

ENERJİ VE ÇEVRE ETKİN BİNA TASARIMINDA ÖMÜR SÜRECİ ANALİZİ YÖNTEMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Fatih CANAN İbrahim BAKIR

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Böl., Kampüs-KONYA

Özet

Bu çalışma, binaların ömür süreçlerinde enerji tüketimlerini ve oluşabilecek çevresel etkileri konu edinmektedir. “Ömür süreci analizi” yöntemiyle, bina ömür süreçlerinde enerji tüketimleri ve çevresel etkiler belirlenmiştir. Konya yerel ölçeğinde seçilen bir yapı adasındaki sosyal konutlar bu yöntemle analiz edilmiş ve aynı yapı adasında iyileştirilmiş bir proje geliştirilmiştir. Her iki projenin enerji tüketimleri ve meydana getirdikleri çevresel etkiler, bina ömür sürecinde belirlenen evreler kapsamında sayısal sonuçlar elde edilerek karşılaştırılmıştır. Mimari tasarım kararlarının, enerji tüketimi ve çevresel etkilerin oluşumuna etkileri somut olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ömür süreci Analizi, Çevresel Etki, Mimari Tasarım, Enerji Tüketimi

EVALUATION OF THE LIFE CYCLE ASSESSMENT METHOD IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY BUILDING DESIGN

Abstract

The matter of this study is about the energy consumption and the environmental impact which may occur in the life cycle of the buildings. Energy consumption and environmental impact are determined with the life cycle assessment method. The social residences selected in the local context of Konya, are analyzed with this method and an improved project is developed in the same place. Quantitative comparisons results are obtained from the existing project and the improved project in the context of the determined phases of the life cycle assessment. The effects of the architectural design decision on the energy consumption and environmental impact is demonstrated with concrete results.

Keywords: Life Cycle Assessment, Environmental Impact, Architectural Design, Energy Consumption

1. GİRİŞ

Bina sektörü, yoğun enerji tüketimine, hammadde kullanımına ve aynı zamanda da önemli ölçüde çevresel etkilerin oluşumuna neden olmaktadır. Çevre üzerine, insanın neden olduğu baskıların arttığı günümüzde, binaların yapımlarından yıkımlarına kadar olan süreçler içerisinde, çevre üzerinde meydana gelecek etkilerin en aza indirgenmesi önemli bir gereklilik durumuna gelmiştir. Mimari planlama süreçlerinde alınan kararlar, binaların ömür süreçlerinde, enerji tüketimlerini ve çevresel etkilerin oluşumunu belirlemektedir. Bu nedenle, bu kararların ekolojiye dayalı bir bilinçlilik içerisinde verilmesi gerekmektedir.

Kalkınma ve çevre arasındaki sıkı bağ dikkate alınarak, tüm dünyayı yakından ilgilendirecek kalkınma strateji ve politikaların geliştirilmesi gereğinden hareketle, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonunun 1987 yılında “Ortak Geleceğimiz” adlı raporu yayınlamıştır. Bu raporda özellikle kalkınma, ekoloji ve ekonomi ilişkisi vurgulanarak sürdürülebilir kalkınma kavramı geliştirilmiştir.

Sürdürülebilir kalkınma “bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların da gereksinimlerini karşılama olanaklarından ödün vermeksizin karşılamak” şeklinde tanımlanmaktadır [1]. Bu tanım dikkate alınarak, mimarlıkla sürdürülebilir kalkınma kavramı ilişkilendirilebilir. Sürdürülebilir mimaride, gelecek kuşakları dikkate alarak doğayı uzun vadeler içerisinde gözeten ve sağlıklı yaşam koşulları sunan fiziksel çevrelerin tasarlanması söz konusudur. Ekolojik ve toplumsal bir bilinçle, fiziksel çevrelerin tasarım yaklaşımlarında (bina ölçeğinden kent ölçeğine), doğal kaynakların ve enerjinin bilinçli kullanımına, alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesine ve geri dönüşebilir malzemelerin yaygın kullanımına yer verilmesi gerekmektedir.

Çalışmada, alan çalışması için gerekli olan binalar, Konya’da bulunan bir sosyal konut bölgesinden seçilmiştir. Belirlenen yapı adasında yer alan binaların ömür süreci analizleri, tanımlanan belli bir kapsam içerisinde gerçekleştirilmiştir. Analizlerin gerçekleştirilmesinde mimarın kontrolünde olan ve özellikle tasarım süreçleri ile ilişkilendirilebilecek, malzeme/strüktür sistemi seçimi ve binaların kullanım süreci evreleri dikkate alınmıştır. Mimari tasarım süreçlerinde alınan kararların, ömür süreci içerisinde ne tür etkiler oluşturduğu, belirlenen çevresel göstergeler dikkate alınarak saptanmaya çalışılmıştır. Tasarım kararlarının, bina ömür süreci içerisinde, enerji tüketimlerini ve çevresel etkilerin oluşumunu etkileme şeklinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. ÖMÜR SÜRECİ ANALİZİ YÖNTEMİ

Ömür süreci analizi, bir ürünün elde edilmesinde, bir aktivitenin veya bir hizmetin gerçekleştirilmesinde, kaynakların kullanımından atıkların değerlendirilmesine kadar olan süreçte, doğal kaynaklar üzerine ve çevreye bırakılabilecek etkilerin değerlendirilmesidir [2]. Bir sistemin sınırlarında ölçülen girdilerin ve çıktılarının niceliksel ve detaylı bir bilançosudur [3]. Bir ürün, ömür sürecinin her evresinde yenilenebilir olmayan enerji ve kaynak tüketmekte ve olumsuz çevresel etkilerin oluşumuna neden olmaktadır (zehirli madde, hava, toprak ve su kirlenmesi gibi). Ömür süreci analizi; bir ürünün, sürdürülebilir kalkınma amaçları doğrultusunda elde edilebilmesi için başvurulabilecek temel bir yöntemdir. Türkçe literatürde “hayat boyu değerlendirme” ve “Yaşam döngüsü değerlendirmesi “ gibi başlıklarla da konu ele alınmaktadır. İngilizce olarak LCA yani “*Live Cycle Assesment*” şeklinde ifade edilmektedir.

Ömür süreci analizi yöntemi; ürün elde etme sürecinde oluşturulan çevresel etkilerin, genel bir bakış açısı içerisinde ortaya konmasını sağlayarak, ilgili aktörlerin karar vermelerine yardımcı olacak bilgileri sunmayı amaçlamaktadır. Ömür süreci analizi yönteminin temel ilkesi, ürünlerin çevreye olan zararlı etkilerini belirlemek ve azaltmak, çevreye en az zarar veren ürünün seçilmesini sağlamaktır [4]. “Beşikten mezara kadar” olan süreç içerisinde oluşabilecek çevresel etkilerin bütünü dikkate alınmaktadır. Ömür sürecini oluşturan evrelerde (hammadde elde edilişi, taşınma, üretim, kullanım, yok etme ve yeniden değerlendirme) en temel çevresel etki kaynakları tanımlanmaya çalışılarak bunların önlenmesine çalışılmaktadır. Gerekli görüldüğünde, bir evrede meydana gelen etkilerin başka bir evreye kaydırılması yoluna gidilmektedir. Örneğin, hammadde elde edilmesi sırasında ortaya çıkabilecek önemli miktardaki çevresel etkilerin bir bölümü azaltılıp üretim evresine kaydırılabilmektedir.

Ömür süreci analizi yöntemi, günümüzde uluslar arası standartlarla belirlenmiştir. ISO 14040/41,42,43 normları, ömür süreci analizini gerçekleştirmek için kapsam, genel prensipler ve gereklilikleri tanımlamaktadır.

2.1 Ömür Süreci Analizi Yönteminin Evreleri

Ömür süreci analizi, dört temel evreden oluşan tekrarlı bir süreçtir: Her evre, bir önceki evreyi yeniden gözden geçirilmesini gerekli kılabilir. Envanter oluşturmada veri elde edilmesindeki güçlükler, amaçların ve çalışma alanının yeniden tanımlanmasını gerektirebilir.

