

**T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISIL SİSTEM TASARIMLARINDA EKONOMİK YALITIM KALINLIKLARININ
EKSERJİ EKONOMİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ**

Makine Mühendisi Murat OYMAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Yöneticisi: Prof. Dr.-Ing.Ahmet CAN**

**2007
EDİRNE**

**T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISIL SİSTEM TASARIMLARINDA EKONOMİK YALITIM KALINLIKLARININ
EKSERJİ EKONOMİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ**

Makine Mühendisi Murat OYMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. - Ing. Ahmet CAN**

EDİRNE-2007

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIL SİSTEM TASARIMLARINDA EKONOMİK YALITIM KALINLIKLARININ
EKSERJİ EKONOMİK YÖNTEMLE BELİRLENMESİ

Makine Mühendisi Murat OYMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu tez tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

.....
Prof.Dr.-Ing. Ahmet CAN

.....
Doç.Dr. Yasemin BAKIRCIOĞLU

.....
Yrd.Doç.Dr. Doğan ERYENER

ÖZET

Dünyadaki enerji kaynakları, her gün artan enerji talebi nedeniyle hızla tükenmektedir. Yapılan araştırmalara göre dünyadaki enerji tüketiminin şu anki seyri ile devam etmesi halinde 2020 yılında sahip olduğumuz fosil yakıt kaynaklarının yarısının tükenmiş olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, günlük yaşantımızın her safhasında enerjinin daha verimli kullanımını sağlayan önlemler alınmalıdır.

İstatistiki verilere göre ülkemizde kullanılan enerjinin % 30-35'i konutlarda tüketilmektedir. Konutlarda tüketilen enerjinin yaklaşık % 85'i ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Aynı iklim koşullarına sahip gelişmiş ülkelerdeki tüketim miktarları ile karşılaştırıldığında, ülkemizdeki konutlarda çok yüksek düzeyde enerji tüketimi gerçekleştirilmektedir. Ülkemizdeki konutlarda ısınma için harcanan ortalama enerji miktarı yılda 200 Kwh/ m² den fazladır. Aynı miktar Almanya'da yılda 60 Kwh/ m² civarındadır. Enerji tüketimini kontrol etmek için en kolay müdahale edilebilecek sektör konut sektörüdür. Özellikle izolasyon yaparak konutlarda önemli oranlarda daha az yakıt tüketimi sağlamak mümkün olmaktadır.

Konutlardaki ısıtma amaçlı enerji ihtiyacını % 60 azaltmayı hedefleyen TS 825 standardı zorunlu standart olarak tüm binalarda uygulanmaya başlanmıştır.

Bir sistem için, Termodinamiğin I. Yasasına göre gerçekleştirilen hesaplamalar ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle I. Kanun analizi ile birlikte II. Kanun analizinin de yapılması daha doğru sonuçlar vermektedir. Ekserji, bir sistemin niteliğini belirlemek için bir araçtır ve değişik sistemlerin iş potansiyellerini karşılaştırmak için de kullanılabilir.

Çalışmada yer alan uygulamada Ankara'da bulunan bir bina için ekonomik yalıtım kalınlığının ekserji ekonomik yöntem yardımı ile belirlenmesine çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ekserji, Ekserji Analizi, Ekserji Ekonomik Optimizasyon, Ekonomik Yalıtım Kalınlığı

SUMMARY

Because of the increasing demand of energy; Energy sources of the world are exhausted in a rapid way. According to the investigations; if the energy exhausted continuously as exhausted now, it is clear that in the year 2020 we would have half of the fossil fuel sources we have now. Because of this reason, precautions for the efficient use of the energy, had to be taken in every part of our daily life.

According to the statistical data 30-35% of the energy used in our country is for buildings. Approximately 85% of the energy used in buildings is for heating. When compared to the quantity of exhaustion in developed countries having similar climate conditions, there is a huge energy exhaustion in our country. For our country; in buildings mean exhausted energy quantity is more than 200 Kwh/ m² per year. For Germany; the same quantity is about 60 Kwh/ m² per year. Control of the exhausted energy is easiest in building sector. Especially by isolation, less fuel exhaustion is possible.

Purpose of Standard TS-825 is decreasing the demand of energy for heating as 60 %. Standard TS-825 is started to be applied as obligatory in all buildings.

The results from the calculations according to the I. Law of Thermodynamics is unsatisfactory for the system. For this reason; analysis of I. and II. Law of Thermodynamics together, give us more accurate results. Exergy, is a tool for determining the quality of a system and can be used for comparing the work potential of different systems.

In this study, application is taken for a building in Ankara as the determination of thickness of economical insulation by the help of exergoeconomic method.

Keywords: Exergy, Exergy Analysis, Exergoeconomic Optimization, Economic Insulation Thickness

ÖNSÖZ

Öncelikle, kendisini tanıma şansına sahip olduğum günden bu yana mesleki alanda kazandırdığı sayısız bilginin yanında daima kişiliği, davranışları ve yaşam biçimi ile bizlere örnek olan, çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen, bilgi, deneyim ve yorumları ile beni yönlendiren, engin hoşgörü sahibi değerli bilim adamı hocam Prof.Dr.-Ing. Sayın Ahmet CAN'a,

Çalışmam sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda çok emeği geçen, üniversitedeki iş yüküne rağmen zaman ayırma inceliğini göstererek konu hakkında farklı bakış açıları kazanmamı sağlayan hocam Yrd.Doç.Dr. Sayın Doğan ERYENER'e,

Tez çalışmamın bilgi toplama, derleme ve değerlendirme kısımlarında desteklerini esirgemeyen aile dostumuz mimar Sayın Reşat UMUTLU'ya, değerli meslektaşlarım Sayın Baybora ECEMİŞ ve Sayın Ebru BAZER'e ve çalışma arkadaşım endüstri mühendisi Sayın Ahmet YETİŞİR'e, şükran ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca, öğrenim hayatımın her safhasında maddi ve özellikle de manevi desteklerini hiçbir zaman üzerimden eksik etmeyen, tahammül sınırlarını aştığım en zor günlerde dahi yanımda olarak yaşadığım sıkıntıları gidermeye çalışan, benim için her türlü fedakarlığı yaparak bugünlere gelmemi sağlayan, hayattaki başarılarımın en önemli destekçisi olan aileme de sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunmayı bir borç biliyorum.

Murat OYMAK
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	ii
SUMMARY	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
SİMGELER	xiv
İNDİSLER	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Günümüzde Enerjinin Önemi	1
1.2. Isıl Sistem Kavramı	4
1.3. Isıl Sistemlerin Termodinamik Yasalar Yardımı İle Değerlendirilmesi	5
1.4. Tersinmezlik Kavramı	6
1.5. Ekserji Analizi Yöntemi	7
1.6. Ekserji Analizinin Ekonomik Değerlendirme Aracı Olarak Kullanılması	8
1.7. Isıl Sistem Tasarımlarında İzolasyonun Önemi	9
1.8. Kullanılabilir Enerji, Ekserji, Termoekonomi ve Ekonomik Yalıtım Kalınlığı Belirlenmesi Üzerine Literatür İncelemesi	10
1.9. Tezin Amacı Ve Kapsam	16
2. EKSERJİ ANALİZİ YÖNTEMİ	18
2.1. Ekserji Kavramı	18
2.2. Eserjinin Matematiksel Olarak Tanımlanması (Bir Prosesin Ekserjisi)	21
2.3. Ekserjinin Bileşenleri	23
2.4. Sistemlerden Ekserji Geçişi	25

2.4.1. Isı Alışverişinin Ekserji Eşdeğeri	26
2.4.2. İş Alışverişinin Ekserji Eşdeğeri	27
2.4.3. Madde Alışverişinin (Kütle ile birlikte enerji transferi) Ekserji Eşdeğeri	27
2.5. Ekserji Kaybı Kavramı	28
3. BİNA ISITMA ENERJİSİ İHTİYACININ BELİRLENMESİ (TS-825) VE EKSERJİ KAYIPLARININ HESAPLANMASI	31
3.1. İncelenen Binanın Tanıtımı	31
3.2. Bina Dış Duvarının (Dd1) Yalıtımsız Olduğu Halin İncelenmesi	37
3.2.1. Yalıtımsız Dış Duvar İçin Toplam Isıl İletkenlik Katsayıları	37
3.2.2. Dış Duvarın (Dd1) Yalıtımsız Olduğu Kabulü İle Bina Isı Ve Ekserji Kaybı Hesabı	41
3.3. Bina Dış Duvarına (Dd1) TS-825 Standardında Tavsiye Edilen Isıl İletkenlik Katsayısı Değerlerinde Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi	48
3.3.1. TS-825 Standardına Uygun Yalıtım Kalınlığı İçin Toplam Isıl İletkenlik Katsayıları	48
3.3.2. Dış Duvarın (Dd1) TS-825 Standardında Tavsiye Edilen Toplam Isıl İletkenlik Katsayısına Uygun Olarak Belirlenen Yalıtım Kalınlığında Olduğu Kabulü İle Bina Isı ve Ekserji Kaybı Hesapları	52
3.4. Bina Dış Duvarına (Dd1) 0,01 m Kalınlığında Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi	56
3.4.1. Bina Dış Duvarı (Dd1) Yalıtım Kalınlığının 0,01 m Olduğu Kabulü İle Dış Duvar İçin Toplam Isıl İletkenlik Katsayıları	56
3.4.2. Dış Duvarın (Dd1) Yalıtım Kalınlığının 0,01 m Olduğu Kabulü İle Bina Isı Ve Ekserji Kaybı Hesapları	57
3.5. Bina Dış Duvarına (Dd1) 0,02 m Kalınlığında Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi	61
3.5.1. Bina Dış Duvarı (Dd1) Yalıtım Kalınlığının 0,02 m Olduğu Kabulü İle Dış Duvar İçin Toplam Isıl İletkenlik Katsayıları	61

