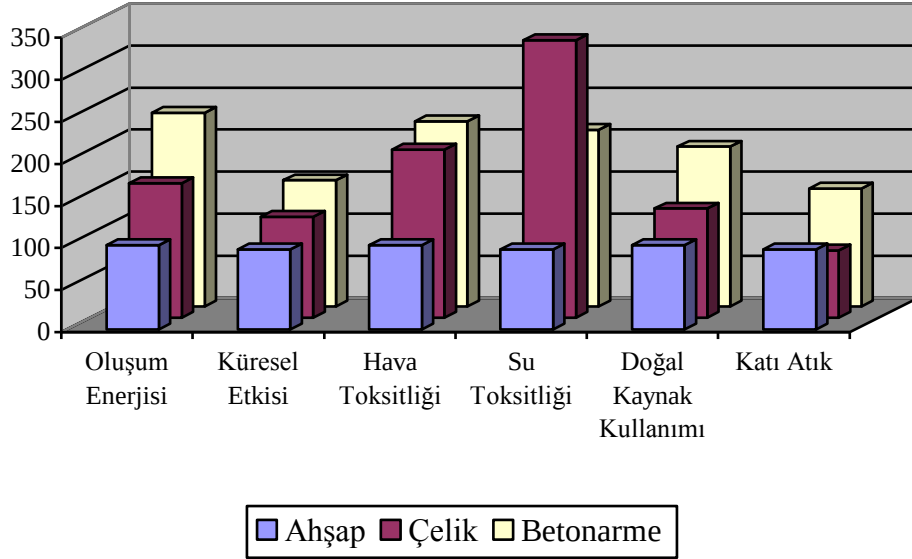
1.2. Sürdürülebilir Mimarlıkta Enerji Faktörü ve Oluşum Enerjisi İlişkisi

Yapı malzemelerinin üretiminde genellikle önemli miktarda enerji harcanmakta ve büyük miktarda atık madde oluşmaktadır. Bu atıkların çoğu çevreye zararlı ve sürdürülebilir biçimde yok edilebilmesi zor olan malzemelerdir. Konut yapım, kullanım ve yıkım aşamaları da yine aynı şekilde çevreye zararlı atık malzemeler oluştırmaktadır. Mesela, konut bitirme malzemelerinden olan sentetik halıların çoğu, biyolojik olarak znememekte, kullanım aşamasında kullanıcıya belirli miktarda zararı olabilmekte ve kullanıldıktan sonra biyolojik olarak znemediğinden dolayı ancak dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Yine bunun gibi son zamanlarda yapılarda sıkka kullanılan pvc pencerelerde kullanıldıktan sonra doğada yok olmayacak malzemeler arasındadırlar.

Birçok yapı malzemesinin retilimi sırasında oldukca fazla enerji gereksinimi olmaktadır. Buna ek olarak ağır ve çok yer kaplayan yapı malzemelerinin nakliyesi, malzeme oluşum enerjisini arttırmaktadır. Son zamanların popüler yönelim olan kütlesel, büyük yapılar yapmak ve daha çok enerji yoğun malzemeler kullanmak binanın toplam oluşum enerjisini arttırmaktadır. Yapılar kullanım aşamasında da, ısıtma, soğutma ve aydınlatma vb. işlevlerinde enerji tüketmektedir. Malzeme bazında düşündüğümüz zaman ise, malzemenin bakımı, yenilenmesi, ve en son olarak yapının yıkılması aşamasında da belirli bir miktarda enerji tüketilmektedir.

Malzemenin oluşum enerjisinin hesaplanmasındaki nedenlerden biri de, inşa edilecek yapının, planlama evresinde toplamda tüketilecek oluşum enerjisinin belirli bir sınırlarda tutulmasını kontrol etmek, bunu sağlayabilmek için alternatif yapı malzemelerinin kullanılmasına olanak sağlamak, ve kullanılan yapı malzemesinin yapıda ki ömrü göz önüne alındığında o malzemenin kullanılmasının akıllıca olup olmadığına karar vermektir. Diğer bir ifadeyle, o malzemeyi üretirken harcanan enerji (malzemenin oluşum enerjisi) ile o malzemenin kullanımı sırasında bize kazandırdığı enerjiyi kıyaslayıp alternatifleri arasında doğru seçimi yapabilmektir.

Malzeme seçimi sırasında alternatif yapı malzemeleri ve sistemleri arasında seçim yaparken oluşum enerjisi ile birlikte yapının sürdürülebilirlik kriterlerini de göz önünde bulundurmalıyız (Bkz. Şekil 1.2). Böylelikle, malzeme ve inşaat sistemi seçimi sırasında vereceğimiz karar sürdürülebilirlik açısından da doğru olacaktır.



Şekil 1.2. Farklı yapı sistemlerinin sürdürülebilirlik kıyaslanması [5]

Oluşum enerjideki küçük farklılıklar bile çok önemli sonuçlar doğurabilmektedir. Mesela ahşap ve çelik aynı iki bina arasındaki oluşum enerji farkı % 35-50 arası, yaklaşık toplamda 120.000 MJ olarak değişmektedir. Fakat bu enerji farkı eğer bu evlerden 10.000 ünitelik bir toplu konut yapılıyorsa 12×10^8 MJ olabilmektedir. Bunun anlamı da bu kadar daha fazla CO₂ üretiliyor demektir. Ve aynı zamanda bu enerji de yaklaşık olarak 6.500 evde yaşayan kişinin 50 yılda tüketeceği enerji miktarına eşittir. [6]

1.3. Konu Alanında Yapılan Araştırmalar

Her ne kadar oluşum enerjisi alanında, özellikle de malzeme veri tabanı geliştirmede ve enerji kullanım raporları için taslaklar ortaya çıkarma konusunda ciddi çalışmalar yapılmış olsa da, yapılan uluslararası çalışmaların çoğu metotların geliştirilmesi, taslaklar (çevresel değer biçme ve LCA* metodu) ve genel kullanımlar için veri elde etme ile ilgilidir. Yapıların çevresel etkilerini enerji bağlantılı inceleyen ilk

* LCA: Life Cycle Analysis – Hayat Dönüşüm Analizleri

uluslararası çalışma ocak 1996'da IEA** kuruluşunun yardımı altında başlatılmıştır ve 1998'in sonunda bitirilmiştir. Bu projeye, on dört ülke ve otuzdan fazla araştırma konusu ile katılmıştır. IEA altında, Annex 31 projesi çerçevesinde amaç, aktiviteler ve proje çalışması ile ilgili oluşum enerjisi araştırmaları incelenmiştir.

Annex 31 projesine katılan ülkeler şunlardır;

- Avustralya, Kanada, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Japonya, Hollanda, Norveç, İsveç, İsviçre, İngiltere, Amerika'dır.

Annex programının başlıca amacı, yapı sektöründe bulunanların yapıların enerji ile ilgili, iç, yerel ve küresel etkilerini ölçmek için metot ve veri gelişimi için bilgi akışını sağlamaktır. Bunu yaparken, binaların hayat döngüsünün bütün aşamaları için (cradle to grave-beşikten mezara) enerji akışının ve malzemeleri ile ilgili veri ve metotları anlama kapasitesinin geliştirilmesi amaç edinilmiştir. Bunlar, oluşum enerjisinin hesaplanmasındaki yöntemler olan, hammaddenin çıkarılması, toplanması, işlenmesi ve tekrardan işlenmesi, nakliyesi, yapıya dahil edilmesinden başlayarak, yapıda kullanılması ve bakımı şeklinde devam eden ve yeniden kullanımı veya yok edilmesi şeklinde son bulan döngüyü içermektedir. [7]

Bu çalışmanın dışında, yasalar çerçevesinde, Avrupa ve Uluslararası standartlarda anlaşma sağlanmıştır. Bunlar, çevre hakkında daha az duyarlılar üzerinde çevresel etkilerini azaltmaları doğrultusunda yaptırım gücüne sahiptirler. Bina yönetmelikleri enerji tüketimini azaltmaya yönelik olduğu gibi aynı zamanda yapı malzemelerinin toksit emisyonunu azaltmaya da yöneliktir.

Birçok çevresel sınıflandırma sistemleri bulunmaktadır. Bunlardan önemli olanlarının listesi aşağıdaki gibidir:

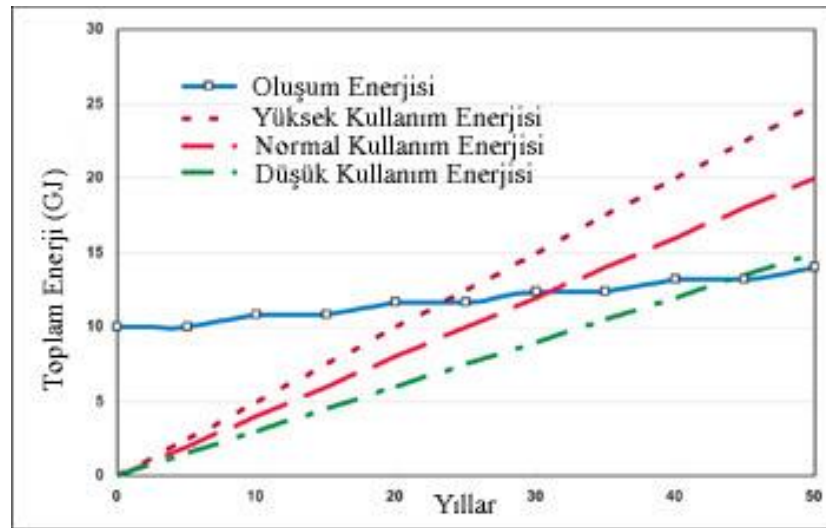
- BREEAM, the BRE Office Tool kit, Home Energy Rating, BREDEM (İngiltere), European Eco-labelling, Waste/Environmental Data Sheet (Avrupa), Ecocerto (İtalya), EcoLab (Hollanda), SIB (İsviçre), BauBioDataBank (Almanya), Athena, BEPAC (Kanada), BMES Index (Avustralya).

** IEA: International Energy Agency – Uluslararası Enerji Kurumu: 1974 yılında OECD'nin (Organization for Economic Cooperation and Development) yardımlarıyla kurulmuş, uluslararası enerji programı gerçekleştirmek ve işbirliği programlarını kapsamlı bir şekilde yürütmek için kurulmuş özerk bir kuruluştur.

Bu değerlendirme sistemleri, yapıların, malzemelerin ve ürünlerin değerlendirilmesini kapsamaktadır. Çoğu büyük yapı ve kalkınma projeleri, kanunların yaptırımları doğrultusunda şu anda projelerinin onaylanmalarını almadan önce çevresel etki raporu oluşturmaları gerekmektedir. Fakat bu komisyondan geçen dokümanlar, genellikle çevresel etki ve planlama kanunları sorularını içermekler beraber çok azı binaların detaylı içerik ve enerji etkilerini incelemektedir. [8]

1.4. Amaç ve Kapsam

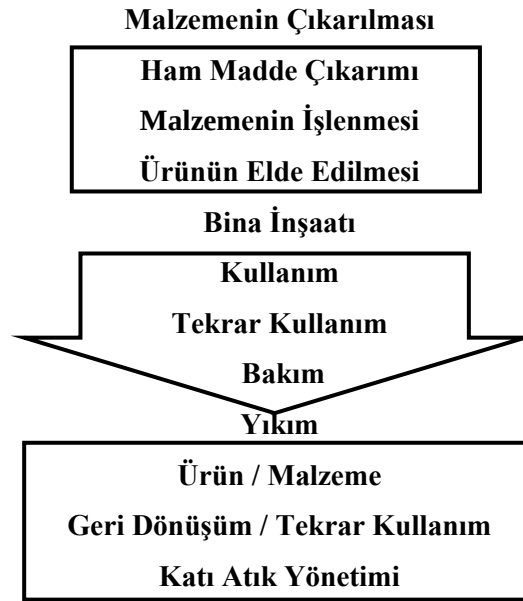
Yapılarda kullanılan enerji ile toplamda kullanılan enerji arasında sıkı bir ilişki vardır. Enerji üretimi, kullanımı ve yerel-küresel ilişkisi son zamanlarda geniş anlamda ilgi odağı olmuştur. Bu ilgi, binaların üretimi için kullanılan oluşum enerjisinin ve kullanım enerjisinin azaltılması yönünde araştırmalar yapılmasını sağlamıştır. Şekil 1.3 bize tipik bir konut için yıllık enerji giderleri ve bina oluşum enerjisi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekilde, bir konut ve bu konut için değişik kullanım enerjileri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Burada bina oluşum enerjisinin yıllık kullanım enerjilere oranı oldukça dikkat çekicidir. Hatta bu oran enerji etkin konut yapılması durumunda oluşum enerjisinin artacağı ve kullanım enerjisinin azalacağını düşündüğümüz zaman daha da dikkat çekici bir konuma gelecektir. Çoğu durumda, binanın oluşum enerjisi binanın yıllık tükettiği enerjisinden birkaç kat daha fazladır, bu yüzden bina oluşum enerjisi maliyetini düşürmek bize kısa zamanda daha çabuk bir enerji korunumu şeklinde geri gelecektir.



Şekil 1.3. Üç tip konutun oluşum enerjileri ve kullanım enerjileri kıyaslaması [9]

Şekil 1.4’de bina yapı malzemelerinin üretim aşamalarını görmekteyiz. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi inşa edilecek bir yapıya malzeme seçileceği zaman verilecek kararın bir çok etkileri olacaktır.

Bina malzemelerinin üretimindeki yapılacak değişikliklerle sağlanacak bir enerji kazanımı malzeme üreticilerini, tasarımcıları ve aynı zamanda inşa edenleri ilgilendirmektedir. Üreticiler malzeme üretim aşamasında yapılacak değişikliğin, toplam enerji tüketimine ve doğal olarak fiyatlara nasıl yansıtacağını merak edecektir.



Şekil 1.4. Malzeme hayat döngüsü evreleri [3]

Bu noktada tasarımcıların düşünmesi gereken konu, alternatifler arasından seçilecek yapı malzemelerinin yapı toplam oluşum enerjisine olan etkisi olacaktır. Seçilen malzemenin yaşam döngüsü ve hali hazırda kullanılan tekniklerle gelecekte kullanılacak teknikler arasındaki uyuma durumu ne olacağı da, bu bağlamda düşünülmesi gereken konulardandır. Genel olarak bina yaşam döngüsünü düşündüğümüz zaman; inşaat maliyeti, yıllık gider ve bakım maliyeti, onarım ve yenileme maliyeti ve yıkım maliyeti ilk başta aklımıza gelmektedir. Göz önüne alınan değerler genelde yapıyı ekonomik olarak etkileyecek olan nedenlerdir. Bizim burada amacımız ise, konut yapı malzemelerini sürdürülebilirlik kriterlerini göz önünde bulundurarak enerji birimi açısından değerlendirmesini yapmak ve oluşum enerjisi göz önünde bulundurulduğunda elimizde olan kaynakların doğru kullanılmasında optimum bir değer elde etmek için izlenebilecek bir yöntem önermektir. [10]

Çoğu bina malzemeleri hammaddenin ezilerek, sıkıştırarak, öğüterek ve yüksek sıcaklıktaki fırınlarda pişirilerek üretilmektedir. Üretilirken uygulanacak teknoloji farkından kaynaklanan enerji tüketimi arasında da çok farklar oluşabilmektedir. Bu bize malzeme üretirken en uygun teknolojiyi seçmek konusunun da çok önemli olduğunu göstermektedir. Teknoloji farkının yanı sıra, üretim aşamasında kullanılan yakıtın elektrik veya akaryakıt (yüksek enerjili), katı yakıtlar, tarımsal atıklar (düşük enerjili) veya güneş enerjisi şeklinde farklılık göstermesi bile oluşum enerjisinde ciddi değişikliklere sebep olacaktır.

1.5. Sonuçlar

Yirminci yüzyılın ikinci yarısı ile beraber, doğal kaynakların tükenmeye yüz tutması veya kullanılamayacak bir biçimde kirlenmesi bizi onları daha akılcı bir biçimde nasıl kullanabiliriz sorusunu düşünmeye itmiştir. Sürdürülebilirlik kavramı da, buradan yola çıkılarak ortaya çıkarılmış önemli bir kavramdır. “Ekolojik dengeyi koruma ve doğal kaynakları hesaplı tüketme zorunluluğu, tasarımcıları ve yatırımcıları yeni önlemler almaya yöneltmekte, böylelikle ekolojik tasarım ilkelerini göz önünde bulunduran binaların yapımı hızlanmaktadır” (Eryıldız, 2003).

1993 yılındaki Dünya Mimarlar Birliği genel kurulunda alınan “Sürdürülebilir Bir Gelecek İçin Bağımlılık” kararlarından sonra ekolojik mimarlık çalışmaları yolunda önemli adımlar atılmıştır. Bu bildiride; “Sürdürülebilir bir toplumun, doğa ve kültürü taşıyan tüm varlıklar için korunduğunu, onarıldığını ve zenginleştirildiğinin, çeşitliliği olan ve sağlıklı bir çevrenin, sağlıklı bir toplum için bir değer oluşturduğunu ve temel bir gerek olduğunu, günümüz toplumunun çevreyi ciddi olarak bozduğunu ve bu toplumun sürdürülebilir olmadığını; Ekolojik olarak tüm doğal çevreyle, sosyal, kültürel ve ekonomik olarak tüm insanlıkla bağımlı olduğumuzu, bu bağımlılık bağlamında, sürdürülebilirliğin bütün taraflar arasında ortaklık, eşitlik ve denge gerektirdiğini;

Yapıların ve yapıları çevrenin, insanların doğal çevre ve yaşam kalitesi üzerindeki etkisinde önemli bir rol oynadığını, sürdürülebilir tasarımın kaynak ve enerjinin daha etkin kullanımını gözetmeyi, sağlıklı yapılar ve yapı malzemelerini, ekolojik ve toplumsal duyarlı yüksek arazi kullanımını ve esin veren, uyarıcı ve yücelten estetik duyarlılığı içerdiğini, sürdürülebilir tasarımla doğa üzerindeki olumsuz insan etkilerinin önemli ölçüde azalacağını ve aynı zamanda yaşam kalitesi ile ekonomik

refahın artacağını gören bizler, kendimizi Dünyanın mimarlık ve yapı tasarımı mesleğinin üyeleri olarak, hem bireyler hem de meslek kurumlarımız aracılığıyla, Çevresel ve toplumsal sürdürülebilirliği mesleki uygulama ve sorumluluklarımızın odağına yerleştirmeye, Sürdürülebilir tasarımın işlerliliği için gerekli uygulama, yöntem, ürün, eğitim programları, hizmet ve standartları geliştirmeye ve sürekli iyileştirmeye; meslektaşlarımızı, yapı endüstrisini, müşterileri, öğrencileri ve toplum genelini sürdürülebilir tasarımın önemi ve önemli olanakları konusunda eğitmeye, Sürdürülebilir tasarımın rutin uygulamaya dönüşmesi yolunda hükümetler ve iş çevreleri düzeyinde politikalar, yasal düzenlemeler ve uygulamaları kurumlaştırmaya;

Yapılı çevresini bugünkü ve gelecekteki tüm öğelerini tasarım, üretim, kullanım ve yeniden kullanımlarında sürdürülebilir tasarım standartlarına ulaştırmaya adanıyoruz.” Şeklinde yapılan açıklama, sürdürülebilir mimarlığın önemini vurgulamaktadır. [11]

Özellikle dünya genelinde enerji kullanımının yarısının yapılarla ilişkili faaliyetlerde kullanıldığını düşünürsek, sürdürülebilir mimarlıkta enerji faktörü günümüzde ve yakın gelecekte üzerinde durulması gereken önemli konulardan biridir.

2. OLUŞUM ENERJİSİ KAVRAMI

Bu bölümde ilk olarak oluşum enerjisi kavramı tanımlanıp, oluşum enerji hesaplarını etkileyen faktörlere açıklık getirilmiştir. Ardından, örnek bina analizinde kullanılmak üzere malzeme veri tabanı bina yapı malzemeleri için hazırlanmıştır.

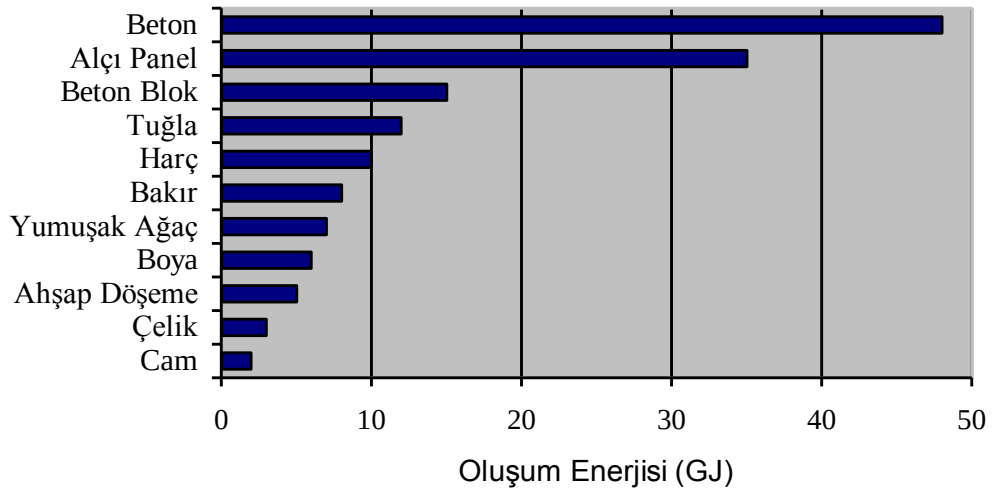
2.1. Malzemenin Oluşum Enerjisi

Herhangi bir malzemenin oluşum enerjisi, o malzemenin çıkartılması, işlenmesi, ve en son olarak kullanıma hazır hale getirilmesi için yapılan işlemlerde harcanan enerjilerin toplamına eşittir. Bu yüzden, malzemenin işlenmesi sırasında, işlemlerinin sayısı ve çeşidi ile malzemenin oluşum enerjisi arasında yakın bir ilişki vardır. (Bkz. Tablo 2.1) Örneğin; bir malzeme, çıkartma, işlenme, ve son haline getirilmek için ne kadar az ve basit adımlar içeriyorsa, o malzemenin oluşum enerjisi o kadar düşük olur. Bir malzemenin enerjisi genelde o malzemenin fiyatına da yansır. Genel yapı malzemelerin oluşum enerjileri kwh/kg şeklinde gösterilmektedir. Malzemenin çıkartılması ve üretilmesi aşamaları gösteriyor ki; bir malzemenin enerjisi, o malzemenin rafine edilmeden önce toprağa ne kadar yakın olduğuyla yakından ilişkilidir. [12]

Tablo 2.1. Genel yapı malzemelerinin oluşum enerjileri [12]

Düşük Enerjili Malzemeler (kwh/kg)		Orta Enerjili Malzemeler (kwh/kg)		Yüksek Enerjili Malzemeler (kwh/kg)	
Kum, çakıl	0,01	Alçı-panel	1,0	Plastikler	10,0
Ahşap	0,1	Tuğla	1,2	Çelik	10,0
Beton	0,2	Çimento	2,2	Kurşun	14,0
Kireç-kum-tuğla	0,4	Mineral elyaf yalıtımı	3,9	Bakır	16,0
Hafif beton	0,5	Cam	6,0	Alüminyum	56,0

Tablo 2.1 değerlendirilirken verilen değerler konusunda dikkatli olunması gerekmektedir. Her ne kadar tabloyu genel malzeme üretim kriterleri içerisinde değerlendirdiğimiz zaman doğru gibi gözükse de, malzeme oluşum enerjisini etkileyen değişik faktörlerde göz önünde bulundurulmalıdır. Genel olarak, enerji girdileri ülkenin kullandığı yakıt karışımına bağlıdır ve ülkenin malzeme kaynakları da sonuçları etkilemektedir. Mesela ahşabın oluşum enerjisi, kullanılacak ağacın yerel olarak yetiştirilip yetiştirilmediği ile birlikte değişiklik göstermektedir. İngiltere’de çoğu yumuşak ağaç yerel olarak yetişmediğinden dolayı ülkeye ihraç edilmektedir ve artan oluşum enerjisinin önemli bir miktarını nakliye enerjisi oluşturmaktadır. Bakır ve alüminyum gibi metallerde enerji girdisi, metalin doğal kaynaktan veya geri dönüşümlü malzemeden gelmesine göre değişiklik göstermektedir. [13]



Şekil 2.1. Ayrık bir betonarme konut malzemeleri için yaklaşık toplam oluşum enerjileri grafiği [13]

Oluşum enerjisi analizi yaparken dikkat etmemiz gereken bir diğer faktörde, binada kullanılan yapı malzemelerinin hangi miktarlarda kullanıldığıdır. Genel olarak betonarme bir bina için söyleyebiliriz ki; bina ana kütlesi çok sayıda farklı malzemelerden oluşmamaktadır ve kullanılan çok yüksek ve yüksek oluşum enerjili malzemelerin miktarlarının genel toplama göre büyük bir oran içermediğini şekil 2.1’de görmekteyiz. [14] Beton tablo 2.1’de verilen değerler doğrultusunda düşük oluşum enerjili malzemeler sınıfına girse bile, betonarme bir binada toplam oluşum

enerjisi bakımından ele aldığımız zaman şekil 2.1’de görüldüğü gibi en üst sırada yer alacaktır

Bazı durumlarda, teknik olarak en uygun fakat nispeten pahalı bir malzeme, ürünün hayat boyu kullanımı göz önüne alındığında, düşük enerji maliyetlerini beraberinde getirebilir. Karbon lifli veya seramik içerikli kompozit malzemeler göreceli olarak yüksek enerjiye sahip olsalar bile, uygun yerlerde kullanıldıkları zaman, mukavemet, sağlamlık, ve ısı yalıtımı gibi gelişmiş fiziksel özelliklerinden dolayı ileriki zamanlarda enerji korunmasına yardımcı olurlar. Diğer taraftan, eğer ürünün güvenilirlik/sağlamlık ve teknik/estetik fonksiyonları optimizme edile bilinirse, düşük enerjili malzemeler ürün performansını etkilemeyecek biçimde değiş tokuş edile bilinir. [12]

Servis sistemlerinin (mekanik, elektrik, zemin üstü dış hatlar tesisatı, yağmur suyu ve kanalizasyon sistemi) oluşum enerjisi de yapı tipine göre değişiklik göstermekte beraber genel olarak bir bina için yaklaşık %5-10 arası bir değer kabul edilebilir. [14]

Olaya ekolojik açıdan baktığımız zaman ise, amaç malzemelerin çevreye olan zararlı etkisini azaltmak ve malzemenin (ürünün) bütün hayatı boyunca olan enerji giderlerini minimuma indirmektir.

Binaların inşaatı sırasında ve binada kullanılan malzemelerin üretimleri sırasında belirli bir enerji tüketilmektedir. Ve bu enerji harcanırken genellikle fosil yakıtları kullanılmaktadır. Fosil yakıtları yenilenemedikleri ve yanmaları küresel ısınmaya sebep olduğu için mimarlar yapılarında kullandıkları malzemeleri seçerken çok dikkatli davranmalıdır. Mesela binalarda kullanılan çeşitli yalıtım malzemelerinin şişirilmesinde kullanılan gazlardan olan Kloro Flora Karbon (CFC), Hidra Kloro Flora Karbon (HCFC) gibi gazlar ozon tabaksına zarar vermektedir. [15]

Mimarların dikkat edeceği husus kısaca; malzemelerin hammadde olarak elde edilişi, üretilmesi, bir araya getirilmesi, taşınması, binanın inşa edilmesi, kullanımı, yıkım ve atımı aşamalarındaki enerji tüketimi, sera etkisine zarar veren karbondioksit (CO₂) ve kükürt dioksit (SO₂) gibi gazların miktarlarını ve geri dönüşüm imkanının ne olduğunu tespit etmek ve bu koşulları göz önünde bulundurarak bina için en uygun malzemeyi seçmektir. [15]

2.2. Oluşum Enerjisinin Hesaplanması

Malzemelerin oluşum enerjisi dediğimiz zaman ilk aklımıza gelen bu oluşum enerjilerin nasıl hesaplandığı sorusudur. Enerjinin biri dağıtım (delivered), diğeri birincil (primary) olmak üzere iki çeşidi vardır. Dağıtım enerjisi malzeme üretimi için harcanan asıl ölçülen enerji miktarıdır, yani faturalarda yazan harcanan elektrik miktarı gibi. Birincil enerji ise malzemenin üretiminde kullanılan elektriği üretmek için, yani dağıtım enerjisini üretmek için harcanan enerji miktarıdır. Mesela belli bir miktar elektrik üretmek için gerekli yakıt enerjisi 100 % verimle kullanılmadığı için üretilen enerji, elektriği üretmek için harcanan enerjiden her zaman küçük olacaktır. Diğer bir değışle, birincil enerji dağıtım enerjisinden her zaman büyüktür. Buna ek olarak, üretilen elektrik enerjisini kullanılacağı yere dağıtırken bile enerji kayıpları meydana gelmektedir. Bütün bu verimli olmayan işlem süreçleri göz önünde bulundurulduğu zaman, bir birim elektriğin kullanıcıya ulaşması sırasında büyük miktarlarda birincil enerji harcanmaktadır. [16]

İngiltere’de yapılan dağıtım ve birincil enerji oranı çalışması bize gösteriyor ki, bir birim elektrik üretmek için yaklaşık olarak dağıtım enerjisinin üç katı kadar birincil enerji gerekmektedir. [16]

Malzemelerin oluşum enerjileri hesaplanırken de hangi enerji çeşidinin hangi adımlarda kullanıldığı belirtilmesi gerekmektedir. Bu konuda şüphe olduğu zaman malzemenin oluşum enerji girdisi olarak sadece fabrikada harcanan enerji girdisi alınabilir.

Malzemelerin oluşum enerjilerinin doğru hesaplanabilmesi ve karşılaştırılabilmesi için enerjinin kullanıldığı bütün adımlar doğru ve eksiksiz bir şekilde belirtilmesi gerekmektedir. Bir yapının oluşum enerjisi hesaplandıktan sonra diğer yapılarla sağlıklı bir şekilde kıyaslanabilmesi için yapıyı belirli bir sistematığe göre sınıflamak ve genel karşılaştırmalarımızı bu sınıflamaya göre yapmamız gerekmektedir. Bu sınıflama; döşemeler, duvarlar, çatı ve pencere-kapı şeklinde olabilir. Bu şekilde yapılan sınıflandırma ve oluşum enerjisi analizi bize karşılaştırma yaparken kolaylık sağlamakla beraber, karşılaştırmanın sonucuna en

kısa sürede ulaşip hangi yapı grubunda daha dikkatli olmamız gerektiğini bize gösterecektir.

Avustralya’da son zamanlarda yapılan incelemelerden biri olan Melbourne’daki üç ticari bina kompleksi çalışması bize gösteriyor ki; bina yapı elemanlarından en çok oluşum enerjisine sahip olan kısım döşemelerdir (43-52 %), bunu yapı iç ve dış duvarları izlemektedir (20-30 %), en düşük oluşum enerjisine sahip yapı elemanı olarak çatı (2-8 %) gelmektedir. [2]

2.3. Oluşum Enerjiyi Etkileyen Faktörler [16]

Enerji ölçümleri hakkında net bir bilgiye sahip olduktan sonra, enerji girdileri hesaplarında nelerin ne kadar alınacağını bilmek önemlidir. Mesela, metal kasalı bir pencereyi ele aldığımız zaman eğer enerji girdisi olarak sadece fabrikada pencereyi kurmak için harcadığımız enerjiyi oluşum enerji olarak alırsak bu değer, metal kasanın ve camın üretim oluşum enerjileri ile birlikte hesaplanan oluşum enerjiden farklılık gösterecektir.

Malzemelerin doğru oluşum enerjilerini hesaplayabilmek için, enerji harcanan bütün adımlar hesaba katılmalıdır. En doğru yol, ham maddenin madenden çıkarılması, işlenecek fabrikaya nakliyesi, fabrikalarda harcanan enerji, şantiyeye nakliyesi, ve yerine monte edilmesi için harcanan enerjilerin toplanmasından elde edilen enerjidir. Bütün malzemeler için bu adımların bulunması mümkün olmaya bilmektedir. Bu yüzden, karşılaştırma yapmak için karşılaştırılacak malzemelerin oluşum enerji girdilerinin birbiri ile tutarlı olması gerekmektedir. Bina yapım süreci içinde kullanılacak bina malzemelerinin oluşum enerjilerinin bilinmesi ve göreceli olarak kıyaslanıp hesaplanması bize enerji maliyeti düşük bina tasarımında çok önemli katkıları olmaktadır.

2.3.1. Oluşum Enerji ve Geri-Dönüşüm

Düşük oluşum enerjili evleri başarabilmek için en iyi yöntem; binaları yeni baştan inşa etmek, yada var olan binaları yeniden canlandırmak mıdır?

Çoğu durumda, yeniden canlandırma, binanın ana taşıyıcı kısmı sabit kalıp diğer kısımları çok fazla yıkıma maruz kalmadan tekrardan kullanılabilmesi için tercih

edilen bir yöntem olmaktadır. Yeniden yapılandırma, bina geri-dönüşümü için temel bir unsurdur. [16]

Bazı yapı malzemelerinin tekrardan kullanılması bize önemli bir miktarda enerji kazancı sunmaktadır. Mesela hurda demir, alüminyum veya camın eritilip yeniden kullanılması için gerekli enerji miktarı bu malzemelerin hammadde olarak elde edilmesine göre oldukça az olmaktadır. [17]

Geri-dönüşümün, çevresel etkileri ile olan ilişkisi çok dikkatli düşünülmesi gerekmektedir. Eğer kolaylıkla yapılabiliyorsa, çevresel bir anlam ifade etmektedir, yani bu işlem yapılırken çok fazla enerji girdisinin olmaması gerekmektedir. Ve aynı zamanda, binanın yeniden canlandırılma işlemi çok sık aralıklarla tekrar etmemelidir. [16]

2.3.2. Oluşum Enerji ve Süreç [16]

Bir malzeme ne kadar çok işlemde geçerse, oluşum enerjisi o kadar artmaktadır ve buna bağlı olarak atık miktarı da artmaktadır. Metal gibi malzemeler üretim aşamasında büyük enerji girdileri olan malzemedir. Bu sebepten dolayı, mümkün olan yerlerde, çok işlem görmemiş, kendi doğal haline en yakın malzemeler seçilmelidir. Mesela, yüksek performanslı ahşap pencere, aynı özelliklere sahip alüminyum pencereye tercih edilmelidir. Diğer bir örnek olarak, organik boyalar, su bazlı boyalar, özellikle de doğal pigmentler kullanılıyorsa, çok işlemde geçmiş sentetik boyaların yerine kullanılmalıdır.