Ömür süreci analizi yönteminin uygulanmasında takip edilecek başlıca evreler şunlardır [5]:

1-Amacın ve sistemin tanımlanması: Analizin kimin için ve ne için yapıldığının açık bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Analizin gerçekleştirilme amacı, bir ürünün başlıca çevresel etkilerinin belirlenmesi, bir ürünün diğerine göre tercih etme gibi konuları yansıtmalıdır. Bu evrenin temel bileşenleri şunlardır:

Fonksiyon: Fonksiyon doğru bir şekilde tanımlanmalıdır. Onun doğru tanımlanmasıyla birden fazla ürünün karşılaştırılması yapılabilir. Fonksiyonun iyi belirlenmesi, sistem limitlerinin de doğru belirlenmesini sağlamaktadır. Fonksiyon tanımlanması boya örneğinde şu şekilde olabilir: Duvarı renklendirmek ve duvarı korumak.

Fonksiyonel birim: Sistemin fonksiyonunu temsil eden büyüklüktür. Açık ve ölçülebilir olmalıdır. Tutarlı karşılaştırmalar yapılması için uygun fonksiyonel birimler tanımlanmalıdır. Boya örneğinde şu şekilde bir fonksiyonel birim tanımlanabilir: 1m² duvarın 20 sene boyunca kaplanması.

Anahtar parametreler: Fonksiyonel birimi karşılayacak nitelikte olmalıdır. Örneğin, duvarın tam kaplanması için gerekli boya miktarı, 1 katman boyanın ömrü gibi.

Sistemin limiti: Analiz sonuçlarını etkileyecek ürün üretim süreçlerinin belirlenmesi ile ilgilidir. Fonksiyon, fonksiyonel birim ve anahtar parametreler açıkça tanımlandıktan sonra sistemin limiti belirlenir. Üzerinde çalışılan sistem temel evrelere ayrılır (Hammaddenin elde edilmesi, taşıma, dönüştürme vs.). Temel evrelerden hangilerinin sonuç ürün üzerinde etki bırakacağı dikkate alınmalıdır. Evrelerin belirlenmesinde, veri elde edilebilirlik durumu gözden kaçmamalıdır. Dikkate alınması gereken temel evreler şunlardır:

- Hammaddelerin ve enerjinin elde edilmesi
- Ulaşım ve dağıtım
- Üretim evreleri (dönüştürme)
- Ürünün kullanımı

-Kullanımı bitmiş ürünün değerlendirilmesi (geri dönüşüm, yıkım, yeniden değerlendirme)

2-Envanter analizi: Envanter analizi, ürünün yaşam süreci boyunca girdi ve çıktılarının tanımlandığı, enerji ve hammadde gereksinimlerinin, hava ve su emisyonlarının, katı ve diğer çevresel atıkların belirlendiği evredir [4]. Envanter analizi aşağıda belirtilenlerden oluşmaktadır:

-Kullanılan kaynaklar envanteri: Ham maddeler, ulaşım, üretim, yapım, bakım, yenileme, geri dönüşüm ve yok etme.

-Farklı evrelere ait enerji gereksinimleri

-Oluşan emisyonlar: Havada (CO₂, SO₂, CFC gibi), suda (Klorür, Nitrat, Fosfor), toprakta (Pb, Cd, CO, Hg gibi), yakılabilir atıklar, geri dönüşümsüz atıklar ve özel atıklar.

3-Çevresel etkinin analizi: Bu evrede, ekolojik döngülere etkiler, insan sağlığı üzerinde oluşabilecek olumsuzluklar ve kaynak tüketimi ele alınmaktadır. Dikkate alınan olumsuzluk etkenidir [4]. Belirlenen sistem içerisinde her evrede, oluşacak çevresel etkiler sınıflandırılır ve karakterleri belirlenir. Oluşabilecek çevresel etkilere bağlı olumsuzlukların değerlendirmesi ve yorumlanması yapılarak muhtemel hasarlar bilimsel olarak saptanır (tablo 1).

Tablo1 Çevresel etkilerin analiz edilmesi, sınıflandırılması ve karakterlerinin belirlenmesi

Sistemin çıktısı/ emisyonlar	Oluşan etki	Etkinin olumsuz sonuçlarının sınıflandırılması
CO ₂ CH ₄ N ₂ O CFC	→ Sera etkisi (GWP)	Küresel ısınma Kg eşd. CO ₂
SO ₂ NO _x NH ₃ HCL	→ Asidifikasyon (AP)	Asit yağmuru: Kg eşd. SO ₂
Pb Hg CO Partikül	→ İnsan zehirlenmesi	Havada Kg eşd. Pb (kurşun)

4- Sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlama: Ömür sürecinin her evresinde ürün veya sistemler arasında karşılaştırmalar yapılması gerekmektedir. Karşılaştırmalar her değerlendirmeden sonra yapılmalıdır. En önemli evreler üzerinde yoğunlaşılmalıdır: En çok etki bırakan evreler ve en yüksek iyileştirme potansiyeli olan evreler üzerinde çalışılması anlamlıdır. Mümkün olabilecek iyileştirmeler dikkate alınarak analizler tekrar edilmelidir.

2.2 Bina Sektöründe Ömür Süreci Analizi Yönteminin Uygulanması ve Mimari Tasarımla İlişkilendirilmesi

Ömür süreci analizi yöntemi bina sektöründe kullanılabilir. Yapım, kullanım, kullanım sonrası onarım ve yıkım evreleri dikkate alınarak binalara ait ömür süreci analizleri gerçekleştirilebilir. Özellikle farklı proje alternatiflerinin ne gibi çevresel etkilere neden olacağı konusunda, bilimsel bir açıklama getirilebilir [6].

2.2.1 Bina sektöründe ömür süreci analizi yönteminin evreleri

1-Bina yapım evresi: Hammadde kullanımı, binanın yapımı için gerekli enerji miktarı ve yapı malzemelerin yapımı sırasında kullanılan enerji dikkate alınması gerekmektedir. Bunların açılımı şu şekildedir [7]:

- | | |
|---|--------------------|
| -Hammaddenin elde edilişi | -Donatı üretimi |
| -Yapı malzemesi ve yapı elemanı üretimi | -Malzeme taşınması |
| -Yapı bileşeni üretimi | -Bina yapımı |

2-Binanın kullanım evresi: Özellikle, enerjiye yoğun bir şekilde sürekli gereksinim duyulduğu evredir. Bina kullanım evresinde enerji gereksinimi, kullanıcı durumundaki insanın konfor ihtiyaçlarından kaynaklanmaktadır. Bu ihtiyaçlar; iklimsel konfor, biyoklimatik gereksinimler, teknoloji ürünü her türlü evsel alet kullanımı, su dolaşımı, düşey dolaşım, ulaşım, taşıma ve bakım/onarım ile ilgilidir.

3-Kullanım sonrası: Kullanım sürecinde onarım veya yıkım için gerekli olan hammadde ve enerji kullanımı ile ilgilidir.

Binaların ömür süreçleri, genelde yaygın endüstriyel ürünlerinkinden daha uzundur. Binanın ömür süreci, çok sayıda malzeme ve bileşen içermektedir. Bunların tasarım süreciyle bütünleştirilmesi karmaşık bir yaklaşımdır. Uğraş alanları birbirinden farklı çok sayıda uzmanın bu süreçte etkili bir şekilde yer alması gerekmektedir[8].