3.5.2. Dış Duvarın (Dd1) Yalıtım Kalınlığının 0,02 m Olduğu Kabulü İle Bina Isı Ve Ekserji Kaybı Hesapları	62
3.6. Bina Dış Duvarına (Dd1) 0,03 m Kalınlığında Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi	66
3.6.1. Bina Dış Duvarı (Dd1) Yalıtım Kalınlığının 0,03 m Olduğu Kabulü İle Dış Duvar İçin Toplam Isıl İletkenlik Katsayıları	66
3.6.2. Dış Duvarın (Dd1) Yalıtım Kalınlığının 0,03 m Olduğu Kabulü İle Bina Isı Ve Ekserji Kaybı Hesapları	67
3.7. Bina Dış Duvarına (Dd1) 0,04 m Kalınlığında Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi	71
3.7.1. Bina Dış Duvarı (Dd1) Yalıtım Kalınlığının 0,04 m Olduğu Kabulü İle Dış Duvar İçin Toplam Isıl İletkenlik Katsayıları	71
3.7.2. Dış Duvarın (Dd1) Yalıtım Kalınlığının 0,04 m Olduğu Kabulü İle Bina Isı Ve Ekserji Kaybı Hesapları	72
3.8. Bina Dış Duvarına (Dd1) 0,05 m Kalınlığında Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi	76
3.8.1. Bina Dış Duvarı (Dd1) Yalıtım Kalınlığının 0,05 m Olduğu Kabulü İle Dış Duvar İçin Toplam Isıl İletkenlik Katsayıları	76
3.8.2. Dış Duvarın (Dd1) Yalıtım Kalınlığının 0,05 m Olduğu Kabulü İle Bina Isı Ve Ekserji Kaybı Hesapları	77
4. YALITIM KALINLIĞININ EKSERJİ EKONOMİK YÖNTEM İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	81
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	96
6. EKLER	102
7. KAYNAKLAR	105
8. ÖZGEÇMİŞ	109

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Gelecekteki enerji ihtiyacı tahmini	1
Şekil 2.1. Üç boyutlu ekserji diyagramı	20
Şekil 2.2. Tersinmez sistem	21
Şekil 2.3. Tersinir ısı makinesi eklenmiş tersinmez sistem	21
Şekil 2.4. Termodinamik bir sistem	28
Şekil 5.1. Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı-yalıtım kalınlığı ilişkisi	96
Şekil 5.2. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı-yalıtım kalınlığı ilişkisi	97
Şekil 5.3. Aylık ekserji kaybı-yalıtım kalınlığı ilişkisi	97
Şekil 5.4. Yıllık ekserji kaybı-yalıtım kalınlığı ilişkisi	98
Şekil 5.5. Yıllık ekserji kaybı maliyeti-yalıtım kalınlığı ilişkisi	98
Şekil 5.6. Yatırım maliyeti&yıllık yakıt maliyeti&yalıtım kalınlığı ilişkisi	99
Şekil 5.7. Yatırım maliyeti&ekserji kaybı&yalıtım kalınlığı ilişkisi	100
Şekil 5.8. Yıllık yatırım maliyeti&ekserji kaybı&yalıtım kalınlığı ilişkisi	100
Şekil 5.9. Toplam maliyet & yatırım maliyeti& ekserji kaybı maliyeti& yalıtım kalınlığı ilişkisi	101

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. 1965-2005 yılları arasındaki ham petrol üretimi	1
Çizelge 1.2. 1965-2005 yılları arasındaki ham petrol tüketimi	2
Çizelge 1.3. 1865-2005 yılları arasındaki ham petrol fiyatları	2
Çizelge 1.4. 1985-2005 yılları arasındaki gaz fiyatları	3
Çizelge 1.5. 1990-2005 yılları arasındaki kömür fiyatlar	3
Çizelge 3.1. Binanın yanal yüzey alanları	33
Çizelge 3.2. Bodrum kat kapı ve pencere alanları	33
Çizelge 3.3. Zemin kat kapı ve pencere alanları	34
Çizelge 3.4. Normal kat kapı ve pencere alanları	35
Çizelge 3.5. Yönlere göre kapı ve pencere alanları	35
Çizelge 3.6. Binanın dış duvar alanları toplamı	36
Çizelge 3.7. Binanın ısı kaybeden yüzey alanları toplamı	36
Çizelge 3.8. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı	37
Çizelge 3.9. Dış duvarın (Dd2) TS-825'e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı	38
Çizelge 3.10. Tabanın (toprağa temas eden) TS-825'e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı	39
Çizelge 3.11. Çatının (Ta1) TS-825'e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı	40
Çizelge 3.12. Yalıtımsız hal için yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayıları	41

Çizelge 3.13. Binanın aylık ortalama güneş enerjisi kazançları	44
Çizelge 3.14. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal için kazanç/kayıp oranları	45
Çizelge 3.15. Yalıtımsız hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri	46
Çizelge 3.16. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları	47
Çizelge 3.17. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları	47
Çizelge 3.18. Dış duvara (Dd1) TS-825’de tavsiye edilen kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısıl iletkenlik katsayısı	48
Çizelge 3.19. Dış duvarın (Dd2) TS-825’e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısıl iletkenlik katsayısı	49
Çizelge 3.20. Tabanın (toprağa temas eden) TS-825’e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısıl iletkenlik katsayısı	50
Çizelge 3.21. Çatının (Ta1) TS-825’e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısıl iletkenlik katsayısı	51
Çizelge 3.22. TS-825’de tavsiye edilen kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısıl iletkenlik katsayısı	52
Çizelge 3.23. Dış duvarın (Dd1) TS-825’e uygun yalıtıldığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları	53
Çizelge 3.24. TS-825’e uygun yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım oranları	54
Çizelge 3.25. Dış duvara (Dd1) TS-825’de tavsiye edilen kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları	55
Çizelge 3.26. Dış duvara (Dd1) TS-825’de tavsiye edilen kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları	55
Çizelge 3.27. Dış duvara (Dd1) 0,01 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısıl iletkenlik katsayısı	56

Çizelge 3.28. Dış duvara (Dd1) 0,01 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısıl iletkenlik katsayıları	57
Çizelge 3.29. Dış duvara (Dd1) 0,01 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları	58
Çizelge 3.30. 0,01 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri	59
Çizelge 3.31. Dış duvarlara (Dd1) 0,01 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları	60
Çizelge 3.32. Dış duvarlara (Dd1) 0,01 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları	60
Çizelge 3.33. Dış duvara (Dd1) 0,02 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısıl iletkenlik katsayısı	61
Çizelge 3.34. Dış duvara (Dd1) 0,02 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısıl iletkenlik katsayıları	62
Çizelge 3.35. Dış duvara (Dd1) 0,02 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları	63
Çizelge 3.36. 0,02 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri	64
Çizelge 3.37. Dış duvarlara (Dd1) 0,02 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları	65
Çizelge 3.38. Dış duvarlara (Dd1) 0,02 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları	65
Çizelge 3.39. Dış duvara (Dd1) 0,03 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısıl iletkenlik katsayısı	66
Çizelge 3.40. Dış duvara (Dd1) 0,03 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısıl iletkenlik katsayıları	67
Çizelge 3.41. Dış duvara (Dd1) 0,03 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları	68
Çizelge 3.42. 0,03 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri	69

Çizelge 3.43. Dış duvarlara (Dd1) 0,03 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları	70
Çizelge 3.44. Dış duvarlara (Dd1) 0,03 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları	70
Çizelge 3.45. Dış duvara (Dd1) 0,04 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısıl iletkenlik katsayısı	71
Çizelge 3.46. Dış duvara (Dd1) 0,04 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısıl iletkenlik katsayıları	72
Çizelge 3.47. Dış duvara (Dd1) 0,04 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları	73
Çizelge 3.48. 0,04 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri	74
Çizelge 3.49. Dış duvarlara (Dd1) 0,04 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları	75
Çizelge 3.50. Dış duvarlara (Dd1) 0,04 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları	75
Çizelge 3.51. Dış duvara (Dd1) 0,05 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısıl iletkenlik katsayısı	76
Çizelge 3.52. Dış duvara (Dd1) 0,05 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısıl iletkenlik katsayıları	77
Çizelge 3.53. Dış duvara (Dd1) 0,05 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları	78
Çizelge 3.54. 0,05 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri	79
Çizelge 3.55. Dış duvarlara (Dd1) 0,05 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları	80
Çizelge 3.56. Dış duvarlara (Dd1) 0,05 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları	80
Çizelge 4.1. Yalıtım kalınlığına bağlı aylık ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları	83
Çizelge 4.2. Yalıtım kalınlığına bağlı aylık ve yıllık ekserji kayıpları	83

Çizelge 4.3. Yalıtım kalınlığına bağlı yıllık yakıt (doğalgaz) ihtiyacı	84
Çizelge 4.4. Yalıtım kalınlığına bağlı kazan kapasitesi ve yatırım maliyeti	85
Çizelge 4.5. Yalıtım kalınlığına bağlı radyatör ihtiyacı ve yatırım maliyeti	86
Çizelge 4.6. Yalıtım kalınlığına bağlı izolasyon malzemesi ihtiyacı ve yatırım maliyeti	86
Çizelge 4.7. Yalıtım kalınlığına bağlı yatırım kalemlerinin maliyet değişimi	87
Çizelge 4.8. Yıllık ekserji kayıpları ve maliyet ilişkisi	87
Çizelge 4.9. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile 0,01 m yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme	89
Çizelge 4.10. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile 0,02 m yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme	90
Çizelge 4.11. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile 0,03 m yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme	91
Çizelge 4.12. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile TS-825 standardında tavsiye edilen kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme	92
Çizelge 4.13. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile 0,04 m yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme	93
Çizelge 4.14. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile 0,05 m yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme	94
Çizelge 4.15. Dış duvarın (Dd1) her bir yalıtım durumu için ekserji ekonomik değerlendirme	95