Oluşum enerjisi hesaplarken göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli bir noktada malzemenin üretim sürecinde üretim teknolojisinin çağdaşlığıdır. Mesela beton dökülürken kullanılan kalıbın ahşap olup bir daha kullanılmayacak olması ile tekrardan kullanılabilen kalıpların kullanılması oluşum enerjisiye etki eden diğer bir faktördür.

2.3.3. Oluşum Enerji ve Nakliye [16]

Nakliye oluşum enerji hesaplamasında çoğu zaman göz ardı edilen faktörlerden birisidir. Malzeme ne kadar çok yer değiştirirse, nakliyesine harcanan enerjide o kadar çok artacaktır. Malzemenin ağırlığı da malzemeyi hareket ettirmek için gereken enerjiyi etkileyecektir. Bazı doğal malzemeler, granit gibi, çok uzun

mesafelere taşınabilmektedir. Daha sonra tekrardan son bitirme işlemleri için yine taşınmakta ve en son olarak da satılacağı yere getirilmektedir. Bu tür bilgiler kolaylıkla ele geçirilmeyebilir, fakat üreticilere nakliye hakkında sorduğumuz sorular bize karar oluşum enerjisine ne kadar bir ek enerji maliyeti getirdiği konusunda yardımcı olabilir.

Bazı durumlarda ise, ihraç edilecek malzeme, ihraç edilecek ülkede daha ucuz olmasına rağmen, ihraç edilecek yerdeki malzemenin kalitesi uzun ömürlülüğünden dolayı nakliye enerjisi ve maliyetinin fazlalığı göz ardı edilip ihraç malzemesi tercih edilebilir.

2.3.4. Oluşum Enerji ve Zaman [16]

Yeni Zelanda’da yapılan bir araştırmaya göre düşük oluşum enerjili olarak üretilmeyen bir bina için toplam 50 yıllık bir ömür düşünürsek, 50 yıl içinde binanın kullandığı enerji , üretim oluşum enerjisinin 4 katına eşittir. (Williamson, 1997)

Bu tür kesin bir karşılaştırma, eğer biz binanın ne kadar yaşayacağını tahmin edemiyorsan çok da yararlı bir çalışma olmaz. Böyle bir durumda, binanın kullanım gider enerjileri azaltılarak, oluşum enerjisi ile hayatı boyunca tükettiği enerji eşitlenebilir. Böyle bir yöntemin uygulanabilmesi için binayı yaklaşık ömrünün tahmin edilebilmesi gerekmektedir. Binanın oluşum enerjisini ele aldığımız zaman, binanın yaklaşık ömrünü, çeşitli bina elementlerinin bakım çalışmalarını ne olacağını ve ömrünün sonunda binanın nasıl bir durumda olacağını göz önünde bulundurmanız gerekmektedir.

Beşikten mezara yaklaşımı ‘haya döngü analizi’ olarak adlandırılmaktadır. Bu herhangi bir binanın toplam etkisini tahmin etmek ve binanın hayatının önemini göstermek için kullanılmaktadır. Bina ne kadar uzun yaşarsa, bina malzemelerinden kaynaklanan kirlilik ve bina malzemeleri için harcanan enerji o kadar az olacaktır. Bu konuda yapılacak en kolay uygulama, binanın başlangıç oluşum enerjisini hesaplayıp, binanın yaklaşık olarak tahmin edilen yaşına bölüp yıllık bakım giderleri için sağlanacak yaklaşık ödenek bulunabilir.

2.4. Oluşum Enerji Hesaplama Yöntemlerinin Kalitesi ve Güvenilirliği [18]

Bina malzemeleri için oluşum enerjisi verileri, avantaj ve dezavantajları olan değişik yöntemler kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu veriler arasındaki bir karşılaştırma, verilerin hangi amaçla kullanılacağı göz önünde bulundurularak, istenilen amaç doğrultusunda sonuca ulaşmak için en iyi adım olacaktır. Bu verilerin olası kullanım yerleri, binaların hayat dönüşüm enerji hesaplamaları veya düşük oluşum enerjisi için malzeme seçimi olabilir.

Bina tasarımcıları, kullanacakları bina malzemelerinin oluşum enerjilerinin bilmek isterler, bu sayede düşük enerjili malzeme seçimi sağlanabilir. Bu tür analizlerin yaygın olarak kullanılmasının en olumsuz tarafı kullanılan değerlerin doğruluğunun ne derece güvenilir olduğunun kesin bilinmemesidir. Belirli bir malzeme için oluşum enerjisi katsayıları basılı literatürden elde edilebilir fakat, ölçüm metotlarının farklılığı veya benzer olmayan üretim aşamaları nedeniyle farklılık göstermektedir. Ayrıca, oluşum enerjisi verilerinde, verilerin ne derece güvenilir olduğuna dair çok az bir bilgi bulunmaktadır. Bu bizi, malzeme kıyaslamalarında veya hayat döngüsü enerji analizlerinde yanlış sonuçlara götürebilmektedir. Bu yüzden, oluşum enerjisi hakkında nicel ve niteliksel anlamda daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak, oluşum enerjisi kullanıcısının, kullandığı verinin güvenilirliğinin amacı için uygun olup olmadığından emin olması gerekmektedir.

İşlem analizleri, girdi-çıkı analizleri, istatistiksel analizler ve hibrid analizleri olmak üzere oluşum enerjisini hesaplayabilmek için değişik metotlar, bulunmaktadır. Son zamanlarda elimizde olan birçok oluşum enerjisi verileri, işlem analizleri ve girdi-çıkı analizleri yöntemlerinden elde edilmiştir. İşlem analiz yöntemlerinin avantajı olarak, bu yöntem bize, bir malzemeyi veya bir bileşiği üretmek için gerekli olan enerji miktarını oldukça doğru verdiğini söyleyebiliriz. Buna karşılık, dezavantaj olarak enerji girdisi olarak sadece doğrudan enerji girdisini almasını söyleyebiliriz. Girdi-çıkı analizleri yöntemini ise ulusal hükümet ekonomik verilerini baz almaktadır ve bir malzeme veya bileşiğin üretimindeki toplam enerjiyi (doğrudan veya dolaylı) hesaplamaktadır. Fakat, bu teknikle beraber gelen potansiyel hatalarda bulunmaktadır; mesela, enerji tarifeleri, malzeme fiyatları ve ulusal girdi-çıkı verilerinin homojenliği hakkında bazı kabul edilmeler yapılmaktadır.

Oluşum enerjisi verisinin özel bir yapıya uygulamasında, mesela binanın hayat dönüşüm enerji analizi veya alternatif bina malzemelerinin karşılaştırılması gibi, bir çalışmada, kullanım enerjisi, malzemenin kullanım ömrü ve malzemenin miktarı gibi fazladan bilgilere gerek duyulmaktadır. Bütün bu verilerin her biri bize sonucumuzu etkileyecek yeni olası hataları da beraberinde getirecektir.

2.5. Oluşum Enerjisi ve Enerji Geri Ödeme [8]

Enerji geri ödeme, yapı malzemelerinden bina dış kabuk malzemesi için binanın enerji kazancına yardımcı olan malzemeler için geçerli olan bir kavramdır. Bir malzemenin enerji geri ödeme periyodu, o malzemenin üretimi için harcanan oluşum enerjisinin bize enerji kaybını azaltarak kazandırdığı enerji miktarına eşit oluncaya kadar geçen süredir. Bir malzemenin enerji geri ödeme zamanı ne kadar kısa ise o malzemenin yapıda kullanımı o kadar iyi olur. Çünkü oluşum enerjisi için harcanan enerjiyi kısa bir süre sonra bize kazandıracak ve kendini enerji bakımından amorti etmiş olacaktır.

Tablo 2.2’de gösterilmiş enerji geri ödeme değerleri iki farklı alternatif üzerine kurulmuş ve BREDEM* çalışma tablosu kullanılarak hesaplanan küçük ölçekte geleneksel ayırık konutlar üzerinde yapılmıştır. Birincide, alternatifte duvar çift cidar şeklinde boşluklu olarak normal yalıtımlı bir duvar şeklinde ele alınmıştır ve yürürlükte olan bina standartları için normal olan 0,45 U değerine sahiptir. Tablo 2.2’de görülen enerji geri ödeme değerleri duvarın iç cidarına ait değerlerdir. İkinci alternatifte ise yığma duvarımız pratikte sadece duvar örgü malzemesiyle mümkün olmayan, bunun yanı sıra yalıtım malzemeleri ile desteklenmiş süper yalıtımlı bir duvar olarak U değeri 0,1 olarak alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 2.2. Yalıtım malzemeleri için oluşum enerjisi geri ödeme zamanları. [8]

İç levha malzemeleri	1m ² ’lik duvarın oluşum enerjisi (GJ)	Enerji geri ödemesi: orijinal U=0,45 (yıllarda)	Enerji geri ödemesi: orijinal U=0,10 (yıllarda)
Tuğla	32	51,6	1067
Yoğun beton blok	20	76,9	2000
Hafif beton	21	11,7	230
Havali beton	38	11,1	180

* Energy Assessment for Dwellings using BREDEM Worksheets; IP 13/88 (B R Anderson, Building Research Establishment, Garston) 1988.

Tablo 2.2'deki değerler bize gösteriyor ki; eğer binamız normal yalıtımlı bir bina ise, duvarda seeimiz duvar örgü malzemesinin binanın enerji kullanımına çok önemli katkıları bulunmaktadır. Fakat, duvarımız çok iyi 'süper yalıtılmış' bir duvar ise duvar örgü malzemesi olarak en düşük oluşum enerjili malzemenin seçilmesi gerekmektedir.

2.6. Oluşum Enerjisinin Azaltılma Yöntemleri

Bina toplam oluşum enerjisini azaltmanın değişik yolları bulunmaktadır. Bu yollardan birincisi, oluşum enerjisi düşük malzeme seçmektir. Geleneksel olarak üretilen malzemeler için üretim yolları değerlendirilip, varsa teknolojik olarak daha ileri yöntemler tercih edilerek üretilen malzeme için üretim aşamasında nlem almak mümkündür.İkinci olarak, yapıların mümkün olduğunca uzun ömürlü olmasını sağlamak gelmektedir. Bunun değişik yönleri vardır, en önemlilerinden bir tanesi halkın kullanımına uygun olacak en iyi tasarımı yapmaktır. Böylelikle, doğru kullanılması sonucunda uzun seneler kullanılabilecektir. Diğer bir yönü ise yüksek kalite ve dayanıklı malzemeler kullanılan malzemenin yeniden düzenlemesini azaltacaktır. Son olarak malzemelerin geri dönüşümü en önemli yönünü oluşurmaktadır. Kurşun gibi bazı malzemeler geleneksel olarak eskiden beri dönüşümlü olarak kullanılmaktadır. [14] Son zamanlarda ancak, beton ve plastik gibi malzemelerin geri dönüşümü daha yaygın bir hale gelmektedir.

2.7. Sürdürülebilirlik Kapsamında Yapı Malzemesinin Oluşum Enerjisi Düzeyleri

Bina malzemelerini oluşum enerjilerine göre 4 kategoride sınıflandırılabiliriz: Çok yüksek, yüksek, orta ve düşük enerjili malzemeler (Tablo 2.3). Çok yüksek enerjili malzemeler enerji yoğunluğu 50 GJ/ton'dan fazla olan malzemelerdir. Yüksek enerjili malzemeler enerji yoğunluğu 5 GJ/ton ile 50 GJ/ton arasında olan malzemelerdir. Orta enerjili malzemeler enerji yoğunluğu 0.5 ve 5 GJ/ton arası olan malzemelerdir. Düşük enerjili malzemeler ise enerji yoğunluğu 0.5 GJ/ton'dan küçük olan malzemelerdir. [6]

2.7.1. Çok yüksek ve Yüksek Enerjili Malzemeler

Yüksek enerjili malzemeler enerji yoğunluğu 5 GJ/ton'dan fazla olan alüminyum, çelik, plastik, cam ve çimento gibi malzemeleri içerir (Tablo 2.2). Bütün bu malzemeler büyük ölçekli üretimlerdir ve yüksek ısı fırınlarında imal edilmektedir. Ve kullanılan enerji ısı enerjisidir ve genel olarak akaryakıttan elde edilir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte daha çok ürün elde etme ile birlikte kullanılan enerjinin tüketiminin azaltılması sağlanmıştır. [6]

2.7.2. Orta Düzeyde Enerjili Malzemeler

Tablo 2.3'de gösterildiği gibi, orta düzeyde enerjili malzemeler enerji yoğunluğu 5 GJ/ton ile 0.5 GJ/ton arası olan beton, kireç, sıva, tuğla ve kiremit gibi malzemeleri içerir. Bu grup malzemeler daha küçük ölçekli de üretilebilen malzemelerdendir. [6]

Tablo 2.3. Yapı malzemelerinin karşılaştırmalı oluşum enerjisi gereksinimleri [6]

Malzeme	Enerji Gereksinimi (GJ/ton)
Çok yüksek enerji gereksinimi olan malzemeler	
Alüminyum	200-250
Plastik	50-100
Bakır	100+
Paslanmaz çelik	100+
Yüksek enerji gereksinimi olan malzemeler	
Çelik	30-60
Cam	12-25
Çimento	5-8
Alçı panel	8-10
Orta düzeyde enerji gereksinimi olan malzemeler	
Kireç	3-5
Tuğla – kiremit	2-7
Beton	
-yerinde dökme beton	0.8-1.5
-beton bloklar	0.8-3.5
-prekast	1.5-8
Ahşap	0.1-5
Düşük enerji gereksinimi olan malzemeler	
Kum, çakıl	<0.5
Toprak	<0.5

2.7.3. Düşük Enerjili Malzemeler

Düşük enerjili malzemeler enerji yoğunluğu 0.5 GJ/ton'dan az olan beton, harç, doğal ve yapay puzolan, toprak ve stabilize toprak gibi malzemeler girmektedir. Tablo 2.3'te gösterildiği gibi ahşap, eğer yerel üretim ise bu gruba girmektedir, eğer dışarıdan ihraç ediliyorsa üretim enerjisine ulaşım enerjisi de ekleneceği için orta düzeyde enerli malzemeler grubuna girecektir.

Kullanılan enerjinin miktarına ek olarak, kullanılan enerjinin kalitesi de önemli farklılıklar göstermektedir. Yüksek enerjili malzemeler genellikle elektrik, akaryakıt ve pulvarize kömür gibi yüksek kaliteli yakıtlara ihtiyaç duymaktadır. Buna karşılık, orta ve düşük enerjili malzemeler düşük kalite kömür veya akaryakıt gibi piyasada daha çok bulunan yakıtlarla üretilmektedir.

Diğer bir farklılık ise yüksek enerjili malzemelerin diğerlerine göre daha büyük çaplarda üretildikleri için, kullanılacak yerlere taşınmaları için gerekli olan enerji diğer grup malzemelere göre daha fazladır. 100 km'lik yolu taşımak için gerekli olan enerji yaklaşık 250 MJ/ton'dur. [19] Tren yolu veya deniz yolu ile taşımacılık ise karayoluna göre daha az enerji gerektirmektedir; her 100 km'lik mesafe için tren yolu için 50-100 MJ/ton, deniz yolu için 70-100 MJ/ton'luk enerji gerekmektedir. [16]

2.8. Sürdürülebilirlik Kapsamında Yapıda Kullanılan Malzemenin Oluşum Enerjisi Analizi

Bu bölümde, yapı malzemeleri için üretim teknikleri ve bu tekniklere bağlı olarak oluşum enerji konusuna açıklık getirilmiştir. Ayrıca, yapı malzemelerini seçmemizde oluşum enerjisi yanında önemli bir unsur olarak karşımıza çıkan sürdürülebilirlik konusunda, malzeme seçimimize yardımcı olabilecek malzemeler arasında bir derecelendirme yapılmıştır. Derecelendirme yapılırken, birden beşe kadar numaralandırma yapılmıştır. Bu numaralandırmada bir numara en iyi, beş numara en kötü olarak belirlenmiştir.

2.8.1. Portland Çimentosu [6]

Çimento inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesidir. Çimento üretimi de çok enerji gerektiren işlemlerden birisidir. Dünya çapında her yıl yaklaşık 600

milyon ton çimento 4.2×1000000000 GJ kullanılarak üretilmektedir. Bu çimentonun da yaklaşık %85'i sıcaklığı 1450 °C ulaşan yüksek ısı fırınlarında üretilmektedir ve sıradan portland çimentosu (Ordinary Portland Cement-OPC) olarak adlandırılmaktadır. Buna ek olarak ham maddeyi çıkartmak, öğütmek ve fabrikayı işletmek için başta elektrik olmak üzere önemli miktarda daha enerji harcanmaktadır.

Tablo 2.4. Çimento üretimi için oluşum enerjisi gereksinimleri [6]

İşlem	Oluşum Enerjisi (GJ/ton)	Kaynak
Kuru İşlem	3,3	NATO (Avrupa)
Süspansiyon Ön Isıtma	3,3	ETSU (İngiltere)
	3,6-4	Rai (Hindistan)
Yarı Kuru	5,074	Ming-yu (Çin)
Islak İşlem	5,4	NATO
	6,1	ETSU
	5,7 – 6,5	Rai

Çimento üretiminde ıslak işlem ve kuru işlem olmak üzere iki yol kullanılmaktadır. Islak işlemde ham maddeler, kireçtaşı, ve kil su ile karıştırılarak bulamaç haline getiriliyor daha sonra su karışımdan çıkartılıyor. Bu bize kolay kontrolü sağlamakla birlikte suyun sistemden uzaklaştırılması için tablo 2.4'te görüldüğü gibi çok enerji gerekmektedir. Bu yüzden son zamanlarda karıştırma işleminin de kuru yapıldığı kuru işleme geçilmiştir.

Çimento enerjisinde enerji korunumu için son zamanlarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Birincil çalışmalar fırınlar üzerinde yapılmakla birlikte enerji korunumunun başka yolları da mevcuttur. Yöntemler aşağıdaki gibidir;

- Fırın verimliliğini ıslak işlemde kuru işleme geçerek arttırmak, aynı zamanda kuru işlem fabrikalarına ön-ısıtmalı sistemler yerleştirilerek
- Malzeme kurutma işlemlerinden ve diğer endüstriyel işlemlerden çıkan ısı atıklarının değerlendirilmesi
- Fırın yalıtımının iyileştirilmesi
- Öğütme tekniklerinin geliştirilmesi

Tablo 2.5'te görüldüğü gibi harç katkılarını kıyasladığımız zaman sıradan Portland çimentosunun oluşum enerjisi bakımından diğerlerine göre daha fazla bir değere sahip olduğu gözükmemektedir. Sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirdiğimiz

zaman oluşum enerjisinin fazla olması küresel ısınmaya katkısını arttırmakla beraber, kullanım aşamasındaki kriterlerde diğer katkı maddeleri gibi oldukça iyi değerlere sahiptir.

Tablo 2.5. Harç katkıları için sürdürülebilirlik değerlendirmesi [8]

	ÜRETİM AŞAMASI						KULLANIM AŞAMASI			
	Enerji Kullanımı	Doğal Kaynak Kullanımı	Küresel Isınma	Ozon Tabakası	Toksit Miktarı	Fotokimyasal Oksidanlar	Enerji Kullanımı	Dayanıklılık/Bakım	Geri-Dönüşüm/Yeniden Kullanım/Yok edilmesi	Sağlık
HARÇ KATKILARI										
Sıradan Portland Çimentosu	5	1	5	1	4	3	1	1	2	3
Saf Kireç	4	1	1	1	3	2	1	1	1	3
Su Kireci	4	1	4	1	3	2	1	1	1	3
OP Yüksek Fırın Çimentosu	3	1	3	1	2	2	1	1	2	3
OP Pulvarize Yakıt Külü	3	1	3	1	3	2	1	1	2	3
Kum ve Çakıl	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Tablo değerlendirmesi: 1-En iyi, 5-En kötü										

2.8.2. Kireç [2]

Geniş kullanımı ile birlikte kireç önemli bir inşaat malzemesidir. Her ne kadar, genel kullanımı harç ve sıvaya yapışkanlık vermek için eklenen bir malzeme olsa da, kirecin boyalarda, kum-kireç blokların yapımında ve toprak stabilizasyonunda kullanımı da mevcuttur. Kirecin önemli bir avantajı az miktarda bile ihtiyaç duyulsa, az enerji kullanılarak az kireç üretilebilmesidir. Kirecin üretimindeki enerjinin büyük bir kısmı kireç fırınlarında kirecin tavlama işlemi (calcining process) sırasında harcanan enerjidir. Kirecin fırınlama sıcaklığı 900°C ile 1100°C arasında değişmektedir. Tablo 2.6’da da görüleceği gibi oluşum enerjisi çimento kadar yüksek değildir. Sürdürülebilirlik kriterleri açısından değerlendirdiğimiz zaman tablo 2.5’te görüldüğü gibi oluşum enerjisinin çimentoya göre daha düşük olması

küresel ısınmaya katkısı kriterini biraz daha iyi bir duruma getirmiştir. Kullanım aşamasında ise oldukça iyi değerlere sahiptir.

Tablo 2.6. Kireç üretimi için oluşum enerjisi gereksinimleri [6]

İşlem	Üretimin boyutu (ton/gün)	Oluşum Enerjisi (GJ/ton)	Verim (yüzde)	Kaynak
Geleneksel kireç	Çok az	12,6	25	Rai
Konvansiyonel şaft kireç	10 – 20	9,03	35	Rai
Gelişmiş şaft kireç	10 – 20	6,24	51	Rai
Mekanize dikey kireç	20 – 100	4,76	67	Rai
Ulusal çalışmalar -Arjantin -Almanya -Hindistan		3,8 8,8 6,34		

2.8.3. Alçı Sıva [6]

Alçı sıvanın bina endüstrisinde genel kullanımı duvar sıvası ve alçı panel şeklinde olsa da potansiyel olarak çok geniş bir kullanım kapasitesi vardır. Çünkü üretilirken 150°C’ den fazla bir sıcaklığa gerek duymuyor. Üretilirken çok yüksek ısıya gereksinim duymadığından dolayı Tablo 2.7’te görüldüğü gibi çimento ve kirece göre hayli düşük bir oluşum enerjisi sağlıyor.

Tablo 2.7. Alçı sıva üretimi için oluşum enerjisi gereksinimleri [6]

İşlem	Oluşum Enerjisi (GJ/ton)	Kaynak
Geniş çaplı Üretim, UK	0,8 – 1,0	Coborn
Paris Alçısı	1,5	Rai
Küçük ölçekli Üretim, Kuzey Afrika	2,7 – 4,6	Coborn

Kireç durumunda olduğu gibi, alçı sıva üretimindeki en büyük enerji kullanımı fırınlama işlemi sırasında harcanmaktadır. Hammadde, alçıtaşı, ya yakıtla beraber karıştırılıp beraber yakılır, veya konteynırlarda ısıtılarak üretilir. Birinci metot olan direkt ısıtılarak üretilmesinde daha düşük kalite, ikinci metot olan konteynırlarda üretim ise yüksek kalite alçı taşı üretilir.

2.8.4. Metaller [6]

Binalarda çok çeşitli metaller kullanılmaktadır. Çelik, yapı elemanı olarak, çatı kapaması olarak veya betonarmenin içinde donatı olarak kullanılmaktadır. Az miktarda da olsa vida, çivi veya kapı ve pencere çerçevesi ve kapatması olarak kullanılmaktadır. Alüminyum ise çatı kaplaması, çinko galvanizleme için, bakır elektrik kabloları için kullanılmaktadır. Her ne kadar metaller Tablo 2.8’da görüldüğü gibi yüksek enerjili malzemeler olsalar da betonarme binalarda kullanım oranları çok az olduğu için binanın toplam enerji maliyetine çok büyük bir katkısı olmamaktadır. Tipik bir betonarme yapı için düşündüğümüz zaman, binanın toplam enerjisinin çelik yaklaşık % 1’ini ve bakır yaklaşık % 5’ini oluşturmaktadır.

Metal üretiminde enerji korunması için başlıca yollar şunlardır:

- Hammadde çıkarım ve işleme yöntemlerinin geliştirilmesi
- Geri-dönüşüm ve daha uzun ömür sağlanması
- İşleme sırasında oluşan atıkların minimuma indirilmesi

Tablo 2.8. Metal malzemelerin üretimi için oluşum enerjisi miktarları [6]

Metal	Oluşum Enerjisi (GJ/ton)	Kaynak
Çelik:		
-Profil, Almanya	25,8	Rai
-Betonarme çeliği, Almanya	30,1	Rai
-Betonarme çeliği, UK	39,5	Chapman
-Betonarme çeliği, USA	36,4	Stein
-Galvanize çelik levha, USA	64,5	Stein
Alüminyum:		
-Levha, Almanya	261	Rai
-Plaka, levha, USA	270	Stein
Diğer metaller:		
-Bakır, UK	115	Chapman
-Kurşun	30	Chapman
-Çinko	70	Chapman

2.8.5. Tuğla ve Kiremit [6]

Tuğla ve kiremit özellikle gelişmekte olan ülkeler için çok önemli inşaat malzemeleridir. Çünkü, hem düşük teknolojiyle bile üretilebilmekte hem de yakıt

olarak günlük kullanımdaki herhangi bir yakıt ile üretilmektedir. Hammaddesi kildir ve üretim aşamaları şu şekildedir:

- Hammaddenin çıkartılması
- Kil hazırlanması
- Kalıba dökme
- Kurutma
- Pişirme

Basit insan gücünden çok kapsamlı fabrikalarda üretim gibi çok değişik teknikler üretimin her basamağı için uygulanabilmektedir. Çoğu gelişmekte olan ülkeler için küçük ölçekli, insan gücünün ön planda olduğu ve düşük kaliteli ürünlerden bahsedebilirken, gelişmiş ülkelerde daha kaliteli ürünler makineleşme sayesinde üretilmektedir. Tablo 2.9’de görüldüğü gibi tuğla için ton başına fabrika üretim enerjileri çok fazla değildir. Bunun yanı sıra teknoloji farkının malzemenin oluşum enerjisini neredeyse yarı yarıya değiştirdiği (2,14 – 4,75) tablodan görülmektedir.

Tablo 2.9. Tuğla ve kiremit üretimi için oluşum enerjisi miktarları [6]

İşlem	Enerji ihtiyacı (GJ/ton)	Kaynak
Arjantin, Delikli tuğla ve kiremit:		
Yeni fabrika	2,14	Rai
Eski fabrika	4,75	Rai
Dolu tuğla	4,24	Rai
Almanya, Dolu tuğla	2,61	Rai

- **Sıradan Kilden Üretilen Tuğlalar**

Sıradan kilin üretiminde aşamasında en fazla enerji, kilin yüksek sıcaklıktaki fırınlarda pişirilmesinde harcanan enerjidir, bu enerjinin çoğu atık enerji olarak atılmaktadır. Eğer kullanılan malzemeler dikkatlice seçilmezse çıkan toksit gazlar zararlı olabilmektedir. Kilin bünyesinde bulunan sülfür yüzünden fırınlama sırasında sülfür dioksit de çıkmaktadır.

- **Yumuşak Toprakta Üretilen Tuğlalar**

Yumuşak topraktan üretilen tuğlalar genellikle sıradan kilden üretilen tuğlalarla aynı sınıfta ele alınıp, tablo 2.10’da enerji kullanımının fazla gözükme nedeni fırınlanmadan önce ısıtılmış hava ile kurutulması gerekmesinden dolayıdır. Kullanım aşamasında sürdürülebilirlik kriterleri açısından oldukça iyidir.

- **Delikli Tuğla**

Delikli tuğla normal tuğlanın özel bir işleminden geçmiş halidir. Bu sayede tablo 2.10’da görüldüğü gibi doğal kaynak kullanımını, kullanılan enerjiyi, zamanı ve ağırlığı (nakliye enerjisi bakımından) azaltmaktadır. Delikler sayesinde tuğlanın pişmesi daha çabuk olmaktadır. Deliklerin bize sağladığı diğer bir fayda ise tuğlanın yalıtım kapasitesinin artmasıdır.

- **Kalsiyum Silikat Tuğlalar**

Kalsiyum silikat ve benzeri tuğlalar uygun agrega ve kireçten meydana gelmektedir. Bu tür tuğlalar otoklavlama işleminden geçmek zorundadır. Otoklavlama nemli fırınlarda yüksek basınç altında yapılan bir işlem olduğu için oluşum enerjisini arttıran bir işlemdir.

Tablo 2.10. Tuğla, beton bloklar ve harç katkıları için sürdürülebilirlik değerlendirmesi [8]

	ÜRETİM AŞAMASI						KULLANIM AŞAMASI			
	Enerji Kullanımı	Doğal Kaynak Kullanımı	Küresel Isınma	Ozon Tabakası	Toksit Miktarı	Fotokimyasal Oksidantlar	Enerji Kullanımı	Dayanıklılık/Bakım	Geri-Dönüşüm/Yeniden Kullanım/Yok edilmesi	Sağlık
TUĞLALAR										
Sıradan Kil	4	1	1	1	3	3	1	1	1	1
Yumuşak Toprakta	5	1	1	1	3	2	1	1	1	1
Delikli Tuğla	3	1	1	1	2	3	1	1	1	1
Kalsiyum Silikat	4	3	3	1	3	3	1	1	1	1
Tablo değerlendirmesi: 1-En iyi, 5-En kötü										

2.8.6. Kum ve Bina Taşı

Önemli miktarlarda kum ve çakıl binalarda betonun, harcın ve sıvanın içine karışım oluşturmak için katılmaktadır. Taş ise yığma binalarda taşıyıcı olarak veya bitirme malzemesi olarak kullanılmaktadır. Tablo 2.11’de görüldüğü gibi düşük enerjili malzemelerdir. Kullanılan enerji başlıca hammadde olarak çıkarma enerjisi ve istenilen boyutlara kırma enerjisidir. Bu işlemlerde teknik olarak el ile olabildikleri gibi tamamen makineler yardımı ile de olabilmektedir.

Tablo 2.11. Kum ve bina taşı üretimi için oluşum enerjisi miktarları [6]

Malzeme	Enerji İhtiyacı (GJ/ton)	Kaynak
Kum ve agrega, UK	0,03 – 0,3	Gartner ve Rankin
Parçalanmış agrega, Hindistan	0,22	Rai
Kum, Hindistan	0,015	Rai
Bina taşı, Kenya	0,1	Spence

- **Yerel Üretim Taş**

Oluşum enerji açısından giderlerin başında taşın madenden çıkartılması, şekil verilmesi ve nakliye aşamasında harcanan enerji en önemli girdidir. Taşın kullanıma hazır hale gelebilmesi için fazla malzeme kullanıldığı için oluşum enerjisi 4MJ/kg olabilmektedir.

- **İthal Üretim Taş**

Eğer çok uzak mesafeden gelmiyorsa ithal olması oluşum enerjide çok büyük artışlara neden olmamaktadır. Tuğla ve beton bloklardan daha ağır olduğundan dolayı, mesafenin uzaması oluşum enerjisini önemli ölçüde arttırmaktadır.

Tablo 2.12. Taş için sürdürülebilirlik değerlendirmesi [8]

	ÜRETİM AŞAMASI						KULLANIM AŞAMASI			
	Enerji Kullanımı	Doğal Kaynak Kullanımı	Küresel Isınma	Ozon Tabakası	Toksit Miktarı	Fotokimyasal Oksidantlar	Enerji Kullanımı	Dayanıklılık/Bakım	Geri-Dönüşüm/Yeniden Kullanım/Yok edilmesi	Sağlık
TAŞ										
Yerel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
İthal	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Yapay	3	3	5	1	4	3	1	1	1	1
Tablo değerlendirme: 1-En iyi, 5-En kötü										

2.8.7. Cam

Camın ham maddesi her ne kadar kum ve taş gibi mineral tabanlı olsa da, üretimi çok yüksek sıcaklıktaki fırınlarda olduğu için enerji sıralamasında yüksek enerjili malzemeler sınıfına girmektedir ve ton başına düşen oluşum enerjisi tablo 2.13’de görüldüğü gibi oldukça fazladır. Cam, binalarda çok kullanılan bir malzeme olmasına karşın, özel projeler hariç, miktar bakımından azdır. Tipik bir bina için bina toplam enerji maliyetinin yaklaşık %1’ini oluşturmaktadır.

Tablo 2.13. Cam üretimi için oluşum enerjisi miktarları [6]

Malzeme	Oluşum Enerjisi (GJ/ton)	Kaynak
Cam, Hindistan	21,8	Rai
Cam, UK	11,9	ETSU
Cam, USA	21,4	Stein

Camın üretimindeki enerjinin çoğu hammaddeyi eritmede kullanılan enerjidir. Kum, kireçtaşı, soda külü gibi hammaddeleri fırınlarda eritirken fırınların sıcaklıkları 1450 – 1550 °C’ ye kadar çıkabilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde dahil olmak üzere cam sanayindeki gelişme camın üretim enerjisini gün geçtikçe düşürmektedir. Aynı zamanda camın özellikle endüstrileşmiş ülkelerde geri-dönüşümlü malzeme olarak

kullanılması hızlı bir şekilde artmaktadır. Camın üretim enerjisinin azaltılması konusunda uygulanabilecek diğer yöntemler arasında ise şunları sayabiliriz:

- İşlemlerin daha iyi yalıtılması
- Daha iyi bir fabrika planlaması ile ısı atıklarının tekrar kullanılabilmesine olanak verilmesi.

2.8.8. Beton

Duvar malzemelerinin hepsi üretimleri sırasında önemli bir miktarda çevreye etkileri vardır. Bu malzemeler yüksek hacimde, yüksek yoğunlukta malzemeler olup yenilenemez kaynaklar kullanılarak yüksek enerji girdileriyle üretilmektedirler. Buna karşılık, düşük bakım masrafları vardır ve rapor edilmiş herhangi bir zararı bulunmamaktadır.

Yüksek yoğunluk ve çok miktarlarda kullanılıyor olması malzemenin taşıma maliyetinin önemini arttırmaktadır. Bu yüzden malzeme seçiminde malzemenin yerel olmasına dikkat edilmelidir.