Bu çalışma kapsamında binaların ömür süreci analizinde sadece enerji tüketimleri ve bu tüketime bağlı olarak oluşacak potansiyel çevresel etkiler üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda, “gri enerji” bilinmesi gerek önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir ürünün üretilmesi için gerekli olan enerjiye “Gri enerji” denmektedir [9]. Örnek olarak betonun, pencerenin, havalandırma sisteminin üretimi için gerekli olan enerjilere “gri enerji” denir. Gri enerjinin hesaplanmasına genelde

kaynakların kullanımından itibaren başlanmaktadır. Ürünün üretimi için tüm evrelerde kullanılan enerjiler hesaplamalarda dikkate alınmaktadır. Sonuçta ürünün satışa sunulacak evreye kadar olan süreçlerdeki tüm enerji kullanımları dikkate alınmış olmaktadır. Gri enerji, üretim aşamasında kaynak ihtiyacının ve çevreye yapılan başlıca yüklenmelerin anlaşılmasında bir göstergedir. Bir binanın gri enerji miktarı daha tasarım aşamasında iken hesaplanabilmektedir. Farklı tasarım alternatifleri arasında seçim yapılırken, enerji ve çevresel performans kriteri olarak ele alınabilmektedir.

İlk eskiz aşamasında alınan tasarım ile ilgili kararlar “gri enerji “ üzerine doğrudan önemli etkiler bırakabilmektedir. Gri enerji ile ilintili tasarım parametrelerinden en önemlileri şu şekilde sıralanabilmektedir [9]:

1-Bina formu, plan organizasyonu ve mekân boyutlandırması: Bina formu en önemli tasarım kriteri olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Kütleli kompakt olması önemli bir yaklaşımdır. Çünkü binanın formu; ilk yatırımını hem ekonomik açıdan hem de enerji kullanımı açısından etkileyecektir. Bina kütleli dış yüzeyinin mümkün olduğu kadar az yüzeyli tasarlanması, yapı malzemesi kullanımını azaltacak ve dolayısıyla gri enerji tüketim miktarını da düşürmüş olacaktır.

Gri enerji düzeyinin düşürülmesi endişesi varsa, mekânların fonksiyonel kullanımı, inşaat alanının verimli kullanılması gibi yaklaşımlar, tasarımda dikkate alınması gereken ana stratejiler olması gerekmektedir. Esnek tasarım, bakımı gerektiren sebeplerin azaltılması ve kullanım süresinin uzatılması da gri enerji tüketim düzeyini düşük seviyede tutabilmektedir.

2-Binanın strüktür sistemi: Strüktür sisteminin kurgusu ve strüktür sistemini oluşturan malzemenin özelliği gri enerji ile ilişkilendirilebilmektedir. Zorlayıcı olmayan strüktür sistemlerinin tasarlanması temel ilke olmalıdır. Strüktürel sistemin elemanlarını meydana getiren malzemelerin üretilmesi için gerekli olan enerji miktarları genelde yüksek düzeyde olmaktadır. Bir örnek verilmesi gerekirse, İsviçre şartlarında, bir binanın gri enerjisinin %80 ‘i taşıma sisteminde, cephede ve çatı yapımında kullanılmaktadır [9]. Binanın formu doğrudan strüktür sistemini etkilediği için her iki kriterin birlikte düşünülmesi gerekmektedir.

3-Yapı elemanları ve yapı malzemeleri: Malzeme ve yapı elemanı seçiminde çevre yükü az olan malzeme seçimine gidilmesi temel yaklaşım olarak kabul edilmelidir.

3. ALAN ÇALIŞMASI

Çalışmanın gerçekleştirildiği alan, Konya'nın kuzey gelişme aksında yer alan 3 nolu Gecekondu Önleme Bölgesinde seçilmiştir (Bosna Hersek Mahallesi). Bu bölgede yer alan konutlar 775 sayılı Gecekondu Önleme Kanunu esaslarına göre üretilmiştir. Seçilen yapı adasında mevcut konutların belirlenen amaç ve sistem içerisinde ömür süreci analizleri yapılmıştır. Aynı alanda, daha az enerjiye gereksinim duyulacağı kabul edilerek yeni bir düzenleme önerilmiştir. Mevcut durumla önerilen düzenlemeler, farklı parametrik değerlere göre karşılaştırılmıştır (kat yüksekliği, yapı adasında binaların düzenlenmesi, strüktür sistemi).

3.1 Amacın ve Sistemin Tanımlanması

Ömür süreci analizi, malzemelerin üretim evresi, malzemelerin taşınması (ulaşım), yapım evresi, kullanım evresi ve bakım onarım evresini kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Belirlenen bu evreler sistemin sınırını oluşturmaktadır. Bu evrelerde, gerçekleşen enerji tüketimleri ve bu enerji tüketimlerine bağlı çevresel etkiler belirlenmiştir. Sayısal sonuç elde etme olanağı veren ve doğal ortama en çok etki bırakan özellikteki çevresel etki faktörlerinin seçilmesine dikkat edilmiştir. Kullanılabilir mevcut verilere bağlı olarak bina sektörü ile doğrudan ilişkisi olan çevresel etki faktörlerinin seçilmesine öncelik verilmiştir [6]. Bunlar sırasıyla şunlardır:

- 1-Yenilenebilir olmayan enerji tüketimi: NRE, MJ
- 2-Sera etkisi potansiyeli: GWP, Kg CO₂
- 3-Asidifikasyon potansiyeli: AP, Kg SO₂

3.2 Envanter Analizi

Kullanım ve üretim evreleri ile ilgili sonuçların elde edilmesinde değişkenlerin çok sayıda olması nedeniyle, analizlerde bu evreler üzerinde daha fazla durulmuştur. Kullanım aşamasında enerji gereksinim hesaplarının bina ölçeğinde ve konut ölçeğinde olması ve bina yönlerinin farklı olması, ayrıntılı analiz ve hesaplama yapılmasına neden olmuştur. Benzer şekilde, hesap sonuçları malzeme cinsinden ve miktarından etkilendiği için üretim aşamasının da detaylı analizleri yapılmıştır.

Yıkım aşaması için ülkemizdeki veriler yeterli düzeyde olmadığı için incelenmemiştir. Yıkım yöntemine ve yıkımda kullanılacak araçlara bağlı olarak saptanması gereken somut değerlere ulaşılamamıştır.

İnşaat sektöründe gerçekleşen faaliyetlerden ve malzeme üretiminden kaynaklanan enerji tüketimleri ve oluşan çevresel etkiler tablo 2’de yer almaktadır. Buradaki katsayılar, ilgili faaliyet alanında meydana gelen enerji tüketimlerinin ve çevresel etkilerin belirlenmesi ile ilgili hesaplamalarda kullanılmaktadır.

Tablo 2 İnşaat sektöründeki faaliyetlerde meydana gelecek enerji tüketimlerinin ve çevresel etkilerin belirlenmesinde kullanılabilecek sayısal veriler [10]