SİMGELER

Q	Isı Geçişi (KJ)
W	İş (KJ)
E	Enerji, Ekserji (KJ)
d_{opt}	Optimum Kalınlık (m)
q_{opt}	Optimum Isı Geçişi (W/m^2)
P_0	Ortam-Çevre Basıncı (Atm)
T_0	Ortam-Çevre Sıcaklığı ($^{\circ}K$)
U_1	İç Enerji (KJ)
U_2	İç Enerji (KJ)
$^{\circ}C$	Sıcaklık
$^{\circ}K$	Sıcaklık
H	Entalpi (KJ)
W_c	Isı Makinesinin İş (KJ)
S	Entropi (KJ/K)
E^F	Fiziksel Ekserji (KJ)
E^K	Kinetik Ekserji (KJ)
E^P	Potansiyel Ekserji (KJ)
E^C	Kimyasal Ekserji (KJ)
e	Özgül Ekserji (KJ)
v	Hız (m/sn)
g	Yerçekimi Sabiti (m/sn^2)
z	Yükseklik (m)
μ_i	Kimyasal Aktivasyon Enerjisi
N	Mol Sayısı
H	Binanın Özgül Isı Kaybı Miktarı (W/K)
H_i	Dış Yüzeylerden Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)
H_h	Havalandırma Yolu İle Gerçekleşen Isı Kaybı (W/K)
A_p	Pencere Alanını (m^2)

A_D	Dış Duvar Alanını (m^2)
A_T	Tavan Alanını (m^2)
A_{dsic}	Isıtılmayan Düşük Sıcaklıktaki Bodrum Tabanını (m^2)
A_T	Toprak Temaslı Taban Alanını (m^2)
$V_{BRÜT}$	Isıtılacak Yapı Hacmi (m^3)
U	Toplam Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m^2K)
n_h	Havalandırma Katsayısı (h^{-1})
Φ_i	İç Isı Kazanç Değeri (W)
$r_{i,ay}$	Aylık Gölgeleme Faktörü
g_L	Güneş Enerjisi Geçirme Faktörü
$I_{i,ay}$	Aylık Ortalama Güneş Işınımı Şiddeti (W/m^2)
KKO_{ay}	Aylık Kazanç/Kayıp Oranı
T_i	İç Sıcaklık ($^{\circ}K$)
T_d	Dış Sıcaklık ($^{\circ}K$)
T_M	Sistemin Toplam Maliyeti (YTL)
Y_M	Yatırım Maliyeti (YTL)
a_f	Ana Parayı Geri Kazanma Katsayısı
i	Yıllık Reel Faiz Oranı (%)
N	Ömür Süresi (yıl)
t	Yıllık İşletme Süresi (saat)
C_E	Sistemde Kullanılan Ekserjinin Birim Maliyeti (YTL/GJ)
E_D	Ekserji Kaybı (KJ)

İNDİSLER

0	Çevre
1	Giriş/İlk
2	Çıkış/Son
TER	Tersinir
TERS	Tersinmez
TMEZ	Tersinmez
SİS	Sistem
TOP	Toplam

GİRİŞ

1.1.Günümüzde Enerjinin Önemi

Dünyadaki enerji kaynakları, her gün biraz daha artmakta olan enerji talebi ile birlikte hızla tükenme eğilimi sergilemektedirler. Bu olgu, bilimsel çevreleri enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye yöneltmekte ve varolan sınırlı enerji kaynaklarından daha da fazla yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirmeye itmektedir.

Yapılan araştırmalara göre dünyadaki enerji tüketiminin şu anki seyri ile devam etmesi halinde 2020 yılında sahip olduğumuz fosil yakıt kaynaklarının yarısının tükenmiş olacağı öngörülmektedir.

Fosil yakıt denildiğinde ilk akla gelen ve enerji kalemi olarak ağırlıklı bir şekilde kullanılmakta olan petrole ilişkin sayısal değerler Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2 de verilmiştir. Tablolardan da görüldüğü üzere üretim/tüketim miktarları gün geçtikçe önemli bir artış sergilemektedir.

Petrol Üretimi									
Milyon Ton	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Kuzey Amerika Toplamı	489,6	627,7	591,5	670,7	730,2	655,6	646,0	650,8	642,5
Güney & Orta Amerika	225,2	250,2	189,7	192,4	188,8	228,4	292,8	345,3	350,6
Avrupa & Avrasya	281,9	395,0	543,1	746,6	807,2	788,3	669,4	724,7	845,0
Ortadoğu Toplamı	418,2	691,7	979,9	934,2	516,9	851,9	978,9	1138,6	1208,1
Afrika Toplamı	106,5	292,3	242,5	300,6	260,9	320,9	339,3	373,0	467,1
Asya Pasifik Toplamı	44,9	98,3	187,8	243,6	288,1	325,6	354,5	381,5	381,7
DÜNYA TOPLAMI	1566,3	2355,2	2734,4	3087,9	2792,1	3170,6	3280,9	3613,8	3895,0

Çizelge 1.1. 1965-2005 yılları arasındaki ham petrol üretimi

Petrol Tüketimi									
Milyon Ton	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Kuzey Amerika Toplamı	617,0	785,8	879,0	932,9	849,1	929,4	960,8	1071,4	1132,6
Güney & Orta Amerika	83,4	106,3	132,8	160,1	147,8	166,9	193,6	218,2	223,3
TÜRKİYE	5,0	7,7	13,4	14,8	16,8	22,1	28,4	31,1	30,0
Avrupa & Avrasya	591,9	930,1	1095,6	1197,4	1079,1	1128,9	936,9	927,9	963,3
Ortadoğu Toplamı	47,6	57,9	71,4	101,7	144,5	168,6	203,5	226,9	271,3
Afrika Toplamı	26,1	35,2	45,9	66,4	82,0	93,8	103,7	116,2	129,3
Asya Pasifik Toplamı	163,4	338,4	452,6	513,7	498,8	657,1	854,0	976,7	1116,9
DÜNYA TOPLAMI	1529,5	2253,8	2677,4	2972,1	2801,2	3144,5	3252,4	3537,2	3836,8

Çizelge 1.2. 1965-2005 yılları arasındaki ham petrol tüketimi

Enerji tüketimi ile ilgili diğer bir problem ise, kaynakların azalmasının getirdiği fiyat artışıdır. Çizelge 1.3, Çizelge 1.4 ve Çizelge 1.5'te de görüleceği üzere yıllarla beraber enerji kaynaklarının birim fiyatları artmakta olup, bu artış söz konusu yakıt kalemlerinin kullanıldığı sistemlerde yatırım/işletme maliyetini de arttırıcı bir rol üstlenmektedir.

Varil karşılığı US \$	Yıl	\$	\$ 2005
	1865	6,59	84,45
	1870	3,86	59,84
	1875	1,35	24,11
	1880	0,95	19,29
	1885	0,88	19,19
	1890	0,87	18,97
	1895	1,36	32,02
	1900	1,19	28,01
	1905	0,62	13,52
	1910	0,61	12,83
	1915	0,64	12,40
	1920	3,07	30,15
	1925	1,68	18,86
	1930	1,19	14,01
	1935	0,97	13,89
	1940	1,02	14,28
	1945	1,05	11,46
	1950	1,71	13,94
	1955	1,93	14,15
	1960	1,90	12,59
	1965	1,80	11,20
	1970	1,80	9,09
	1975	11,53	42,04
	1980	36,83	87,65
	1985	27,56	50,11
	1990	23,73	35,62
	1995	17,02	22,03
	2000	28,50	32,88
	2005	54,52	54,52

Çizelge 1.3. 1865-2005 yılları arasındaki ham petrol fiyatları

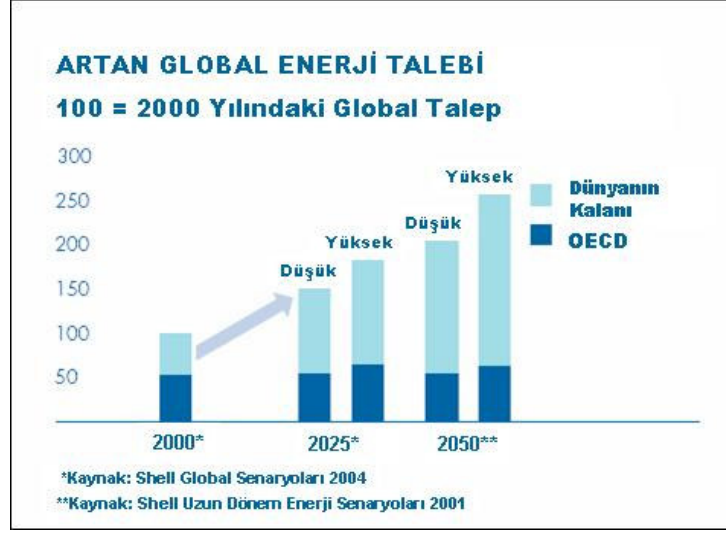
BTU karşılığı US \$	LNG	Doğal Gaz
	Japonya	Avrupa
1985	5,23	3,83
1990	3,64	2,82
1995	3,46	2,37
2000	4,72	3,25
2005	6,05	6,28

Çizelge 1.4. 1985-2005 yılları arasındaki gaz fiyatları

Ton karşılığı US \$	Kuzeybatı Avrupa Kömürü	US Kömürü	İthal Japon Buhar Kömürü
1990	43,48	31,59	50,81
1995	44,50	26,98	47,58
2000	35,99	29,91	34,58
2005	61,07	70,82	62,91

Çizelge 1.5. 1990-2005 yılları arasındaki kömür fiyatlar

Sayısal verilerden de görüleceği üzere, sahip olduğumuz enerji kaynakları artık savurganlığa izin vermemektedirler. Bu nedenle, günlük yaşantımızın her safhasında enerjinin daha verimli kullanımını sağlayan önlemler alınmalı, bu yolla enerji tüketimi asgari düzeye indirilerek enerji tasarrufu sağlanmalıdır.