Duvar malzemeleri endüstrisinde, son zamanlarda olan eğilim yeni malzeme üretmekten daha çok olan malzemeleri geliştirmeye yöneliktir.

Beton aslında şimdiye kadar analiz ettiğimiz çimento, kum, ve agrega gibi yenilenebilir maddelerin karışımından oluşan komposit bir malzemedir. Fabrikada üretilip inşaat alanına hazır getirilebileceği gibi (prekast beton), inşaat alanında da üretilmesi mümkündür. Beton, akışkanlığı, kolay taşınabilmesi ve basınca karşı oldukça dirençli bir malzeme olması sebebiyle oldukça değerli bir malzemedir. [20] Betonun üretim aşamasını genel olarak dört ana kısma ayırabiliriz; birinci kısım çakılın madenden çıkartılması ve çimentonun hazırlanması ve işleneceği fabrikaya götürülmesi, ikinci kısım kalıp ve donatıların düzenlenmesi, üçüncü kısım betonun karıştırılması ve istenilen yere boşaltılması ve son olarak da kullanımı bittikten sonra betonun parçalanması ve yeniden kullanılmasıdır.

Tablo 2.14. Beton blok üretimi için oluşum enerjisi miktarları [6]

Malzeme	Oluşum Enerjisi (GJ/ton)	Kaynak
Hafif beton, UK	1 – 2	Rankin, 1976
Delikli blok, USA	2 – 2,5	Rankin, 1976
Hafif agrega blok, Almanya	1,7	Rai,1984

Hafif betonlarda inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Bu tür betonlarda betonun içine agrega olarak cüruf kil ve killi şist, cüruf pfa, bims taşı, pomza taşı gibi malzemeler kullanılmaktadır. Blokların içerisindeki malzemelerin enerji yoğunluğu, işleme enerjisine ve hammadde oranına göre birim ağırlık olarak ölçülürken, blokların kendi enerjileri birim hacim hesaplanarak bulunur. Çoğu bloğunda içindeki hava boşlukları sayesinde iyi bir yalıtım kapasitesine de sahip olduğu dikkate alınması gereken özelliklerdendir.

- **Sıradan Yoğun Beton Bloklar**

Çoğu beton bloklarda harcanan enerji buhar kürü ve basınç ile sıkıştırma işlemi sırasında harcanmaktadır.

- **Hafif Agregalı Betonlar**

Hafif agregalı betonları üretmek için gereken hafif agregaların çoğunun (expanded clays and shales, sintered pfa, exfoliated vermiculite and expanded perlite) üretimi için yüksek enerji gerekmektedir. Hafif agregalı betonların oluşum enerji bakımından avantajlı tarafı, hafif agrega vasıtasıyla ağırlığının azalması ve nakliye enerjisinin aza indirilmesidir.

- **Gaz Beton Bloklar**

Gaz betonlar çimento/kireç/kum çamurundan oluşmaktadır, içerisindeki küçük alüminyum sülfat parçacıkları bulunmaktadır. Bünyesindeki alüminyum kireçle reaksiyona girerek hidrojen kabarcıkları oluşturmaktadır. Her ne kadar bünyesinde az miktarda da bulunsa, yüksek oluşum enerjisine sahip olan alüminyum, gaz betonun toplam enerjisini arttırmaktadır.

Tablo 2.15. Tuğla, beton bloklar ve harç katkıları için sürdürülebilirlik değerlendirmesi [8]

	ÜRETİM AŞAMASI						KULLANIM AŞAMASI			
	Enerji Kullanımı	Doğal Kaynak Kullanımı	Küresel Isınma	Ozon Tabakası	Toksit Miktarı	Fotokimyasal Oksidanlar	Enerji Kullanımı	Dayanıklılık/Bakım	Geri-Dönüşüm/Yeniden Kullanım/Yok edilmesi	Sağlık
BETON BLOKLAR										
Sıradan Yoğun Bloklar	3	3	5	1	4	3	1	1	1	1
Hafif Agregalı Betonlar	3	2	5	1	4	3	1	1	1	5
Gözenekli Betonlar	5	2	3	1	4	3	1	1	1	1
Kompozit Yalıtım Blokları	3	3	5	5	4	3	1	1	1	1
Tablo değerlendirme: 1-En iyi, 5-En kötü										

2.8.9. Ahşap

Sürdürülebilirlik, ahşap yapı malzemesinin birinci gündem maddesi olmuştur. Son zamanlarda artan bir bilinçlilikle ormansızlaşma insanların daha da fazla dikkatini çekmektedir. Yabancı ülkelerde ormanların kullanımına dair kurulan kuruluşlar (forest stewardship gibi) henüz ülkemizde bulunmamaktadır, bu yüzden ormanlarımız hala bilinçsizce azalmaktadır. Ağacın yenilenebilir bir kaynak olması onu bilinçsizce kullanmamızı gerektirmemektedir.

Ahşap inşaat sektöründe sıklıkla kullanılan malzemeler arasındadır. Binalarda ana taşıyıcı sistemi oluşturduğu gibi, çatı taşıyıcısı, parke kaplama olarak, ve inşaat iskeleti yapımında da kullanılmaktadır. Ahşap enerji yoğunluğunu oluşturan başlıca işlemler şunlardır:

- ahşabın kesilmesi
- tomrukların fabrikaya taşınması
- tomrukların daha küçük parçalara bölünmesi
- kurutma işlemi
- ahşabın çürümelere karşı korunma işlemidir.

Ağacın kurutulmasında güneşte kurutma yöntemi ve fırınlama yöntemi olarak iki çeşit yol vardır. Oluşum enerji açısından baktığımız zaman, fırınlanmış ağacın oluşum enerjisinin güneşte kurutulan ağaca göre oldukça yüksek olduğunu görmekteyiz.

Tablo 2.16. Ahşap üretimi için oluşum enerjisi miktarları [6]

Ürün	Oluşum Enerjisi (GJ/ton)	Kaynak
Yumuşak-ahşap çerçeve, USA	0,7	Stein
Ahşap işleme, Arjantin	0,4	Rai
Ahşap, Almanya	1,04	Rai
Ahşap kalıp, UK	1,6	Hasetline
Ahşap ürün, UK	5,4	Gartner ve Rankin

Ahşap, diğer bina taşıyıcı malzemeleri olan çelik ve betonla kıyaslandığı zaman her ne kadar yüksek bir enerji yoğunluğa sahip olamasa da yinede ahşabın üretim enerjisini düşürme çalışmaları devam etmektedir. Mesela özel koruma yöntemleri ile ömrünün uzatılması ile enerji geri ödemesinin uzatılması, inşaat aşamasında etkili bir şekilde kullanılması (kalıplarda tekrar kullanılması), bir binanın ömrünün bitiminden sonra tekrar kullanılabilir tasarlanması, vb.

Ahşabın oluşum enerji girdileri arasında en önemli olanlarından biri, önemli miktarda akaryakıt tüketiminin gerçekleştiği nakliye aşamasıdır. Tablo 2.17’de, ahşabın dünyanın değişik yerlerinden İngiltere’ye olan nakliyesinde ton başına ne miktarda bir enerji harcandığı görülmektedir. Her ne kadar, deniz taşımacılığı çok büyük enerji tüketimi gerektirmese de, mesafelerin çok fazla olması malzemenin oluşum enerjisini büyük ölçüde arttırmaktadır.

Tablo 2.17. Yapı malzemeleri için yaklaşık nakliye enerji miktarları [19]

KAYNAK ÜLKE	KONTEYNER GEMİLER İLE NAKLİYE ENERJİSİ (GJ/ton)
Papua Yeni Gine	2,4
Endonezya	2,2
Britanya Kolombiyası	1,0
Brezilya	0,7
Gana	0,6
Sibiryaya	0,5
Finlandiya	0,3
İsveç	0,1

Karşılaştırma amaçlı olarak diğer malzemelerin oluşum enerjileri Tablo 2.18 verilmiştir. Ağacın sadece nakliye oluşum enerjisi betonun toplam oluşum enerjisine eşit olabiliyor.

Tablo 2.18. Karşılaştırmalı oluşum enerjisi değerleri [19]

MALZEME	Oluşum Enerjisi (GJ/ton)
Beton	1,0
Tuğla	3,1
Cam	33,1
Çelik	47,5
Alüminyum	97,1
Plastikler	162,0

2.8.10. Isı Yalıtım Malzemeleri [6]

Isı yalıtım malzemeleri üretiminde dikkat edilecek önemli unsurlardan biri CFC gazının üretim aşamasında oluşup oluşmaması veya oluşuyorsa, ne kadar oluştuğudur. CFC gazının üretimi son zamanlarda durmasına karşılık HCFC gazı geliştirilmiştir. Bu gazında ozon tabakasını delme potansiyeli en az CFC kadar vardır ve bu etkide kısa zaman içinde olmaktadır. Kimya endüstrisi bu gazlara alternatif HCF gazını geliştirmiştir. Bu gaz klorin bileşiği içermediği için ozon tabakasına zarar vermemektedir. Fakat bu gazında küresen ısınmaya olan katkısı CO2 gazından 3,200 kat daha fazladır.

Tablo 2.19. Yalıtım malzemeleri ısı yalıtım değerleri [8]

MALZEME	K-DEĞERİ (W/Mk)
Poliüretan Köpük	0.024-0.039
Taş Yünü	0.03-0.04
Cam Yünü	0.032-0.04
Polistren Köpük	0.033-0.035
Fenolik Köpük	0.036
Yün	0.037
Selüloz Lifi	0.037
Üre-Formaldehit Köpük	0.038
Mantar Levha	0.040
Vermikülit	0.047-0.058
Cam Köpüğü	0.050-0.052
Yumuşak Levha	0.055
Ahşap-Yün Levha	0.093
Sıkıştırılmış Saman Levha	0.101

Bu gazlar yalıtım malzemelerinin şişirilmesinde kullanılan gazlardır. Fakat tek alternatif değildirler, mesela CO₂ veya Hidrokarbonlar (pentan) gazları da kullanılabilir. Bu gazlar fazla miktarda bulunabilmekte ve ucuz malzemelerdir, ozon tabakasına zarar vermemekte ve küresel ısınmaya karşı göreceli olarak daha ak etkisi vardır.

K-değeri olarak bilinen ısı iletkenlik katsayısı, tablo 2.19’da gösterildiği gibi malzemenin birim alanından birim zamanda ne kadar ısı iletileceğini göstermektedir. Isı yalıtım malzemeleri açısından, K-değeri malzemeyi seçerken asıl göz önünde bulundurulması gereken faktör olmaktadır. Yüksek K-değeri olan bir malzemede düşük K-değeri olan bir malzemeyle aynı ısı iletkenliği istendiği takdirde, daha kalın bir malzeme katmanı gerekmektedir. Aşağıdaki tablo bize ısı yalıtım malzemelerinin K-değerlerini vermektedir.

Tablo 2.20. Yalıtım malzemeleri için sürdürülebilirlik değerlendirmesi [8]

	ÜRETİM AŞAMASI							KULLANIM AŞAMASI		
	Oluşum Enerji	Doğal Kaynak Kullanımı	Küresel Isınma	Ozon Tabakası	Toksit Miktarı	Fotokimyasal Oksidanlar	Enerji Kullanımı	Dayanıklılık/Bakım	Geri-Dönüşüm/Yeniden Kullanım/Yok edilmesi	Sağlık
YALITIM MALZEMELERİ										
Selüloz Lifi	2	1	1	1	1	1	1	1	1	?
Sıkıştırılmış Saman Levha	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1
Mantar Levha	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Cam Köpüğü	4	2	1	1	3	3	1	1	1	1
Cam Yünü	3	2	1	1	4	3	1	1	3	3
Fenolik Köpük	5	3	?	?	5	4	1	1	1	4
Ekspande Polistiren	5	2	1	1	5	4	1	1	1	2
Ekstrude Polistiren	5	2	?	?	5	4	1	1	1	2
Rijit Ürethan Köpük	5	2	?	?	5	4	1	1	1	4
Taş Yünü	3	2	1	1	4	3	1	1	3	3
Yumuşak Levha	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1
Yumuşak Levha+Bitümen	3	2	1	1	2	2	1	1	2	1
Üre-Formaldehit Köpük	5	2	1	1	5	4	1	1	1	5
Vermikülüt(Ekspended)	3	2	1	1	1	1	1	1	1	?
Ahşap-Yün Levha	5	2	2	1	2	2	1	1	2	1
Yün	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tablo değerlendirme: 1-En iyi, 5-En kötü										

Isı yalıtım malzemesi olarak üretilen malzemeler için sürdürülebilirlik ve oluşum enerjisini göz önünde bulundurduğumuz zaman tablo2.20’de okunduğu kadarıyla genel olarak diyebiliriz ki; her ne kadar malzemeyi üretirken çok enerji harcansa da, harcadığımız enerjinin çok daha fazlasını malzeme bize hayatı boyunca sağladığı enerji korunumu ile vermektedir. Çoğu bu enerji geri ödemesini aylar veya birkaç yıl sonra sağlamaktadır, yalıtımsız binalara göre kıyasladığımız zaman. Bu açıdan baktığımızda oluşum enerji önemsiz gibi gözükse de, yeni bina üretiminde yalıtımın hangi malzemeyle yapılacağına karar verirken göz önünde bulundurulması gereken bir faktördür.

2.8.10.1. Sert Köpük Yalıtımlar

Sert köpük yalıtımlar için üretim süreçleri aşağıda açıklanmıştır.

- **Cam Köpüğü**

Cam köpüğü levhalar halinde kullanılmaktadır. Saf camın ilk önce soğutulup daha sonra karbon gazı ile baloncuklarla doldurulması şeklinde üretilmektedir. Düz çatı yapılarında kullanılmaktadır ve nemi hiç geçirmemesi ve yüksek sağlamlığı yapıyı uzun süre korumaktadır. Oluşum enerji bakımından cam yününe göre daha yüksek bir değere sahiptir.

- **Plastik Köpükleri**

Petrol bazlı kimyasallardan üretildikleri için hammaddeleri çok yüksek oluşum enerjilidir.

- **Fenol Köpüğü**

Fenolik köpük yangın dayanımı çok yüksek olan bir malzemedir ve binaların servis kısmının yalıtımında kullanılır.

- **Polistiren Köpüğü**

Polistiren köpüğü küçük polistiren parçacıklarından meydana gelmektedir ve pentan esneme malzemesi olarak kullanılmaktadır.

- **Ekstrüde Polistiren**

Ekstrüde polistiren yapılış tarzı olarak polistiren köpüğüne benzemektedir, fazladan bir işlem olarak kalıptan çekme (ekstrüzyon) işleminden geçmektedir. Daha sonra renklendirilmektedir.

2.8.10.2. Mineral Köpük Yalıtımlar

Mineral köpük yalıtımlar için üretim süreçleri aşağıda açıklanmıştır.

- **Cam Yünü**

Cam yünü için ham madde kum, kireçtaşı ve rafine edilmiş boraks kullanılmaktadır. Malzemeler yüksek sıcaklıkta eritilmekte ve ince lifler şeklinde biçimlendirilmektedir. Bu malzemelerin 1350°C’ de eritilmesi için gerekli olan enerji oluşum enerjisinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

- **Taş Yünü**

Taş yünü üretimi cam yününün üretimine benzemektedir, kum ve kireçtaşı yerine volkanik kaya ve dolomit kok kömürü fırınlarında ısıtılarak üretilmektedir.

- **Vermikülit (Exfoliated)**

Vermikülit mineral bazlı bir malzemedir. Vermikülit parçaları ısıtılarak içindeki nemin çıkması sağlanmaktadır ve bu hafif granül parçacıklarını oluşturmaktadır. İki türlü kullanım şekli vardır; çift duvar arasında taneciklerin doldurulması şeklinde kullanılabilirdiği gibi, sıva içerisinde hafif katkı maddesi olarak ta kullanılabilir. Oluşum enerjisi olarak ham maddenin fırında pişirilmesi sırasında harcanan enerji başlıca enerji girdisidir.

2.8.10.3. Selülozlar

Selüloz yalıtımlar için üretim süreçleri aşağıda açıklanmıştır.

- **Selüloz Lifleri**

Selüloz lifleri ağaçlardan üretilmektedir. Çevreye zarar vermemektedir ve küresel ısınmaya hiçbir etkisi yoktur. Selüloz lifleri kullanılmış atık kağıdın parçalanarak

şışırılmasından oluşmaktadır. Özellikle kullanılmış gazete ve kartonların geri dönüşüm için oldukça uygundur. Yangın dayanımı ve böceklerle karşı dayanımı için boraks ile işlenmektedir. Ahşap çerçeve nefes alan duvar yalıtımı için çok uygundur. Fakat neme karşı çok dayanıklı değildir.

Her ne kadar üretim aşamasında kaçınılmaz olarak belirli bir enerji tüketilse de, Tablo 2.21’te gösterilen karşılaştırmalı değerlerden anlaşılabacağı gibi diğer yalıtım malzemelerine göre düşük bir oluşum enerjisi vardır.

Tablo 2.21 Isı yalıtım malzemeleri üretimi için oluşum enerjisi miktarları [8]

Malzeme	Oluşum Enerji (GJ/m ³)
Plastik Yalıtım	4.05
Cam Köpüğü	2.7
Mineral Yünü	0.83
Selüloz Lifleri	0.48
Yün	0.11

- **Sıkıştırılmış Saman Levhaları**

Saman lifleri sıcaklık ve basınç ile yapıştırıcı kullanmadan, kenarları dağılmasın diye kağıtla bitirilen levhalardan oluşmaktadır. Bu levhalar bölücü olarak veya çatıda ısı yalıtımı olarak kullanılmaktadır. Yalın olarak veya sıva yaparak kullanılabilir. Oluşum enerjisi bakımından sıcaklık ve basınç işlemleri için belirli bir miktarda enerji gerekmektedir.

- **Mantarlar**

Mantar meşe ağacının kabuğundan üretilmektedir ve yalıtım panosu olarak üretileceği zaman basınç ve ısı kullanılmaktadır. Bazı granüller kendi kendine yapışmaktadır, bazılarında da yapıştırıcı kullanılmaktadır. Mantar panoların üretiminde harcanan en fazla enerji, hammaddenin kaynatılması ve malzemenin fırınlanması sırasında harcanan enerjidir.

- **Yumuşak Levhalar**

Düşük yoğunluklu fiber levhalardan üretilmektedir ve ısı iletkenlik katsayısı 0.055 W/mK civarındadır. Bitümle emprenye edilmiş çeşidi de aynı zamanda mevcuttur ve nemin sorun olduğu yerler kullanılmaktadır.

2.8.11. Komposit Levhalar

Komposit levhalar ahşap levhalara göre üretim aşamasında daha çok enerji tüketmektedir. Özellikle petrol bazlı kimyasal bazlı reçinelerin üretiminde ve yapıştırıcı ve ağaç hazırlama aşamaları ve levhaya şekil vermek için kullanılan ısı ve basıncı göz önüne aldığımızda oldukça enerji yoğun bir malzemedir.

- **Kontrplak**

Kontrplak ince kaplama maddelerinin üst üste yapıştırılmasından meydana gelen bitirme malzemesidir. Yapıştırıcı olarak genellikle formaldehit veya izosiyanit reçinesi kullanılmaktadır. İnce kaplama maddesi kütüklerin önce iyice ıslatılarak liflerin yumuşatılmasından sonra, döner testereleler vasıtasıyla parçalara ayrılmasından oluşmaktadır. Kontrplak içi esas olarak kaplama maddesinden ziyade parça levhalardan, sert ağaçtan veya diğer malzemelerden oluşmaktadır.

- **Parça Levhalar**

Parça levhalar genel olarak ağaç parçaları-atıkları, yonga, veya liflerden oluşmaktadır. Geri-dönüşüm ağaçları günümüzde her ne kadar az kullanılsa da, bu malzeme atıklarını daha fazla kullanmaya doğru yönelme vardır.

Parça levhalar %7-10 arası bağlayıcı reçineden meydana gelmektedir. Reçine olarak genellikle üre-formaldehit veya melamin üre-formaldehit kullanılmaktadır, neme karşı direncini arttırabilmek için.

- **Lifli Levhalar**

Lifli levhalar ağaç hamuru, keten, şeker kamışı ve çoğunlukla ağaçtan meydana gelmektedir. Levhalar genellikle bu malzemeler ile ağacın liflerinin hamur haline getirilip daha sonra yüksek sıcaklık ve basınçta şekillendirilmesinden meydana gelmektedir. Lifli levhalar genellikle dışarıdan bir yapıştırıcıya ihtiyaç duymamaktadır, bünyesinde sahip olduğu malzemeler sayesinde birleşebilmektedir. Buna istisna olarak MDF' yi (Medium Densiti Fibreboard) verebiliriz bünyesinde yapıştırıcı içeren malzeme olarak. MDF üretimi lifli levha üretimine benzemekle birlikte yapıştırıcı kullanılmaktadır, genellikle üre-formaldehit gibi.

Tablo 2.22. Levhalar için sürdürülebilirlik değerlendirmesi [8]

	ÜRETİM AŞAMASI							KULLANIM AŞAMASI		
	Enerji Kullanımı	Doğal Kaynak Kullanımı	Küresel Isınma	Ozon Tabakası	Toksit Miktarı	İşçi Sağlığı	Enerji Kullanımı	Dayanıklılık/Bakım	Geri-Dönüşüm/Yeniden	Sağlık
KATMANLI LEVHALAR										
Kontrplak	4	4	3	1	3	5	1	1	2	3
Blok Levha/Lamine Levha	4	3	3	1	3	5	1	1	2	3
PARÇA LEVHALAR										
Yonga Levha	4	2	4	1	4	4	1	1	2	4
OSB (Oriented Strand Board)	4	2	4	1	4	4	1	1	2	4
LİFLİ LEVHALAR										
Yumuşak Levhalar	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1
Orta Yumuşak Levhalar	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1
Sert Levhalar	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1
Orta Yoğun Lifli Levhalar(MDF)	3	2	3	1	4	4	1	1	2	5
ÇİMENTO YAPIŞTIRICILI LEVHALAR										
Ahşap-Tutkal Parça Levhalar	5	3	5	1	3	1	1	1	3	3
Ahşap-Ahşap Tutkal Katmanlı	5	2	5	1	3	1	1	1	3	3
DEKORATİF LAMİNELER										
Melamin	4	1	1	1	4	4	1	1	3	3
Tropik Sert-Ağaç	4	5	1	1	1	3	1	1	2	2
Tablo değerlendirme: 1-En iyi, 5-En kötü										

- **Sentetik Reçineler Bazlı Malzemeler**

Bu bölümdeki reçine bazlı malzemeler genellikle formaldehit ve disokianet reçinelerinden üretilmiştir. Yapıştırma malzemelerinin üretimi oldukça enerji tüketen bir işlemdir. Ham madde olarak yenilenemez kaynaklardan petrol ve gaz kullanılmaktadır.

Formaldehit reçineler kompozit panellerin üretiminde en çok kullanılan yapıştırıcıdır. Reçinenin içindeki formaldehitin miktarı önemli olmamakla birlikte,

serbest halde bulunan formaldehit önemlidir. Serbest formaldehit; kimyasal olarak reçineye bağlı olmayıp, havaya gaz şeklinde yayılan kısmı oluşturmaktadır. Formaldehitler içinde ise üre formaldehit en çok serbest halde olmaya yatkın olmakla birlikte, fenol ve resosinol formaldehit daha çok sabit durmaya eğilimi vardır.

- **Kontrplak**

Enerji kullanımı plağın üretim aşamaları olan vernikleme, sıkıştırma, düzeltme,ve kurutma aşamalarında gerçekleşmektedir. Buna ek olarak reçinelerin üretiminde harcanan enerjide kontrplakların oluşum enerjisine girmektedir. Nakliye sırasında harcanan enerjide uzaklığa bağlı olarak oluşum enerjiye önemli bir ölçüde katkısı olacaktır. Kontrplak ahşap kullanımı açısından kereste üretimine oranla daha verimli bir kullanımı vardır, her ne kadar bu ahşabın cinsine ve gördüğü işleme bağlı olsa da. Atık malzemeler ise yeni levhaların yapımında kullanıldığı gibi, enerji üretim için yakılarak ta kullanılmaktadır.

- **Blok Levhalar / Lamine Levhalar**

Enerji kullanımı plağın üretim aşamaları olan vernikleme, sıkıştırma, düzeltme,ve kurutma aşamalarında gerçekleşmektedir. Buna ek olarak reçinelerin üretiminde harcanan enerjide kontrplakların oluşum enerjisine girmektedir.

- **Yonga Levha**

Enerji kullanımı plağın üretim aşamaları olan vernikleme, sıkıştırma, düzeltme,ve kurutma aşamalarında gerçekleşmektedir. Buna ek olarak reçinelerin üretiminde harcanan enerjide kontrplakların oluşum enerjisine girmektedir. Yonga levhaların en büyük dezavantajlarından biri çok fazla miktarda uçucu organik bileşen içermesidir. Özellikle üretildikten 5 gün sonraya kadar reçinenin içerisinde bulunan kimyasal maddelerin insanlar üzerinde etkisi görülmektedir.

- **OSB**

Oluşum enerji bakımından OSB panolar reçine üretiminde harcanan enerjiye ek olarak, ağacın iplikçik haline getirilmesi ve sıcaklık ve basınç sayesinde şekil verilmesi aşamaları eklenmektedir. OSB panoların üretilmesi ağacın en verimli bir şekilde kullanılmasına örnek verilebilir, hiçbir şekilde ağaç israf edilmemektedir.

- **Lifli Levhalar**

-Yumuşak Levhalar

-Orta Sert Levhalar

-Sert Levhalar

Yumuşak levhalar neme karşı dayanıklılık kazanması için bitüm ile güçlendirilmiş levhalardır. Üretim için harcanan enerji ağacın liflerine ayrılması ve daha sonra yapıştırıcı bitüm, basınç ve sıcak uygulanarak birleştirilmesi sırasında harcanan enerjidir.

- **Çimento Yapıştırıcılı Levhalar**

Çimento oldukça enerji yoğun bir malzemedir, ıslak işlemli fırınlamada 6.1 GJ/ton, kuru işlemli fırınlamada ise 3.4 GJ/ton enerji harcanarak üretilmektedir. Fırın sıcaklığı yaklaşık olarak 1400 °C 'dir. Levhaların üretilmesindeki diğer bir enerji girdi işlemi ise ağaçların kesilip, kurutulması, parçalanması ve kürlenmesi sırasında gereken enerji miktarıdır.

- **Dekoratif Lamineler**

Laminelerin üretiminde kullanılan reçinelerin üretimi en önemli enerji girdisini oluşturmaktadır. Buna ek olarak kerestelerin birleştirilmesi için gerekli ısı enerjisi, yaklaşık 100 °C, diğer bir enerji girdisini oluşturmaktadır.

2.8.12. Kapı ve Pencereleler

Pencere çerçeveleri için dayanıklılık belki de en önemli seçme unsurlarından bir tanesidir. Ahşabın çürümeye karşı kötü bir ünü olmasına karşılık, uPVC ve alüminyum pencereler genellikle dayanıklı alternatifler olarak bilinirler. Ahşabın bu kötü ünü hammaddeden çok diğer faktörlere bağlıdır; ucuz işçilik, kötü montaj, vs. Fakat iyi detaylandırılmış bir ahşap pencerede diğerleri kadar dayanabilmektedir. Mesela, sert ağaçlardan olan meşe tasarım da uygun koruma yapıldıktan sonra boya veya ahşap koruyucu kullanmadan bile en uygun pencere malzemesi olabilmektedir. Her ne kadar, sertifikalı ağaçları kullanılabilecek en uygun çerçeve kısmına koysak ta, eğer bu çerçeveler sentetik çözücü bazlı boyalarla boyandıkları takdirde hayatları boyunca önemli çevresel zarar meydana getirebilmektedir. Bu yüzden eğer boya kullanılacaksa bitki bazlı boya kullanmak her zaman daha çevreci bir davranıştır.

Hatta sertifikasız ahşap üzeri sentetik boya olan bir çerçeve, uPVC pencereden çevreye daha çok zararı olabilmektedir.

- **Alüminyum Pencereleler**

Alüminyum pencereler direkt olarak pencere boşluğuna yerleştirildiği gibi ahşap bir kör kasa üzerine de sabitlenebilmektedir. Yıpratıcı koşullara maruz kalan alüminyum çerçeveler parlaklığını kaybedip paslanmaya başlayabilmektedir. Bu yüzden, eloksall işlemi veya organik bazlı sıvı kaplama malzemesiyle kaplanması gerekmektedir.

Alüminyum oldukça enerji yoğun bir malzemedir (180-240 MJ/kg). Dünyadaki alüminyum endüstrisi toplam enerji tüketiminin %1.4'ünü oluşturmaktadır. Geri-dönüşüm alüminyum kullanmak bize %80-%95 enerji kazancı sağlamaktadır. Alüminyum üretiminde oluşan ısı dört şey için kullanılmaktadır; başlangıç boksit-yakıcı soda çözeltisini ısıtmak için, çözeltinin kurutulması için, işlemde kullanılacak elektrotları oluşturmak için, ve en son elektrolitik azaltma işlemi için. Bunlar alüminyumun genel olarak oluşturulması sırasında gereken enerji girdilerini oluşturmaktadır, bunlara ek olarak istenilen şekle sokmak için fazladan enerji gerekmektedir. Tablo 2.23'te verildiği gibi pencere çerçeveleri açısından alüminyum en fazla oluşum enerjisine sahip bir yapı malzemesidir.

- **Ahşap Pencereleler**

Ahşap pencereler için genel olarak diyebiliriz ki; ya tür olarak dayanıklı sert ağaçtan üretilecektir veya ahşap koruyucu boya veya koruyucularla korunması gerekmektedir. Fakat doğal olarak dayanıklı bir ağaç türü de olsa, ahşap koruyucuları uygulamak genelde daha iyi sonuçlar meydana getirmektedir.

Ahşap çerçevelerin oluşum enerjileri konusunda en önemli girdi nakliye enerji girdisi olmaktadır. Özellikle sert dayanıklı ahşap dışarıdan getiriliyorsa bu enerji daha da artmaktadır. Fakat pencereleri genel olarak düşündüğümüz zaman tablo 2.23'tede görüleceği gibi oluşum enerjisi en düşük pencerenin ahşap olduğunu her zaman söyleyebiliriz.

Tablo 2.23. Çerçeve ve kullanılan boyalar için sürdürülebilirlik değerlendirmesi [8]

	ÜRETİM AŞAMASI										KULLANIM AŞAMASI		
	Enerji Kullanımı		Doğal Kaynak Kullanımı		Küresel Isınma		Toksit Miktarı		Fotokimyasal Oksidantlar		Isıl Performansı	Sağlığa Zararı	Geri-Dönüşüm/Yeniden Kullanım/Yok edilmesi
	Çerçeve	Boya	Çerçeve	Boya	Çerçeve	Boya	Çerçeve	Boya	Çerçeve	Boya	Çerçeve	Çerçeve & Boya	Çerçeve & Boya
AHŞAP OLMAYAN PENCERELER													
Alüminyum + Boya	5	5	1	1	4	1	4	5	3	5	5	2	3
u-PVC	3	1	1	1	1	1	5	1	4	1	3	2	3
Çelik + Boya	3	5	2	1	3	1	5	5	5	5	4	2	3
SERTİFİKASIZ YUMUŞAK AĞAÇ													
+ Bitki Bazlı Boya	2	2	3	1	2	1	2	4	1	3	2	3	2
+ Sentetik Çözücü Bazlı Boya	2	5	3	1	2	1	2	5	1	5	2	3	2
+ Sentetik Su Bazlı Boya	2	5	3	1	2	1	2	5	1	3	2	3	2
SERTİFİKASIZ TROPİK SERTAĞAÇ													
+ Bitki Bazlı Boya	3	2	5	1	3	1	1	4	1	3	2	3	2
+ Sentetik Çözücü Bazlı Boya	3	5	5	1	3	1	1	5	1	5	2	3	2
+ Sentetik Su Bazlı Boya	3	5	5	1	3	1	1	5	1	3	2	3	2
SERTİFİKALI AĞAÇ													
+ Bitki Bazlı Boya	2	2	1	1	1	1	1	4	1	3	2	3	2
+ Sentetik Çözücü Bazlı Boya	2	5	1	1	1	1	1	5	1	5	2	3	2
+ Sentetik Su Bazlı Boya	2	5	1	1	1	1	1	5	1	3	2	3	2
Tablo değerlendirme: 1-En iyi, 5-En kötü													

- **uPVC Pencereleler**

Her ne kadar 30 yıllık bir geçmişi olsa da, PVC hala yeni bina malzemeleri bölümüne koyabileceğimiz bir malzemedir, ve formülasyonu devamlı gelişmektedir. Eskiden uPVC eksturusyonu diğer çerçevelere göre çok hantal olduğundan dolayı çoğu kimse tarafında tercih edilmemekteydi. Fakat günümüzde, malzemenin güçlendirilmesi ve daha küçük profillerin üretilmesi tercih sebebi olmaktadır. Bununla birlikte, PVC ahşap ve metal kadar güçlü olamamaktadır, bu yüzden galvanize çelik elemanlar veya alüminyum elemanlar ile güçlendirilmektedir.

2.8.13. Boya ve Vernikler

Uçucu Organik Bileşenler (Volatile Organic Compounds – VOC) boyalar ve vernikleri incelerken göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerden bir tanesidir. Su bazlı boyalar son zamanlarda çok tercih edilen boyalardandır. İsminden zannedildiği gibi çok çevreci bir malzeme değildir. Her ne kadar kullanıcılar için düşük VOC yaydığı için güvenli olsa da, üretilmesi sırasında suyun kullanılabilmesi için birçok kimyasal işlemden geçmesi çıkan toksit miktarını arttırmaktadır. Bu malzemeye alternatif olarak, organik bazlı diyebileceğimiz bitki bazlı hammadde kullanımı vardır. Bunlar petrol bazlı kimyasallar ile üretilen diğer ürünlere göre daha az çevreye zararlıdır. Yinede VOC yaymakta ve diğer ürünlere göre daha pahalıdır. (Bkz. Tablo 2.24) [21]

- **Sentetik – Çözücü Kaynaklı**

Petrol bazlı kimyasal maddeler ham madenin (ham petrol veya gaz) oldukça yüksek enerjili işlemlerden geçirilerek istenilen madde üretilmesinden elde edilmektedir. Petrol petrokimyasallar için başlıca ham maddedir. Petrokimyasallar dünya genelinde tüm petrol tüketiminin %7'sini oluşturmaktadır.