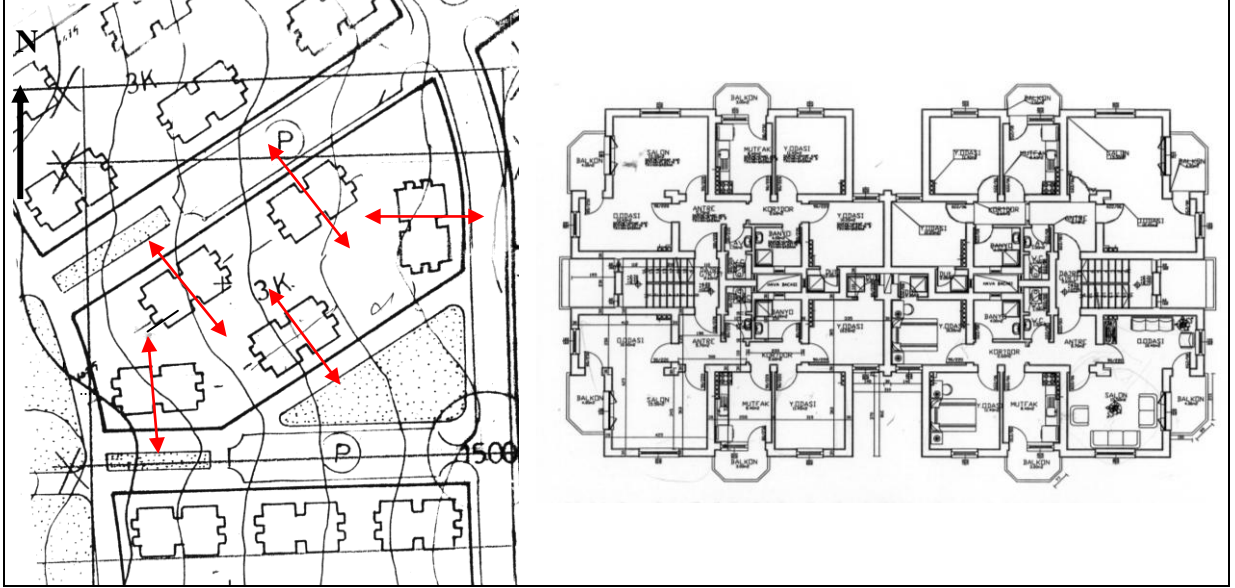
	Yoğ.	NRE Yenilenebilir olmayan enerji (MJ)		GWP Sera Etkisi (eşd. CO ₂)		AP Asidifikasyon Potansiyeli (eşd. SO ₂)	
		Birim	katsayı	Birim	Katsayı	Birim	Katsayı
Yapım	Kg/m³						
Hafriyat sabit toprak	1800	MJ/Kg	4.57 ^E -03	kg/kg	3.09 ^E -04	kg/kg	2.94 ^E -06
Şantiye elektriği (30MJ/ m ²)	-	MJ/MJ	3.22	g /MJ	195.75	g /MJ	1.33
Ulaştırma							
Karayolu ile (16t kamyon)		MJ/tKm	5.83	Kg/tkm	3.71 ^E -01	kg/tkm	3.20 ^E -03
Malzemelerin üretimi							
Betonarme temel	2400	MJ/Kg	1.2	kg/kg	1.51 ^E -01	kg/kg	5.23 ^E -04
Betonarme döşeme	2400	MJ/Kg	1.4	kg/kg	1.57 ^E -01	kg/kg	5.78 ^E -04
Betonarme duvar	2400	MJ/Kg	1.8	kg/kg	1.67 ^E -01	kg/kg	6.52 ^E -04
Betonarme kolon	2400	MJ/Kg	1.8	kg/kg	1.67 ^E -01	kg/kg	6.52 ^E -04
Donatısız beton	2300	MJ/Kg	0.54	kg/kg	7.37 ^E -02	kg/kg	2.87 ^E -04
İç duvar sıvaları	1350-1500	MJ/Kg	2.45	kg/kg	2.84 ^E -01	kg/kg	9.00 ^E -04
Kireç iç duvar sıvaları	1500	MJ/Kg	1.75	kg/kg	1.80 ^E -01	kg/kg	6.30 ^E -04
Pişmiş toprak tuğla	950	MJ/Kg	2.7	kg/kg	2.47 ^E -01	kg/kg	9.42 ^E -04
Pişmiş toprak kiremit	1800	MJ/Kg	3.5	kg/kg	3.50 ^E -01	kg/kg	1.22 ^E -03
Seramik kaplama	2000	MJ/Kg	7.45	kg/kg	3.72 ^E -01	kg/kg	1.71 ^E -03
Isıcam	-	MJ/m ²	482 MJ	kg/m ²	2.95 ^E +01	Kg/m ²	1.95 ^E -01
Polistiren izolasyon / EPS	30	MJ/Kg	95	kg/kg	2.31 ^E +00	kg/kg	2.01 ^E -02
Ahşap	450	MJ/Kg	4	kg/kg	-1.49 ^E +00	kg/kg	1.95 ^E -03
Kireç boya (d=300g/m ²)	150-400	MJ/Kg	9	kg/kg	0.45	-	-
Kullanım							
Kömürle ısıtma (taş kömürü)		MJ/MJ	1.6	Kg /MJ	1.50 ^E -01	Kg/MJ	7.50 ^E -04
Elektrik enerjisi (Türkiye için değer)		MJ/MJ	3.22	g /MJ	195.75	g/MJ	1.33

Enerji birimleri arasındaki dönüşümler: 1J (joule)= 1/3600 watt.saatt = 1/4,18 cal, 1watt.saatt= 3600 J 1cal=4,18 J

3.3 Analizlerin Gerçekleştirilmesi

Analizler mevcut ve önerilen projelere göre yapılmış, elde edilen sonuçlar ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Malzeme üretim ve kullanım evrelerinde elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Çünkü bu evrelerdeki analizler çok sayıda değişkene bağlı olduğu için dikkate alınması gereken farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Tüm evrelerin karşılaştırılması bina ölçeğinde yapılmıştır.

Mevcut proje, 5 binadan oluşan bir yapı adasında bulunmaktadır. Binaların yerleşimleri yapı adasının formuna bağlı kalmıştır. Mimari proje sosyal konut esaslarına göre tasarlanmıştır. Plan şeması simetriktir ve her yönde daireler yer almaktadır. Her biri 98 m² olan ve 12 daireden oluşan binalar zemin kat dahil 3 kata sahiptirler. Her katta 4 konut mevcuttur. Yığma yapım sistemi kullanılmıştır. Kat yüksekliği 3 metredir. Bina dış yüzeylerinde ısı yalıtımı bulunmamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Mevcut konutların yer aldığı yapı adası ve bir binaya ait tip kat planı

Öneri projenin tasarım stratejileri, enerji etkin bina oluşturmaya yönelik olarak geliştirilmiştir. Karmaşık bazı tasarımlara, teknik donatılara ve çok özel düzenlemelere gerek duyulmaksızın sadece temel tasarım parametrelerinin değiştirilmesiyle ne ölçüde olumlu sonuçlara varılabileceği sayısal olarak ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. Öneri proje ile ömür süreçlerinden özellikle yapım aşamasının, malzeme üretim ve kullanım evrelerinin neden olduğu enerji tüketimlerinin ve çevresel etkilerin azaltılması amaçlanmıştır.

Yapı adasının mevcut durumu, binaların uygun bir yöne sahip olmasına olanak vermemektedir. Bu nedenle yapı adasının formu, binaların uygun bir yönlenmeye sahip olmasına olanak verecek şekilde değişime uğratılmış, ancak alanı değiştirilmemiştir (bina ana cephelerinden bir tanesinin güneye yönlenmesi olanaklı hale getirilmiştir). Çocuk parkı adanın kuzeyine aktarılmıştır (şekil 2).

Bina ömür süreci analizlerinde anlamlı sonuçlar elde edebilmek için aşağıda belirtilen tasarım yaklaşımları dikkate alınmıştır:

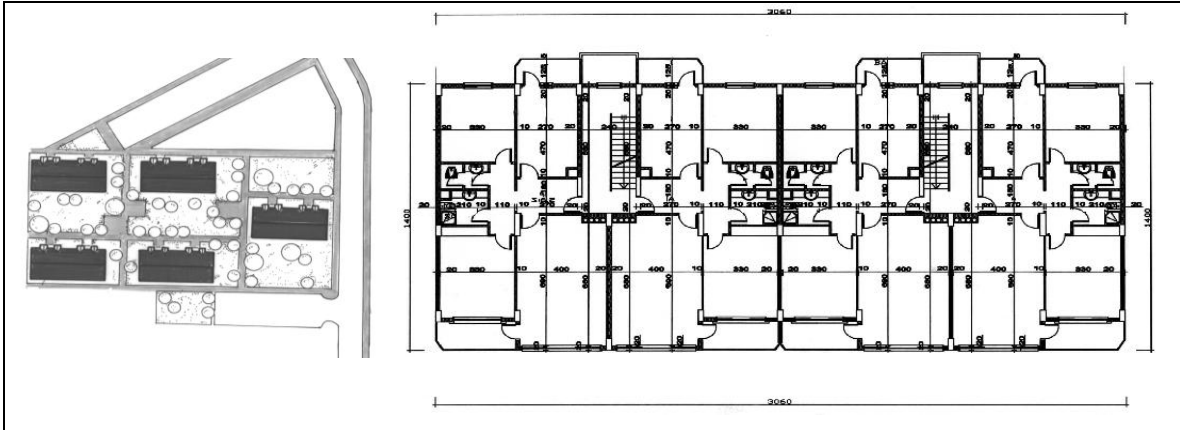
- Bina dış yüzeyinin azaltılması (malzeme kullanımını azaltmak ve ısı kayıplarını en aza indirmek için): Basit ve derli toplu form anlayışı uygulanmaya çalışılmıştır. Girinti çıkıntılar en aza indirilmeye çalışılmış, böylece gereksiz dış yüzeyler oluşturulmamaya çalışılmıştır.