Şekil 1.1. Gelecekteki enerji ihtiyacı tahmini

1.2. Isıl Sistem Kavramı

Isıl sistemler, çevreleri ile iş ve/veya ısıl etkileşim halinde bulunan yapılar olarak tanımlanırlar. Genel anlamda ısıl etkileşim terimi ile, ısı transferi ve/veya tepkimeye giren karışımlar dahil olmak üzere sıcak veya soğuk madde akışları ifade edilmektedir.

Etrafımızda, endüstriyel sahalar ağırlıklı olmak üzere pek çok alanda değişik ısıl sistem uygulamaları ile karşılaşmak mümkündür. Isıl sistemlere, endüstriyel alandaki elektrik üretiminde, kimyasal proseslerde ve neredeyse üretim yapılan her tesiste rastlanabilir. Aynı zamanda evlerde kullanmakta olduğumuz buzdolapları, derin dondurucular, fırınlar, ısı pompaları, ısıtma-soğutma tesisatları vb. aygıtlar da ısıl sistemlere birer örnek teşkil etmektedirler.

Isıl sistemler, kompresörler, pompalar, türbinler, ısı değiştirgeçleri, kimyasal reaktörler ve sistemi oluşturan diğer benzeri devre elemanlarından meydana gelmektedirler. Sözkonusu elemanlar, genellikle sistemde dolaşan sıvı ya da gaz formundaki maddelerin geçişine yardımcı olan borular ile birbirlerine bağlıdırlar.

Önceki paragraflarda yer alan ısı sistem kavramını genişlettiğimizde, kullanmakta olduğumuz ev, okul, hastane vb. mahalleri de içerdikleri ısıtma ya da soğutma amaçlı donanımlar ile birlikte birer ısı sistem olarak değerlendirmek mümkündür.

1.3. Isıl Sistemlerin Termodinamik Yasalar Yardımı ile Değerlendirilmesi

Termodinamiğin I. Yasası, enerjinin yoktan var edilemeyeceğini ya da var olan bir enerjinin yok edilemeyeceğini tarif etmektedir. Birinci yasa aynı zamanda enerjinin bir biçimden diğerine dönüşümü sırasındaki değişimleri sayısal değerlerle ifade etmektedir.

Çevresi ile ısı alışverişinde bulunan kapalı bir sistem için Termodinamiğin I. Yasası;

$$\partial Q - \partial W = dE \quad (1.1)$$

olarak ifade edilmektedir.

1 durumundan 2 durumuna gelen kapalı bir sistem için Termodinamiğin I. Yasasını uyguladığımızda;

$$\int_1^2 \partial Q - \int_1^2 \partial W = E_2 - E_1 \quad (1.2)$$

$$Q_{1,2} - W_{1,2} = (U_2 - U_1) + (E_{K2} - E_{K1}) + (E_{P2} - E_{P1}) \quad (1.3)$$

ifadesi elde edilir.

Termodinamiğin I. Yasası enerjinin “**niceliği**” ile ilgilidir. Sayısal değer olarak eşit fakat biçim ve kaynak bakımından farklı enerjiler arasında ayırım gözetmemekte, yalnızca hal değişimleri sırasında enerjinin hesabını tutmak için bir

yöntem ortaya koymaktadır. Ele alınan bir sistemdeki enerji değişimi, yani sistemler arasındaki etkileşim sonucu enerjinin bir biçimden diğerine dönüşüm miktarı, enerji dengesi kurularak belirlenmektedir. Bununla birlikte enerji dengesi, sisteme ait iç kayıplar hakkında herhangi bir bilgi vermemektedir; örneğin bir termodinamik sürecin gerçekleştirildiği sistemde, iş yapabilme kapasitesindeki değişimi belirlemek mümkün olamamaktadır.

Termodinamiğin II. Yasası ise enerjinin niceliği yanında “**niteliğini**” de ön plana çıkartmaktadır. İkinci Yasa enerjinin niteliğini ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığını hesaplamak için somut yöntemler ortaya koymaktadır.

Enerji sistemlerinin niteliğini Termodinamiğin II. Yasası’na dayanarak değerlendirmeye yarayan yöntemler; analizde seçilen parametreye bağlı olarak Entropi hesabına dayanan yöntemler ve Ekserji hesabına dayanan yöntemler olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilirler.

Entropiyi temel alan yöntemler; bir ısı sistemdeki tersinmezliklerin belirlenmesi amacıyla kullanılırlar.

Ekserjiyi temel alan yöntemler ise değişik enerji türlerinin iş yapabilme bakımından kalite farklılıklarını, enerji dönüşümlerinin gerçek verimliliğini, bir ısı sistemde verimsizliğe neden olan bileşenleri ve süreçleri belirlemek amacıyla kullanılırlar.

1.4. Tersinmezlik Kavramı

Gerçek hiçbir hal değişimi tersinir değildir ve tersinmezliklerin varlığı da mühendislik sistemlerinin çalışma verimlerini azaltmaktadır. Bir sistemdeki tersinmezliklerin ölçüsü olarak Entropi üretimi baz alınabilir. Sistemin geçirdiği her hal değişimi sistemin toplam entropisinin biraz daha artmasına neden olmaktadır.

Bir termodinamik sistemdeki tersinmezlikler;

- a) Sonlu sıcaklık farkındaki ısı transferi,
- b) Gazların ve sıvıların sonlu basınç farkı ile genişlemesi,
- c) Kimyasal reaksiyonlar,

- c) Farklı kimyasal potansiyellere sahip maddelerin karışması,
- d) Sürtünme,
- e) Direnç içerisindeki elektrik akımı,
- f) Elastik olmayan deformasyon nedenleri ile meydana gelebilmektedirler.

Yukarıda kısaca tanımladığımız kavramları Termodinamiğin II. Yasasına göre ifade edersek; tüm doğal enerji dönüşüm süreçleri tersinmezdir ve gerçek enerji dönüşüm süreçlerinde toplam entropi sürekli artmaktadır diyebiliriz.

1.5. Ekserji Analizi Yöntemi

Ekserji analizi; enerji sistemlerinin analizi ve tasarım için, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının birlikte kullanıldığı bir yöntemdir. Szargut vd.ne (1998) göre ekserji analizi yönteminin temel amacı; ısı ve kimyasal proseslerin termodinamik kusurlarının sebeplerini miktar olarak değerlendirmek ve ortaya çıkartmaktır.

Ekserji analizi proseslerin geliştirilmesi için ihtimalleri gösterir, fakat ihtimallerin uygulanabilirliği üzerine karar verememektedir.

Ekserji analizi yönteminin sistemlerin değerlendirilmesi yönünden sağladığı faydaları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür;

- a) Sistemin yapılabirliğinin tasarım aşamasında değerlendirilmesini sağlar,
- b) Eşit verime sahip farklı sistemlerin karşılaştırılmasını sağlar,
- c) Sistemdeki kayıpların gerçek büyüklüklerini belirler,
- ç) Sistemlerdeki verimsizlikleri azaltmak için olasılıkları gösterir,
- d) İşletme parametrelerinin seçimi ve işletme ekonomisi konusunda yardımcı olur,
- e) Sistemdeki kayıpları belirlemek açısından Termodinamiğin I. Yasası'nın, yetersiz olduğu hallerde değerlendirme olanağı sağlar.

1.6. Ekserji Analizinin Ekonomik Değerlendirme Aracı Olarak Kullanılması

Bir sistemin tasarımına ilişkin termodinamik değerlendirmeyi Ekserji Analizi ile gerçekleştirmek mümkündür. Ekserji Analizi, sistemdeki kayıp ve savurganlıkların gerçek büyüklüklerini belirleyerek enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasına olanak sağlayan bir yöntem olarak karmaşık termodinamik sistemlerin değerlendirilmesi için güçlü bir araçtır.

Tasarlanan bir sistemin termodinamik yönden uygun olması her zaman ekonomik yönden de uygun olacağı anlamını taşımamaktadır. Tasarımı yapılan bir sistemde, tersinmezlikleri azaltmak için değiştirilen boyutlar, sistemin yatırım maliyetini arttıracaktır. Örnek olarak bir yapı elemanından gerçekleşen ısı kaybını azaltmak amacıyla kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığını ele alırsak; ısı kaybını azaltmak için yalıtım malzemesinin kalınlığını arttırmak mümkündür. Fakat yalıtım kalınlığı arttıkça ısı iletimindeki azalma belli bir değerden sonra çok küçük kalacaktır. Bununla beraber yalıtım kalınlığını arttırmanın da ilave bir maliyeti olmakta ve sistemin yatırım maliyetini arttırmaktadır. Dolayısı ile fayda-maliyet ilişkisi değerlendirilerek gerçekleştirilecek bir sistem tasarımında yalıtım kalınlığı için optimum bir değer söz konusu olacaktır.

Termoekonomi, bir sistem tasarımcısı yada işletmeninin, geleneksel enerji analiz yöntemleri ve ekonomik değerlendirme vasıtası ile aldığı bilgiyi desteklemek için kullanılan, Ekserji Analizi ile Ekonomik Analiz kavramlarını birleştiren bir disiplindir. Termoekonomiyi ekserji yardımcı maliyet azaltımı olarak da düşünmek mümkündür.