Tablo 2.24. Boyalar için sürdürülebilirlik değerlendirmesi [8]

	ÜRETİM AŞAMASI						KULLANIM AŞAMASI			
	Enerji Kullanımı	Doğal Kaynak Kullanımı	Küresel Isınma	Ozon Tabakası	Toksit Miktarı	Fotokimyasal Oksidantlar	Enerji Kullanımı	Dayanıklılık/Bakım	Geri-Dönüşüm/Yeniden Kullanım/Yok edilmesi	Sağlık
BOYA VE VERNİKLER										
Sentetik – Çözücü Kaynaklı	5	5	1	1	5	5	1	1	3	5
Sentetik – Su Kaynaklı	5	4	1	1	5	3	1	1	3	3
Bitki Bazlı – Çözücü Kaynaklı	2	1	1	1	4	4	1	1	1	4
Bitki Bazlı – Su Kaynaklı	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1
Tablo değerlendirme: 1-En iyi, 5-En kötü										

- **Organik Bazlı – Çözücü Kaynaklı**

Organik bazlı boyalarda çözücü kullanmaktadır, fakat kullandıkları çözücü petrol bazlı kimyasal kaynaklı değil bitki kaynaklıdır. Tipik çözücülerden balsa ağacının yağından üretilen neftyağı zambını ve turunçgillerin kabuğundan üretilen yağı sayabiliriz. Asıl kuruyan yağlardan keten tohumunu örnek olarak verebiliriz. Bunların üretiminde oluşan atık maddelerde biyolojik olarak çözünebilmektedir. Sentetik çözücü kaynaklı ürünlere göre oluşum enerjisi oldukça düşüktür.

2.7.14. Döşeme Kaplamaları

Halı tipi döşeme kaplamaları için sürdürülebilirlik kapsamında oluşum enerjisinden daha önemli olarak sentetik kaplamaların, fiberlerin, kauçukların çevresel faktörlerinden olan sağlık konusunda olan etkileridir. Tablo 2.25'te de görüleceği gibi doğal bir malzeme olan yün kaplama malzemesi dışında diğer bütün döşeme kaplama malzemeleri hem oluşum enerjisi hem de diğer sürdürülebilirlik kriterleri açısından oldukça kötü durumdadır.

Halı tipi döşeme kaplamalarının çok iyi olmayan değerlerine karşın, tablo 2.25'te düz döşeme kaplamaları şeklinde gösterilen yapı malzemeleri PVC dışında sürdürülebilirlik ve oluşum enerjisi bakımından üretim ve kullanım aşamalarında oldukça iyi değerlere sahiptir. Buna ek olarak, bazı fayans çeşitlerinin %70 oranına kadar geri dönüşümlü malzemeler üretilmesi oluşum enerjisini daha da düşürmektedir.

Tablo 2.25. Halı ve döşeme kaplamaları için sürdürülebilirlik analiz tablosu [8]

	ÜRETİM AŞAMASI						KULLANIM AŞAMASI			
	Enerji Kullanımı	Doğal Kaynak Kullanımı	Küresel Isınma	Ozon Tabakası	Toksit Miktarı	Asit Yağmuru	Enerji Kullanımı	Dayanıklılık/Bakım	Geri-Dönüşüm/Yeniden Kullanım/Yok edilmesi	Sağlık
HALILAR										
Yün	2	1	1	1	3	1		2	1	1
Naylon	5	5	5	4	4	5		3	5	3
Polyester	5	5	4	1	4	3		3	5	1
Akrilik	5	5	4	1	4	3		2	5	3
HALI ALTLIĞI										
Keçe	2	1	1	1	1	1		1	1	1
Polietilen	5	5	4	1	4	3		1	4	1
Poliüretan	5	5	4	1	5	1		4	4	5
Poliüretan Köpük	5	4	5	5	5	4		5	5	5
Lateks	2	2	1	1	2	1		3	3	2
Lateks Köpük	2	2	5	5	2	1		3	3	2
DÜZ DÖŞEME KAPLAMALARI										
PVC/Vinil	4	5	4	1	5	4		1	5	5
Linolyum	2	2	1	1	1	1		1	1	1
Mantar	2	1	1	1	2	1		2	1	4
Ahşap/Parke	2	1	1	1	1	1		1	1	2
Taş	2	3	1	1	1	1		1	1	2
Lateks Karo & Rulo	2	2	1	1	2	1		3	3	2
Bütadiyen/Sitren Karo	5	5	3	1	4	3		3	5	3
Tablo değerlendirme: 1-En iyi, 5-En kötü										

2.7. Sonuçlar

Bu bölümde, tezin amacı olarak analiz edilecek örnek villa için gereken malzeme veri tabanı oluşturulmuştur. Bir proje için malzeme seçimi yaparken o malzemenin hammaddesinin ne olduğu, hangi koşullarda üretildiği ve üretilirken çevreye verdiği zararın derecesi, üretimi için ne kadar enerji harcandığı, üretildikten sonra kullanım aşamasında sağlıklı olup olmadığı ve geri dönüşümü, yeniden kullanımı veya yok

edilebilirliği konularının göz önünde bulundurulduğu malzeme analiz tablolarımız verilmiştir.

Bunların içinden malzemenin çevresel etkisini ve dünyanın enerji perspektifini en çok etkileyen faktör olarak malzemenin oluşum enerjisini düşünebiliriz. Oluşum enerjisini kısaca, malzemeyi üretilirken harcanan toplam enerji şeklinde tanımlanabilir. Oluşum enerjisi kavramı sadece bir malzemenin oluşum enerjisi (mesela tuğla, cam, çelik, vb) şeklinde ele alınabileceği gibi komposit bir bina elemanının oluşum enerjisi (pencere, kapı, sandviç panel, vb) veya bütün bir binanın oluşum enerjisi şeklinde de ele alınıp bu elemanlar bazında bir karşılaştırmaya veya analize gidilebilmektedir. [16]

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR GELİŞME VE OLUŞUM ENERJİSİ GÖZ ÖNÜNE ALINARAK YAPILAN ÖRNEKLERİN İNCELENMESİ

Bu bölümde, oluşum enerjisi ve sürdürülebilirlik kriterlerini göz önüne alarak tasarlanmış konutlar incelenmiştir. Bu kriterleri gerçekleştirebilmek için alınan tasarım kararları ve buna bağlı elde edilen oluşum enerji kazançları açıklanmıştır. Daha sonra, alınan bu kararların bina kullanım enerjisinde bize kazandırdıkları açıklanmıştır.

Tasarımlar, düşük oluşum enerjili bina tasarımı ile birlikte kullanılan malzemelerin çevreye etkisinin de göz önünde bulundurduğu sürdürülebilirlik kriterleri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde tasarlanan binalar ‘yeşil bina’ ve bu mimarlık türü de ‘yeşil mimarlık’ şeklinde adlandırılmaktadır. Burada ele alınan oluşum enerjisi kavramı hem malzemenin üretiminde tüketilen enerjiyi içeriyor hem de açığa çıkan CO₂’in miktarını içermektedir. Yeşil bina tasarımı kriterleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Pasif ısınma ve güneş ışığı ısınmada en etkili şekilde kullanabilme dolayısıyla pasif ısınmayı ve pasif soğumayı etkin kılma,
- binanın ısı kütlesine yani dış kabukta kullanılan malzeme miktarı ve yalıtıma dikkat edilmesi,
- Binanın havalandırmasının mümkün olduğunca doğal olarak yapılması (daha çok büyük ölçekteki binalar için geçerlidir),
- Güneş ışığını ışıktandırma dört mevsim en faydalı olabilecek şekilde güneş panelleri ile beraber yazın engelleyici kışın izin verici şekilde kullanılması
- Bina genelinde malzeme seçiminde malzemelerin geri-dönüşüm ve yeniden kullanım kriterleri göz önünde bulundurulmalı, mümkün olduğu yerlerde bu şekilde üretilmiş malzemeler tercih edilmeli veya kullanıldıktan sonra bu şekilde değerlendirilebilen malzemeler seçilmelidir,

- Bina araziye yerleştirilirken araziye en az değişiklik yapacak şekilde çevre ekolojisine en uygun yerleştirilmelidir,
- Yalıtım malzemeleri seçilirken daha çok geri-dönüşümlü malzemelerden üretilen fiberli ısı yalıtım malzemesi tercih edilmelidir. Ekstrüde polistiren kullanılması üretimi sırasında çıkan HCFC yüzünden ve genişmiş polistiren kullanılması çok yüksek oluşum enerjisi yüzünden edilmemektedir,
- Bitirmelerde linolyum, taş ve ahşap, doğal lifli halı gibi doğaya en yakın malzemeler tercih edilmelidir. [2, 23]

3.1. Friendly Plaj Pansiyonu [2]

Proje Yeri	: Freycinet Peninsula, Tasmania
Mimar	: Latona Masternman Pty Ltd.
İnşaat Sistemi	: Ahşap taşıyıcı, ahşap duvarlar, çelik çatı
Tamamlanma Yılı	: 1991

3.1.1. Tasarım Kararları

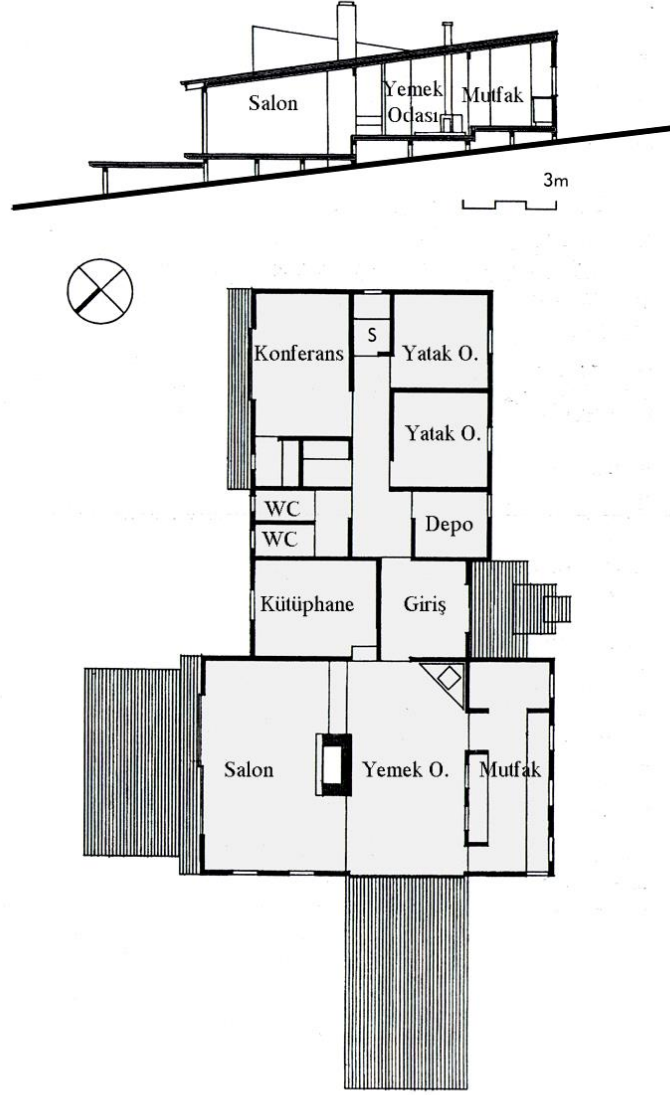
Bu proje, doğal parkın içerisinde konumlanarak çevreden mümkün olduğunca izole edilmiş özel bir girişimdir. İşveren/Mimar, misafirlerin konaklamaları için basit konaklama çözüm yollarını araştırmıştır.

Minimum malzeme kullanılarak inşa edilen binanın tasarım kararlarının başında doğal çevrenin üstünlüğü ve biyolojik çeşitliliği, lüks ve konforlu tasarıma tercih etmek gelmektedir.

Araziye yerleştirilmiş üç küçük ölçekli bina yerden yükseltilerek inşa edilmiştir ve birbirlerine yine yerden yükseltilmiş yürüyüş yollarıyla bağlanmışlardır. Şekil 3.1’de birbirine benzeyen konutlardan bir tanesinin plan ve kesitini görmekteyiz. Kompleks, kurulduğu çevreye zarar vermeden, mümkün olduğunca gizlenmek üzere tasarlanmıştır. Böylelikle, daha önceki çevreye kanalizasyon sistemleri, hava hareketleri veya diğer değişikliklerle zarar vermemiş olmaktadır.

Diğer bir yol gösterici tasarım kriteri, bina yapı elemanlarında yenilenebilir kaynak kullanılmasıdır; hammadde kullanımı yerel kaynaklardan ve üreticilerden; özerk güç üretimi, su kaynakları; atık kullanımının ihmal edilebilir çevresel etkisi; ve

minimum malzeme kullanımı ile beraber istenilen bir mimari form oluşturması ve en iyi çevresel etki konularında başarılı bir çalışmadır.



Şekil 3.1. Friendly Plaj Pansiyonu, kesit ve genel kullanımı, iç/dış ilişkisini gösteren kat planı [2]

3.1.2. Yapı ve Oluşum Enerji

Bütün bina bakır krom arsenat (CCA) ile güçlendirilmiş ahşap ile yükseltilerek inşa edilmiştir. Geleneksel ahşap döşeme sert ağaç taşıyıcılardan (kurutulmamış kereste) ve fırında kurutulmuş sert ağaç kirişlerinden oluşmaktadır. Döşeme kaplamalarında birbirine geçmeli ahşap kullanılmış ve koruyucu yağ ve balmumu ile kaplanmıştır.

Bina duvarları genelde tek kabuk ahşap kaplamadır: fırınlanmış sert ahşap dikmeler ve levhalar, birbirine geçmeli lambrilerle kaplanmıştır. Dikmeler, ahşap levhalar ve lambriler koruyucu yağ ile bitirilmiştir. İç yüzeyler balmumuyla bitirilmiştir.

Dış ve iç mekan arasında görsel devamlılığı sağlamak adına geniş mekanlar, lamine edilmiş camdan ve fırınlanmış ahşap çerçeveden üretilmiş hareketli duvarlar kullanılmıştır. Pencerelerde çerçevelerinde fırınlanmış ahşap ve bağlayıcı olarak silikon kullanılmıştır.

Çatı da dalgalı çelik kaplama fırınlanmış ahşap kirişler üzerine oturturulmuştur. Çatı eğimi bir yönde tutularak fazla malzeme kullanımından kaçınılmıştır.

Tablo 3.1 mimarın malzemeyi minimuma çekme stratejisinde ne kadar başarılı olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda evin çoğunluğunda ahşabın kullanılması ve ahşabın oluşum enerjisinin düşük olması evin genelinde oluşum enerjinin düşük olmasını sağlamıştır. Özellikle kullanılan elemanlardan kurutulmamış kereste oldukça enerji ekonomiktir.

Tablo 3.1. Friendly Plaj Pansiyonu oluşum enerjisi değerleri [2]

Y. ELEMANI \ OLUŞUM ENERJİ	TOPLAM MJ	DÖŞEME ALANI MJ/m2
ÇATI/TAVAN	35700	230
DIŞ DUVAR	4953	32
PENCERE/KAPI	4210	27
ZEMİN KAT	5503	72
TOPLAM	50366	361

Çatıda ahşap kiremit yerine dalgalı çelik kaplamanın kullanılması her ne kadar mimarın geri-dönüşümlü kaynak kullanım isteğine ters düşse de ağırlık bakımından ahşaba göre daha hafif olması ve bunun sonucu olarak daha az kiriş (daha az malzeme) kullanılması istenilen bir durumdur. Yine de, çatı inşaatında %60 daha az enerji kullanımı olabilirdi. Fakat, yerel yangın kanunları, çatıda kullanılan ahşap için yangın dayanımlı boya kullanılmasını yada basınçlı sudan yangın söndürme sistemini öngörmektedir.

3.1.3. İşletme Enerji İhtiyaçları

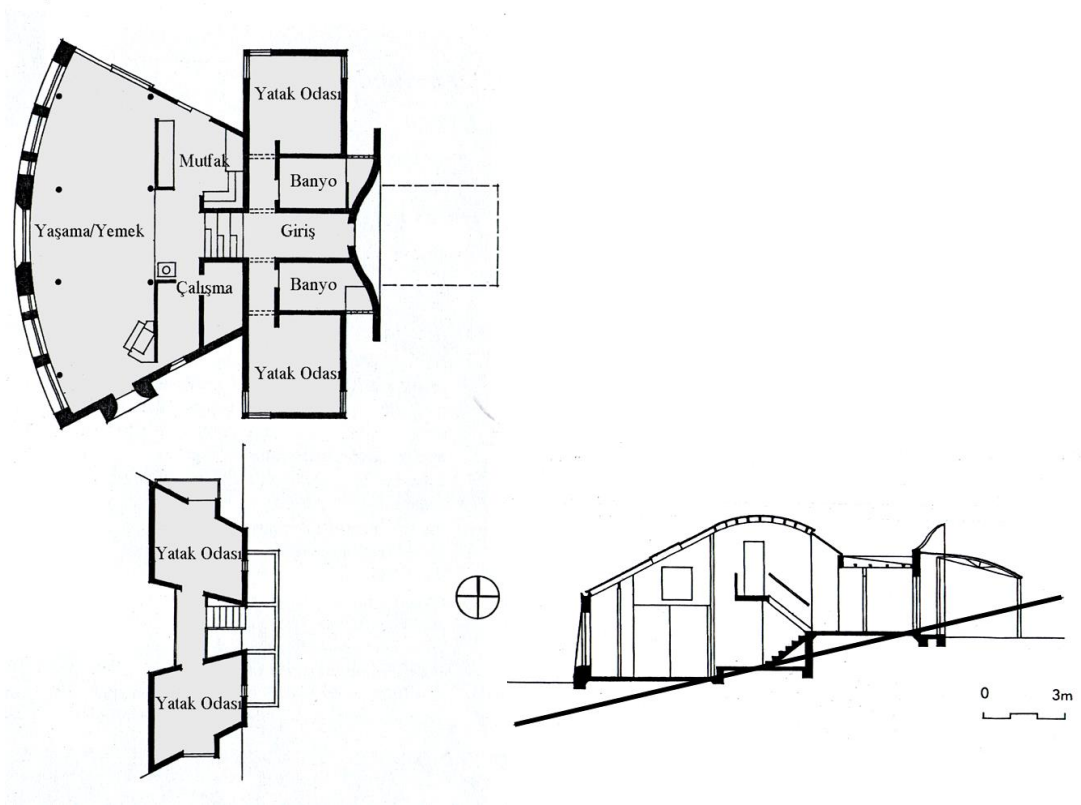
Ilıman bir iklime sahip olması ve tasarımda çapraz havalandırma kriterlerinin göz önünde bulundurulması yaz aylarında soğutmada oldukça yarar elde edilmesini sağlamıştır. Soğuk havalarda ise büyük cam yüzeyler her ne kadar güneş girişini sağlasa da, düşük ısı kütlesi ve açık tip plan ısısal konforu tam sağlayamamaktadır. Mekanların ısıtılmasında ahşap kullanılmaktadır. Evin tasarlanmasında zaten doğal çevrede basit konaklama mantığı bulunduğu için ısısal konfor bilerek göz ardı edilmiştir. Eğer otel konforu sağlanmak istenseydi, daha sağlam ve daha yalıtımlı bir yapı yapılırdı.

3.2. Dağ Evi [2]

Proje Yeri	: Blackheath, Yeni Güney Galler
Mimar/Tasarımcı	: Sunspot Design Pty Ltd.
İnşaat Sistemi	: Betonarme zemin, AAC döşeme, AAC duvar ve çelik çatı.
Tamamlanma Yılı	: 1992

3.2.1. Tasarım Kararları

Tasarım aile ihtiyaçlarına göre hafta sonları ve tatillerde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Evin mimari formu daha çok çevre coğrafyası ve iklime bağlı olarak gelişmiştir. Katı yapısı evi doğaya sıkı sıkıya bağlamakla birlikte, beklenmedik hava koşulları için fiziksel ve psikolojik koruma sağlamaktadır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ana yaşama mekanı ve yatak odaları ince uzun olarak manzaraya odaklanmış bir şekilde tasarlanmıştır. Evin giriş kısmı ve servis mekanları da evin arka tarafında çözülmüştür.



Şekil 3.2. Dağ Evi: Giriş, birinci kat ve kesit [2]

3.2.2. Yapı ve Oluşum Enerji

Dış duvarlar için otoklavlanmış gaz beton (AAC^{*}) bloklar seçilmiştir ve dış duvarlarda yalıtım amaçlı olarak da kullanılmış. Baskın batı duvarı kavisli ve en alt kısmından 600mm'den kalınlıkta başlayarak çatıda 250mm kalınlığa inecek şekilde incelmektedir. Bu incelme baskın rüzgarlara karşı bir rampa görevi görmektedir. AAC beton bloklar dış yüzeyinde bitirme olarak pigment mineral bazlı sıva kullanılmıştır. İç kısımda ise normal sıva ve akrilik boya kullanılmıştır.

İç duvarlarda kullanılan boşluklu beton bloklar ve zemin katın betonarme döşemesi beraber ısı kütlesi oluşturmakta ve dışarıdan gelecek ısıya karşı ve evin içindeki ısıların dışarı çıkmasına karşı emici bir görevi üstlenmektedir.

Zemin katı genel olarak sırlı seramik karo kaplamadır. Betonarme döşeme tamamen 30mm kalınlığında rijit polistiren yalıtım ile yalıtılmıştır. Yukarı kattaki yatak odaları döşemeleri için prekast AAC döşeme panelleri kullanılmıştır ve halı kaplama ile bitirilmiştir.

* Autoclaved aerated concrete

Çatı, ahşap iskelet üzerine önceden hazırlanmış çelik dalgalı kaplama ile birlikte alüminyum folyo tabaka camyünü kaplama ile yalıtılmıştır. Şekil 3.2'deki kesitte görüldüğü gibi çatının sahip olduğu kavisli form ve duvarların aşağıdan yukarıya incelmesinin verdiği avantaj sayesinde rüzgarlar konutta minimum türbülans oluşturmaktadır.

İç mekan yatak odası ve servis mekanı tavanları alçı levhalarla kaplanmıştır. Yaşama mekanı tavanı ise verniklenmiş 9mm meşe kontrplaktan yapılmıştır (9mm plantation source Hoop Pine plywood having a feature of veneer of Silky Oak.).

Kapı ve pencereler toz alüminyumdan üretilmiştir. Çevredeki yangınlardan dolayı oluşabilecek ısı yüklenmelerine karşılık bütün pencerelerde zorunlu olarak alüminyum kapatmalar kullanılmıştır. İlk başta ahşap çerçeve olarak düşünülen pencerelerin daha sonra yerel yönetimler tarafından yangın bölgesinde olmasından dolayı alüminyuma dönüştürülmesi, ahşaba göre on kat fazla oluşum enerjisi kullanılmasına sebep olmuştur.

Kuzeye bakan dış mekanlarda hazır beton plakalar döşenmiştir.

Ev dış duvarları ilk önce topraktan yapılmasına kara kılınmıştı fakat evin inşa edileceği yerdeki toprağın iyi olmamasında dolayı AAC betonarme plaklara dönüştürülmüştür. Bu durum yalıtımın daha iyi olmasını sağladığı gibi, oluşum enerjisi bakımın da çok büyük bir yük getirmemiştir.

Tablo 3.2. Dağ Evi için oluşum enerjisi değerleri [2]

Y. ELEMANI \ OLUŞUM ENERJİ	TOPLAM MJ	DÖŞEME ALANI MJ/m2
ÇATI/TAVAN	60907	406
DIŞ DUVAR	75425	503
PENCERE/KAPI	52682	352
KAT/KATLAR	135365	902
TOPLAM	324379	2163

3.2.3. İşletme Enerji İhtiyaçları

Kış boyunca dışarıdaki hava sıcaklığı dondurucu düzeyden 15°C arasında değiştiği halde bütünleşmiş pasif ısı konfor teknikleri sayesinde iç sıcaklık 20°C civarında tutulabilmektedir. Isı kaynakları olarak, tepe ışıklığı ve kuzey-doğu yönündeki geniş pencere açıklıkları merkezde konumlandırılmış sobaya yardımcı olacak şekilde tasarlanmıştır. Üst katlardaki yatak odalarında ise elektrikli ısıtıcılar kullanılmıştır.

Isı enerjisi, iç yığma duvarlar tarafından emilmekte ve tamamen yalıtılmış zemin döşemesi sayesinde kayıpları en aza indirilmiştir. ACC duvarların yapısında olan yalıtım özelliği sayesinde ısı tutması ve daha sonra ortama geri vermesi ısınan havanın devamlı yukarıya yönelmesini sağlamaktadır. Tavanda bulunan fan sayesinde ise sıcak havanın tekrardan aşağı seviyeye gitmesi sağlanmaktadır.

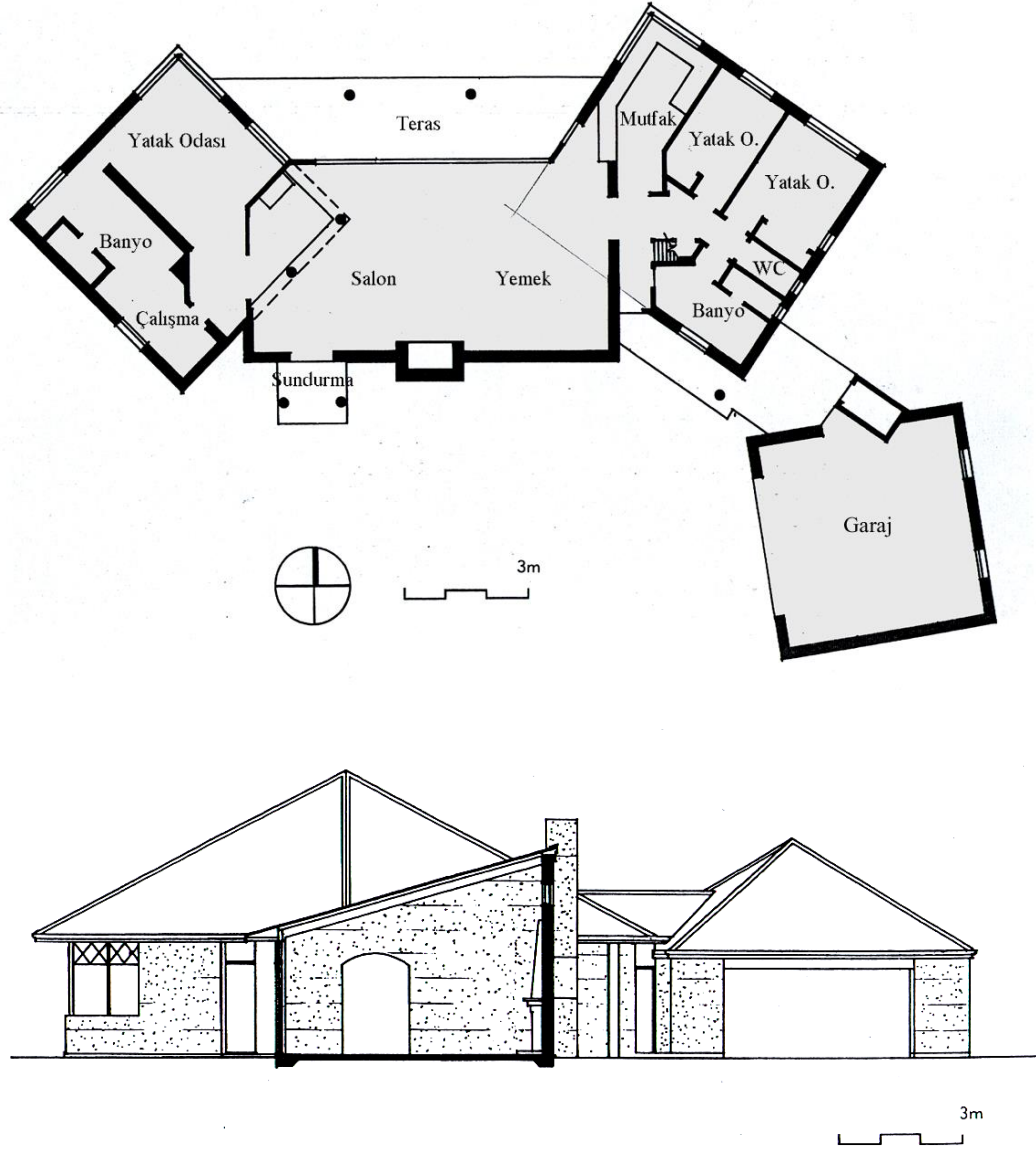
Yaz ayları boyunca, yer döşemesinde kullanılan seramik ortamı serin tutmakta ve iki kat yüksekliğindeki salon mekanı sayesinde ısınan havanın yükselmesi aşağı seviyelerde nispeten serin bir mekan oluşturmaktadır. Kayan camlı kapılar ve pencereler sayesinde çapraz havalandırmayı mümkün kılmaktadır.

3.3. Tatil Evi [2]

Proje Yeri	: Dawesville, Batı Avustralya
Mimar	: Ian Hooke
İnşaat Sistemi	: Stabilize toprak duvarlar, betonarme döşemeler, çelik çatı.
Tamamlanma Yılı	: 1988

3.3.1. Tasarım Kararları

Müşterinin istediği tasarım yazın ılık rüzgarın esmesine en elverişli, kışın soğuk rüzgarlarından korunaklı, az bakım isteyen ve manzaraya hakim bir bina tasarımıdır. Yüksek bir yerde bulunması ve doğal parkla yan yana olması ve şekil 3.3'de görüldüğü gibi parçalı bir şekilde yapılması tasarımın kırsal çiftlik evi grupları şeklinde algılanmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.3. Tatil Evi kat planı ve görünüş [2]

3.3.2. Yapı ve Oluşum Enerji

Bütün dış duvarlar parçalanmış topraktan elde edilmiş stabilize kireç taşından üretilmiştir. Bu malzeme müşteri tarafından seçilmiştir ve düşük bakım maliyeti getirmektedir.

İç duvarlar ise kil tuğla duvardan örülmüştür. Duvarların bitirme boyası olarak ise hava alan akrilik boyalar kullanılmıştır.

Betonarme döşemeler kuzeyden gelen güneş ışığını en fazla bir şekilde emilebilmesi için seramik karo ile döşenmiştir.

Ahşap taşıyıcı üzerine oturtturulan çelik kaplama çatı alüminyum folyo yalıtım battaniyesi ile yalıtılmıştır. Yatak odası ve servis mekanları tavanları alçı panel ile kaplanırken, ana yaşama mekanının eğik çatısı ahşap kaplama şeklinde bitirilmiştir.

Toprak karışımının büyük bir kısmı (%75) yaklaşık 80 km uzaktaki mesafede hazırlanan kireç taşından oluşmaktadır. Kil ise 60 km mesafeden getirilmektedir. Bu malzemeler doğal kaynak kullanımının yan ürünlerinin verimli ve sorumlu bir şekilde kullanıldığını göstermektedir.

Bu malzemeler ezilip elendikten sonra çimento ve kireç dengeleyicilerle karıştırılmak üzere araziye götürülürler. Biçim vermek için çelik kalıp kullanılmaktadır. Kireç taşının doğasındaki renge uygun olması için ince beyaz çimento kullanılmıştır. Duvarlarda bitirme boyası olarak nefes alan akrilik boya tercih edilmiştir.

Tablo 3.3’de görüldüğü gibi konutu tasarlarken oluşum enerjisini en aza çekmek gibi bir kaygı güdülmemiştir. Tasarımdaki amaç, pasif ısıtma ve soğutma tekniklerinin en etkili bir şekilde kullanılmasına dönük bir konut elde etmeye yönelik olmuştur. Evin parçalı bir biçimde yapılması, yazın serinletici rüzgarı en etkili bir şekilde kullanarak duvarların ısı kütlesi oluşturması nedeniyle oluşan sıcaklığı azaltmaya yönelik olmuştur.

Tablo 3.3. Tatil Evi için oluşum enerjisi değerleri [2]

Y. ELEMANI \ OLUŞUM ENERJİSİ	TOPLAM MJ	DÖŞEME ALANI MJ/m2
ÇATI/TAVAN	133323	694
DIŞ DUVAR	90090	469
PENCERE/KAPI	52940	276
ZEMİN KAT	121812	635
TOPLAM	398165	2074

3.3.3. İşletme Enerji İhtiyaçları

Evin içindeki mekanların düzenlenmesi etkili bir ısıtmayı mümkün kılmıştır. Ana yaşama mekanı ve yemek odası kuzeye bakmakta ve teras ve arka bahçeye açılmaktadır. Kuzey duvarı alüminyum çerçeveli büyük kayan kapılardan oluşmaktadır ve yukarıdaki pencereler güneş alımını en fazla dereceye çıkarmıştır.

Soğuk kış günlerinde güneş ışığı evin iç kısımlarına kadar girebilmekte ve enerji pişmiş topraktan üretilen seramikler vasıtası ile zeminde ve karşı taraftaki toprak duvarda emilebilmektedir.

Isı kayıplarını en aza indirebilmek için güney tarafındaki açıklıklar en aza indirilmiştir.

Bu pasif ısı tasarım teknikleri ile beraber evin merkezinde güney duvarına yerleştirilmiş şömine sayesinde konfor koşulları yakalanabilmiştir.

Yığma duvarın ısı bankası olarak işlev görmesinin yanı sıra etkin bir yalıtım da kullanılmıştır. Buna ek olarak, yığma güney duvarı ısı tutucu olarak değil de ısı geçirici olarak işlev görmektedir.

3.4. Peake Serisi Modüler Kit Evi [2]

Proje Yeri	: Avustralya
Mimar	: John Baird Architect, Fairweather Homes
İnşaat Sistemi	: Ahşap karkas, kontrplak döşeme, çelik çatı.