- Isıtılacak toplam hacmin azaltılması: Konut iç yüksekliği düşük tutulmuştur. Mekân boyutuyla orantılı olarak mümkün olabilecek düşük bir yükseklik belirlenmiştir (Net yükseklik 2.50 metre, imar yönetmeliğine uygun bir değerdir).

- Güneşten pasif anlamda yararlanabilme olanağının sağlanması: Bina içerisinde konutlar dengeli bir şekilde uygun yönlenebilecek şekilde yerleştirilmiştir. Her konut güneyde bir cepheye sahiptir. Böylece gündüz kullanılacak mekanların güneşten maksimum faydalanmaları sağlanmıştır.

- Yapının taşıyıcı sistemi, betonarme karkas sistem olacak şekilde düzenlenerek çözülmüştür. Farklı Karşılaştırmalar yapabilmek için, teklif projenin yığma sistem olması durumu da ayrıca değerlendirilmiştir.

- Isı kayıplarının azaltılması için ısı yalıtım malzemesi kullanımı önerilmiştir.



Şekil 2 : Öneri projenin vaziyet planı düzeni ve bir binaya ait tip kat planı

3.3.1 Malzemelerin üretimine bağlı enerji tüketimi ve çevresel etkiler

Sonuçlar, doğrudan yapı malzemesinin cinsine ve miktarına, yapım sistemine ve çevresel etki katsayılarına bağlı olarak elde edilmiştir (bkz. Tablo 2, şekil 3,4,5). Değerlendirmede en çok tüketilen yapı malzemeleri dikkate alınmıştır: Betonarme, donatısız beton, sıvalar, pişmiş toprak tuğla, pişmiş toprak kiremit, seramik, çift cam, ahşap ve boya.

Mevcut proje:

-Yığma yapı sistemi

-İç mekan yüksekliği: 3,00 metre

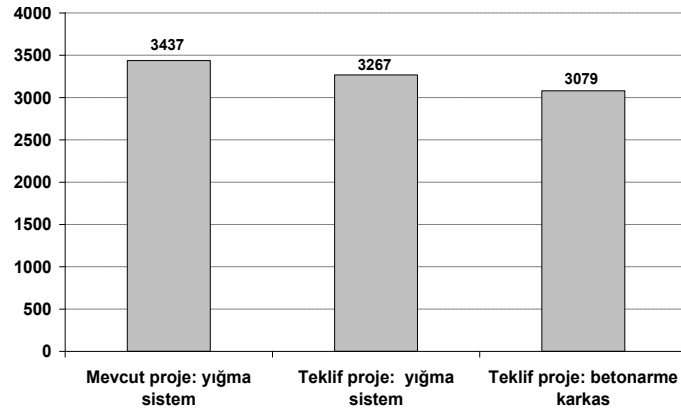
Teklif proje:

-1. alternatif : Yığma yapı olması durumu

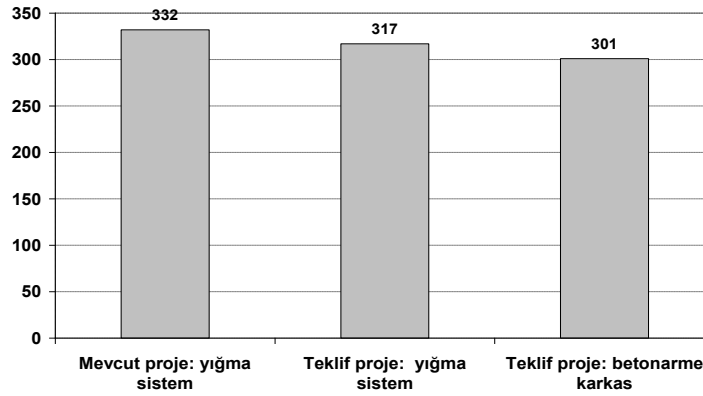
-2. alternatif: Betonarme karkas olması durumu

-İç mekan yüksekliği: 2,50 metre

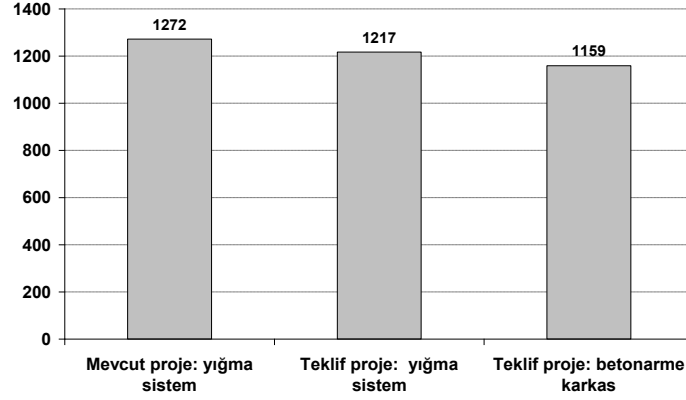
İlk olarak, iki proje arasında yüksekliğin değişimine bağlı sonuçlar değerlendirilebilir: Teklif projenin 2,50 metre iç mekan yüksekliğine sahip olması ile malzeme kullanımı azalmıştır. Bu azalmaya bağlı olarak çevreye getirilen yükler de azalmış olmaktadır. İkinci olarak taşıyıcı sisteminin değişimine bağlı olarak ortaya çıkan sonuçlar yorumlanabilmektedir.



Şekil 3 Yenilenebilir olmayan enerji tüketim değerleri(NRE): GJ



Şekil 4 Sera etkisi değerleri (GWP): eşd. t CO₂



Şekil 5 Asidifikasyon potansiyeli değerleri (AP) eşd. Kg SO₂

1.karşılaştırma: Mevcut projeye teklif projenin aynı yapı sistemine sahip olmaları durumunda, malzeme üretimine bağlı enerji tüketimi ve çevresel etkiler, mevcut projede %5 daha yüksektir. Mevcut projede malzeme miktarının fazla olması sonuçları etkilediği görülmüştür.

2.karşılaştırma: Teklif projenin yığma ve betonarme karkas yapı sistemli olması durumuna göre kendi içinde karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, yığma yapı sisteminde malzeme üretimine bağlı enerji tüketiminin ve çevresel etkilerin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yığma yapı sisteminde çevresel etkiler %5 daha fazladır.

3.karşılaştırma: Malzeme üretimine bağlı enerji tüketimi ve çevresel etkiler, yığma yapı sistemli mevcut projede, betonarme karkas sistemli teklif projeye göre %10 daha fazladır.

3.3.2 Ulaşım Evresi

Mevcut ve teklif projede, aynı malzemeler aynı mesafelerde taşındığı dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır (Tablo 3). Hesaplamalar Tablo 2'de yer alan veriler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3 Ulaşım evresinde malzemelerin taşınmasına bağlı enerji tüketiminin ve çevresel etkilerin mevcut ve teklif proje arasında karşılaştırılması

	NRE GJ	GWP (t eşd. CO ₂)	AP (kg eşd.)SO ₂
Mevcut Proje	2405 GJ	133 t	1143 kg
Teklif proje	2216 GJ	123 t	1054 kg

Yukarıdaki tabloya göre mevcut projede, ulaşımına bağlı olarak meydana gelen enerji tüketimi ve çevresel etkiler teklif projeye göre %9 daha fazladır. Bu sonuç doğrudan malzeme miktarının değişiminden kaynaklanmaktadır. Malzemelerin geliş mesafelerinin azaltılmasıyla, enerji tüketiminde ve çevresel etkilerde daha iyi sonuçlara ulaşılması mümkündür. Bunu için, yerel malzeme ve teknoloji kullanımına önem verilmesi gerekmektedir.