Termoekonomik optimizasyonda amaç, verilen bir sistem için sermaye maliyeti giderleri ile ekserji giderleri arasında sistem ürününün maliyetini minimum yapan bir bağ kurmaktır. Termoekonominin termodinamik faktörleri ekserji kavramı içerisinde yer aldığından beri, ekserji analizi ve ekonominin birleşimini tanımlamak için “**Eksergoekonomi**” ya da “**Ekserji Ekonomik Yöntem**” ifadeleri de kullanılmaktadır. Ekserji esaslı ekonomik çalışmalar, özellikle seçilen parametreye bağlı olarak “**Termoekonomi**”, “**İkinci Yasa Maliyeti**”, “**Ekserji Maliyeti**” ve “**Eksergoekonomi**” adları altında farklı şekillerde de tanımlanmaktadır.

1.7. Isıl Sistem Tasarımlarında İzolasyonun Önemi

Günümüzde sürekli olarak artmakta olan enerji ihtiyacı, halen kullanmakta olduğumuz fosil yakıt rezervlerinin hızla azalması, fosil yakıt kullanımı ile sonucunda ortaya çıkan sera gazlarının ekolojik denge üzerindeki olumsuz etkileri gibi nedenler ısı sistemlerinden daha fazla verim elde edilebilmesi için daha dikkatli tasarımlarını zorunlu kılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak da sözkonusu sistemlerin tasarımlarında izolasyonun önemi de artmaktadır.

İzolasyonun ısı sistem tasarımlarında kullanılması başta enerji tasarrufu olmak üzere, ekolojik dengenin korunması, hava kirliliğinin azaltılması, yangın güvenliği, gürültü ve titreşimin zararlı etkilerinin asgariye indirilmesi için gereklidir.

Fosil yakıtların kullanımı nedeniyle oluşan ve günümüzün en önemli sorunlarından biri olarak kabul edilen sera gazlarının % 55'ini CO₂ gazları oluşturmaktadır. Sözkonusu CO₂ emisyonunun % 29'u güç santralleri tarafından, % 26'sı konutlar tarafından ve % 23'ü ise endüstriyel tesisler tarafından üretilmektedir.

Türkiye'de enerjinin yaklaşık % 92'si sanayi, ulaşım ve konut sektöründe tüketilmektedir. 1999 yılı itibariyle mevcut enerjinin % 35,2'si sanayi sektöründe, % 22,4'ü ulaşım sektöründe ve % 34,1'i ise konut-hizmet sektöründe kullanılmaktadır. Enerji girdisinin % 43,7'si sanayi sektöründe, % 88,9'u ulaşım sektöründe, % 43,4'ü ise konut ve işyerlerini kapsayan sektörde kayıplara gitmektedir.

2001 yılı Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre Türkiye tükettiği toplam enerjinin % 65'ini ithal etmekte ve toplam enerji tüketiminin % 30'u binalarda kullanılmaktadır.

İstatistiki verilerin de gösterdiği üzere kullanmakta olduğumuz enerjinin % 30-35'i konutlarda tüketilmekte ve konutlarda tüketilen enerjinin de yaklaşık % 85'i ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Konutlarda ısınma için harcanan ortalama enerji tüketim miktarı yılda 200 Kwh/ m² den fazla olmaktadır.

Aynı iklim koşullarına sahip gelişmiş ülkelerdeki tüketim miktarları ile karşılaştırıldığında, ülkemizdeki konutlarda çok yüksek düzeyde enerji tüketimi gerçekleştirildiği görülmektedir.

İstatistiki verileri dikkate aldığımızda, bir ısı sistem olarak düşünülebilecek ve aynı zamanda enerji tüketimini kontrol edebilmek amacı ile en kolay müdahale imkanı sunan sektörün konut sektörü olduğu görülmektedir.

Özellikle izolasyon yapmak suretiyle konutlarda önemli oranlarda daha az yakıt tüketimi sağlamak ve bu yolla enerji tasarrufu elde etmek mümkün olabilmektedir. Dış duvarlarda ve çatıda izolasyon yapmak suretiyle % 77 ye varan oranlarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

2001 yılı verilerine baktığımızda konutlarda 20 milyon ton eşdeğeri petrol (TEP) kullanılmıştır. Bunun fuel-oil karşılığı 3 Milyar ABD Doları, Doğalgaz karşılığı ise 4 Milyar ABD Doları olmaktadır. Eğer binalarımız ısı yalıtımlı olarak inşa edilmiş olsalardı, ortalama %50 tasarruf varsayımı ile yılda 1.5 ila 2 Milyar ABD Doları enerji tasarrufu sağlamak mümkün olabilecekti.

1.8. Kullanılabilir Enerji, Ekserji, Termoekonomi ve Ekonomik Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi Üzerine Literatür İncelemesi

Maxwell (1871), ilk olarak “kullanılabilir enerji” kavramını kullanmıştır.

Gibbs (1873), “mümkün olan en fazla iş (dönen mil işi)” adı altında kullanılabilir enerji için analitik bir hesap yöntemi vermiştir.

Gouy (1889), tarafından akış olmayan sistemlerde kullanılabilirlik ile ilgili çalışmalar yayınlanmıştır.

Stodola (1898), akış olmayan bir proseste “mümkün olan en fazla brüt iş” ile ilgili bir ifade tanımlayarak kayıp brüt iş potansiyeli ile entropi arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir.

J. H. Keenan (1932), Gibbs’in vermiş olduğu sonuçları daha basit ve daha kullanışlı kavramlar ile ifade etmiş ve mümkün olan en yüksek net iş (dönen mil işi) için “kullanılabilirlik” terimini kullanmıştır. Maliyet hesabı için ekserji kullanım fikri de yine J. H. Keenan tarafından ortaya konulmuştur.

Exergy kavramı Alman bilim adamı Z. Rant (1953) tarafından “**exergie**” olarak ifade edilmiş ve “teknik çalışma kapasitesi”nin adlandırılması amacı ile

kullanılması önerilmiştir. Daha sonra ekserji, H.D.Baehr tarafından “enerjinin diğer tüm formlarına çevrilebilen parçasına verilen ad” şeklinde tanımlanmıştır.

London (1982), Nelson (1988), Sekulic (1988), Chen (1988), Paoletti (1989), Poulilahas (1989), Alefeld (1989) ve Bejan (1987, 1988) gibi araştırmacılar, entropiyi baz alan çalışmalar yapmışlardır.

Hesselmann (1986), Knoche ve Hesselmann (1986) ve Avgoisti vd. (1989) gibi araştırmacılar, yatırım maliyeti-ekserji kaybı, ekserji kaybı-ürün kaybı ilişkilerini baz alan çalışmalar yapmışlardır.

Bejan (1987, 1988) tarafından ısı değiştirgeçlerinin tasarımına yönelik entropiyi baz alan çalışmalar yapılmış ve mühendislik uygulamaları açısından çok kullanışlı yöntemler geliştirilmiştir.

El-Sayed ve Gaggioli (1989), Ranasinghe vd. (1989), Valero vd. (1989), Kotas (1985,1989), De Luciave Manfrida (1989), Carrington ve Sun (1989) gibi araştırmacılar ise özellikle verimin düşük oluşu ve nedenleri üzerinde durmuşlar ve bu nedenleri ortadan kaldırmak için gerekli tasarım ve/veya işletme şartlarının değiştirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Kullanılabilir enerji analizi yada diğer adıyla ekserji analizi ile ilgili önemli çalışmalar 1990’lı yıllarda Tsatsaronis ve Moran tarafından yapılmıştır. Moran ekserji analizinin termodinamik sistem analizinde kullanılan temel ifadelerini belirlemiş, Tsatsaronis ise özellikle ekserji analizi metoduna dayanan Termoekonomik optimizasyon (exergoeconomic optimization) konusunda birçok önemli çalışma yapmıştır.

Kuremenos ve Tsatsaronis (1991), ısıl ve enerji sistemlerinin analizinde ekserji analizi yöntemini kullanmışlardır.

Boehm (1992), ekserji analizi yönteminin termodinamik sistem tasarımında uygulanabilirliğini göstermiştir. Valero ve Tsatsaronis (1992), ekserji analizini kullanarak enerji sistemlerinde verimlilik ve maliyet optimizasyonu ve simülasyonu konularında bir çalışma yapmışlardır.

Gool (1992), sanayi proseslerinin analizi için birinci kanun analizi yanında ekserji kavramının da faydalarını ayrıntılı olarak açıklamıştır. Buna göre ekserji analizi ile genel mühendislik yaklaşımı arasındaki temel farkın ikinci kanunun

kullanımından dolayı değil, termodinamik fonksiyonların değerlerini hesaplamak için farklı referans durumlarının kullanımından ileri geldiğini göstermiştir.

Tsatsaronis (1993), bir enerji tesisine, enerji sistemlerinin optimum tasarımını ve performansını hesaplamak için mühendislik ekonomisinin genel kavramları ile ekserjinin bir araya getirilmesinden oluşan termoeconomik analizi uygulamıştır.

M. J. Moran ve E. Sciubba (1994), ekserji analizinin temel prensiplerini açıklayarak fiziksel ve kimyasal ekserji kavramlarını tanımlamışlar ve ifadeleri formülize ederek güç sistemlerine nasıl uygulanabileceğini göstermişlerdir. Yaptıkları çalışmada petrol, doğalgaz ve kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının sistemler tarafından efektif bir şekilde kullanılmalılarının önemine dikkat çekmişlerdir. Ayrıca bu enerji kaynaklarının uygulama alanları üzerinde hem ekserji prensiplerinin hem de enerji analizinin mevcut literatürü başarıyla kullanarak atık ve kayıpların büyüklüklerini, tiplerini ve meydana geldiği yerleri tespit etmişlerdir.

Mohammed (1995), Katar'da bulunan binalar için yalıtım malzemeleri ve optimum yalıtım kalınlığı ile ilgili çeşitli hesaplamalar yapmıştır.

M. A. Habib vd., Suudi Arabistan'da bulunan 400 MW'lık Ghazlan Güç Santrali'nde Termodinamiğin I. ve II. Yasasını uyguladıkları detaylı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Nakicenovic vd. (1996), çeşitli ülkelerin ekserji ve enerji durumlarını sektörlere göre incelemişlerdir. Sözkonusu çalışmalarda konutlara harcanan yararlı ekserjinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tekin (1996), yaptığı çalışmada Erzurum Şeker Fabrikası için ekserji analizi gerçekleştirmiştir.