3.4.1. Tasarım Kararları

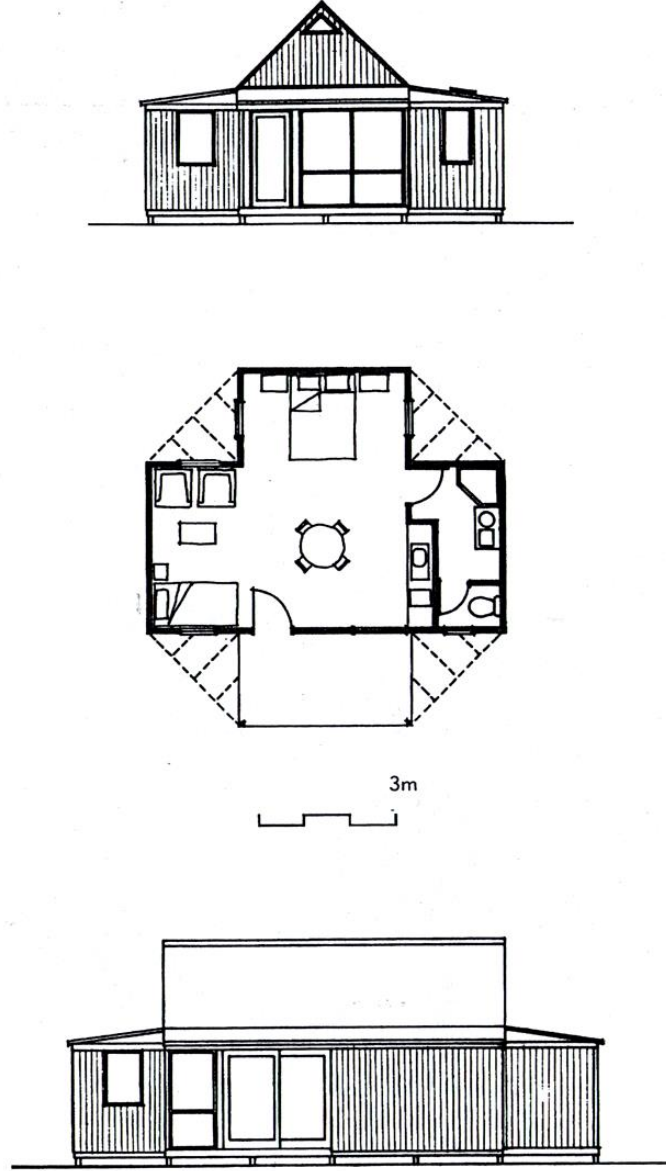
Bu tasarım 3 kriteri göz önüne alarak sosyal ve çevresel bir tasarım oluşturulmuştur;

- ısıtma soğutma ve hayat tarzına etki eden çok farklılaşabilen iklimsel faktörlerin iyi belirlenmesi,
- çok farklı ev sahiplerine kolayca adapte olabilmesi ve sık değişikliklere uygun olması,
- malzemenin ve enerjinin hem yapım aşamasında hem de kullanım aşamasında bilinçli kullanılması.

Konut modeli şekil 3.4’de görüldüğü gibi parçalardan oluşmaktadır ve bu parçalar mümkün olabildiğince geri dönüşümlü malzemelerden üretilmektedir. Bu ev üniteleri ihtiyaç durumuna göre birbirine eklenebilmekte veya çıkartılabilmektedir.

Peake serisi daha çok ev sahibi olmak isteyenlere, düşük gelirli maddi yönden iyi olmayan tek kalan insanlara, veya tatil için geçici konaklama birimi arayanlar için düşünülmüştür.

Tasarımcının en önemli amacı, modüler bir yapı sistemi olması ve seçilen yapı sisteminin enerji etkin olması ve malzeme seçerken geri dönüşebilir ve yenilenebilir kaynak kullanarak üretim ve yok ediliş evresinde çevreye en az zarar vereme şeklinde olmuştur.

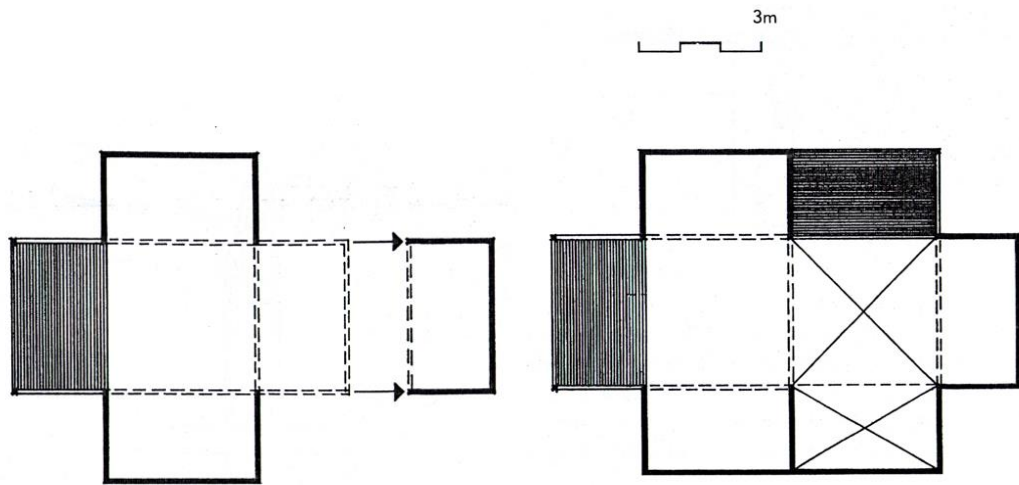


Şekil 3.4. Peake Serisi Modüler Kit Evi kat planı ve görünüşler [2]

3.4.2. Yapı ve Oluşum Enerji

Tipik olarak bir konut modülünün ana elemanları şunlardan oluşmaktadır:

- ana taşıyıcı: CCA* işlenmiş ağaç
- zemin: taşıyıcı sistem üzerine çam kontrplak
- duvarlar: çam kontrplak kaplama
- çatı: ahşap taşıyıcı üzerine dalgalı çelik kaplama
- pencere/kapı: batı kırmızı sediri



Şekil 3.5. Peake Serisi Modüler Kit Evi için tasarlanan modüler sistem [2]

Dış avlu döşemesi karıncalara karşı işlenmiş ahşap kaplanmıştır.

Evde kullanılan bütün ahşaplar fırında kurutulmuş ahşaptır.

Evde kullanılan bütün üniteler prefabrike elemanlardan oluşmaktadır ve montajı birbirine geçme ve civatalı birleşimler şeklinde yapılabilmektedir. Standart bir konutu iki işçi ile yaklaşık dört günde vince ihtiyaç duymadan bitirilebilmektedir.

Şekil 3.4’de görüldüğü gibi ana plan 3.6m’lik yapım modülü esas alınarak yapılmıştır. Pencere ve servis mekanları ana mekana eklenen yardımcı mekanlar şeklinde ihtiyaca uygun bir biçimde çözülmüştür. Şekil 3.5’de görüldüğü gibi ana modül ihtiyaç doğrultusunda genişletebilmektedir.

* Bakır Krom Arsenat – Copper Chrome Arsenate

Çatı kirişleri ana modülün mesafesini aşabilecek bir biçimde I prefabrike ahşap elemanlardan oluşmaktadır. Yapı malzemeleri ahşap çapraz lamine elemanlarından oluşmaktadır ve duvar ve döşeme taşıyıcıları arasına taşıma sırasında oluşan yükleri almak için ve yapı bittiğinde rüzgar ve diğer yükleri almak için çaprazlamalar yapılmıştır.

İniş boruları PVC'dir. PVC'yi zararlı bulanlar içim ise alternatif malzeme olarak yüksek yoğunlukta polietilen (High Density Polyethylene-HDPE) veya galvanize olmuş çelik iniş boruları önerilmiştir.

Konutun stüdyo ev şeklinde tasarlanmış olması, alanının küçük olması ve seçilen malzemelerin genelde yerel üretim ahşap ve malzeme birim oluşum enerjisini düşük olması bize bu konut için birim oluşum enerjisinin tablo 3.4'de görüldüğü gibi oluşum enerjisinin oldukça düşük çıkmasına sebep olmuştur.

Tablo 3.4. Peake Serisi Modüler Kit Evi için oluşum enerjisi değerleri [2]

Y. ELEMANI \ OLUŞUM ENERJİSİ	TOPLAM MJ	DÖŞEME ALANI MJ/m ²
ÇATI/TAVAN	11220	479
DIŞ DUVAR	4982	312
PENCERE/KAPI	1360	36
ZEMİN KAT	3544	145
TOPLAM	21106	972

3.4.3. İşletme Enerji İhtiyaçları

Evin konumlandırılması, ısı performansını en iyi yapabilecek şekilde yapılmıştır. Doğru yerleştirilmiş bir konut ünitesi için, camlı kayan kapılar ve pencereler yeterince güneş alımını sağlayabilmektedir. Taş yünü yalıtım duvar ve çatı için kullanılmıştır ve konutun ısını koruyabilmek uygundur. Fakat konut kabuğunun düşük ısı kütlesi nedeniyle duvarların ısı depolaması en az konumdadır. Bu yüzden, opsiyonel olarak ısı ünitesi düşünülmüştür. Bina malzemelerinin hafifliği binayı sıcak ve tropikal bölgeler için uygun kılarken, soğuk ve kurak bölgeler gibi ısı kütlesinin önemli olduğu yerler için pek uygun kılmamaktadır.

Yapının temel kısmında da ahşabın kullanılması, ahşabın çürümelere ve böceklenmelere karşı belirli bir kimyasal işlemden geçmesini öngörmektedir. Bu işlem hem çevreye zarar vermesi hem de insan sağlığına olan olumsuz etkilerinden dolayı evin genel malzeme kullanımına olumsuz bir yön vermektedir. Ahşabın yerine daha dayanıklı betonarme ve çelik temel kullanılabilmesi daha uygun olabilirdi.

3.5. ACF(Australian Conservation Foundation) Yeşil Evi [2]

Proje Yeri	:Roxburgh Parkı, Victoria
Mimar	:Taylor Oppenheim Architects Pry Ltd.
İnşaat Sistemi	:Betonarme döşeme zemin katı, ahşap taşıyıcı üst kat, ahşap çerçeve verniklenmiş tuğla duvar, kiremit çatı kaplaması.
Tamamlanma Yılı	: 1992

3.5.1. Tasarım Kararları

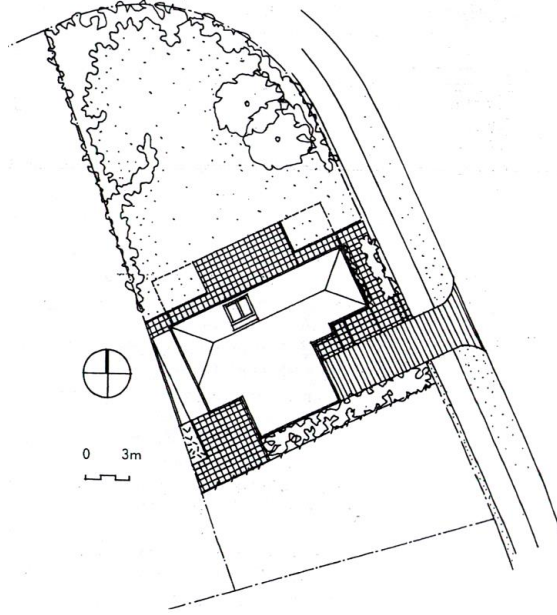
Bu bina günden güne enerji korumalarını göstermek için, aynı zamanda malzeme seçimi ve oluşum enerji ilişkisini irdelemek için ve malzemenin oluşum enerjisini ve çevreye olan etkisini minimuma çekmek için inşa edilmiştir. Yeşil ev kılavuzu yardımı ile toplu konut endüstrisini çevresel faktörlerde daha aktif bir rol almaya yönlendirmektedir.

- **ACF “Yeşil Ev Kılavuzu”**

Bu kılavuz sadece Vitorian bölgesine has bir kılavuzdur. Genel kabul edilebilir içeriği kısaca şöyledir;

- Sadece özel olarak yetiştirilen ağaçlar kullanılacaktır. Yağmur ormanlarından elde edilen kaynaklar veya yağmur ormanı tampon bölgesi olan yerlerden ağaç kullanılmayacaktır.
- Çelik üretimi ahşaba göre daha fazla zararlı gaz çıkmasına sebep olduğu için kullanılmayacaktır.
- HDPE iniş boruları PVC’ye tercih edilmiştir mümkün olan yerlerde tercih edilecektir.

Arazi kullanımı iki kata izin verdiği için 350m²'lik araziye 130m² oturma alanıyla şekil 3.7'de görüldüğü gibi iki kat şeklinde ve çevresinde yeterince yeşil alanıyla bina inşa edilebilmiştir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi kuzey güney doğrultusunda uzanan konutta bütün yatak odaları ve yaşama mekanları konutun iki katlı olması sayesinde güneş alabilmektedir.



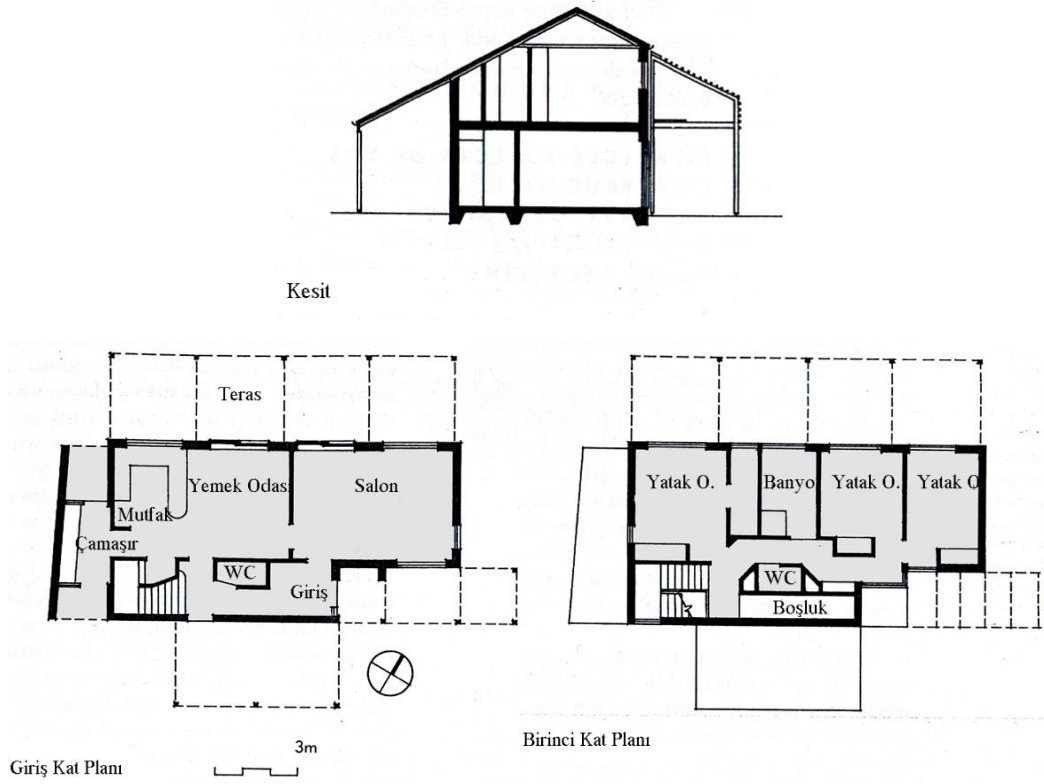
Şekil 3.6 ACF (Australian Conservation Foundation) Yeşil Evi için vaziyet planı [2]

3.5.2. Yapı ve Oluşum Enerji

Zemin döşemesi toprak üzerine betonarme döşeme şeklinde polistiren köşe yalıtımı ile yapılmıştır. Çelik yapımı sırasında çıkan uçucu külleri betonun içine katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Döşeme 70% geri dönüşümlü malzemeden üretilen su yalıtım malzemesinin üzerine dökülmüştür. Betonarme için çelik barlar tamamen geri-dönüşümlü malzemelerden üretilmiştir.

Üst kat özel üretim ahşap taşıyıcıdan meydana gelmekte ve halı kaplama ile bitirilmiştir.

Dış duvarlar ahşap çerçeve ile inşa edilmiş ve ekstrüde tuğla ile örülmüştür. Duvarlar camyünü ile yalıtılmıştır. Yalıtımın üzeri akrilik boya ile boyanmış alçı paneller kaplanmıştır.



Şekil 3.7. ACF(Australian Conservation Foundation) Yeşil Evi için kat planları ve kesit [2]

Çatı ve tavan ahşap taşıyıcıdan yapılmıştır. Çatı kaplama olarak alüminyum levha üzerine beton kiremit kaplanmıştır. Birinci kat tavanı cam yünü ile izole edilmiştir.

Pencereler ve camlı kapılar geri dönüşümlü malzemeden üretilmiştir. Tablo 3.5'te verilen pencere/kapı oluşum enerjisi değerleri yeni üretim ahşap malzeme için verilmiştir. Geri dönüşümlü malzeme kullanıldığı zaman bu değerler %55 oranında azalabilmektedir.

Yapının iki katlı olması çatı yüzey alanının yaklaşık yarıya düşmesini sağlamaktadır. Bu aynı zamanda, çatı yapı malzemesinin, yalıtımının ve kaplama malzemesinin de %50 azalması demektir. Buna karşılık yukarı çıkmak için kullanılan merdiven malzemesi ve ikinci katta açılan 9m²'lik boşluktan dolayı dezavantajları da bulunmaktadır.

Yüksek olmasından dolayı komşu binalarda meydana getirebileceği fazla gölgelenmeyi önleyebilmek için geleneksel olan uzun saçaktan vazgeçilmiştir. Böylelikle malzemeden kazançta sağlanmıştır.

Beton kiremitlerin çelik sisteme göre çok daha fazla ağır olması yüzünden, ahşap çatı taşıyıcısı için daha fazla malzeme gitmiştir. Bu her ne kadar kaynak kullanımı adına kötü gibi gözükse de, kullanılan ahşap taşıyıcının yenilenebilir kaynaktan gelmesi ve kullanılan yeni ahşabında özel olarak kesilmek için üretilmesi bu durumu olumlu yöne çekmektedir. Her ne kadar ahşap çatı malzeme bakımından çelik çatıdan daha fazla olsa da, ahşap çatı için gerekli olan ağaçların yenilenebilir kaynaktan elde ediliyor olması ve oluşum enerjisinin düşük olması ahşap seçilmesinin nedenlerini oluşturmaktadır.

Tablo 3.5. ACF (Australian Conservation Foundation) Yeşil Evi için oluşum enerjisi değerleri [2]

Y. ELEMANI \ OLUŞUM ENERJİSİ	TOPLAM MJ	DÖŞEME ALANI MJ/m2
ÇATI/TAVAN	33457	226
DIŞ DUVAR	88077	595
PENCERE/KAPI	4375	30
ZEMİN KAT	79514	537
ÜST KAT	16747	113
TOPLAM	222170	1501

3.5.3. İşletme Enerji İhtiyaçları

Bu konut Viktorya Konut Enerji Derecelendirme Şemasında en iyi derece almıştır. Bu bir çok değişik faktörlerin bir arada kullanılması sayesinde olmuştur. Her bir duvar için düşünülmüş pencere ve camlı kapılar, yaşama mekanlarının güneşten en iyi bir şekilde faydalanmasına yönelik konumlanması ve dış kabuğun en iyi bir şekilde yalıtılmasıdır. Güney cephesindeki pencerelerin çift camlı olması kışın enerji kaybını en aza indirdiği gibi, doğu ve batı cephelerine az pencere açılması yaz aylarında istenmeyen ısı kazançlarını da azaltmıştır.

Zemin katın betonarme olması iyi ısı depolayabilmesini sağlamıştır. Sadece mutfakta seramik karo kullanılmıştır. Yaşama mekanları halı ile bitirilmiştir.

3.6. Gösteri Proje Evi [2]

Proje Yeri	: Ginninderra, Avustralya Başkent Bölgesi
Mimar/Tasarımcı	: Jenvue Homes (Australia) Pty Ltd.
İnşaat Sistemi	: Betonarme ana yapı, duvarlar ahşap karkas tuğla dolgulu, ve metal çatı.
Tamamlanma yılı	: 1993

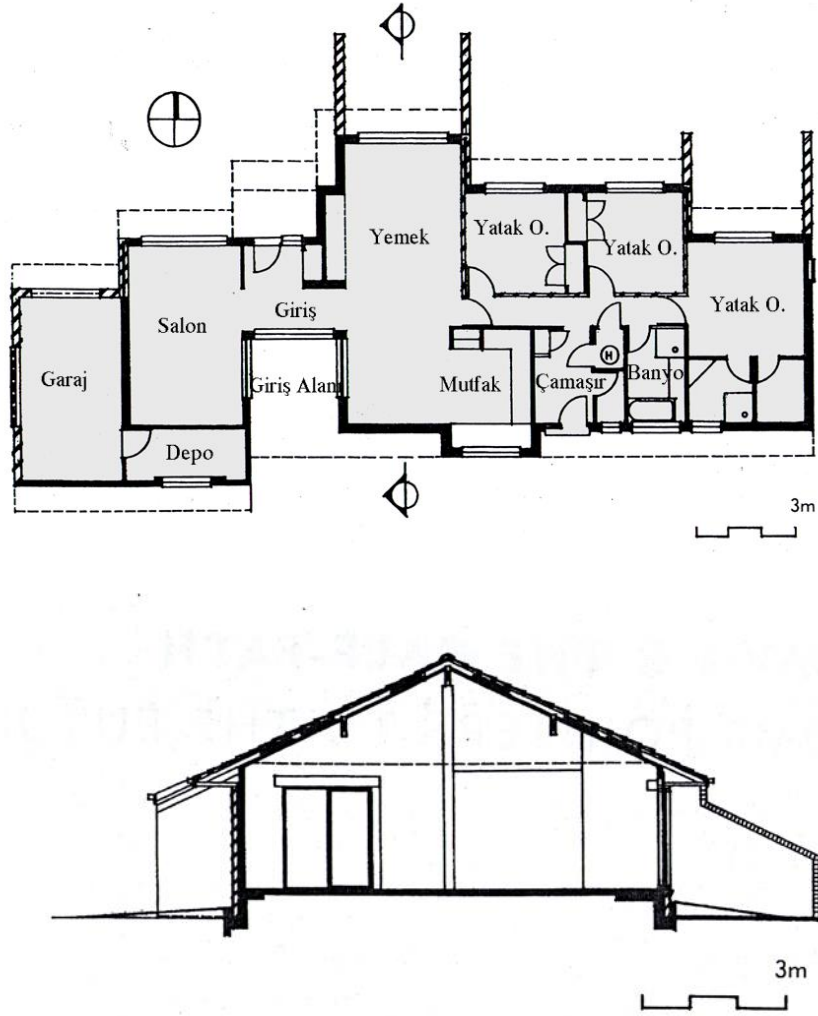
3.6.1. Tasarım Kararları

Bu proje Enerji Araştırma ve Geliştirme Ortaklığı (the Energy Research and Development Corporation-ERDC) tarafından desteklenmiştir ve bir projenin en iyi bir şekilde nasıl enerji parametrelerine göre tasarlanabileceğini göstermek için yapılmıştır. ACF yeşil ev tasarımında uygulandığı gibi, enerji etkin bir konut tasarlarken aynı zamanda konut için belirtilen normların dışına çıkmadan, kabul edilemeyecek kadar farklı bir tasarıma gitmemek amaçlanmıştır. Aynı zamanda market kısıtlamalarının dışına çıkmadan her yerde olarak üretilebilecek çevreye karşı sorumlu bir konut yapılmaya çalışılmıştır. Firma, şekil 3.9’da görüldüğü gibi enerji koruyucu faktörlerle iç içe tasarlanmış, dolaşım alanları en azda tutulmaya çalışılmış standart bir konutu geliştirmişlerdir.

3.6.2. Yapı ve Oluşum Enerji

Binanın dış kabuğu bilinçli olarak geleneksel malzemelerden ve teknolojilerinden faydalanılarak yapılmıştır ve betonarme döşeme, tuğla duvarlar ve metal çatı şeklindedir. Bir önceki yapıya göre oluşum enerji farklılığı sadece malzeme seçiminden kaynaklanmamakta, aynı zamanda kullanılan malzemenin miktarı da değişmektedir.

Bu ev şekil 3.9’daki kesit ve planda görüldüğü gibi tek katlı bir evdir. Bir önceki ile toplam metrekare kullanım alanı yaklaşık olarak aynıdır, fakat çatı alanı bir öncekinin iki katı olmaktadır. Tek katlı olmasının getirdiği bir avantaj olarak, bu bina bir öncekine göre çevresine daha az gölge düşürmektedir.



Şekil 3.8. Gösteri Proje Evi için kat planı ve kesit [2]

Çatı taşıyıcısı olarak çamdan elde edilen ahşap taşıyıcılar kullanılmaktadır. Metal çatının göreceli olarak beton çatıya göre daha az ağır olmasından dolayı, çatı taşıyıcı kirişlerinin arası 900mm şeklinde alınmıştır. Fakat alçı panellerin tutturulabilmesi için tavan kısmında sık ahşap elemanlar kullanılmıştır.

Konut tasarım aşamasındayken çatının beton kiremit kaplama ile yapılması düşünülürken metal çatı yapımına karar verilmiştir. Bu değişikliğe gidilmesinin nedeni metal çatının daha fazla yansıtıcı özelliği sayesinde iletimi azaltmasıdır. Bu değişiklik her ne kadar oluşum enerjiyi %25 oranında arttırıyorsa da, daha az malzeme tüketimi sağlamıştır.

Dış duvarlar ahşap karkas tuğla dolgu şeklindedir ve onun üzerine ince sıva ve boya uygulanmaktadır. İç duvarların çoğu ise ahşap karkas alçı panelden yapılmaktadır.

Bir kısmı ise kuzeyden gelecek güneş ışığını daha iyi emilimini sağlayabilmek için tek cidar tuğla örgüsü şeklindedir

Tuğla uygulamasında yalıtım malzemesi olarak camyünü serilmektedir. Boşluklu dış duvarlarda ise 30mm kalınlığında polistiren kullanılmaktadır.

Tasarımcı pencere açma konusunda da çok dikkatli davranmıştır, doğu ve batı cephelerine en az pencere açmıştır. Fakat evin kuzeye bakan pencereleri de dahil olmak üzere bütün pencereleri çift camlıdır ve bu oluşum enerjisini tek cama göre %12 arttırmaktadır.

Oluşum enerjisini de etkileyen başka bir nokta ise pencere çerçevelerinin alüminyum olmasıdır. Alüminyum çerçeve, tablo 3.5’de görüldüğü gibi oluşum enerjisini arttırmakla kalmayıp, pencerenin ısısal performansını da alüminyumun iyi bir ısı iletken malzeme olduğunu göz önüne aldığımız zaman kötü yönde etkilemektedir. Alüminyum çerçevenin ısı etkin kullanılması için, profilinin ısı köprüsünü engelliycek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Tablo 3.6. Gösteri Proje Evi için oluşum enerjisi değerleri [2]

Y.ELEMANI \ OLUŞUM ENERJİSİ	TOPLAM MJ	DÖŞEME ALANI MJ/m2
ÇATI/TAVAN	68667	474
DIŞ DUVAR	82695	570
PENCERE/KAPI	61189	422
ZEMİN KAT	121918	841
TOPLAM	334469	2307

3.6.3. İşletme Enerji İhtiyaçları

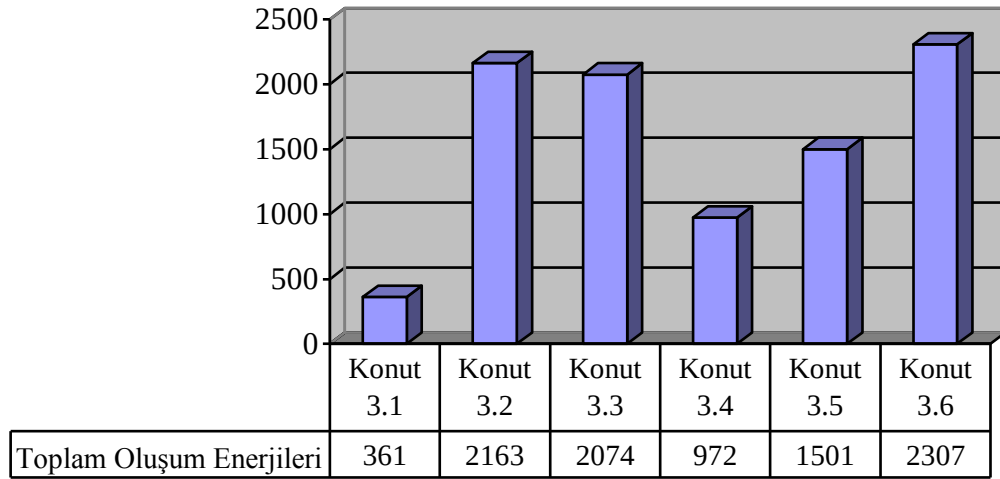
Evin yerleşmesinde güneşten en iyi şekilde yararlanabilme için ev, doğu-batı doğrultusunda yerleştirilmiş ve bütün yaşama mekanları ve yatak odaları kuzey tarafta çözülmüştür.

Bir önceki konut için geçerli olan avantajlı bakım maliyetleri bu konut için geçerli değildir. Geleneksel uzun saçaklar cam kapı ve pencerelerden ışık almasını azaltmak için evin bütün çevresinde uzun tutulmuştur. Dış duvarındaki tuğla sıvanıp boyandığı için belirli aralıklarla bakıma ihtiyacı vardır. Alüminyum kapı ve pencere

çerçeveleri bir önceki konuta göre daha az bakım gerektirmekle beraber daha fazla oluşum enerjisine sahiptir.

3.7. Karşılaştırma ve Sonuçlar

İncelediğimiz altı hafta sonu evi bize binanın toplam oluşum enerjisi hakkında hangi malzemelerin nasıl etki ettiği ve hangi yapı birimlerinde daha fazla oluşum enerjisi harcanabileceği konusunda bir fikir verme açısından oldukça yararlı olmuştur. Konutların yapım teknikleri incelendiği zaman, binanın oluşum enerjisinde malzeme seçimi kadar binanın inşaat tekniği ve doğru detaylandırmanın da önemli olduğu görülmektedir. İncelediğimiz altı bina her ne kadar ölçek ve metrekare olarak çok büyük farklılıklar göstermese de oluşum enerji bakımından büyük farklılıklar göstermektedir. Şekil 3.10’da da görüleceği gibi konutlardan metrekare oluşum enerjisine sahip en düşük olanı ile en yüksek olanı arasındaki fark dikkat çekicidir. Bu oluşum enerjisi arasındaki fark her ne kadar tek konut için göz ardı edilebilir bir durum bile olsa, herhangi bir toplu konut veya bir site yapıldığı takdirde bu küçük görünen fark çok büyüyecektir.



Şekil 3.9. Analiz edilen hafta sonu evleri için karşılaştırmalı toplam oluşum enerjisi tablosu.

Tablo 3.7. dikkatle incelendiği takdirde bir çok önemli noktanın bulunduğu görülecektir. En düşük oluşum enerjili konutlar olan Konut 3.1, Konut 3.4 ve Konut 3.5’teki en önemli ortak özellik, bunları tasarlayan mimarın oluşum enerjisini düşük tutmaya yönelik özel bir çabası mevcuttur. Konut 3.5’teki oluşum enerji seviyesi ise

market koşullarının sınırları zorlanarak ancak bu seviyede tutulabilmiştir. Bunun sonucu olarak oluşum enerjide çok büyük azalmalar sağlamamıştır ama pratikte kullanılabilecek ve konut yapımında uygulanabilecek bir yol göstermiştir. Konut 3.1’de mimar bilinçli bir tasarım ve malzeme seçimi yardımıyla en az ile en çoğu başarabilmiştir ve oluşum enerjisini bir konut için en uç noktada tutabilmiştir. Burada mimarlar yalnız en düşük oluşum enerjili malzemeleri seçmekte kalmamış aynı zamanda, kullandıkları malzemeleri de en az seviyede tutmaya çalışmışlardır.

Tablo 3.7. Örnek konutların karşılaştırmalı oluşum enerjileri değerleri [2]

Oluşum Enerji Yapı Elemanı	Konut 3.1	Konut 3.2	Konut 3.3	Konut 3.4	Konut 3.5	Konut 3.6
Çatı/Tavan	230	406	694	479	226	474
Dış Duvarlar	32	503	469	312	595	570
Pencereler/ Kapılar	27	352	276	36	30	422
Döşemeler	72	902	635	145	650	841
Toplam MJ/m ²	361	2163	2074	972	1501	2307

Şekil 3.11’de görüldüğü gibi konut yapı elemanlarını tek tek ele aldığımız zaman bu farklılıkların nedenlerini daha iyi anlamış olacağız.

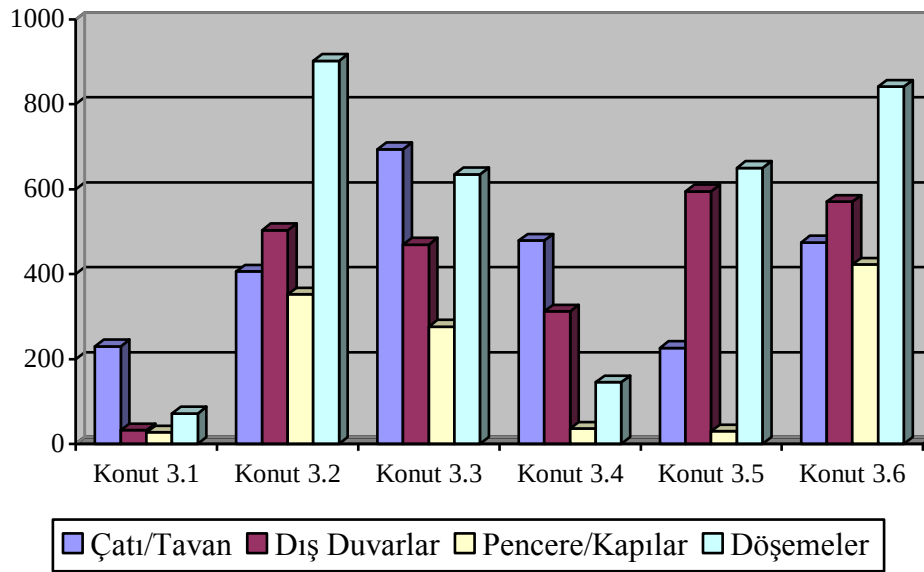
Oluşum enerjileri düşük çıkan yapı elemanlarının analizleri:

Döşeme: Ele alınan villa tipi konut 3.1’de döşeme oluşum enerjisinin düşük çıkmasının nedeni konutun betonarme bir temele sahip olmaması ve tamamıyla metal elemanlar ile güçlendirilmiş ahşaptan oluşmasıdır. Döşeme ana taşıyıcıları yine sert ağaç taşıyıcılardan oluşmakla beraber döşeme kaplaması olarak ta birbirine geçmeli ahşap kullanılmıştır. Ahşap koruyucu olarak da, koruyucu yağ ve balmumu ile kaplanmıştır.