3.3.3 Yapım Evresi

Hesaplamalar yapım evresiyle ilgili mevcut verilere bağlı olarak gerçekleştirilmiştir (Tablo 2). Şantiye alanında yapılan hafriyat işlemlerinden ve şantiye elektriği kullanımından kaynaklanan enerji tüketim ve çevresel etki sonuçları mevcut ve teklif proje arasında karşılaştırılmıştır (Tablo 4, Tablo 5).

Tablo 4 Hafriyat işlemlerine bağlı enerji tüketiminin ve çevresel etkilerin mevcut ve teklif proje arasında karşılaştırılması

	Değer	NRE	GWP (kg veya t eşd. CO ₂)	AP (kg eşd. SO ₂)
Mevcut proje	1422 t	6,5 GJ	439 kg	4 kg
Teklif proje	1411 t	6,44 GJ	436 kg	4 kg

Tablo 5 Şantiyede elektrik enerjisi tüketiminin ve çevresel etkilerin mevcut ve teklif proje arasında karşılaştırılması

	Değer	NRE	GWP (kg veya t eşd.CO ₂)	AP (kg eşd.SO ₂)
Mevcut proje Şantiye elektriği 30 MJ/ m ²	35 GJ	114 GJ	7 t	47 kg
Teklif proje Şantiye elektriği 30 MJ/ m ²	36,7 GJ	118 GJ	7,1 t	48,8 kg

Hafriyat işlemleri ve şantiye elektriği ile ilgili olarak, mevcut ve teklif proje arasında çıkan sonuçlarda önemli bir fark görülmemektedir.

3.3.4 Kullanım Evresi

Binanın ısıtma enerjisi gereksinimini, ısı kayıplarını ve güneş enerjisi kazancı sonuçlarını etkileyecek tasarım parametrelerinin seçimi yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Mimari tasarım parametreleri içinden sadece enerji tüketim düzeyini doğrudan etkileyebilecek olanlar seçilmiştir. Bina ömür süreci analizinde, kullanım evresinde tüketilen enerjilerin ve oluşan çevresel etkilerin tasarım kararları ile olan ilişkisi gözlemlenmek istenmiştir. Belirlenen tasarım parametreleri: İç mekân yüksekliği, dış kabuk bileşeni, pencere yüzeyi ve yönlenmedir.

Farklı ve tutarlı sonuçlar elde etmek ve aynı zamanda tasarım parametrelerinin doğrudan etkisini belirleyebilmek için karşılaştırmalarda bazı parametrelerin sabit tutulmasına dikkat edilmiştir. Değerlendirme süresince mevcut proje ile ilgili hiçbir parametre değişikliği yapılmamıştır. Sadece teklif projede parametre değişikliğine gidilmiştir. Bu şekilde, parametre değişimine bağlı sonuçların ortaya çıkartılması mümkün olmuştur. Analizlerin gerçekleştirilmesinde Lesosai 4 isimli bilgisayar yazılımı kullanılmıştır [11].

Mevcut Proje:

- İç mekan yüksekliği: 3 metre
- Yapım sistemi: Yığma yapı
- Pencere Sistemi: Çift cam
- Dış kabuk malzemesi: Pişmiş toprak tuğla (d=30 cm).
- Isı yalıtımı yok.
- 3 çeşit yönlenme: (Kuzey-Batı/Güney-Batı, Kuzey/Güney, Batı/Doğu)

Teklif Proje:

- İç mekan yüksekliği: 2,50 metre
- Yapım sistemi: Betonarme (d=20 cm)
- Pencere Sistemi: Çift cam
- Dış kabuk malzemesi: Pişmiş toprak tuğla (d=20cm). Isı yalıtımı yapıldığında +10cm EPS malzemesi eklenmektedir.
- 1 çeşit yönlenme: (Kuzey/Güney)

Teklif projenin dış kabuk bileşenleri yedi farklı şekilde ele alınmıştır. Isı yalıtım malzemesi kullanımı dikkate alınarak (burada EPS'nin kullanımı dikkate alınmıştır) ve birbirinden farklı pencere boyutları belirlenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Isı yalıtım malzemesi kullanımıyla ve pencere alanlarının yöne bağlı olarak biyoklimatik mimarinin esaslarına göre belirlenmesiyle, enerji tüketiminin ve çevresel etkilerin azaltılması konusunda olumlu değişimlerin saptanması amaçlanmıştır (bkz. Şekil 6 ve Şekil 7,8,9). Diğer taraftan bir dairede ortalama 4 kişi yaşadığı varsayılarak elektrik enerjisi tüketimleri ve buna bağlı çevresel etkiler de belirlenmeye çalışılmıştır (Tablo 6).

Teklif projenin farklı alternatifleri, mevcut projeye göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Teklif projenin farklı dış kabuk bileşenleri her zaman mevcut projeye göre daha olumlu sonuçlar vermektedir. Bu durum gerçekleşirken, yaşam alanında, mekânlarda herhangi bir azalma olmamaktadır. Isı yalıtımının olmadığı durumda bile % 40 daha az ısıtma enerjisi gereksinimi duyulmakta ve %40 daha az çevresel etki meydana gelmektedir. Sadece kısmi ısı yalıtımıyla bile, ısıtma enerjisi gereksinimi ve çevresel etkiler %50 oranında azalmaktadır.

Isıtma enerjisi gereksinimi ile ilgili en iyi sonuç TP7 seçeneğinde yer almaktadır. Isıtma enerjisi gereksinimi en düşüktür. Mevcut projenin üç farklı durumun ortalamasına göre %70 daha az ısıtma enerjisi gerekmektedir.

Isı yalıtımı sonucu ısınma enerjisi gereksiniminin azalması ile çevresel etki değerleri de düşük değerdedir. TP7 seçeneğinde, mevcut projeye göre %70 daha az çevresel etki meydana gelmektedir.