Ertay (1997), Türkiye'de konut sektörü için enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Sözkonusu çalışmada konut sektörünün diğer sektörlerle karşılaştırıldığında en düşük ekserji verimliliğine sahip sektör olduğu görülmüştür.

Adamo vd. (1997), İtalya'da yaptıkları çalışmada 300 (üçyüz) km. boru dağıtım şebekesine sahip bir bölgesel ısıtma sisteminde Termoeconomik analiz metodunu kullanarak optimum boru çaplarını ve yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Optimum değerlere uyulması durumunda, boru dağıtım

şebekesinden yılda 55.380 USD tasarruf edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Erduranlı (1997), Karabük Demir Çelik Fabrikası'ndaki termik santralin ekserji analizini yapmıştır. Termik santrali oluşturan kazan, kondenser, ısıtıcılar ve türbinin enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Çalışmada en büyük kaybın olduğu ünitenin kazan olduğunu tespit etmiştir.

Tsatsaronis ve Moran (1997), yaptıkları çalışmada ekserji verimi, kayıp ekserji miktarı, ekserji kayıp oranı, kayıp ekserjinin maliyeti gibi Termoekonomik değişkenleri kullanarak yakıt olarak doğal gaz kullanılan bir elektrik güç kojenerasyon sisteminde minimum maliyet analizini gerçekleştirmişlerdir.

Manninen ve Zhu (1998), bir güç santralini inceledikleri çalışmalarında, sistemin termodinamik analizini Termodinamiğin I. ve II. Yasaları açısından değerlendirmişler ve Termoekonomi yöntemini de kullanarak sistemin optimum şartlarını belirlemişlerdir.

İleri ve Gürer (1998), yaptıkları çalışmada ülkemizin enerji ve ekserji durumunu incelemişler ve her bir sektör için enerji ve ekserji kayıplarını belirlemişlerdir. Bu çalışmada konutlarda harcanan enerjinin ekserji verimlerinin çalışmada incelenen diğer sektörlerle göre daha düşük olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmada Türkiye'nin tükettiği enerjinin ancak % 35'inin yararlı enerji olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Ekserjinin ise % 83,9'u kullanılmazken, % 13,1'inin faydalı ekserji olarak kullanıldığı görülmüştür.

Hasan, optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması için bir çalışma yapmıştır. Söz konusu çalışmada farklı yakıt ve yalıtım malzemeleri için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak Taşyünü ve Polistiren kullanılarak elde edilebilecek enerji tasarrufuna miktarının 21 $\$/m^2$ ye kadar çıktığı ve geri ödeme süresinin 1-1.7 yıl ve 1.3-2.3 yıl olduğu tespit edilmiştir.

S. I. Gustafsson (2000), yaptığı çalışmada eski binalarda kullanılan enerjiyi azaltmak amacıyla optimizasyon yapmış ve bunun için bir simülasyon programı geliştirmiştir. Bu programı kullanarak ısıtma sistemlerinde "Ömür Maliyet Analizi" (Life-Cycle-Cost) karşılaştırması yapmıştır. Kullanımda olan binalarda yalıtım ölçülerinin optimizasyonu ile ilgili olarak yaptığı bir diğer çalışmada ise yine (Life-Cycle-Cost) metodunu kullanmış ve bölgesel ısıtma sistemlerinde işletme maliyetlerini düşürebilmek amacı ile binalarda yeniden yalıtım yapılması ve ısı

kayıplarını en aza indirecek şekilde binaların tasarlanmalarının gerektiğini vurgulamıştır.

Song (2000), ısıtma sistemlerini toplam enerji sistemi açısından inceleyerek gerçek yakıt maliyetlerini ekserjiye dayalı hesaplamıştır.

Aydın (2000), pencerelerde iki cam arasındaki hava tabakası kalınlığının ısı kaybı üzerindeki etkisini inceleyerek Ankara, Kars, Trabzon ve Antalya illeri için optimum hava kalınlıklarını hesaplamıştır. Bu çalışmaya göre hava tabakası kalınlıkları Antalya için 18-21 mm., Ankara ve Trabzon için 15-18 mm. ve Kars için de 12-15 mm. olarak tespit edilmiştir. Bulunan bu değerlere uyulması halinde pencereler vasıtası ile gerçekleşen ısı kayıplarının Antalya'da % 40, Trabzon'da % 34, Ankara'da % 29 ve Kars'ta da % 21 oranında azalma kaydedeceği belirlenmiştir.

Yantovski (2000), Eksergoekonomi konusunda yapılan çalışmalarını incelemiş ve eksergoekonomiyi kullanarak sistemlerin optimizasyon bağıntılarını çıkartmıştır. Bu bağıntılar yardımı ile ekserji kaybını minimuma indirebilmek için bir model geliştirmiş ve yaptığı çalışmayı birkaç örnekleme ile desteklemiştir. Geliştirdiği modeli kanıtlayabilmek için yaptığı örneklemede optimum duvar kalınlığını tespit amacı ile bir duvardaki ısı transferini ele alarak yalıtım kalınlığı optimizasyonu yapmış ve optimum yalıtım kalınlığını $0,24 \text{ metre} < d_{\text{opt}} < 0,44 \text{ metre}$ ve birim alandan geçen ısı transferi miktarını ($q_{\text{opt}} = 49.7 \text{ W/m}^2$) olarak hesaplamıştır.

Mohsen tarafından gerçekleştirilen ve binanın ısıtma ihtiyacını belirlemeye yönelik çalışmada, izolasyon malzemesi olarak geliştirilmiş polistiren kullanılmış ve bu sayede % 76,8 'e varan enerji tasarrufu elde edilmiştir.

Ertesvag (2001), çeşitli ülkelerin değişik sektörlerindeki enerji ve ekserji kayıplarını analiz ederek sözkonusu sektörlerdeki ekserji verimlerini hesaplamıştır.

Çomaklı ve Yüksel, Erzurum, Kars ve Erzincan illerini baz alarak optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması için LCC (Life-Cycle Cost) "Ömür Maliyet Analizi" yöntemini de kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada sözkonusu iller için optimum yalıtım kalınlıkları, elde edilebilecek enerji tasarrufu miktarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları Erzurum için 0.1048 metre, Kars için 0.1073 metre ve Erzincan için 0.085 metre olmuştur.

Bolattürk tarafından Isparta için yapılan çalışmada, dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığı incelenmiş ve yalıtım malzemesi olarak polistiren kullanıldığında, çalışmada belirlenen optimum kalınlık değeri için % 60.2 oranında enerji tasarrufu elde edilmiştir.

Gölcü, Dombaycı ve Abalı, Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, yakıt olarak ithal kömür ve fuel-oil kullanıldığı durumda; dış duvarlardaki optimum yalıtım kalınlığı, elde edilebilecek enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi incelenmiştir. Yalıtım malzemesi olarak taşıyünü kullanılmıştır. 10 yıllık ömür süresi için; ithal kömür kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı 0.048 metre, fuel-oil kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı 0.082 metre elde edilmiş ve yıllık tasarruf miktarı ise kömür için 12 YTL/m² ve fuel-oil için 38.91 YTL/m² olarak hesaplanmıştır. İthal kömür kullanıldığında geri ödeme süresi 2.4 yıl, fuel-oil için ise 1.6 yıl olarak hesaplanmıştır.

Arslan ve Köse tarafından Kütahya'da yapılan çalışmada duvarda yoğunlaşan buharın oluşturduğu film tabakası da dikkate alınarak yalıtım kalınlığının optimizasyonu yapılmıştır. Söz konusu çalışmada optimum yalıtım kalınlıkları 0.060 metre, 0.065 metre ve 0.075 metre olarak belirlenmiş ve iç sıcaklığın 18 ° C, 20 ° C ve 22 ° C olduğu hallerde sırası ile % 74.9, % 76.3 ve % 78.8 oranında enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür.

Aytaç ve Aksoy tarafından enerji tasarrufu amacıyla dış duvarlardaki optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma ilişkisini belirlemek amacı ile Elazığ'da beş farklı yakıt türü (kömür, doğalgaz, fuel-oil, LPG ve elektrik) ve iki farklı yalıtım malzemesi (genleştirilmiş polistiren ve taşıyünü) kullanılarak dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Hesaplamalar dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar olmak üzere iki farklı duvar modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda en iyi sonuç; yakıt olarak kömür kullanıldığında ve yalıtım malzemesi olarak da genleştirilmiş polistiren kullanıldığında elde edilmiştir. Belirlenen yakıt türü ve yalıtım malzemesi için dıştan yalıtımlı bir bina için geri ödeme süresi 4.6 yıl ve yıllık tasarruf 16.359 \$/m², sandviç tür duvarda ise 4.2 yıl ve 20.188 \$/m² sonuçları elde edilmiştir.

Çomaklı vd. tarafından Erzurum'da yapılan çalışmada, Atatürk Üniversitesine ait kampüs alanındaki ısı dağıtım şebekesi üzerinde enerji ve ekserji kayıpları incelenmiştir. Üniversiteye ait binalardaki ısıtma ve sıcak su ihtiyacının bölgesel ısıtma ile sağlandığı ve bir sezonda yaklaşık olarak 10.000 ton fuel-oil tüketilen sisteme ait çapı 65 ila 250 mm. arasında değişen ve 11.988 metre uzunluğundaki ısıtma hattı incelenmiştir. Söz konusu çalışmada ısı dağıtım sırasındaki ekserji kayıplarının değerinin yaklaşık olarak ekserjinin % 16 sı kadar olduğu görülmüştür.