Aynı şekilde konut 3.4’te diğer konutlara göre döşeme oluşum enerjisinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Aslında bu konut yapı sistemi olarak konut 3.1 ile benzerlik göstermektedir. Ana taşıyıcı olarak CCA ile işlenmiş ağaç kullanılmıştır ve yine bütün yapı ahşap ve metal bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Her ne kadar, yapının ahşap olması oluşum enerjisini olum yönde etkilese de, ahşabın çürümelere ve böceklerle karşı korunması için uygulanan kimyasal işlemler insan sağlığı ve çevre için zarar teşkil etmektedir.

Dış Duvarlar: Konut 3.1’de dış duvar oluşum enerjisinin de diğer konutlara göre oldukça düşük olduğu şekil 3.11’de görülmektedir. Bunun nedeni olarak, bina duvarlarında tek kabuk ahşap karkas kullanılmıştır ve fırınlanmış sert ahşap dikmeler ve levhalar, birbirine geçmeli lambrilerle kaplanmıştır. Dikmeler, ahşap levhalar ve lambriler koruyucu yağ ile bitirilmiştir. İç yüzeyler balmumuyla bitirilmiştir. Duvarlarda yeterince yalıtım yapılmadığından dolayı da birim oluşum enerji artmamıştır.

Pencere/Kapılar: Pencere ve kapı oluşum enerjileri konut 3.1, konut 3.4 ve konut 3.5’te oldukça düşük çıkmıştır. Bu konutlarda kapı ve pencereler için oluşum enerjisinin düşük çıkmasının nedeni olarak kapı ve pencerelerde kullanılan malzeme cam olarak lamine edilmiş cam ve ahşap olarak fırınlanmış ahşap olarak belirlenmiştir. Kapı ve pencerelerde kullanılan profiller tek parça ve bölüntüsüz olarak seçilerek malzeme sarfıyatı en aza çekilmiştir ve boyutları belli bir standarda oturturulmuştur. Geri dönüşümlü malzeme kullanıldığı zaman bu değerler %55 oranında azalabilmektedir.



Şekil 3.10. Analiz edilen hafta sonu evleri için yapı elemanları karşılaştırmalı oluşum enerjisi tablosu.

Çatı/Tavan: Konut 3.1 ve konut 3.5’de çatı ve tana oluşum enerjileri diğer konutlara göre düşük çıkmıştır. Bu durumu konut 3.1 için ele aldığımız zaman bu konutun ahşap kiriş üzerine metal çatı şeklinde bitirildiğini görüyoruz. Çatı bitirmesinin

metal olması, çatı üzerindeki ağırlığı azaltmakla beraber çatı alanı küçük olmasa da, açıklığın tek yönde geçilmesi taşıyıcıların sayısını oldukça azalmasını sağlamıştır.

Konut 3.5'e geldiğimiz zaman, çatı birim oluşum enerjisinin az çıkmasının en önemli nedeni olarak yapının iki katlı bir yapı olmasını söyleyebiliriz. Bir yapının kat sayısı arttıkça döşeme alanı artmakta fakat çatı alanı sabit kalmaktadır. Böylelikle çatı için harcanan oluşum enerji yapının kat sayısı ile ters orantılı bir şekilde azalmaktadır. Bu konut için aslında çatı oluşum enerjisi tek katlı bir yapı olsaydı fazla çıkacak olmasının diğer bir nedeni ise çatının beton kiremit ile bitirilmesidir.

Oluşum enerjileri düşük çıkan yapı elemanlarının analizleri:

Döşeme: Şekil 3.11'de görüldüğü gibi, konut 3.2 ve konut 3.6'da döşeme birim oluşum enerjisi diğer konutlara göre fazla çıkmıştır. Bunun başlıca nedeni, bu konutların betonarme bir temele sahip olması ve kat yüksekliği olarak bir veya bir buçuk kat yüksekliğine sahip olması neticesinde betonarme temel ve yalıtımlar doğrudan döşeme birim enerjisine katılmaktadır.

Konut 5'teki döşeme birim oluşum enerjisinin yapıya baktığımız zaman daha fazla çıkması gerekiyor gibi gözükürken beton ve çelik barlar için geri dönüşümlü malzeme kullanılmış olması oluşum enerjisinin fazla çıkmasını engellemiştir.

Dış Duvarlar: Şekil 3.11 incelendiği zaman görüldüğü gibi dış duvar değerleri konut 1 dışında birbirine yakın değerlere sahiptir. Bu değerler içinde de, en yükseği konut 3.5 ve konut 3.6 çıkmıştır. Bunun nedeni olarak ahşap karkas arası ekstrüde tuğla dolgu şeklinde ana yapının kurulması ve yalıtım malzemesi olarak birim oluşum enerjisi yüksek olan cam yünü tercih edilmiştir. Dış duvarda yüksek oluşum enerjisi her ne kadar olumsuz gibi gözükse de, dış kabuğun ısı kütlelerinin fazla çıkması yapının işletme enerji ihtiyaçlarının azalmasına böylelikle kullanılan malzemelerin enerji geri dönüşümünün kısa bir sürede olmasına sebep olacağından dolayı iyi diyebiliriz.

Pencere/Kapılar: Şekil 3.11'de kapı pencere birim oluşum enerji değerlerine baktığımız zaman konut 3.1, konut 3.4 ve konut 3.5'in oldukça düşük birim oluşum enerjisi değerlerine karşılık, konut 3.2, konut 3.3 ve özellikle konut 3.6'da oluşum enerjisi yüksek değerlere sahiptir. Bu konutlarda kapı ve pencereler için birim oluşum enerjisinin yüksek çıkmasının en önemli nedeni çerçevelerin alüminyum ve

Çift camdan olmasıdır. Buna ek olarak, pencere alanının döşeme alanına oranına oranının fazla olmasından dolayı da birim oluşum enerjisi yüksek çıkmıştır.

Çatı/Tavan: Şekil 3.11'deki tabloda gösterildiğı gibi konut 2, konut 3, konut 4 ve konut 5 çatı/tavan oluşum enerjileri yüksek çıkmıştır. Bu yapılarda çatı/tavan için yapı sistemi için taşıyıcı olarak ahşap kullanılmasına karşın bitirme olarak metal kullanılması birim oluşum enerjisinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Bu konutlardan konut 3 için en yüksek oluşum enerjisi değerine ulaşılmışının nedeni çatının soğuk çatı şeklinde kurgulanması ve buna bağılı olarak çatı arası için fazladan malzeme tüketilmesidir. Diğer çatılar eğik çatı/tavan şeklinde en az malzeme kullanılacak şekilde yapılandırılmıştır.

Sonuç olarak, bu bağlamda yapılacak bir konut için seçilecek taşıyıcı yapı sistemi, kullanılacak malzemeler ve oluşturulacak detaylandırmaların küçük ölçekte metrekare olarak birbirinden çok farklı olmayan altı konutta incelediğimiz kadarıyla ne kadar önemli olduğu görölmektedir. Yapılacak malzeme değışikliğinin oluşum enerjisinde nasıl bir fark oluşturduğunu ve bu farkın bina ölçeğı büyüdükçe daha da artacağını incelediğimiz örneklerde görölmüştür. İncelenen altı konut, ele alınan örnek villanın analizi için gerekli yöntem hakkında bir ön çalışma niteliğinde olmuştur.

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ: VİLLA TİPİ BİR KONUTUN OLUŞUM ENERJİSİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN İNCELENMESİ

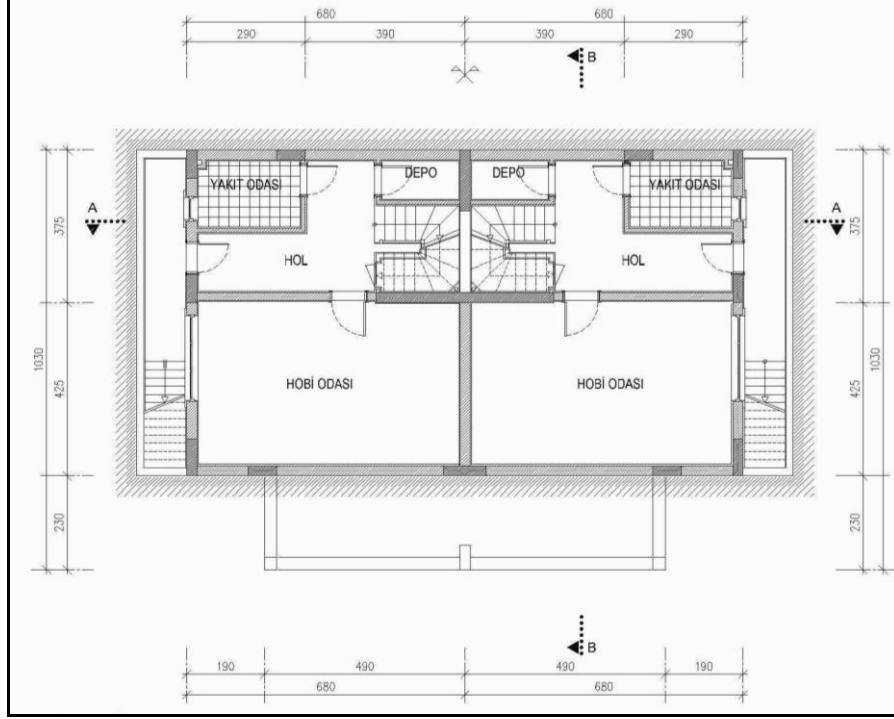
Bu bölümde, villa tipi bir konutun toplam metrajı hesaplanmıştır. Elde edilen metraj sonuçları ile malzeme veri tabanında bulunan oluşum enerjileri katsayıları çarpılarak örnek konutun toplam oluşum enerjisi hesaplanmıştır (Bkz. Ek-A). Daha sonra malzeme alternatifleri kullanılarak örnek konutun her bir değişken için toplam oluşum enerjisi hesaplanmıştır. Bölümün sonunda ise elde edilen sonuçların toplu konutlara uygulanarak, çıkan farklar karşılaştırılmıştır.

4.1. Seçim Gerekçesi

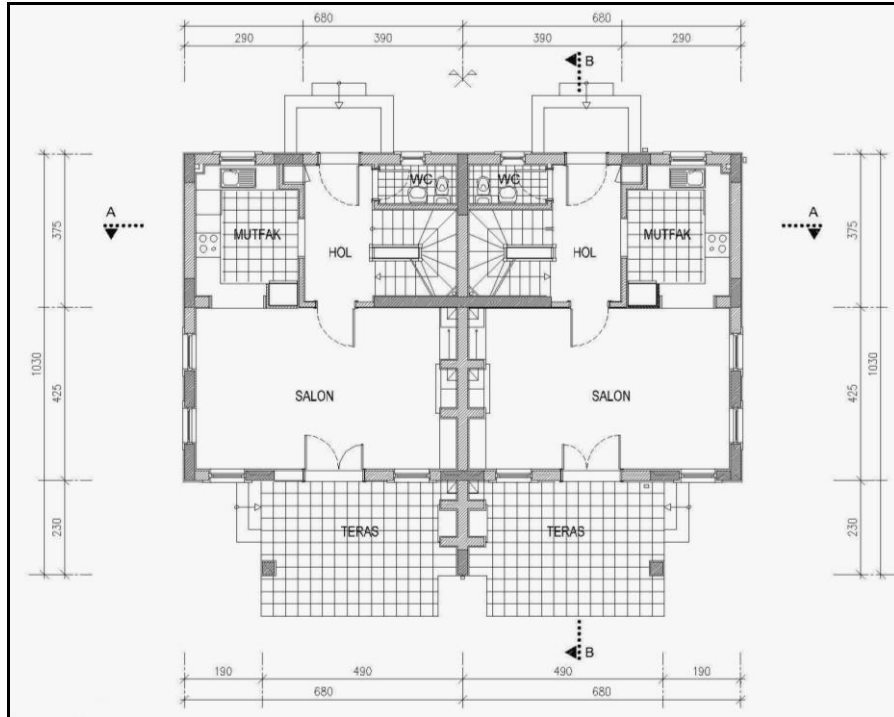
Tezde analiz edilmek üzere üç katlı ve bodrum katı olan bir yapı seçilmiştir. Bu konutun seçilme nedeni; az katlı yapılarda toplam oluşum enerjisi hesaplanarak buradan toplu konutlara uyarlanabilecek bir model çıkartmaktır. Bu yüzden seçilen yapı üç katlı olmasına rağmen giriş ve 1.kat toplam alanı 140m^2 'dir. Bu değerle konutun analizinde elde edilen değer toplu konutlara uyarlandığında elde edilecek sonucun en gerçekçi sonuç olabileceği düşünülmüştür.

Örnek olarak alınan yapı üç katlı ve bir bodrum katı olan, toplam kat alanı brüt 70m^2 ve bina toplam alanı brüt 240m^2 olan simetrik iki villadan oluşmaktadır. Şekil 4.1, şekil 4.2, şekil 4.3 ve şekil 4.4'te konutun kat planları gösterilmiştir. Örnek olarak alınan proje başlangıçta bodrum katı olmayan ve yakıt dairesi çatı katında olan bir villa projesiydi. Günümüz toplu konutlarına uyarlamanın daha gerçekçi olabilmesi için yapıya şekil 4.5 ve şekil 4.6'daki kesitlerde görüldüğü gibi bir bodrum kat eklenip yakıt dairesi bodrum kata alınmıştır. Bodrum kata dışarıdan ulaşılabilmesi için projeye kuranglez eklenmiştir. Ayrıca kuranglez vasıtası ile yakıt dairesine havalandırma penceresi açılmıştır. Bodrum olarak açılan mekanın kalan kısmındaki mekan ise, hobi odası olarak kullanılabileceği gibi çamaşır dairesi olarak da değerlendirilebilecektir.

Konut baştan kurgulanırken, günümüzde toplu konut uygulamalarının taşıyıcı yapı sistemi olarak en yaygın kullanılan betonarme sistem kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Örnek villa bodrum kat planı



Şekil 4.2. Örnek villa giriş kat planı

The floor plan is symmetrical along a vertical axis. The overall dimensions are 10,30 meters in width and 6,80 meters in depth. The layout includes:

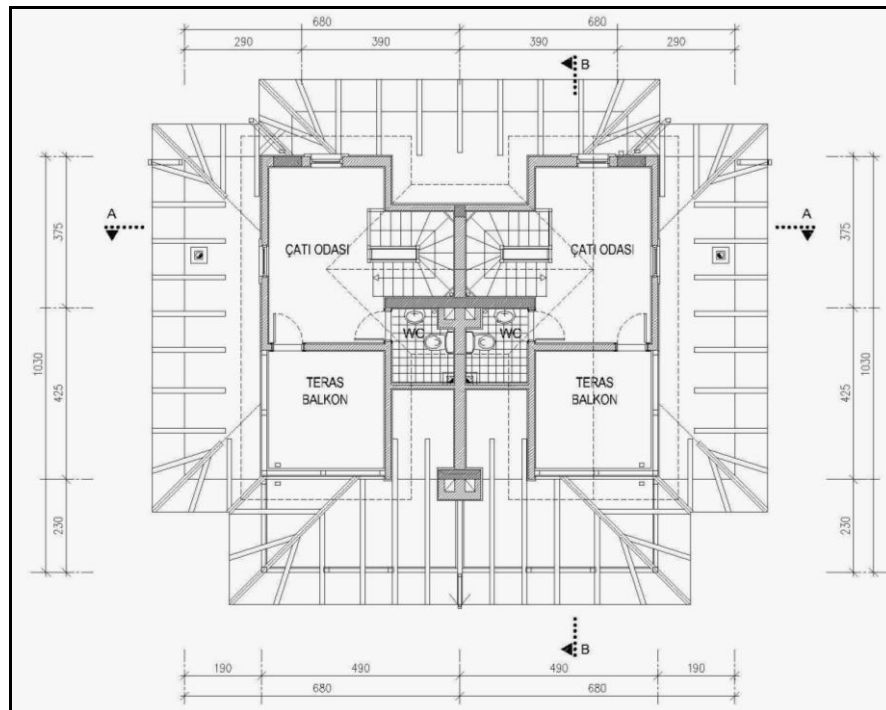
- Top Section:** Two 'OYUN ODASI' (Play Rooms) flanking a central staircase area.
- Second Section:** Two 'BANYO' (Bathrooms) flanking a central 'HOL' (Hallway).
- Third Section:** Four 'YATAK ODASI' (Bed Rooms) arranged in two rows of two.
- Bottom Section:** Two 'TERAS' (Terraces) flanking a central entrance area.

Dimensions are provided in meters (m) and millimeters (mm):

- Horizontal Dimensions (Top):** 290, 680, 390, 390, 290.
- Horizontal Dimensions (Bottom):** 190, 490, 490, 190.
- Vertical Dimensions (Left):** 3,75, 4,25, 2,30.
- Vertical Dimensions (Right):** 3,75, 4,25, 2,30.

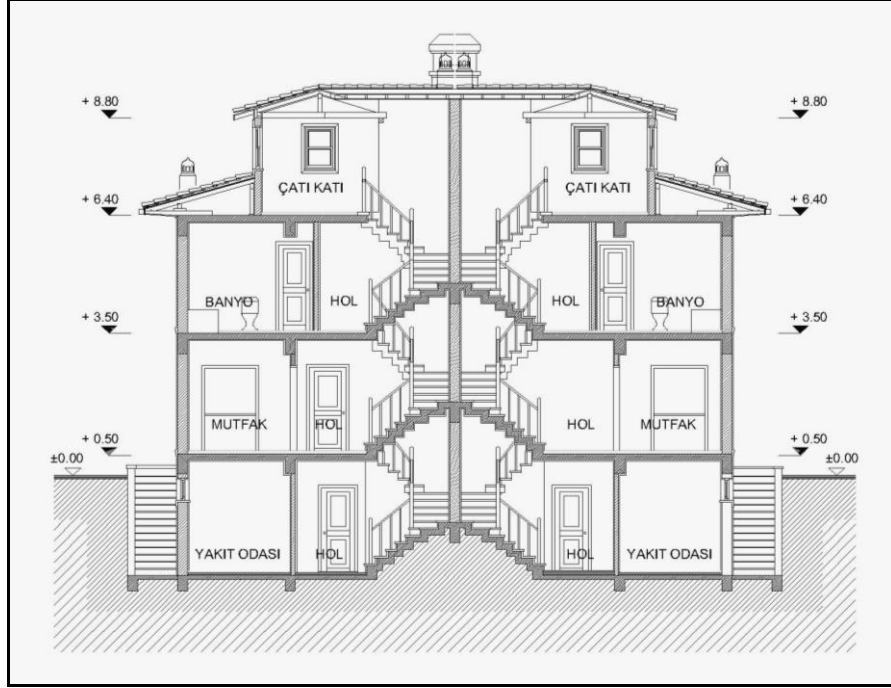
Section lines A-A and B-B are indicated with arrows and dotted lines.

Şekil 4.3. Örnek villa birinci kat planı

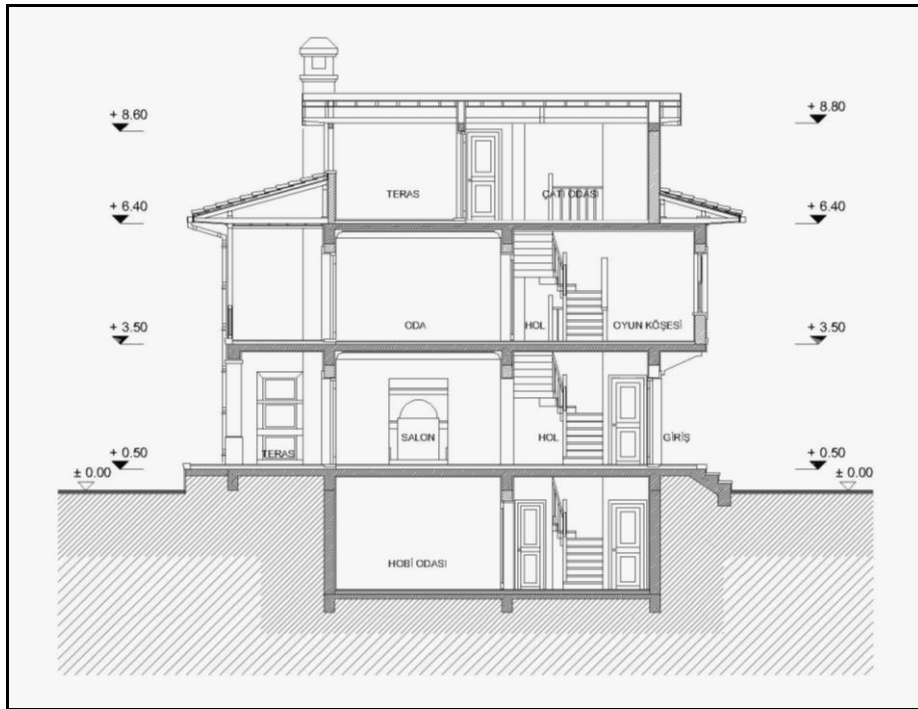


Şekil 4.4. Örnek villa çatı katı planı

Konutun taşıyıcı iskelet sistemi betonarme iskelet olarak kabul edilmiştir. Duvarlar dolgu duvar şeklinde 200mm boşluklu hazır beton tercih edilmiştir. Döşemeler betonarme döşeme şeklinde olup, zemin kat döşemesinde normal döşemelere ek olarak su yalıtımı ön görülmüştür.

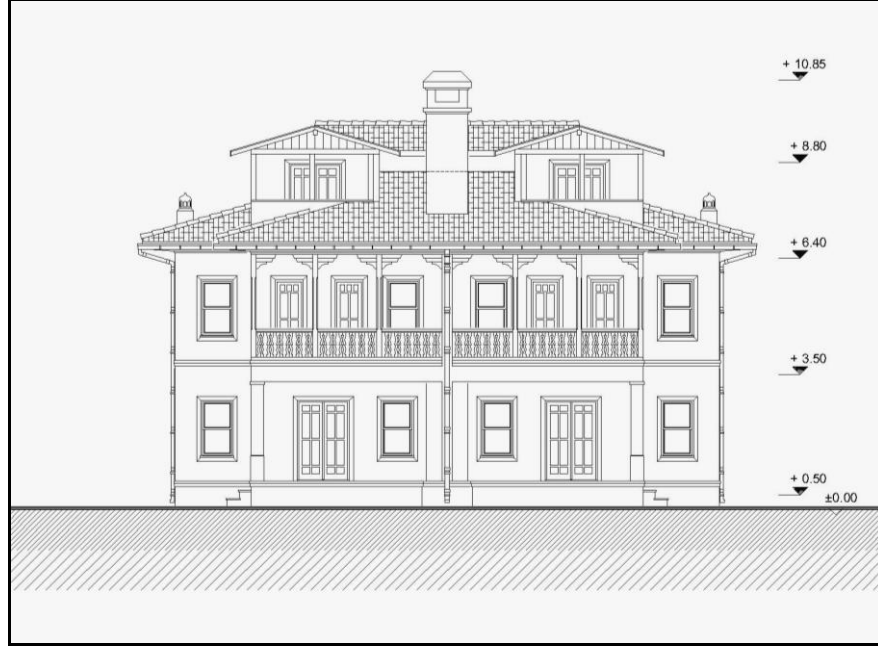


Şekil 4.5. Örnek villa A-A kesiti



Şekil 4.6. Örnek villa B-B kesiti

Çatı sistemi için ahşap karkas taşıyıcı sistem ve pişmiş toprak kiremit kaplaması ön görülmüştür. Isı yalıtım malzemesi de kiremit altında, selüloz fiber yapı malzemesi kullanılmıştır. Çatı altı kaplaması olarak ise alçı panel ile kaplama ve akrilik boya bitirmesi kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Örnek villa arka görünüş



Şekil 4.8. Örnek villa ön görünüş

Şekil 4.7 ve 4.8'deki cephelerde görüldüğü gibi dış cephede kullanılacak kapı ve pencerelerde alüminyum ısı yalıtımlı cam tercih edilmiştir. Isı yalıtımlı cam her ne kadar tek cama göre yüksek oluşum enerjisine sahip olsa da, enerji geri ödeme

zamanı kısa olduğu için tercih sebebi olmuştur. İç kısımda kullanılmak üzere boşluklu ahşap kapılar kullanılmıştır. Dış cephede kullanılan alüminyum doğramalardan gelen yüksek oluşum enerjisi iç kısımda kullanılan ahşap kapılar sayesinde dengelenmiştir.

4.2. Seçilen Konutun Malzeme Analizi

Binanın metrajı çıkarılırken kullanılan yöntem elemanlara dayalı maliyet analizinden çıkarılmış bir yöntemdir. Elemanlara dayalı maliyet hesabı, bina üretim sürecinin tasarım evresinde maliyet planlaması ve kontrolünün yapılabilmesi için kullanılan bir maliyet hesap türüdür. [17] Bu tür bir hesapta bina, fonksiyonlarına yönelik olarak gruplanır ve gruplanan bu maliyetlerin planlama sürecinin gelişimine uygun olarak alt açılımları yapılır. Tablo 4.1’de görüldüğü gibi, burada bina döşemeler, duvarlar, pencere/kapılar ve çatı olmak üzere dört ana kısım şeklinde gruplanmıştır ve bu ana gruplar da malzeme farklılığı gösteren yerlerde alt gruplarına ayrılmıştır. Metrekare bina maliyeti oluştururken, binanın her elemanının maliyeti, brüt döşeme alanı başına maliyet olarak hesaplanmıştır. Elemanların toplam maliyetlerinin metrekare döşeme alanı başına ifade edilmesinin nedeni; diğer konutlarla mantıklı bir karşılaştırma yapabilmek ve sadece birim fiyatlar ele alındığında herhangi bir kayıp veya kazanç olup olmadığını anlamının mümkün olması içindir. Herhangi bir elemanın seçiminin binanın metrekare maliyetini asıl etkileyeceğini görmek, ancak elemanın metrekare döşeme alanı başına maliyetini hesaplayarak anlaşılabilir.

Bina toplam oluşum enerjisi hesaplarken Lawson’nun (1996) kaynağındaki tablolardan faydalanılmıştır. Kaynakta, döşeme, duvar ve çatı yapı elemanları için değişik malzemeler kullanılarak oluşturulmuş kesitlerin oluşum enerji tabloları bulunmaktadır. (Bkz. Ek-1, Ek-2) Kaynakta, olmayan fakat konutta kullanılan malzemeler yine aynı tablolardan faydalanılarak çıkartılmıştır. Bu tabloların yardımı ile örnek olarak ele alınan konut için kullanılabilecek malzeme alternatifleri ile ortaya çıkan farklı oluşum enerji sonuçları karşılaştırılmıştır.

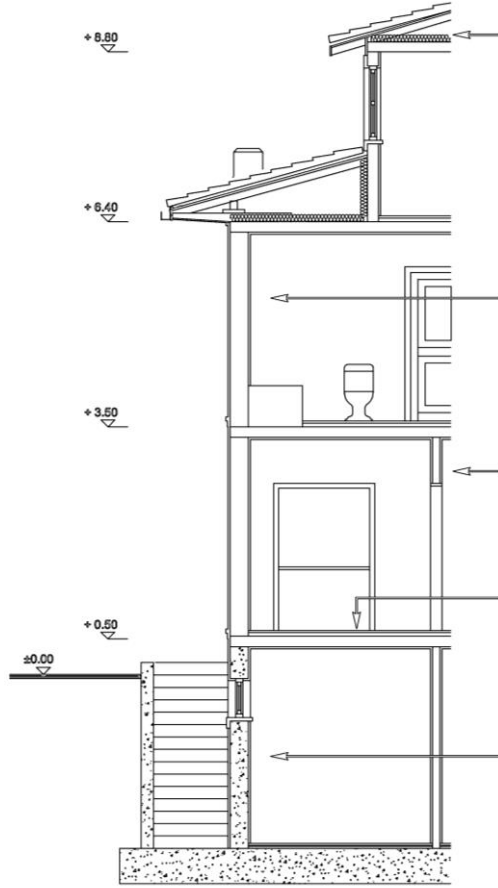
Oluşum enerjisi hesaplamalarında kullanılan veri tabanının güvenilir bir kaynaktan olması ve mümkünse tek bir kaynaktan alınması hesaplama sonunda elde edilecek sonuçların güvenilirliği ve alternatif malzemeler kullanıldığı zaman karşılaştırmanın sağlıklı olabilmesi için oldukça önemlidir.

Tablo 4.1. Ele alınan konutun (Villa), betonarme iskeletli sistemi için malzeme analiz tablosu.

Bina Elemanı	Metraj	Sürdürülebilirlik Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi	Oluşum Enerji Katsayısı	Toplam Oluşum Enerjisi MJ	Oluşum Enerji MJ/m ²
DÖŞEME					
Radye Temel-440mm	65	Kötü	2508	163020	679
Zemin Kat-125mm betonarme	70	İyi	750	52500	218
1.Kat-125mm betonarme	70	İyi	750	52500	218
Çatı Katı-125mm betonarme	35	İyi	750	26250	108
Ara Toplam	240			298950	1223
Döşeme Kaplamaları					
Ahşap parke	170	İyi	665	113050	471
Seramik karo	70	Orta	650	45500	189
Ara Toplam	240			158550	660
DUVARLAR					
Dış Duvar (20 cm B.arme Duvar)					
Bodrum Kat	107	Orta	753	80571	336
Zemin Kat	50	Orta	778	38900	162
1.Kat	50	Orta	778	38900	162
Çatı Katı	31	Orta	778	24118	100
Ara Toplam	265			182489	760
İç Duvar (Ahşap karkas, beton blok)					
Bodrum Kat	45	Orta	332	14940	62
Zemin Kat	30	Orta	332	9960	41
1.Kat	50	Orta	332	16600	69
Çatı Katı	10	Orta	332	3320	14
Ara Toplam	135			44820	186
PENCERE/KAPI					
Alüminyum	27	Kötü	770	20790	86
ÇATI					
Ahşap Karkas Terrakota Çatı	90	İyi	271	24390	101
Genel Toplam					
				783985	3016

Lawson'nun kaynağında, duvarlar için sadece dış duvar alternatifi düşünüldüğünden dolayı genellikle yalıtım malzemesi ile birlikte verilmektedir. Konutun iç duvarlarında kullanılmak üzere kaynaktaki duvar örgüsünün yalıtım malzemesinin kesitten çıkartılıp, oluşum enerjisi tekrar hesaplanarak elde edilmiştir.

Şekil 4.9'da ele alınan konutun (villanın) betonarme iskeletli sistem kesitinde yer alan tüm malzemeler için detaylı açılım tabloları ek-1 de verilmiştir.



Çatı

- Ahşap karkas
- Terrakota kiremit

Dış Duvar

- 200mm boşluklu hazır beton
- Dış sıva, akrilik boya

İç Bölücü Duvarlar

- Ahşap karkas tek sıra tuğla

Döşemeler

- 125mm betonarme döşeme
- Ahşap parke
- Seramik karo

Bodrum Kat Duvar

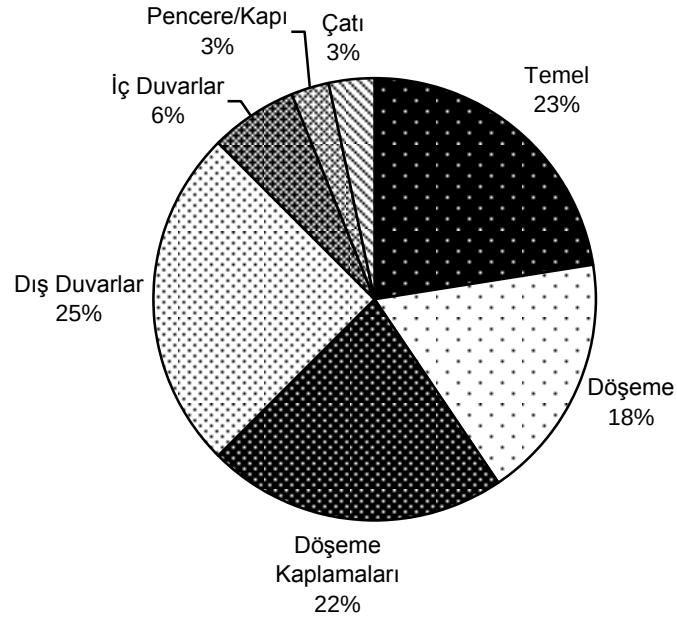
- 200mm boşluklu hazır beton
- Su yalıtımı

Radye Temel

- 440 mm betonarme radye

Şekil 4.9. Örnek villa için betonarme kesit malzeme açılımı

Seçilen bu kesit için kullanılan malzemelerin karşılaştırmalı yüzdelik grafiği şekil 4.10'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi betonarme döşeme, örnek konutun toplam oluşum enerjisinin neredeyse yarısını teşkil etmektedir. Betonarme bir konut için genel olarak düşünüldüğünde bundan farklı bir sonuç çıkmayacaktır.



Şekil 4.10. Örnek villa metrekaresi oluşum enerji yüzdelik grafiği

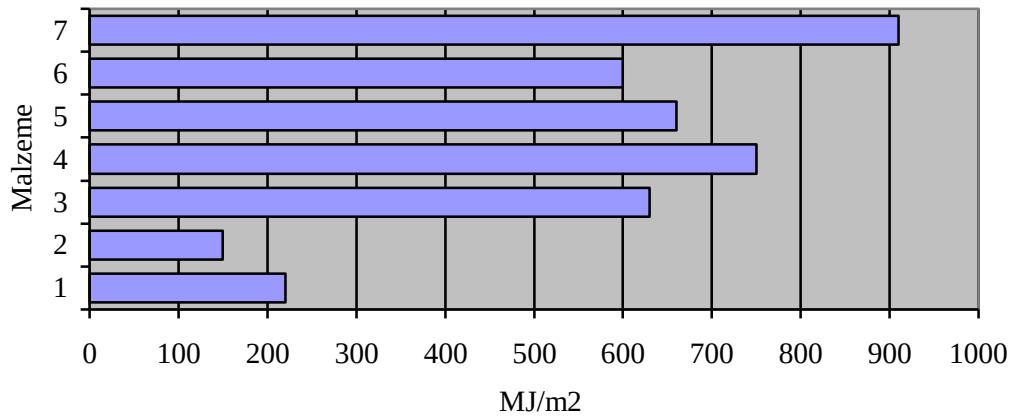
Çıkan yüksek oluşum enerjisinin yarısına yakınına %41'lik bir oranla döşemeler ve temel oluşturmaktadır. Bu oluşum enerjisi değerinin yüksek çıkmasının başlıca nedeni ise tablo 4.1'de görüldüğü gibi radye temelin toplam oluşum enerjisinin büyük çoğunluğunu kapsamasıdır. Radye temel için kullanılan oluşum enerjisi değeri, döşeme için var olan 110mm'lik değerin dört katının alınıp buna su yalıtımı eklenerek oluşturulan yeni kesitin oluşum enerjisi değeridir.