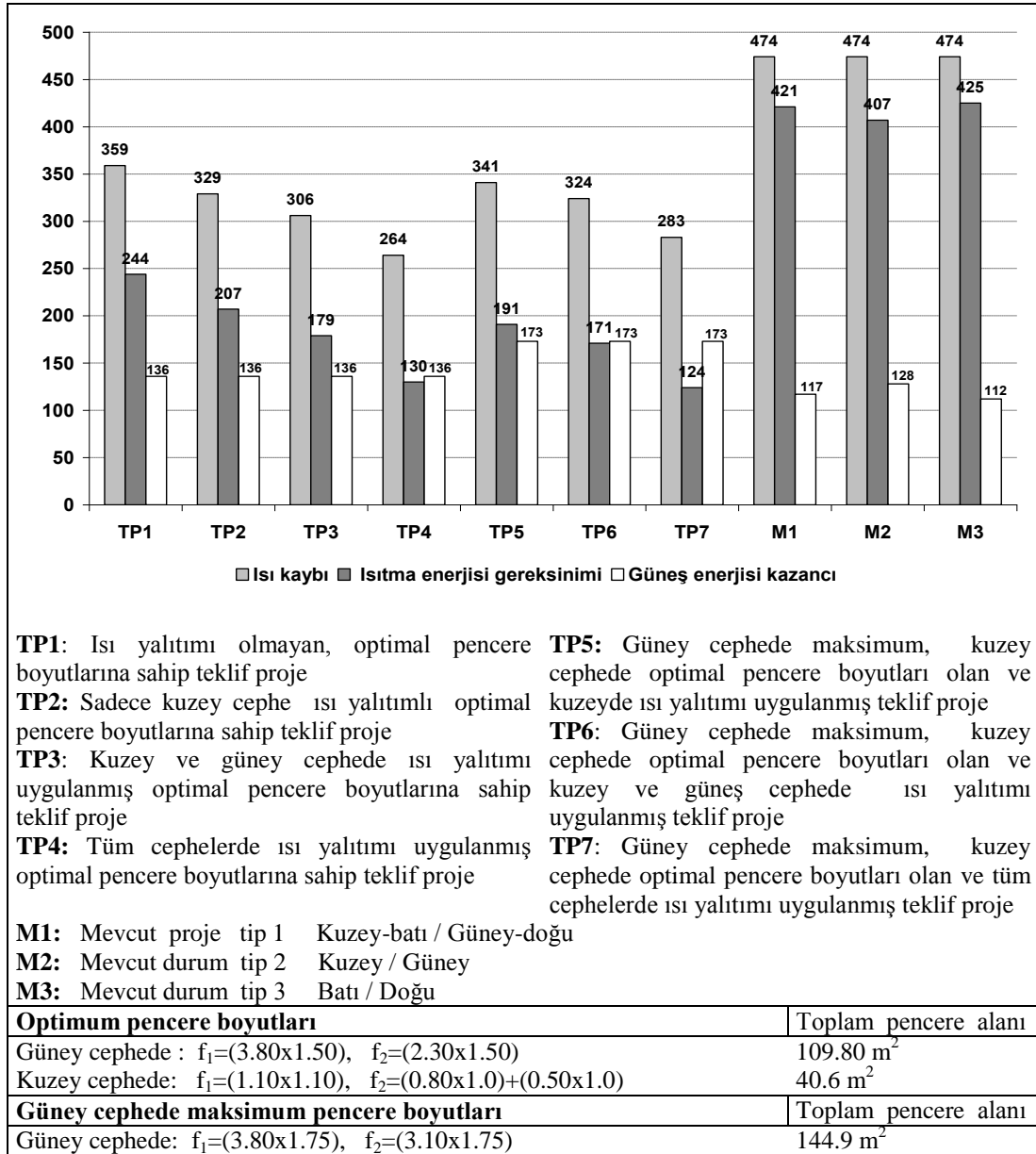
Bina içerisinde tüm konutlara uygun bir yönlenme sağlayacak çözümlerin üretilmesi gerekmektedir. Cephelerin yön durumuna göre pencere yüzeyleri boyutlandırılmalıdır. Kış konforu stratejisi için pasif olarak güneş enerjisinden faydalanılmalıdır. Güney cephelerde geniş yüzeyli pencereler, kuzey cephelerde ise daha düşük yüzeye sahip pencereler tasarlanmalıdır.

3.3.5 Bakım-Onarım Evresi

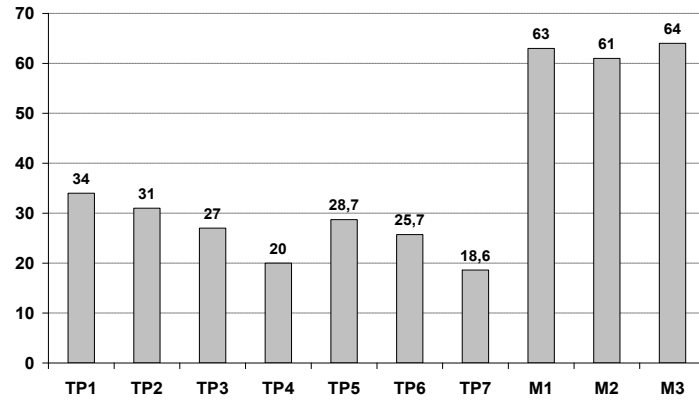
Her iki projenin karşılaştırılmasında bina ömür süreci 80 yıl kabul edilerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır (Tablo 7). Bakım evresinde malzeme değişimi ve onarımlar dikkate alınmıştır (Hesaplamalar Tablo 2'ye göre yapılmıştır).

Tablo 6 Elektrik enerjisi gereksinimi ve bu gereksinime bağlı çevresel etkiler

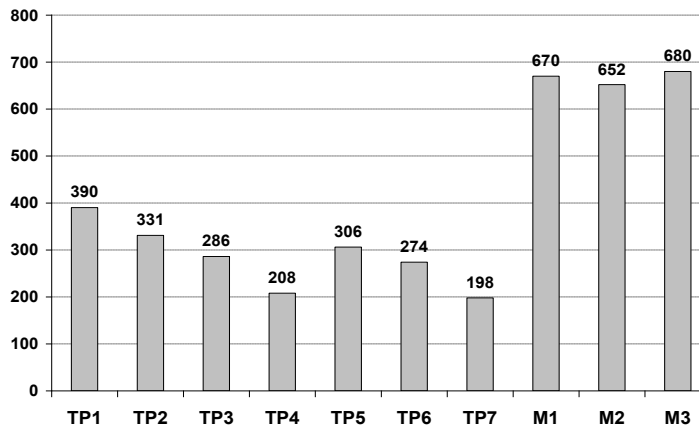
	Elektrik Enerjisi gereksinimi MJ/m ² .yıl	NRE Yenilenebilir olmayan enerji tüketimi MJ/m ² .yıl	GWP Sera etkisi Eşd.CO2/m ² .yıl	AP Asidifikasyon potansiyeli Eşd.SO2/m ² .yıl
Mevcut proje	73	238	14.5	0.1
Teklif proje	71	234	14	0.1



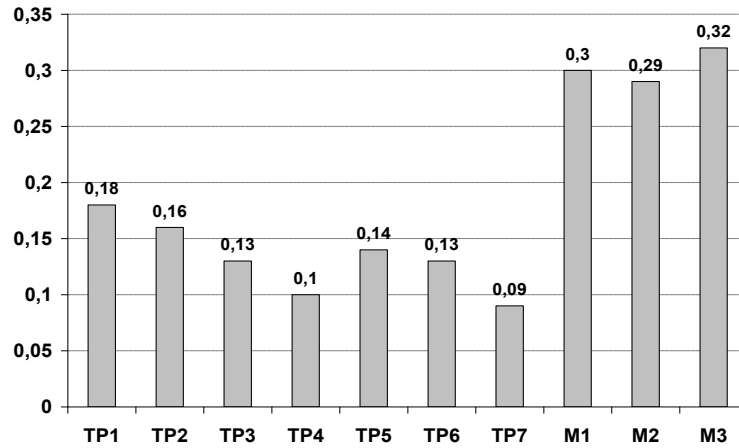
Şekil 6 Teklif projenin farklı alternatiflerinde ve mevcut projede, ısı kayıpları, ısıtma enerjisi gereksinimi ve güneş enerjisi kazançları (MJ/m².yıl)



Şekil 7 Yenilenebilir olmayan enerji gereksinimi değerleri (NRE, MJ/m².yıl)



Şekil 8 Sera etkisi değerleri (GWP, eşd. kg CO₂/m².yıl)



Şekil 9 Asidifikasyon potansiyeli değerleri (AP, eşd. kg SO₂ / m².yıl)

Tablo 7 Bakım-onarım evresinde enerji tüketiminin ve çevresel etkilerin mevcut ve teklif proje arasında karşılaştırılması

	NRE GJ	GWP (eşd. kg veya t CO₂)	AP (eşd. kg SO₂)
Mevcut Proje	543 GJ	33 t	147 Kg
Teklif proje	388 GJ	23 t	88 Kg

Bakım onarım evresinde teklif projede, mevcut projeye göre daha az enerji tüketilmekte ve daha az çevresel etki meydana gelmektedir.

3.4 Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumlanması

Malzeme üretimi ve kullanım evresinde yapılan analizler, mimari tasarım sürecinin sorgulanmasını olanaklı kılmıştır. Bu evrelerde teklif projenin farklı alternatifleri test edilerek farklı sonuçlar elde edilmiştir. Tasarımcı konumundaki mimar, enerji tüketimi ve çevresel etkiler bakımından en uygun olanı bulabilme durumuna gelebilmektedir.