1.9. Tezin Amacı ve Kapsam

Ülkemizde enerji tasarrufu ile ilgili önemli çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Enerji tasarrufu sadece enerjii sadece asgari düzeyde kullanmak anlamına gelmeyip, enerjinin tüketimini de asgari düzeye indirecek çeşitli önlemler almayı gerektirmektedir. Enerjii daha verimli kullanmak da enerji tasarrufu yöntemlerinden birisidir.

Ülkemizde yalıtımsızlık nedeni ile ortaya çıkan enerji kaybının mali değeri yaklaşık olarak yılda 2 Milyar ABD Doları civarındadır.

Konutlardaki ısıtma amaçlı enerji ihtiyacını % 60 azaltmayı hedefleyen TS 825 standardı 14 Haziran 1995 tarih ve 23725 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmış ve Bayındırlık Bakanlığı'nca zorunlu standart olarak 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren tüm binalarda uygulanmaya başlanmıştır.

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardının amacı; standart hesap metodunu belirlemek, binaların toplam ısı kaybı değerini bulmak, ısıtma enerjisini sınırlamak, enerji tasarrufu sağlamak, ideal tasarım seçeneğini belirlemek, mevcut binaların ısıtma/soğutma enerjisi ihtiyacını belirlemek, mevcut binalarda yenileme projesi öncesi sağlanacak tasarrufları belirlemek ve binaların ilerideki enerji ihtiyacını tahmin etmek olarak özetlenebilir.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından revizyonu yapılarak tamamlanan Binalarda Isı Yönetmeliği de 8 Mayıs 2000 tarih ve 24043 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Yalıtımla ilgili Standart oluşturarak yasal birtakım tedbirler alınmasına karşın, standardın tarif ettiği hesaplama yöntemleri Termodinamiğin I. Yasasına uygun gerçekleştirilmektedir. Halbuki termodinamik sistemlerin analizinde sadece I. Kanun analizi ile elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi bazı hatalara neden olabilmektedir. Bu nedenle incelediğimiz bir termodinamik bir sistemde I. Kanun analizi ile birlikte II. Kanun analizinin de yapılması daha doğru sonuçlar verecektir.

Yapılan çalışmada yer alan uygulamada Ankara’da bulunan bir bina için ekonomik yalıtım kalınlığının ekserji ekonomik yöntem yardımı ile belirlenmesine çalışılmıştır.

EKSERJİ ANALİZİ

2.1. Ekserji Kavramı

Bir sistemi değerlendirirken sistemin ihtiva ettiği enerji miktarını bilmemiz tek başına bir anlam ifade etmemektedir. Esas bilinmesi gereken sistemin “iş potansiyeli” veya “iş yapma olanağı”nın bilinmesidir.

Bir hal değişimi sırasında yapılan iş, ilk hale, son hale ve izlenen yola bağlıdır. Termodinamik bir sistemde ilk hal bellidir ve bu sebepten dolayı değişken değildir. İlk hal ile son hal arasında sistem tarafından yapılan en çok iş, hal değişiminin tersinir olması durumunda gerçekleşir. Tersinir iş ise belirli iki hal arasındaki değişim sırasında sistemden elde edilebilecek maksimum yararlı iş olarak tanımlanmaktadır. Bu iş ilk ve son haller arasındaki değişim tümten tersinir olarak gerçekleştiği zaman elde edilir. Tümten tersinir bir hal değişiminde tersinmezlik sıfırdır. Çünkü böyle bir proseste tersinmezliklerin ölçüsü olan entropi üretimi gerçekleşmemektedir. Bu nedenden dolayı sistemden elde edilebilecek en çok işi belirlerken tersinmezlikler hesaba katılmaz. Son olarak sistemden en çok işi elde edebilmek için, hal değişimi sonunda sistemin ölü hale ulaşması gerekir. Bir sistemin ölü halde olması çevresi ile termodinamik dengede bulunması anlamına gelir.

Ölü halde iken sistem çevrenin basınç ve sıcaklığındadır. Başka bir deyişle sistem, çevre ile ısı ve mekanik denge halindedir. Ölü hal durumunda $P_0 = 1 \text{ Atm.}$ (101,325 Kpa) ve $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ (298,15 °K) kabul edilmektedir. Ayrıca sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri de sıfırdır. Ölü halde iken sistem çevre ile kimyasal reaksiyona girmez ve çevre ile arasında dengelenemeyen

manyetik, elektrik veya yüzey gerilme etkileri de yoktur.

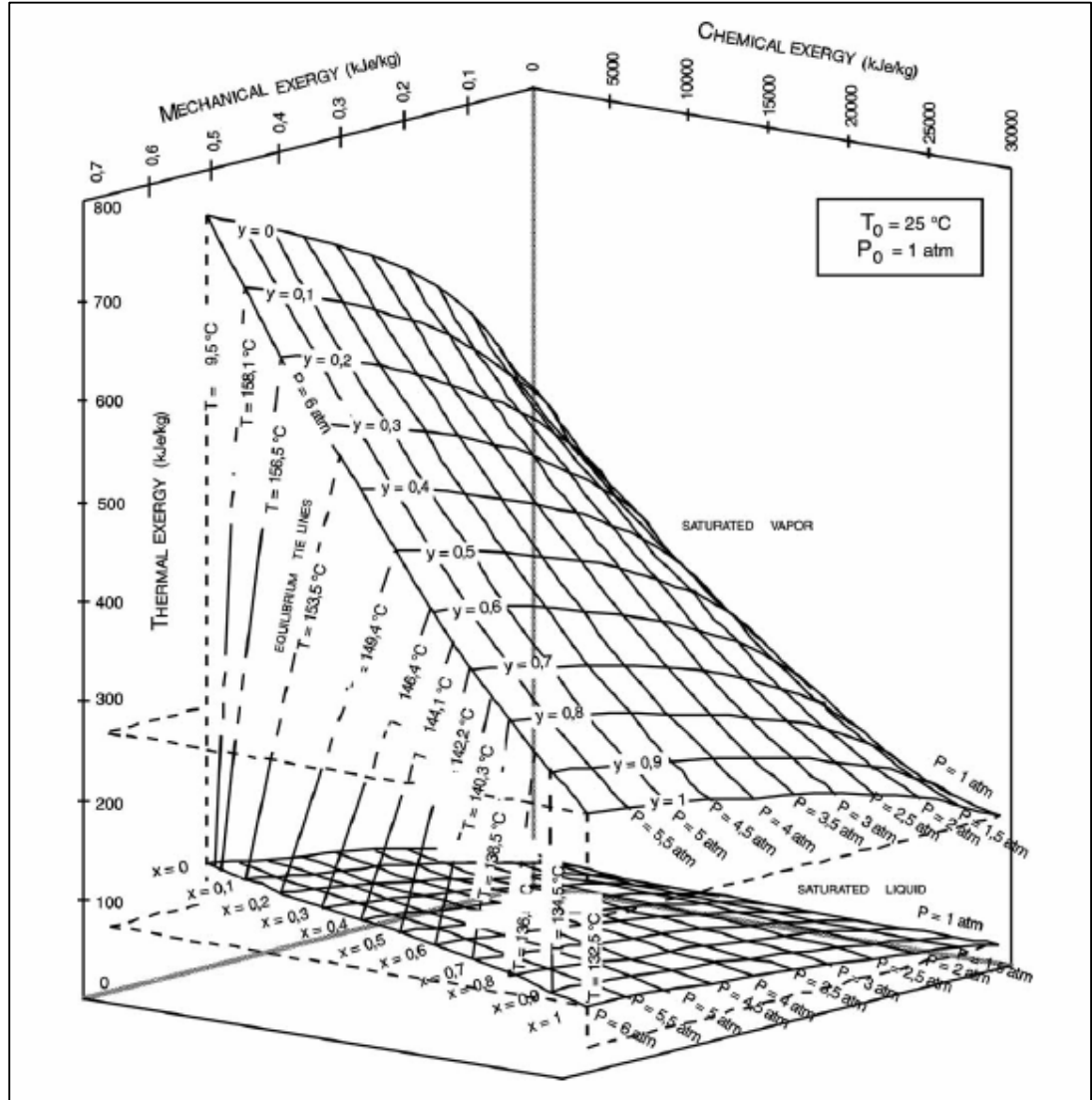
Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değişimi ile çevrenin bulunduğu hale (ölü hale) getirilir ise elde edilebilir. Bu değer sistemin verilen başlangıç halinde yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olanağını göstermektedir ve “kullanılabilirlik” olarak adlandırılır.

Kullanılabilirlik “**availability**” terimi Amerika Birleşik Devletlerinde 1940’lı yıllarda MIT Mühendislik Fakültesinde kullanılmış ve bilim çevreleri tarafından da benimsenmiştir.

Ekserji, Kotas (1985), Szargut vd. (1988), ve Bejan vd. (1996) tarafından bir sistemin belirli başlangıç halinden ölü hale ulaşmaya kadar elde edilebilecek en fazla teorik yararlı iş olarak tanımlanmaktadır.

Ekserji kelimesi yunanca ex (dış) ve ergon (kuvvet, iş) kelimelerinden türetilmiştir. İlk kez 1924 yılında S. Carnot tarafından kullanıldığı kabul edilmektedir (Wall 1998). Ekserji analizi konusundaki çalışmalar ise Gouy ve Stodola ile başlamış, sonraki yıllarda F. Bonsjokovic tarafından geliştirilerek modernize edilmiştir (Szargut 1988)

Günümüzde kullanılabilirlik “**availability**” yada teknik literatürdeki adı ile “**exergy**” kavramı; belirli bir haldeki sistemden elde edilebilecek en çok işi (enerjinin iş potansiyelini) yada diğer bir ifade ile sistemlerin niteliklerini ölçmek için kullanılmaktadır.