Döşeme ve döşeme kaplamalarını birlikte düşünüldüğü zaman örnek konut için %40'lik birim oluşum enerjisi değeri ile karşılaşılmaktadır. Bu değer, döşeme ve kaplama malzemelerinin seçiminde yapılacak değişikliklerin çıkan sonuçlarda oldukça önemli değişiklikler yapabileceğini göstermektedir.

Yukarıdaki şekilde dış duvarların örnek konutumuzda %25'lik bir birim oluşum enerjisine sahip olduğu görülmektedir. Bu değer dış duvarların en az döşemeler kadar oluşum enerjisi değerine sahip olduğunu göstermektedir ve kabuk alternatifleri arasında seçim yapılırken oluşum enerjisi girdisinin ne kadar önemli bir seçim faktörü olduğunu vurgulamaktadır.

İç duvarlar, kapı pencere ve çatı yapı sistemleri için harcanan birim oluşum enerjisi şekil 4.10’da görüldüğü gibi %6’lık bir değerdedir. Bu değerlerin diğer yapı sistemlerine göre düşük çıkmasının en önemli nedeni, bu yapı sistemleri için harcanan malzeme miktarının, diğer birim oluşum enerjisi yüksek çıkan yapı sistemlerine göre daha az olmasıdır.

Şekil 4.11’de örnek konut için kullanılabilecek döşeme alternatiflerinin karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Ahşap döşeme dışındaki betonarme alternatiflerinin birim oluşum enerjileri metrekarede en az 600 MJ olmak üzere oldukça fazladır. Bizim kullandığımız döşeme aşağıdaki şekil’de dört numarada gösterilen 125 mm betonarme döşemedir. Günümüz yapı sistemini için en yaygın olanı olmakla beraber, oluşum enerjisi bakımından asmolen döşemeden sonra oluşum enerjisi en yüksek ikinci tip döşemedir.



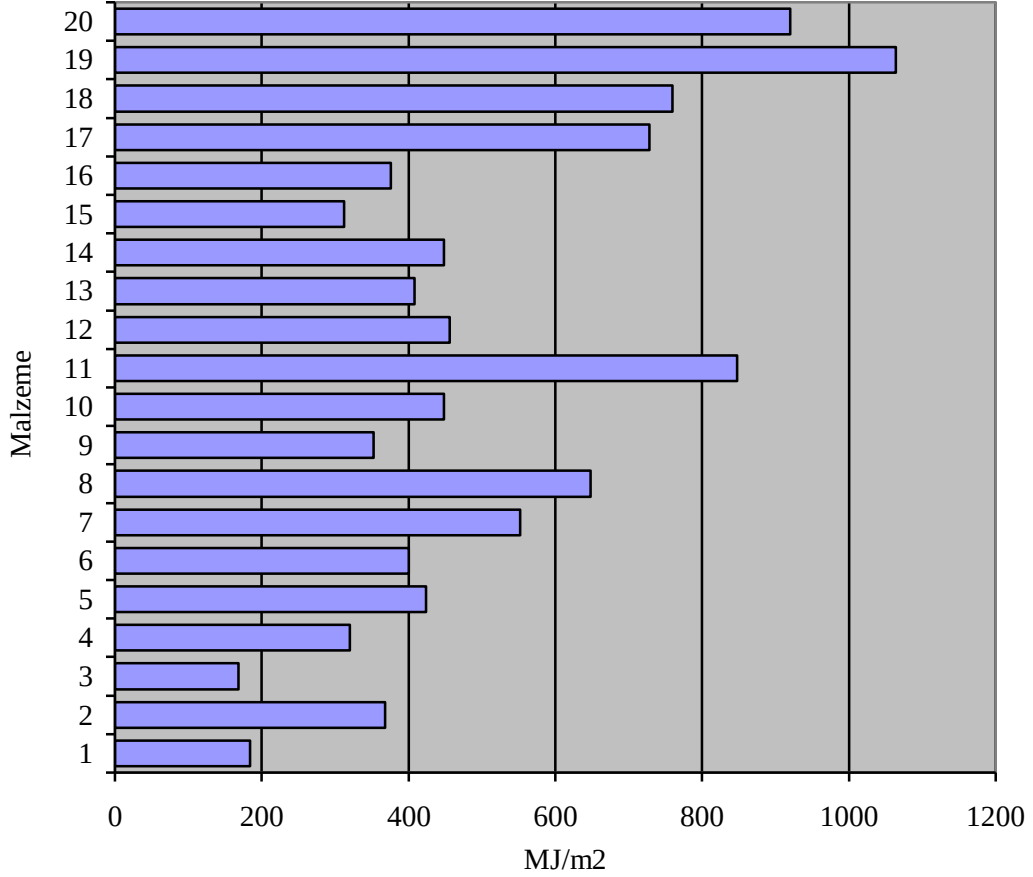
İşaret

- | | |
|--|---|
| 1 Yükseltilmiş ahşap döşeme (Zemin kat) | 5 110 mm betonarme kalıp (kalıcı kalıp) |
| 2 Yükseltilmiş ahşap döşeme (Üst katlat) | 6 200 mm hazır beton Tee kiriş/dolgu döşeme |
| 3 Zemin üzerine 100 mm betonarme döşeme | 7 200 mm asmolen hazır döşeme |
| 4 125 mm betonarme döşeme (geçici kalıp) | |

Şekil 4.11. Döşeme yapı sistemleri oluşum enerji değerleri [2]

Şekil 4.10’da oluşum enerjisi yüzdelik grafikte görüldüğü gibi örnek villanın toplam oluşum enerjisinde ikinci en önemli katkısı olan yapı elemanı olarak dış duvarlar gelmektedir. Seçilen duvar tipi şekil 4.12’de on yedi numara ile gösterilen 200 mm boşluklu hazır beton duvardır ve görüldüğü gibi ortalamanın üzeri bir oluşum enerjisine sahip bir duvar çeşididir. Buradaki yüksek oluşum enerjisi duvarın iyi

yalıtım özelliğinden kaynaklanmaktadır. Fakat bu özelliği sayesinde oluşum enerjisi geri ödeme zamanının kısa olması ile az bir süre içerisinde, oluşum enerjisi kadar enerjiyi yalıtım sayesinde kazandıracaktır.

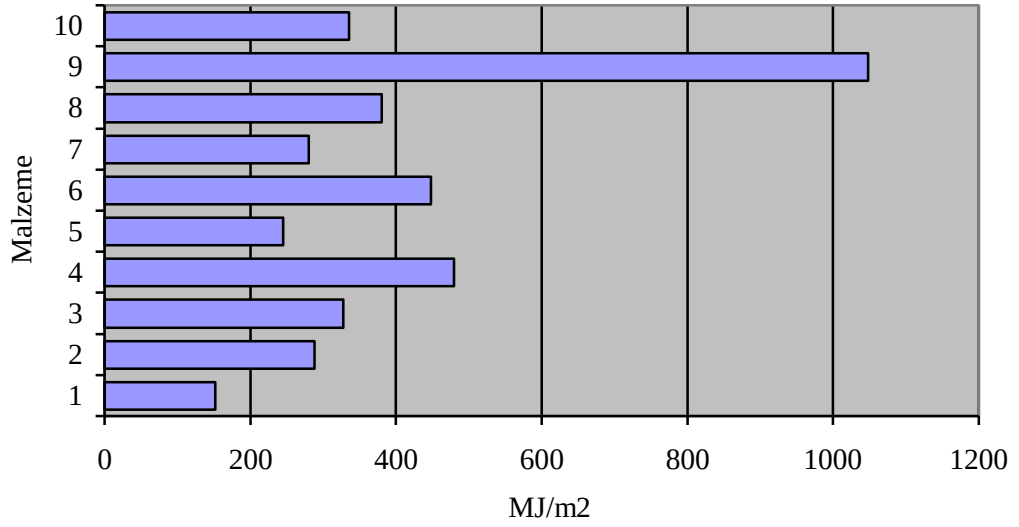


İşaret

- | | |
|--|--|
| 1 Ahşap karkas, ahşap yalı baskısı | 11 Boşluklu tuğla kaplama |
| 2 Ahşap karkas, yapay ahşap yalı baskısı | 12 Boşluklu beton blok kaplama |
| 3 Ahşap karkas, elyaflı çimento yalı baskısı | 13 Tek cidar stabilize sıkıştırılmış toprak |
| 4 Ahşap karkas, çelik kaplama | 14 Tek cidar AAC blok kaplama |
| 5 Çelik karkas, çelik kaplama | 15 Tek cidar briket duvar |
| 6 Ahşap karkas, alüminyum yalı baskısı | 16 Çelik karkas, sıkıştırılmış lifli çimento levha |
| 7 Ahşap karkas, tuğla kaplama | 17 200 mm boşluklu hazır beton |
| 8 Çelik karkas, tuğla kaplama | 18 Cam giydirmce cephe |
| 9 Ahşap karkas, beton blok kaplama | 19 Çelik yüzeyli sandviç panel |
| 10 Çelik karkas, beton blok kaplama | 20 Alüminyum giydirmce cephe |

Şekil 4.12. Dış duvar yapı sistemleri oluşum enerji değerleri [2]

Şekil 4.10’da görüldüğü gibi çatı birim oluşum enerjisi dört katlı örnek villa için %4 çıkmıştır. Çatı yapı sistemi olarak şekil 4.13’teki çatı sistemleri karşılaştırmalı oluşum enerji tablosunda yedi numara ile gösterilen ahşap karkas terrakota (pişmiş toprak) çatı yapı sistemi geleneksel olarak yaygın ve kolay uygulanması sebebiyle seçilmiştir. Aşağıdaki şekilden de anlaşılabacağı gibi seçilen yapı sistemi metrekareye 280 MJ olmak üzere ortalama bir oluşum enerjisi değerine sahiptir. Kullanılan malzemelerin doğal olması toplam oluşum enerjisinin düşük çıkmasını sağladığı gibi, yapının dört katlı olması birim oluşum enerjisini oldukça düşürmüştür.



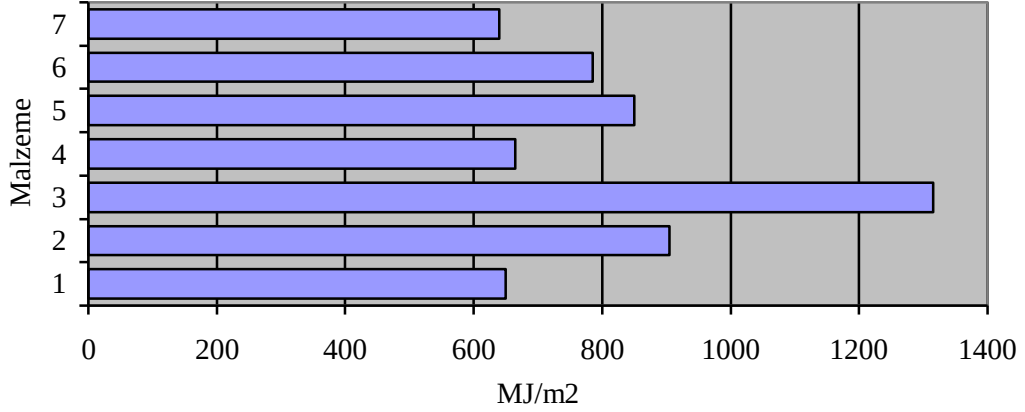
İşaret

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1 Ahşap karkas, ahşap kiremit kaplama | 6 Çelik karkas, beton kiremit kaplama |
| 2 Ahşap karkas, lifli çimento kaplama | 7 Ahşap karkas, pişmiş toprak kiremit kaplama |
| 3 Ahşap karkas, çelik kaplama | 8 Ahşap karkas, sentetik kauçuk membran kaplama |
| 4 Çelik karkas, çelik kaplama | 9 B.arme döşeme, sentetik kauçuk membran kaplama |
| 5 Ahşap karkas, beton kiremit kaplama | 10 Çelik karkas, lifli çimento kaplama |

Şekil 4.13. Çatı yapı sistemleri oluşum enerji değerleri [2]

Döşeme bitirmeleri olarak, yaşama mekanı, yatak odaları, dolaşma mekanları ve merdivenler ahşap olarak kabul edilmiş ve diğer mekanların seramik karo ile kaplanacağı varsayılmıştır. Döşeme alternatifleri oluşum enerjileri değerleri karşılaştırmalı olarak verilen şekil 4.13’deki tablodan faydalanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4.10’da görüldüğü gibi döşemeler için seçilecek bitirme malzemesinin de birim oluşum enerjisine katkısı oldukça fazladır. Şekil 4.13’te görüldüğü gibi seçtiğimiz ahşap ve seramik karo oluşum enerjisi bakımından en düşük oluşum

enerjisine sahip malzemeler arasındadır ve günümüz konut yapılarında sıkça kullanılmaktadır. Böyle olmasına rağmen birim oluşum enerjisi bakımından %21 gibi bir seviyeye sahiptir.



İşaret

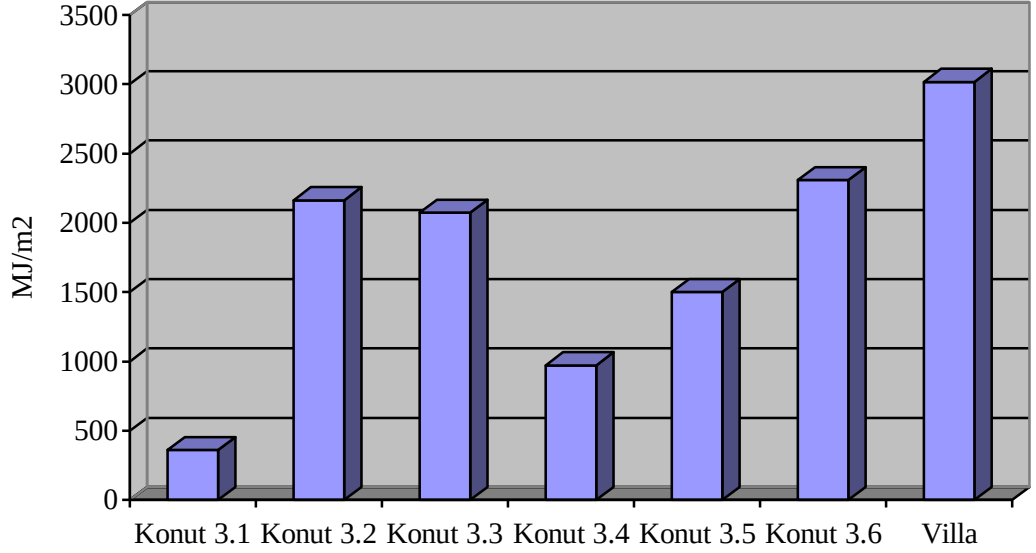
- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| 1 Seramik karo | 5 Vinil |
| 2 Parlatılmış yerel granit | 6 Naylon halı |
| 3 Parlatılmış ithal granit | 7 Parlatılmış bitirme |
| 4 Ahşap parke | |

Şekil 4.14. Döşeme kaplama sistemleri oluşum enerji değerleri [2]

Örnek villa, diğer analiz edilen konutlarla kıyaslandığı zaman, şekil 4.15’de görüldüğü gibi birim oluşum enerji miktarı metrekare başına yaklaşık 1000 MJ daha fazla çıkmıştır. Bu sürdürülebilirlik kriterleri göz önünde bulundurularak ve oluşum enerjisi özellikle düşük tutulmaya çalışılan bir proje olmadığı için normal karşılanabilir.

Oluşum enerjisi en düşük çıkan ahşap yapılar olan konut 3.1 ve konut 3.4 dışında, taşıyıcı yapı sistemi betonarme olan fakat oluşum enerjisi en düşük seviyede bulunan konut 3.5 ile aralarındaki oluşum enerji farkı yaklaşık 1700 MJ/m^2 gibi bir seviyede ve oldukça fazladır. Konut 3.5 betonarme ve iki katlı bir yapı olmasına rağmen oluşum enerjisinin en aza çekilmesi için oldukça uğraşılmış bir projedir. Şekil 4.16’da detaylı analiz tablosuna bakıldığı zaman döşeme oluşum enerjileri arasındaki farkın iki katı olduğu gözükmemektedir. Bunun en önemli nedeni olarak konut 3.5’te uygulanan temelin mütemadi temel olması ve betonarme için kullanılacak çeliklerin geri dönüşümlü çeliklerden üretilmiş olması söylenebilir.

Örnek villanın konut 3.2 ve konut 3.6 ile döşemelerini kıyasladığımız zaman çok fazla olmayan yaklaşık 300 MJ'lük bir fark karşımıza çıkacaktır. Bu az farkın nedeni olarak ele alınan üç yapının da betonarme karkas şeklinde kurgulandığıdır. Örnek villanın temeli karşılaştırılan diğer iki konut gibi mütemadi temel olarak kurgulansaydı döşeme oluşum enerjileri yaklaşık olarak aynı çıkmış olacaktır.

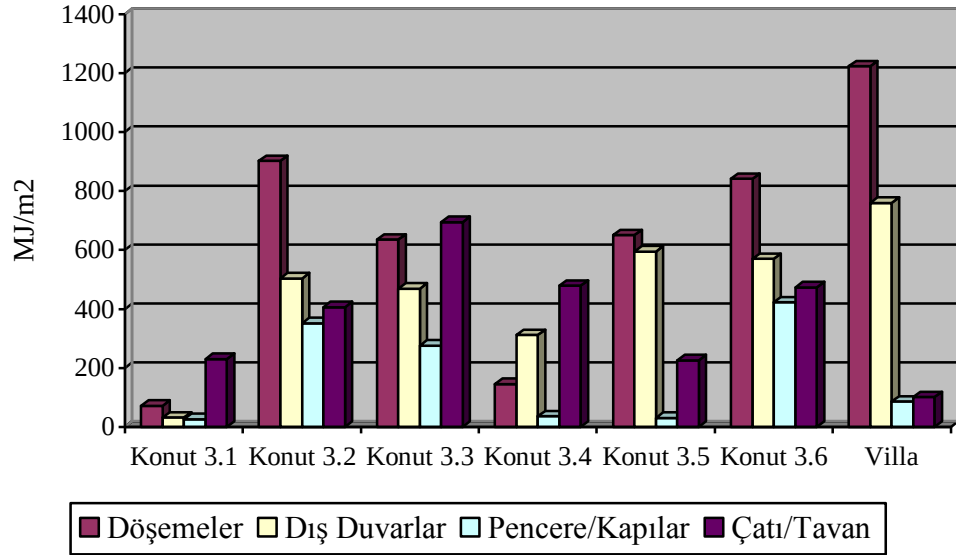


Şekil 4.15. Örnek villa ve analiz edilen konutların birim oluşum enerjilerinin karşılaştırılması.

Ele alınan altı kotlarla, örnek villanın döşeme yapı elemanından sonra dış duvarları arasındaki fark şekil 4.16'da görülmektedir. Genel olarak bu fark örnek villanın bodrum kata sahip olması ve bu yüzden duvar/pencere oranının yüksek çıkmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü, örnek villa için duvarlarından kullanılan 200 mm boşluklu hazır beton malzemesi yeterli ısı yalıtım değerine sahip olduğu için fazladan ısı yalıtım malzemesi öngörülmemiştir ve böylelikle birim oluşum enerjisinin yükselmesine engel olunmuştur.

İncelenen altı yapı ile örnek villanın pencere ve kapıları karşılaştırıldığı zaman şekil 4.16 görüldüğü gibi döşeme ve duvar yüksek oluşum enerjilerine karşılık, örnek villanın oldukça düşük pencere/kapı ve çatı oluşum enerjisine sahip olduğu görülmektedir. Kapı/pencere birim oluşum enerjisinin düşük çıkma nedeni olarak aslından yapımızda günümüz toplu konutlarında yaygın bir tercih olan yüksek

oluşum enerjili alüminyum çerçeveli pencere/kapı tercih edildiği halde yüzey alanları, bodrum katta çok az açıklık olması sayesinde, villanın toplam metrekaresine göre oldukça düşük olması sebebiyledir. Örnek villa pencere/kapı birim oluşum enerji değeri neredeyse konut 3.1, konut 3.4 ve konut 3.5 gibi ahşap çerçeveler kullanılan yapılar kadar düşük çıkmıştır.



Şekil 4.16. Örnek villa ve analiz edilen konutların yapı elemanlarının oluşum enerjilerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.16’da açık bir şekilde görüldüğü gibi, ele alınan konutlarla örnek villanın yapı elemanları birim oluşum enerjileri arasındaki farkın en çarpıcı olduğu nokta çatı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu farkın nedenleri arasında, örnek villanın çatısı şekil 4.13’te görüldüğü gibi düşük oluşum enerjili çatı yapı sisteminden seçilmesi olduğu gibi, ele alınan konutlarla arasındaki kat sayısı ve buna bağlı olarak çatı/toplam metrekaire oranının oldukça düşük çıkması şeklinde açıklanabilir.

Buradan anlaşılıyor ki, birim oluşum enerji değeri kullanılan malzemenin miktarı ve cinsine göre değiştiği gibi kullanıldığı yapının, oturum alanı, kat sayısı, dış cephedeki açıklık miktarı ve çatının biçimi gibi mimari kararları tarafından da etkilenmektedir.

4.3. Örnek Villa İçin Malzeme Alternatiflerinin Oluşturulması

Örnek villa için günümüz piyasa koşullarına uygun malzeme alternatiflerinin oluşturulmasında oluşum enerjisi en çok ve en az olabilecek şekilde tasarlama yapılmıştır. Bölüm 4.2’de analiz edilmiş olan örnek villa için döşeme, döşeme kaplamaları, duvar ve çatı yapı elemanları için farklı malzeme alternatifleri seçilerek, yüksek oluşum enerjili alternatif-1 ve düşük oluşum enerjili alternatif-2 olmak üzere iki villa alternatifi oluşturulmuştur.

4.3.1. Oluşum Enerjisi Yüksek Alternatif

İlk olarak tablo 4.2’de görüldüğü gibi yüksek oluşum enerjili malzemeler seçilerek genel toplamda 3546 MJ/m²’lik yüksek bir oluşum enerjisine ulaşılmıştır. Bu değere nasıl ulaşıldığına döşeme, döşeme kaplamaları, duvarlar ve çatı yapı elemanları aşağıda incelenerek açıklık getirilmiştir.

Döşeme: Yüksek oluşum enerjili konut alternatifinde oluşum enerjisinin önemli bir miktarını şekil 4.17’deki grafikte görüldüğü gibi %39’luk bir yüzdeyle döşemeler oluşturmaktadır. Tablo 4.2’de görüldüğü gibi toplamda 321920 MJ/m² gibi çok yüksek bir değere sahiptir. Bu değer yarısını radye temel diğer yarısını da asmolon döşemeler oluşturmaktadır. Döşeme kaplamaları da, tablo 4.2’de gösterildiği gibi ithal kaynaklı olmasından dolayı 205100 MJ/m^{2*} olmak üzere ikinci en yüksek değere sahiptir.

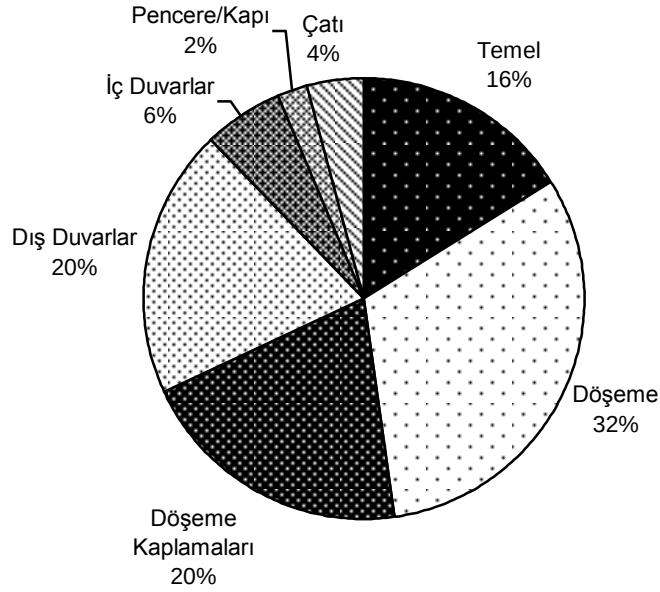
Duvarlar: Örnek villa alternatif-2 için dış duvar tercihi olarak delikli tuğla örgü seçilmiştir. Ekstrüzyon işlemi çok fazla enerji gerektirdiğinden tuğla metrekare oluşum enerjisi 728 MJ gibi oldukça yüksek bir değere sahiptir. Bundan dolayı dış duvar bu alternatifte toplamda 199257MJ/m² olmak üzere üçüncü en yüksek değere sahip olmuştur. İç duvarlarla beraber düşündüğümüz zaman ise 260207 MJ/m² olmak üzere oluşum enerjisi en yüksek ikinci yapı elemanı olacaktır.

* İthal granit alınan kaynak için oluşum enerjisi hesaplanmış bir malzemedir. Türkiye şartları için farklı bir değere sahip olacaktır, fakat genel bir karşılaştırma yapabilmek için seçilmiştir.

Tablo 4.2. Örnek villa betonarme taşıyıcı iskeletli sistem alternatif-1 için malzeme analiz tablosu.

Bina Elemanı	Metraj	Sürdürülebilirlik Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi	Oluşum Enerji Katsayısı	Toplam Oluşum Enerjisi MJ	Oluşum Enerji MJ/m ²
DÖŞEME					
Radye Temel-440mm	65	Kötü	2508	163020	679
Zemin Kat-200mm Asmolen	70	Orta	908	63560	265
1.Kat-200mm Asmolen	70	Orta	908	63560	265
Çatı Katı-200mm Asmolen	35	Orta	908	31780	132
Ara Toplam	240			321920	1341
Döşeme Kaplamaları					
Ahşap parke	170	İyi	665	113050	471
Parlatılmış ithal granit	70	Kötü	1315	92050	383
Ara Toplam	240			205100	854
DUVARLAR					
Dış Duvar (Delikli Tuğla Duvar)					
Bodrum Kat	107	Orta	753	80571	336
Zemin Kat	50	Orta	906	45300	188
1.Kat	50	Orta	906	45300	188
Çatı Katı	31	Orta	906	28086	118
Ara Toplam	265			199257	830
İç Duvar (Ahşap Karkas, Tuğla Örgü)					
Bodrum Kat	45	Orta	530	23850	99
Zemin Kat	30	Orta	530	15900	66
1.Kat	50	Orta	530	15900	66
Çatı Katı	10	Orta	530	5300	23
Ara Toplam	135			60950	254
PENCERE/KAPI					
Alüminyum	27	Kötü	770	20790	86
ÇATI					
Çelik Karkas Çelik Kaplama	90	Kötü	483	43470	181
Genel Toplam					
				851487	3546

Çatı/Tavan: Tablo 4.2’de görüldüğü gibi örnek villa alternatif-1 için çelik taşıyıcı sistemli ve çelik bitirmeli yapı sistemi oluşum enerjisi bakımından eğik çatılar arasında uç noktada olduğu için seçilmiştir. Türkiye genelinde ahşap sisteme göre daha pahalı olduğu için de çok tercih edilmeyen bir sistem olmakla beraber oluşum enerjisi de örnek villada toplamda 13590MJ olmak üzere oldukça fazladır.



Şekil 4.17. Örnek villa alternatif-2 için yapı elemanları birim oluşum enerjisi yüzdelik grafiği.

4.3.2. Oluşum Enerjisi Düşük Alternatif

Örnek villa için betonarme taşıyıcı iskeletli ve düşük oluşum enerjili malzemeler seçilerek oluşturulmuş malzeme alternatifleri tablo 4.3'te verilmiştir. Bu alternatifte villanın toplam oluşum enerjisi 557815 MJ ve metrekare başına da 2324MJ/m² değeri elde edilmiştir. Bu değer analiz edilen altı konutla kıyaslandığı zaman bile oldukça iyi bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değere nasıl ulaşıldığına döşeme, döşeme kaplamaları, duvarlar ve çatı yapı elemanları aşağıda incelenerek açıklık getirilmiştir.

Döşeme: Toplam oluşum enerjisi en düşük alternatif olan alternatif-2'de döşeme oluşum enerjisi yüzdelik enerji dağılımındaki tablo 4.17'de görüldüğü gibi yapı elemanı olarak ilk sırada yer almaktadır. Fakat oluşum enerjisi değeri 905MJ/m² gibi oldukça düşük bir değere sahiptir. Bunun en önemli iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi temelde radye temel yerine mütemadi temelin kullanılması metrekarede 365 MJ/m²'lik bir enerji kazandırmıştır. İkinci önemli neden ise, Türkiye'de yaygın olmayan hazır kirişlerden oluşan döşeme tercih edilmesidir.

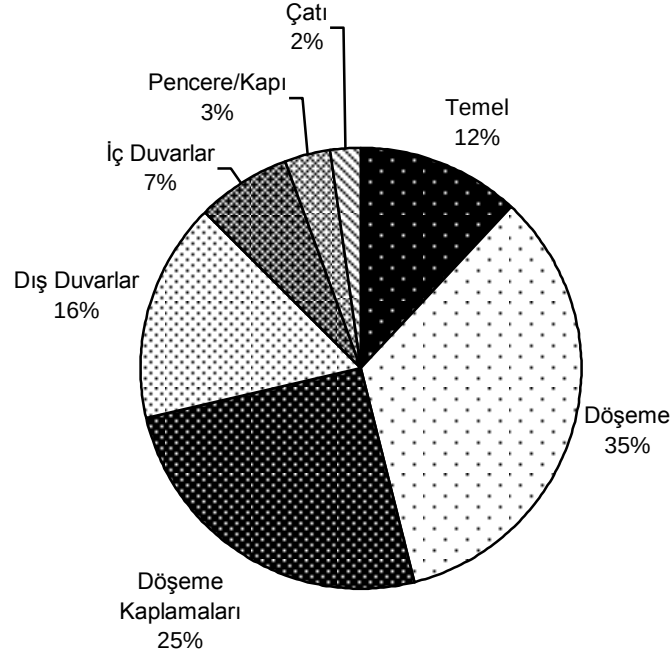
Tablo 4.3. Örnek villa betonarme taşıyıcı iskeletli sistem alternatif-2 için malzeme analiz tablosu.

Bina Elemanı	Metraj	Sürdürülebilirlik Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi	Oluşum Enerji Katsayısı	Toplam Oluşum Enerjisi MJ	Oluşum Enerji MJ/m ²
DÖŞEME					
Mütemadi Temel	30	İyi	2508	75240	314
Bodrum Kat	57		645	36765	153
Zemin Kat-Hazır Tee Kiriş	70	İyi	602	42140	175
1.Kat- Hazır Tee Kiriş	70	iyi	602	42140	175
Çatı Katı- Hazır Tee Kiriş	35	İyi	602	21070	88
Ara Toplam	240			217355	905
Döşeme Kaplamaları					
Ahşap parke	170	İyi	665	113050	471
Seramik karo	70	Orta	650	45500	189
Ara Toplam	240			158550	660
DUVARLAR					
Dış Duvar (Ahşap Karkas Elyafli Çimento Yalı Baskısı)					
Bodrum Kat	107	Orta	753	80571	336
Zemin Kat	50	İyi	169	8450	35
1.Kat	50	İyi	169	8450	35
Çatı Katı	31	İyi	169	5239	21
Genel Toplam	265			102710	428
İç Duvar (Ahşap Karkas Beton Blok)					
Bodrum Kat	45	İyi	332	14940	62
Zemin Kat	30	İyi	332	9960	41
1.Kat	50	İyi	332	16600	69
Çatı Katı	10	iyi	332	3320	14
Ara Toplam	135			44820	186
PENCERE/KAPI					
Alüminyum	27	Kötü	770	20790	86
ÇATI					
Ahşap Karkas Ahşap Kapl.	90	İyi	151	13590	57
Genel Toplam					
				557815	2324

Döşeme Kaplamaları: Tablo 4.3’de görüldüğü gibi bölüm 4.2’de örnek villada kullanılan döşeme kaplama malzemesi zaten düşük oluşum enerjisine sahip olduğu için değiştirilmemiştir. Fakat şekil 4.18’deki yüzdelik grafiğe bakıldığında döşeme kaplama malzemelerinin oluşum enerjisi bakımından yüzdelik olarak diğer villa alternatiflerinden fazla bir değere sahip olduğu görülmektedir.

Duvarlar: Düşük oluşum enerjili alternatif olması gereken alternatif-2’de, dış duvarlarda ahşap karkas üzeri elyafli çimentodan üretilen yalı baskısı duvarın tercih

edilmesi tablo 4.3’de görüldüğü gibi örnek villa ile arasında metrekare başına 332MJ/m²’lik bir enerji kazancı sağlamıştır. Şekil 4.18’deki yüzdelik grafiği diğer iki grafikte karşılaştırdığımız zaman ise, dış duvarda böyle bir malzeme kesitinin seçiminin yüzdelik olarak da %18’lik bir değerle oluşum enerjisi bakımından başarılı bir seçim olduğu görülmektedir.