Buna göre, malzeme üretim evresi dikkate alındığında betonarme karkas taşıyıcı sistemli proje uygun olmaktadır. Çünkü yığma taşıyıcı sistemli olan alternatiflere göre, malzeme üretimine bağlı olarak yaklaşık %5 oranında daha az çevresel etki meydana getirmektedir. Kullanım evresinde, teklif projenin farklı seçenekleri dikkate alındığında; pencere yüzeyi güneyde maksimum ve kuzeyde optimum ile tüm dış kabuğun izolasyonlu olan seçenek en iyi sonuçları vermiştir. Bu bina için ısınma enerjisi gereksinimi 124 MJ/m².yıl'dır. Bu sonuca bağlı olarak da çevresel etkiler diğer alternatiflere göre daha düşük seviyede çıkmıştır:

Yenilenebilir olmayan enerji tüketimi (NRE): 198.4 MJ/m². yıl

Sera etkisi (GWP): 18,6 Kg/m². yıl

Asidifikasyon potansiyeli (AP): 0,093 Kg/m². yıl

Anlamlı olmadığı için, diğer evrelerde farklı alternatifler üretilmemiştir.

Mevcut ve teklif projenin karşılaştırmalarından aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır;

-Tasarım parametreleri ve enerji tüketimi arasında ilişkinin önemi: Mimarların tasarım kararları, binaların enerji bilançosu üzerindeki etkisinin önemi bina ömür sürecinin tüm evrelerinde ortaya çıktığı görülmüştür. Yapı malzemesi seçimi ve enerji tüketimi arasında ilk bağ tasarım aşamasında kurulmaktadır. Malzemenin imal edilmesi ve taşınmasında, enerji önemli bir girdi olarak ortaya çıkmaktadır.

- Tasarım kararlarının bina ömür sürecinin farklı evrelerinde çevre üzerine etkileri saptanabilmiştir.

- Bu çalışma, mimarların fazla ilgi alanına girmiyor gibi görünen “gri enerji” kavramının önemini ortaya çıkarmıştır. Mimari tasarım parametrelerinin, “gri enerji” tüketimi ve oluşacak çevresel etkiler üzerindeki etkisi somut bir şekilde gösterilmiştir.

-Ulaşım ve bina yapım evrelerinde yapılan değerlendirmeler ve ilgili hesaplamalar, bina ömür sürecinde bu evrelerin önemini göstermiştir. Birim m² inşaat alanına göre yapılan değerlendirmeler şu sonuçları vermiştir: Mevcut projede malzeme taşınmasından kaynaklanan enerji tüketimi ve çevresel etkiler teklif projeye göre yaklaşık %9 daha fazladır. Ulaşımına bağlı enerji tüketimlerinin azaltılması için, yerel sektörde üretilmiş malzemelerin seçilmesi gerekmektedir.

-Yapılan kabuller doğrultusunda, her iki projede yapım evresinde enerji tüketimi ve çevresel etki bakımından önemli farklar bulunmadığı ortaya çıkmıştır.

-Birinci dereceden önemli tasarım parametreleri olan yön, pencere boyutlandırması, konut iç mekân yüksekliği ve dış duvar bileşenlerinin, konutların kullanım evresinde ısıtma enerjisi gereksinimlerinin belirlenmesinde önemli role sahip oldukları görülmüştür. Teklif projede, bu parametrelerin değiştirilmesiyle enerji gereksinimi ve çevresel etki konularında çok daha iyi sonuçlara ulaşılabileceği görülmüştür. Uygun yönlendirilmiş, güney cephesi maksimum, kuzey cephesi optimum pencere alanına sahip ve tüm dış duvarları ısı yalıtımlı teklif proje alternatifi her alanda en iyi sonuçları vermiştir (%70 fark).

-Kullanım aşamasında binada harcanan tüm enerjiler (ısıtma amaçlı enerji +elektrik enerjisi) dikkate alındığında, en iyi koşulları sağlayan teklif proje(TP7), mevcut projeye göre %53 daha az enerji tüketmektedir.

-Bakım onarım evresinde teklif projede elde edilen sonuçlar mevcut projeye göre daha olumlu görülmektedir. Birim m² inşaat alanı göz önüne alındığında, mevcut projeye teklif proje arasındaki farklar şu şekildedir: Yenilenebilir olmayan enerji tüketim düzeyi yaklaşık %40 daha düşük, sera etkisi düzeyi %46 daha düşük ve asidifikasyon potansiyeli %50 daha düşüktür. Bakım-onarım evresine dönük analiz, binanın sadece ilk maliyetinin değil, işletme maliyetinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

4. SONUÇ

Enerji ve çevre bilinçli bina tasarımı yaklaşımı, bu çalışmada bina ömür süreci analizi yöntemiyle ele alınmıştır. Tasarım sürecinde mimarların alacağı kararların, bina

ömür sürecinde, enerji tüketimlerinin ve çevresel etkilerin meydana geldiği tüm evreleri etkilediği görülmüştür.

Bina ömür süreçleri analizlerinin sağlıklı yapılabilmesi için ülke gerçekleri dikkate alınarak hesaplamalarda kullanılacak veri tabanları elde edilmelidir. Bu veriler konuyu bilen bilim insanlarınca hazırlanmalıdır. Böylece, ülke gerçekleri içerisinde yapı sektöründeki enerji tüketimleri ve çevre yüklenmeleri belirlenebilecek ve kontrol edilebilecektir.

Enerji tüketimlerini ve çevre üzerinde meydana gelecek olumsuzlukları kontrol etme konusunda mimarlara önemli sorumluluklar düşmektedir. Hızla çoğalan nüfusumuzun ihtiyaç duyduğu binaların ve özellikle de konutların yapımında kullanılan malzemelerin üretimi, taşınması, yapımı, kullanımı ve yıkımlarında azımsanmayacak miktarda enerjiye ihtiyaç duyulmakta, bu enerjinin kullanılmasıyla da doğal çevreye olumsuz yüklenmeler yapılmaktadır. Minimum düzeyde de olsa buradan sağlanacak enerji tasarrufu toplamda azımsanmayacak oranda enerji tasarrufuna ve çevre yüklerinin azalmasına neden olacak, sürdürülebilir yaşam çevrelerinin oluşmasına katkı sağlanacaktır.

Not: Bu yayın Fatih CANAN'nın Yüksek Lisans Tez çalışmasından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ortak geleceğimiz. BM Dünya Çevre Kalkınma Komisyonu, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı, Ankara, 1989
- [2] Blouet A ve Rivoire E. L'Ecobilan: Les produits et Leurs Impacts sur l'Environnement, Dunod, Paris, 1995
- [3] Osset P. ve Nibel S. Application de la Méthode des Ecobilans à l'Evaluation Environnementale des Bâtiments, Modélisation d'un Bâtiment, Journées Méthodologie d'optimisation environnementale : entre théorie et pratique dans le secteur du bâtiment, Sophia Antipolis, 1996
- [4] Tuna T.G. Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul, 2005
- [5] Boeglin N ve Veillet D. Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), Note Synthèse Externe, ademe, 2005

- [6] Canan F. Enerji ve Çevre Bilinçli Konut Tasarımında Bina Ömür Süreci Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2002
- [7] Kenber O. Enerji Nedeniyle Çevre Sorunları Oluşturulmaması için Konut Tasarımında Kullanılabilecek Bir Denetim Modeli, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993
- [8] Peuportier B. Le Projet Européen REGENER, Analyse de Cycle de Vie des Batiments, Ecole des Mines de Paris, Paris, 1998.
- [9] Preisig H.R, Dubach W, Kasser U ve Viridén K. Savoir Construire Écologique-Économique, Guide pour le maître de l'ouvrage, Werd Verlag, Zurich, 1999.
- [10] Anonim. Impacts des matériaux, produits et prestations de la construction LESO- PB, EPFL-Lausanne, 2000
- [11] Lesosai 4 bilgisayar yazılımı. Calcul du Bilan Thermique d'une Construction, LESO-CEN pr En832-SIA 180/1. Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment. EPFL, Lausanne