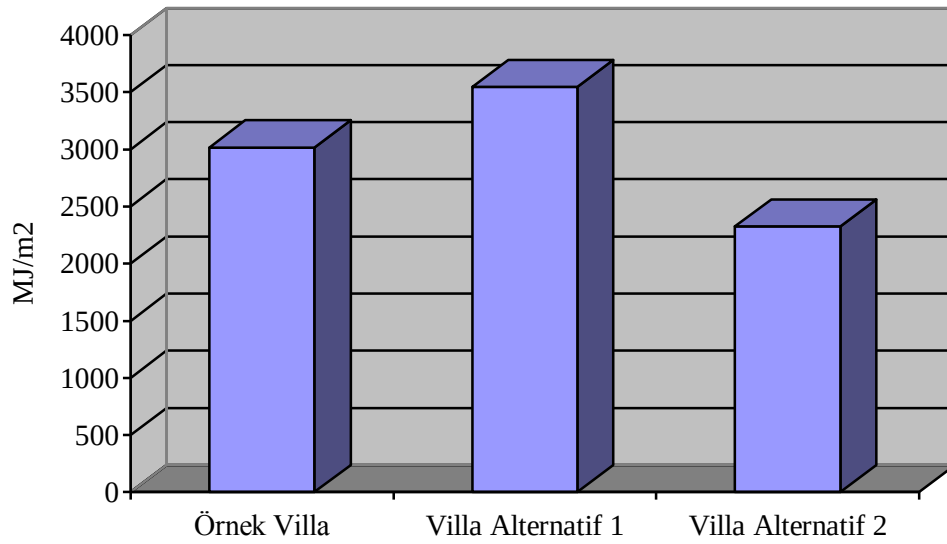
Şekil 4.18. Örnek villa alternatif-3 için yapı elemanları birim oluşum enerjisi yüzdelik grafiği.

Çatı/Tavan: Tablo 4.3’te görüldüğü gibi örnek villa alternatif-2 için ahşap taşıyıcı sistemli ve ahşap bitirmeli yapı sistemi oluşum enerjisi bakımından eğik çatılar arasında en alt noktada olduğu için seçilmiştir. Bu çatı kaplaması, dayanıklılık bakımından kiremit çatılara göre oldukça zayıf olduğu için, Türkiye koşullarında pek tercih edilmemektedir. Fakat şekil 4.18’de gösterildiği gibi %2’lik bir oranla yüzdelik oluşum enerjisi grafiğinin de en az seviyede kalabilmiştir.

4.4. Alternatiflerin Karşılaştırılması ve sonuçları

Örnek villa, alternatif-1 ve alternatif-2 oluşum enerjileri toplu olarak karşılaştırıldığında şekil 4.19'dan da izlenebileceği gibi villanın oluşum enerjisi 3016 MJ/m^2 iken, yüksek oluşum enerjili alternatif-1, 3546 MJ/m^2 ve düşük oluşum enerjili alternatif-2, 2324 MJ/m^2 olarak hesaplanmıştır.

Eleman düzeyinde oluşum enerjisinin farklılıkları şekil 4.20'de yapı elemanı düzeyinde karşılaştırmalı grafik olarak verildiği gibi nedenleri aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.



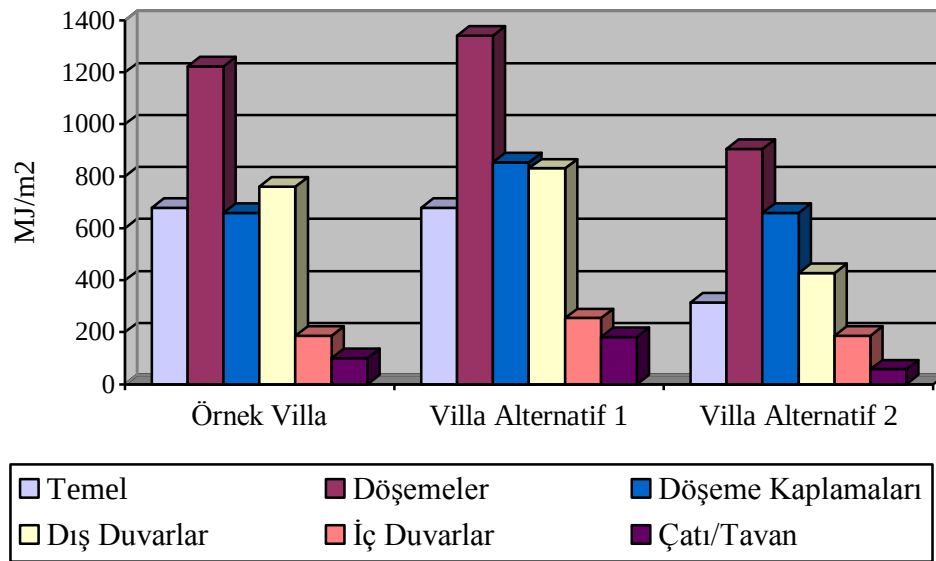
Şekil 4.19. Örnek villa ve iki alternatif için toplam oluşum enerjisi karşılaştırması.

Döşemeler: Şekil 4.20'de görüldüğü gibi döşeme oluşum enerjileri arasındaki fark en yüksekle en düşük arasında 436 MJ/m^2 gibi oldukça önemli bir farktır. En düşük oluşum enerjisine sahip hazır döşeme, Türkiye şartları için yaygın olmadığı düşünülürse, yaygın kullanımı olan betonarme döşeme günümüz konutları için en uygun tercih olacaktır. Asmolen döşeme yüksek oluşum enerjisine sahip olmakla beraber çok fazla açıklık geçmenin zorunlu olmadığı konut yapıları için iyi bir tercih olmayacaktır.

Döşeme Kaplamaları: Şekil 4.20'deki grafikte görüldüğü gibi döşemeler kadar döşeme kaplamaları da oluşum enerjisinin önemli bir miktarını oluşturmaktadır. Villa alternatif-3'te sadece ithal malzeme kullanımı yüzünden oluşum enerjisinde

194MJ/m²'lik bir artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi kullanılan granitin ithal olmasından kaynaklanmaktadır ve bu değer malzemenin nereden ithal edildiğine göre değişiklik gösterecektir. Örnek villa ve alternatif-2'de yaygın kullanım ve düşük oluşum enerjili seramik ve ahşap kullanılarak metrekarede 660MJ/m²'lik bir oluşum enerjisi değerine ulaşılmıştır.

Duvarlar: Dış duvarlarda seçilecek malzeme kesitine göre şekil 4.20'den de takip edilebileceği gibi sırasıyla 760MJ/m², 830MJ/m² ve 428MJ/m²'lik birim oluşum enerjisi değerlerine ulaşılmıştır. Günümüzde, ekonomik nedenlerden dolayı örnek villa ve alternatif-1'de olduğu gibi tuğla veya beton blok tercih edilmektedir. Fakat oluşum enerjisini göz önüne aldığımız zaman, ahşap karkas, arasında yalıtım ve üzeri elyafli çimento yalı baskısı olan alternatif-2 metrekarede diğer iki alternatife göre ortalama 367MJ/m² bir enerji kazancı sağlayacaktır.



Şekil 4.20. Örnek villa ve iki alternatif için malzeme açılımları oluşum enerjileri karşılaştırması.

Çatı/Tavan: Kat sayısı arttıkça çatının birim oluşum enerjisi şekil 4.20'dende takip edilebileceği gibi yüzdelik olarak oldukça az bir seviyededir. En yüksek oluşum enerjisi değerine sahip olan alternatif-1'de bile 181MJ/m² gibi oldukça düşük bir oluşum enerjisine sahiptir. Günümüz Türkiye koşullarında yaygın kullanım olan ahşap karkas, kiremit çatının örnek villada 101 MJ/m² oluşum enerjisine sahip olması ve bu değer in toplu konuttaki bir yapıya uyarladığımız zaman daha da

düşeceği göz önüne alınırsa oluşum enerji ve sürdürülebilirlik bakımından en iy yapı elemanı diyebiliriz.

Çalışmada ele alınan konut tipi günümüzde en sık kullanılan plan tipine uygun bir konut olup, bu konutun enerji maliyetinin hesaplanması için, yapı malzemelerinin nasıl üretildikleri konusunda enerji bakımından bir araştırma öngörülmüştür. Buna bağlı olarak, enerji maliyeti hesaplanan bu yapının toplu konutlarda enerji maliyetinin hesaplanmasında yardımcı bir örnek oluşturması ve hangi malzemenin ne kadar kullanılacağına binanın enerjisine ne gibi artıları veya eksileri olacağı incelenmiştir. Toplu konutlarda yapılacak kapsamlı bir araştırmanın ön hazırlıkları niteliğinde olan bu çalışma, günümüzde büyük bir öneme sahip olan enerji konusunda daha bilinçli olmayı sağlamaya yönelik bir adımdır. Bu çalışmanın bir diğer amacı ise, yapının farklı malzemelerle üretildiği zaman; toplam üretim enerjileri kıyaslaması ve buna bağlı olarak yapının yıkılınca kadar sağladığı enerji kazancının incelenmesidir. Böylelikle, başlangıçta ekonomik olarak üretilen bir konutun kullanım sürecinde (life-cycle) sağladığı enerji kazançları ve kayıpları incelenip, malzeme seçiminin ona göre yapılması sağlanır. Ayrıca, geri-dönüşüm özelliğinin de düşünülüp, yapı yıkıldıktan sonra yapı malzemesinin, ne kadar bir enerjiyle ve nasıl tekrardan geri kazanılabileceği de malzeme seçiminde göz önünde bulundurulması gereken önemli bir unsurdur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapı üretiminde sürdürülebilirlik ve düşük oluşum enerjili malzemelerin kullanımı açısından optimum bir değer elde etme yolunda çalışmalar dış ülkelerde yapılmış olmasına karşın, ülkemizde yapılan çalışmalarda yalnızca doğrudan maliyetler göz önüne alınmaktadır. Kullanıcıların istek ve gereksinmelerini karşılayacak ve yapıdan beklenen performansları yerine getirebilecek estetik değeri yüksek ve güvenli yapılar meydana getirirken aynı zamanda sürdürülebilirlik ilkelerine uygun ve düşük oluşum enerjili malzeme seçimine özen gösterilmiştir. Ancak böyle bir sonuca gidebilmek için yapının toplam maliyetinin belirlenmesinde sürdürülebilirlik ilkeleri daha yapının planlanma ve programlanma evresinde göz önünde bulundurulmalıdır.

Ekolojik dengeyi koruma ve doğal kaynakları hesaplı tüketme zorunluluğu amacıyla, tasarımcılar ve yatırımcılar yeni önlemler almaya yönelmekte, bunu sonucu olarak ekolojik tasarım ilkelerini göz önünde bulunduran binaların yapımı gittikçe hızlanmaktadır. 1993 yılındaki Dünya Mimarlar Birliği genel kurulunda “...yapılı çevrenin bugünkü ve gelecekteki tüm öğelerini tasarım, üretim, kullanım ve yeniden kullanımlarında sürdürülebilir tasarım standartlarına ulaştırmaya adanıyoruz” şeklinde yapılan açıklama bu konuda tasarımcılara yol gösterici olmuştur. Özellikle dünya genelinde enerji kullanımının yarısının yapılarla ilişkili faaliyetlerde kullanıldığını düşünürsek, sürdürülebilir mimarlıkta enerji faktörü günümüzde ve yakın gelecekte üzerinde durulması gereken önemli bir konudur.

Herhangi bir proje için malzeme seçimi yaparken o malzemenin ekonomik koşulları göz önünde bulundurulduğu gibi aynı zamanda, hammaddesinin ne olduğu, hangi koşullarda üretildiği ve üretilirken çevreye verdiği zararın derecesi, üretimi için ne kadar enerji harcadığı, üretildikten sonra kullanım aşamasında sağlıklı olup olmadığı ve geri dönüşümü, yeniden kullanımı veya yok edilebilirliği konularının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu çalışmada ele alınan üç katlı konutun oluşum enerji maliyeti hesaplandığında temel, döşeme duvar ve çatı gibi yapı elemanları için yapılan malzeme değişiklikleri sonucunda ve yapılan karşılaştırmalarda genelde bir konut projesi için sürdürülebilirlik kriterleri doğrultusunda oluşum enerjisini göz önünde bulundurduğumuzda malzeme seçimine yardımcı olabilecek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Yapının temelleri göz önünde bulundurulduğu zaman son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan radye temelin oluşum enerjisinin sürekli temele göre iki kat fazla olduğu düşünüldüğünde konut yapıları için radye temel yerine sürekli temel kullanılması oluşum enerjisi bakımından tercih edilmelidir.

- Döşemelerde, asmolen tipi döşemenin konut yapıları için oluşum enerjisi bakımından uygun bir sonuç olmadığı görülmüştür. Günümüzde zaten en yaygın kullanımı olan kirişli döşeme oluşum enerjisi bakımından tercih edilmelidir.

- Duvarlarda, ahşap karkas elyaflı çimento yalı baskısı dış duvar alternatifinin gaz beton ve delikli tuğla duvar alternatifine göre oluşum enerjisi bakımından oldukça iyi olmasına karşın, Türkiye koşullarında düşündüğümüz zaman gaz beton veya delikli tuğla tercih edilmektedir. Gaz beton ve delikli tuğla arasında bir tercih yapılması durumunda gaz betonun hem oluşum enerjisi bakımından düşük bir değere sahip olması hem de uygulandığı zaman ısı yalıtım malzemesi uygulaması gerektirmemesi, dış duvar alternatifleri açısından gaz betonu en iyi konuma getirmektedir.

- Çatılarda, analiz edilen yapılardan çıkan sonuçlar doğrultusunda oluşum enerjisi bakımından her ne kadar en uygun malzeme kesitinin ahşap karkas üzeri ahşap çatı kaplaması şeklinde olduğu gözükse bile, Türkiye koşullarında uygulaması ve bulunabilirliği bakımından da en yaygın olan ahşap karkas pişmiş toprak kiremit çatı örtüsü sürdürülebilirlik kriterleri bakımından tercih edilmelidir.

Sürdürülebilirlik kriterleri kapsamında yapılacak bir konut için seçilecek taşıyıcı sistemin, kullanılacak malzemelerin ve oluşturulacak detaylandırmaların incelenen örnekler ve analiz edilen yapıdan elde edilen sonuçlardan anlaşılacağı gibi ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Yapılacak malzeme değişikliğinin oluşum enerjisinde nasıl bir fark oluşturduğunu ve bu farkın bina ölçeği büyüdükçe daha da artacağı

incelenen örneklerde görülmüştür. Böylelikle, buradan elde edilen sonuçlar, toplu konutlarda yapılacak daha kapsamlı bir araştırmanın ön hazırlıkları niteliğindedir.

Örneğin, çalışmada ele alınan villa tipi yapının çatı ve temeli hariç toplam döşeme alanı 140m^2 'dir. Bu yapı yüksek katlı bir toplu konut olarak düşünüldüğünde çatı ve temelin aynı alanda olacağı sadece her bir katı 140m^2 olan katlardan oluşacağı açıktır. Böylelikle, birim alanda bölüm 4.2'deki yöntem ve malzeme açılım tablolarından yararlanılarak böyle bir veya her hangi bir toplu konut projesinde değişik yapı elemanları için seçilen farklı alternatiflerin oluşum enerjilerinin ne olacağı tasarım evresinde analiz edilerek belirlenebilir. Analiz sonucunda, yapı üretiminde sadece ekonomik girdiler değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik kriterleri çerçevesinde oluşum enerjisinin de göz önüne alındığı bir tasarım evresine gidilmiş olur.

KAYNAKLAR

- [1] **Gardner, G. Ve Sampat, P.**, 1999, State of the World-Part 3 Forging a Sustainable Materials Economy.
- [2] **Lawson, B.**, 1996, Building Materials Energy and The Environment/ Towards Ecologically Sustainable Development, The Royal Australian Institute of Architect, Avustralya.
- [3] **ATHENATM Institute**, 2000, Buildings as Products: Issues and Challenges for LCA, presented to: InLCA International Conference on Life Cycle Assessment: Tools for Sustainability, Arlington, Virginia, Nisan 25-27.
- [4] **Edwards, B.**, 1999, Sustainable Architecture: European Directives and Building Design, Architectural Green, Boston.
- [5] **Trusty, W. B., Meil, J. K.**, Building Life Cycle Assessment: Residential Case Study, ATHENATM Sustainable Materials Institute, Kanada.
- [6] **Ramachandran, A.**, 1991, Energy for building : improving energy efficieny in construction and in the production of building materials in developing countries / ed. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat).
- [7] **Stewart, P. J. Ve Graham P.**, 1996, Current Worldwide Embodied Energy Research, Royal Melbourne Institute of Technology, Melbourne, Avustralya, Kasım 28-29.
- [8] **Woolley, T., Kimmins, S., Harrison, P., ve Harrison, R.**, 1998, Green Building Handbook, E & FN Spon, Londra.
- [9] **<http://www.cmit.csiro.au/brochures/tech/embodied/>**, 2005, Nisan.

- [10] **Gülfer Onaz, M.**, 1999, Bina Üretiminde Optimum Değer Elde Etmeye Yönelik Bir Model, *Doktora tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] **İrklı Eryıldız, D.**, 2003, “Sürdürülebilirlik ve Mimarlık” Dosyasında Ekolojik Mimarlık, *Arredamento Mimarlık*, **154**, 71-75
- [12] **<http://www.umanitoba.ca/academic/faculties/architecture/la/sustainable/design/arch/arch005.htm>**, 2005, Mart.
- [13] **Thomas, R., Fordham, M. And Partners**, 1996, Environmental design : an introduction for architects and engineers, E & FN Spon, Londra.
- [14] **Canadian Wood**, 2003, Energy and the Environment in Residential Construction, Sustainable Building Series no:1, A publication of Canadian Wood Council, Ottawa, Ontario, Kanada.
- [15] **Tanaçan, L.**, 2002, Ekolojik Yapı Malzemelerinin Tanımlanmasındaki Sorunlar, *1.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, Türkiye, Ekim 9-13.
- [16] **Roaf, S. (Fuentes M., Thomas, S.)**, 2001, Ecohouse : A Design Guide, Architectural Green, Oxford, İngiltere.
- [17] **Kenber, O.**, 2000, Enerji Nedeniyle Çevre Sorunları Oluşturmaması İçin Konut Tasarımında Kullanılabilecek Bir Denetim Modeli, *Doktora tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **Pullen, S.F.**, 1996, Data Quality of Embodied Energy Methods, University of South Australia, Adelaide, Avustralya, Kasım 28-29.
- [19] **Wooley, T., Kimmins, S.**, 2002, Green Building Handbook- Volume 2, E & FN Spon, Londra.
- [20] **John, Andrew St.**, 1992, The Sourcebook for Sustainable Design: A guide to Environmentally Responsible Building Materials and Processes, The Boston Society of Architects, Boston.
- [21] **Zeytun, A. B.**, 2000, Çevre, İnsan Sağlığı ve Enerji Bakımından Sürdürülebilir Binalar ve Bina Malzemeleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik

Üniversitesi, Yapı Bilgisi Ana Bilim Dalı, Mimarlık Bölümü,
Ankara.

- [22] **Usta, H.**, 1994, Proje Evresinde, Bina Maliyetinin Bina Elemanlarına Dayalı Olarak Hesaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] **Evans, B.**, 1993, Counting the Global Cost, *The Architects' Journal*, **24 Şubat**, 57-59.

EKLER

Tablo A.1. Döşeme malzeme kesitleri için oluşum enerjileri [3]

Yükseltilmiş ahşap döşeme oluşum enerjisi (Zemin kat)				
	Yoğunluk kg/m ³	Kütle kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m ²
Tuğla (230x110x76mm)		36	2,5	90
Harç	1460	8,76	1,8	16
Beton	2400	26,4	1,7	44
Metal tutturucu		0,615	38,0	23
Sert ağaç taşıyıcılar (100x75mm)	850	4,4625	2	9
Sert ağaç kirişler (100x50mm)	850	10,2	2	20
Sert ağaç döşeme (100x20mm)	850	17	2	34
Ara Toplam				236
Yukarıdaki gibi fakat 18 mm sunta döşeme ile birlikte				91
Alternatif Toplam				293
Yükseltilmiş ahşap döşeme oluşum enerjisi (Üst katlar)				
	Yoğunluk kg/m ³	Kütle kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m ²
Yumuşak ağaç kiriş (300x50mm)	550	14,85	3,4	50
Yumuşak ağaç levha (100x50mm)	550	0,825	3,4	3
Yumuşak ağaç blok (300x50mm)	550	0,77	3,4	3
Ahşap döşeme 18mm sunta	630	11,34	8,0	91
Genel Toplam				147
Zemin üzerine 110 mm betonarme döşeme oluşum enerjisi				
	Yoğunluk Kg/m ³	Kütle kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m ²
Beton	2400	290,4	1,7	481
Donatı		3,125	34,0	106
Köşe Donatısı		0,532	34,0	18
Kiriş		0,225	34,0	8
Su Yalıtımı		0,27	90,0	24
Ara Toplam				637
Genel Toplam (kalıp aksesuarları dahil)				645
125 mm Betonarme döşeme oluşum enerjisi (Geçici kalıp)				
	Yoğunluk Kg/m ³	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m ²
Beton	2400	300	1,7	497
Betonarme Üst Donatısı		3,125	34,0	106
Betonarme Alt Donatısı		4,028	34,0	137
Ara Toplam				740
Genel Toplam (kalıp aksesuarları dahil)				750

Tablo A.1'in devamı

110 mm Betonarme döşeme oluşum enerjisi (Kalıcı kalıp)				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Beton	2400	264	1,7	437
Betonarme Üst Donatısı		2,5	34,0	85
Betonarme Alt Donatısı		3,66	38,0	139
Ara Toplam				661
Genel Toplam (kalıp aksesuarları dahil)				665
200 mm Hazır betonarme Te kiriş üzeri beton döşeme				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Hazır betonarme Tekiriş (200mm)		48	2,0	96
Çelik kalıp		3,66	38,0	139
Çelik tel güçlendirme		1,716	34,0	58
Çelik ağ güçlendirme		2,5	34,0	85
Beton dolgu	2400	134,88	1,7	223
Genel Toplam				602
200 mm Asmolen hazır döşeme				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Hazır döşeme (200mm)		297	2,0	594
Çelik tel güçlendirme		5,148	34,0	175
Beton dolgu	2400	84	1,7	139
Genel Toplam				908
Radye Temel 440 mm betonarme döşeme oluşum enerjisi				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Beton	2400	1161,6	1,7	1924
Donatı		12,5	34,0	424
Köşe Donatısı		2,128	34,0	72
Kiriş		0,9	34,0	32
Su Yalıtımı		0,27	90,0	24
Ara Toplam				2476
Genel Toplam (kalıp aksesuarları dahil)				2508

Tablo A.2 Duvar malzeme kesitleri için oluşum enerjileri [3]

Ahşap karkas, yalı baskısı duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç dikme	550	7,15	3,4	24
Yumuşak ağaç levha	550	2,75	3,4	9
Yumuşak ağaç takoz	550	1,1	3,4	4
Yumuşak ağaç yalı baskısı	550	11	3,4	37
Alüminyum yaka		0,0975	170,0	17
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Buhara dayanıklı örtü altı tahtası		0,285	67,0	19
Isı yalıtımı	8,7	0,585	49,0	29
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				188
Ahşap karkas, yapay ahşap yalı baskısı duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç dikme	550	7,15	3,4	24
Yumuşak ağaç levha	550	2,75	3,4	9
Yumuşak ağaç takoz	550	1,1	3,4	4
Yapay ahşap yalı baskısı	990	9,405	24,2	227
Alüminyum yaka		0,0975	170,0	17
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Buhara dayanıklı örtü altı tahtası		0,285	67,0	19
Isı yalıtımı	8,7	0,585	49,0	29
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				377
Ahşap karkas, elyafli çimento yalı baskısı duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç dikme	550	7,15	3,4	24
Yumuşak ağaç levha	550	2,75	3,4	9
Yumuşak ağaç takoz	550	1,1	3,4	4
Elyafli çimento yalı baskısı	990	2,5	7,6	19
Alüminyum yaka		0,0975	170,0	17
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Buhara dayanıklı örtü altı tahtası		0,285	67,0	19
Isı yalıtımı	8,7	0,585	49,0	29
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				169

Tablo A.2'nin devamı

Ahşap karkas, çelik kaplamalı duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç dikme	550	7,15	3,4	24
Yumuşak ağaç levha	550	2,75	3,4	9
Yumuşak ağaç takoz	550	1,1	3,4	4
Çelik kaplama		4,9	38,0	186
Alüminyum yaka		0,0975	170,0	17
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Buhara dayanıklı örtü altı tahtası		0,285	67,0	19
Isı yalıtımı	8,7	0,585	49,0	29
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				336
Çelik karkas, çelik kaplamalı duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Çelik dikme		2,158	38,0	82
Çelik levha		0,83	38,0	32
Çelik dolma		0,332	38,0	13
Çelik kaplama		4,9	38,0	186
Alüminyum yaka		0,0975	170,0	17
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Buhara dayanıklı astar tahtası		0,285	67,0	19
Isı yalıtımı	8,7	0,585	49,0	29
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				425
Ahşap karkas, alüminyum yalı baskısı duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç dikme	550	7,15	3,4	24
Yumuşak ağaç levha	550	2,75	3,4	9
Yumuşak ağaç dolma	550	1,1	3,4	4
Alüm. Yalı baskısı kaplama		1,485	170,0	252
Alüminyum yaka		0,0975	170,0	17
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Buhara dayanıklı astar tahtası		0,285	67,0	19
Isı yalıtımı	8,7	0,585	49,0	29
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				403

Tablo A.2'nin devamı

Ahşap karkas, tuğla örgü				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç dikme	550	7,15	3,4	24
Yumuşak ağaç levha	550	2,75	3,4	9
Yumuşak ağaç dolma	550	1,1	3,4	4
Tuğla		147	2,5	368
Harç	1460	25,112	1,8	45
Alüminyum yaka		0,195	170,0	33
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Duvar bağları		0,0135	38,0	1
Isı yalıtımı	8,7	0,585	49,0	29
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				561
Isı yalıtımı hariç genel toplam				530
Çelik karkas, tuğla duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Çelik dikme		2,158	38,0	82
Çelik levha		0,83	38,0	32
Çelik dolma		0,332	38,0	13
Delikli tuğla örgü		147	2,5	368
Harç	1460	25,112	1,8	45
Alüminyum yaka		0,195	170,0	33
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Duvar bağları		0,0135	38,0	1
Isı yalıtımı	8,7	0,585	49,0	29
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				650
Delikli beton blok duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Beton blok örgü		275	1,4	385
Harç	1460	24,5718	1,6	39
Alüminyum yaka		0,195	170,0	33
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Duvar bağları		0,0135	38,0	1
Ara Toplam				460
Sarfiyat dahil toplam				465
Genel toplam, alçı panel astar ve akrilik boya dahil				511

Tablo A.2'nin devamı

Çelik karkas, beton blok örgü				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Çelik dikme		2,158	38,0	82
Çelik levha		0,83	38,0	32
Çelik dolma		0,332	38,0	13
Beton blok kaplama		137,5	1,4	193
Harç	1460	12,2932	1,6	20
Alüminyum yaka		0,195	170,0	33
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Duvar bağları		0,0135	38,0	1
Isı yalıtımı	8,7	0,65	49,0	32
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				453
Delikli tuğla örgü				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Ekstürüde kilden tuğla		291	2,5	728
Harç	1460	50,224	1,8	90
Alüminyum yaka		0,195	170,0	33
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Duvar bağları		0,0135	38,0	1
Ara Toplam				854
Sarfiyat dahil toplam				860
Genel toplam, alçı panel astar ve akrilik boya dahil				906
Ahşap karkas, beton blok duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç dikme	550	7,15	3,4	24
Yumuşak ağaç levha	550	2,75	3,4	9
Yumuşak ağaç dolma	550	1,1	3,4	4
Beton blok örgü		137,5	1,4	193
Harç	1460	12,2859	1,6	20
Alüminyum yaka		0,195	170,0	33
Polietilen dpc şablon		0,026675	90,0	2
Duvar bağları		0,0135	38,0	1
Isı yalıtımı	8,7	0,585	49,0	29
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				361
Genel Toplam ısı yalıtımı hariç				332

Tablo A.2'nin devamı

Tek cidar stabilize (sıkıştırılmış) toprak duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Toprak duvar	1900	570	0,7	405
Genel toplam				405
Tek cidar AAC blok duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
AAC blok	500	102	3,6	348
Yapıştırıcı	1000	2,8	7,0	20
İç sıva	1014	8,112	2,9	23
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Dış sıva	1460	18,98	1,8	34
Genel Toplam				440
Tek cidar briket duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Briket		175	1,4	245
Harç	1460	23,36	1,6	37
Dış sıva	1460	18,98	1,8	34
Genel Toplam				317
Alçı panel iç astar ve akrilik boya ile beraber				363
Çelik karkas, sıkıştırılmış lifli çimento levha duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Çelik gergi		3,552	38,0	135
Çelik ikincil çerçeve		3,06	38,0	116
Sentetik kauçuk fitil		0,042	123,0	5
Sıkıştırılmış lifli çimento kaplama		16,9	7,6	128
Genel Toplam				385
200 mm boşluklu hazır beton duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Hazır beton		298,5	2,0	597
Çelik tel güçlendirme		3,432	34,0	117
Derz macunu		0,16	90,0	14
Astar demiri		0,008	90,0	1
Genel Toplam				729
Genel Toplam su yalıtımı ile beraber (Bodrum kat için)				753
Genel Toplam (Dış sıva ve boya ile beraber)				778

Tablo A.2'nin devamı

Cam giydirmce cephe				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Alüminyum düşey-yatay kayıtlar		1,4544	170,0	247
Alüminyum dolgu fitili		0,7704	170,0	131
Alüminyum başlık levhası		0,288	170,0	49
Cam cephe kaplaması		25	12,7	319
Neopren açıklığı		0,08064	90,0	7
PVC çıtası		0,216	80,0	17
Genel Toplam				770
Çelik yüzeyli sandviç panel duvar				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Çelik çerçeve		0,774	38,0	29
Poliüretan iç dolgu		7,266	90,0	645
Sırlanmış çelik yüzey	7850	9,734	40,0	389
Çelik arka yaka	7850	0,18526	38,0	7
Sızdırmazlık		0,0432	90,0	4
Kuru yapıştırıcı fitil		0,036	90,0	3
Genel Toplam				1087
Alüminyum giydirmce cephe				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Alüminyum düşey-yatay kayıtlar		1,4544	170,0	247
Alüminyum dolgu fitili		0,7704	170,0	131
Alüminyum başlık levhası		0,288	170,0	49
Kontrplak doldurma		6,56	10,4	68
Alüminyum kaplama	2700	2,4435	170,0	415
Neopren açıklığı		0,08064	90,0	7
PVC çıtası		0,216	80,0	17
Genel Toplam				935

Tablo A.3 Çatı malzeme kesitleri için oluşum enerjileri [3]

Ahşap karkas, ahşap kiremit kaplama çatı				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç makas	550	8,25	3,4	28
Sert ağaç astar kaplaması	850	9,37125	2,0	19
Sert ağaç kiremit kaplaması	850	8,5	0,5	4
Yansıtıcı folyo kiremit altı tahtası		0,285	67,3	19
Isı yalıtımı		0,6255	49,0	31
Yumuşak ağaç tavan kaplama tahtası	550	1,21	3,4	4
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				151
Ahşap karkas, lifli çimento çatı				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç makas	550	8,25	3,4	28
Sert ağaç astar kaplaması	850	9,37125	2,0	19
Lifli çimento kaplama		19	7,6	144
Yansıtıcı folyo kiremit altı tahtası		0,285	67,3	19
Isı yalıtımı		0,6255	49,0	31
Yumuşak ağaç tavan kaplama tahtası	550	1,21	3,4	4
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				291
Ahşap karkas, çelik kaplama çatı				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç makas	550	8,25	3,4	28
Sert ağaç astar kaplaması	850	2,900625	2,0	6
Çelik kaplama çatı		4,9	38,0	186
Cam yünü yalıtım şiltesi	11	0,825	49,0	40
Yansıtıcı folyo kiremit altı tahtası		0,285	67,3	19
Yumuşak ağaç tavan kaplama tahtası	550	1,21	3,4	4
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				330

Tablo A.3'ün devamı [3]

Çelik karkas, çelik kaplama çatı				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Çelik makas		3,33	38,0	127
Çelik astar kaplaması		0,754	38,0	29
Çelik kaplama çatı		4,9	38,0	186
Cam yünü yalıtım şiltesi		0,825	49,0	40
Yansıtıcı folyo kiremit altı tahtası		0,285	67,3	19
Çelik tavan kaplaması		0,95183	38,0	36
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				483
Ahşap karkas, beton kiremit çatı				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç makas	550	12,65	3,4	43
Sert ağaç astar kaplaması	850	4,7005	2,0	9
Beton çatı kiremidi		44	2,1	92
Yansıtıcı folyo kiremit altı tahtası		0,285	67,3	19
Isı yalıtımı		0,6255	49,0	31
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				240
Çelik karkas, beton kiremit çatı				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Çelik makas		5,106	38,0	194
Çelik astar kaplaması		0,8532	38,0	32
Beton çatı kiremidi		44	2,1	92
Yansıtıcı folyo kiremit altı tahtası		0,285	67,3	19
Isı yalıtımı		0,6255	49,0	31
Çelik tavan kaplaması		0,95183	38,0	36
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				450

Tablo A.3'ün devamı [3]

Ahşap karkas, pişmiş toprak kiremit çatı				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç makas	550	12,65	3,4	43
Sert ağaç astar kaplaması	850	4,7005	2,0	9
Pişmiş toprak çatı kiremidi		49	2,5	123
Yansıtıcı folyo kiremit altı tahtası		0,285	67,3	19
Isı yalıtımı		0,6255	49,0	31
Alçı panel astar		7,1	4,4	31
Akrilik boya		0,244	61,5	15
Genel Toplam				271
Ahşap karkas, sentetik kauçuk mambran çatı				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Yumuşak ağaç makas	550	12,375	3,4	42
Sert ağaç astar kaplaması	850	2,0625	3,4	7
Kontrplak altlık		9	10,4	94
Mambran çatı		1,84	110,0	202
Cam yünü ısı yalıtımı	11	0,825	49,0	40
Genel Toplam				386
Betonarme döşeme, sentetik kauçuk mambran çatı				
	Yoğunluk Kg/m3	Kütle Kg	Enerji Katsayısı MJ/kg	Oluşum Enerjisi MJ/m2
Beton döşeme	2400	360	1,7	596
Çelik üst donatı		3,125	34,0	106
Çelik alt donatı		4,028	34,0	137
Mambran çatı		1,84	110,0	202
Ara Toplam				1041
Genel toplam (kalıp aksesuarları dahil)				1050

ÖZGEÇMİŞ

İlker ERDOĞMUŞ, 01.02.1979'da Eskişehir'de doğdu. İlköğrenimini 1990'da Ankara'da Alparslan İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini 1996'da Bahçelievler Deneme Lisesi'nde, yüksek öğrenimini 2002'de Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nde tamamladı. 2002'de İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.