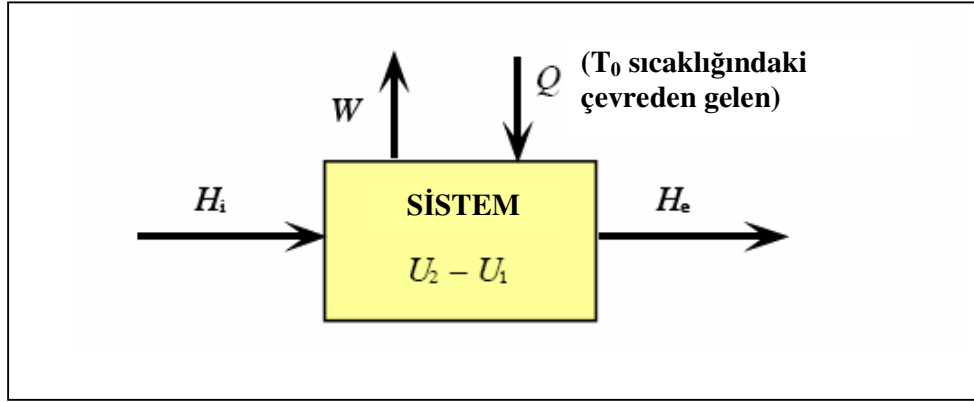


Şekil 2.1 Üç boyutlu ekserji diyagramı

Görüldüğü üzere, ekserji bir sistemin belirli bir halden çevre haline gidişinin bir ölçüsü olmaktadır. Bu bakımdan ekserji, bir sistemin niteliğini belirlemek için bir araç olmasının yanı sıra değişik sistemlerin iş potansiyellerini karşılaştırmak için de kullanılabilir. Sistemin ekserjisi, her hal değişimi sonucunda azalmaktadır, korunması olanaksızdır. Ekserjinin azalması, farklı sistemlerin karşılaştırılması için bir ölçüt olarak alınabilmektedir.

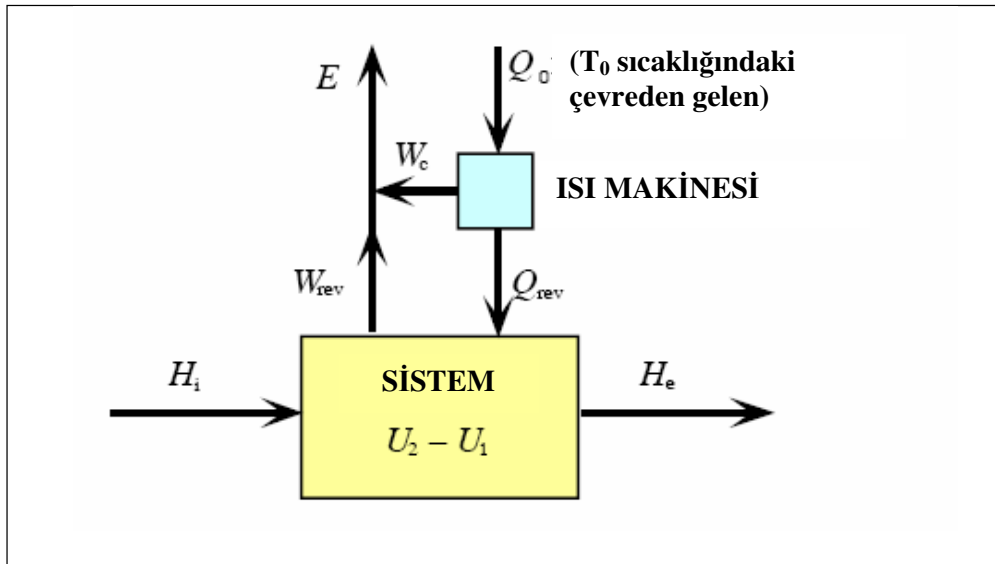
2.2. Ekserjinin Matematiksel Olarak Tanımlanması (Bir Prosesin Ekserjisi)

Şekil 2.2 de yer alan açık ve kapalı bir sistemin birleşimi olan tersinmez bir proses tanımlayalım. Tanımladığımız tersinmez processte iç enerji değişimi $U_2 - U_1$, giriş ve çıkış entalpileri $H_G - H_C$ olsun.



Şekil 2.2 Tersinmez sistem

Şekil 2.2 de tanımlamış olduğumuz sisteme tersinir bir ısı makinesi ekleyerek Şekil 2.3 deki gibi tersinir bir sistem elde edersek;



Şekil 2.3. Tersinir ısı makinesi eklenmiş tersinmez sistem

Isı makinesinin işini W_C , tersinir prosesten elde edebileceğimiz maksimum işi ise E (EKSERJİ) ile ifade edersek;

$$E = W_{TER} + W_C \quad (2.1)$$

elde edilir.

Eğer tersinir proses ile birleştirilmiş sisteme Termodinamiğin I. Yasasını uygularsak;

$$Q_{TER} + H_G = U_2 - U_1 + W_{TER} + H_C \quad (2.2)$$

$$W_{TER} = Q_{TER} + H_G - H_C - (U_2 - U_1) \quad (2.3)$$

elde edilir.

Termodinamiğin Birinci yasasını ısı makinesine uygularsak;

$$W_C = Q_0 - Q_{TER} \quad (2.4)$$

Termodinamiğin II. yasası ile;

$$S_{TER} = \frac{Q_0}{T_0} \quad (2.5)$$

S_{TER} ifadesi Q_{TER} ısı ile ilgili entropi değeridir. Böylece ısı makinesinin işi;

$$W_C = T_0 S_{TER} - Q_{TER} \quad (2.6)$$

Sistem için Termodinamiğin ikinci yasasını uygulayarak;

$$S_{TER} = S_2 - S_1 - S_C - S_G \quad (2.7)$$

Böylece ısı makinesinden gelen iş;

$$W_C = T_0 (S_2 - S_1 - S_C - S_G) - Q_{TER} \quad (2.8)$$

W_{TER} ve W_C denklemlerini E eşitliğinde yerine koyarsak;

$$E = Q_{TER} + H_G - H_C - (U_2 - U_1) + T_0 (S_2 - S_1 - S_C - S_G) - Q_{TER} \quad (2.9)$$

$$E = H_G - T_0 S_G - (H_C - T_0 S_C) + (U_1 - T_0 S_1) - (U_2 - T_0 S_2) \quad (2.10)$$

$$E = E_G - E_C + E_1 - E_2 \quad (2.11)$$

elde edilir.

Yukarıdaki denklemden de görüleceği üzere, sistem T_0 çevre sıcaklığına ulaştığında sistemden elde edilebilecek Q_{TER} tersinir işi yok olmaktadır. Bu tersinir iş, sistemden elde edilebilecek maksimum iş olup “ekserji” olarak isimlendirilmektedir. Ekserji, enerjinin diğer formlarına tamamıyla dönüştürülebilen parçasıdır.

2.3. Ekserjinin Bileşenleri

Bir sistemin toplam ekserji'si, sistem üzerinde nükleer, manyetik, elektrik ve yüzey gerilmesi gibi etkiler bulunmadığında fiziksel ekserji E^F , kinetik ekserji E^K , potansiyel ekserji E^P ve kimyasal ekserji E^C olmak üzere dört bileşenden oluşmaktadır.

Bu durumda toplam ekserji;

$$E = E^K + E^P + E^C + E^F \quad (2.12)$$

olarak tanımlanır.

Kinetik, potansiyel ve fiziksel ekserjilerin toplamı literatürde “Termomekanik Ekserji” (Thermomechanic Exergy) olarak adlandırılmaktadır.

Sistemin toplam özgül exerjisi ise;

$$e = e^k + e^p + e^c + e^f \quad (2.13)$$

olarak tanımlanır.

Referans noktası olarak aldığımız çevreye göre değerlendirdiğimizde, sistem sahip olduğu halden çevre koşullarına ulaşmaya kadar sistemin tümüyle işe dönüştürülebilen enerjileri, kinetik ve potansiyel enerjileridir. Hız v , yerçekimi sabiti g ve yükseklik z olarak tanımlandığında, sistemin kinetik ve potansiyel ekserjileri;

$$e^k = \frac{1}{2} V^2 \quad (2.14)$$

$$e^p = gz \quad (2.15)$$

olarak tanımlanır.

Kimyasal ekserji; Bejan vd. (1996) tarafından bir kimyasal tepkime ile birlikte kimyasal kompozisyonu ölü hale ulaşan sistemden elde edilebilecek en fazla teorik iş olarak tanımlanmaktadır.

μ_i kimyasal aktivasyon enerjisi ve y_i mol oranına bağlı olarak tanımlandığında kimyasal ekserji;

$$\tilde{a}_{kim} = \sum (\mu_{i,o} - \mu_{i,oo}) y_i \quad (2.16)$$

$$\mu_{i,o} = \tilde{g}_i(T_o, P_o) + \tilde{R}T_o \ln(P_i / P_o) \quad (2.17)$$

$$\mu_{i,oo} = \tilde{g}_i(T_o, P_o) + \tilde{R}T_o \ln(P_{i,oo} / P_o) \quad (2.18)$$

Genel ekserji bağıntısı aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\frac{dW_{top}}{dt} = \left[\sum_{j=1}^q (N\tilde{a}_{top})_j - \sum_{i=1}^n (W)_i \right] - \left[\sum_{k=1}^r (N\tilde{a}_{top})_k \right] - T_o \dot{S}_{mez} \quad (2.19)$$

$$T_o \dot{S}_{mez} = E$$

Burada, W faydalı işi, N mol sayısını ifade etmektedir.

Fiziksel ekserji, sistemin sahip olduğu T sıcaklığındaki ve P basıncındaki ilk halinden, T₀ sıcaklığında ve P₀ basıncında bulunan ölü hale (çevre koşullarına) gelinceye kadar elde edilebilen maksimum teorik faydalı iştir.

Kapalı bir sistem için fiziksel ekserji;

$$E^F = (U - U_0) + p_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) \quad (2.20)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Eşitlikte U, V, S sırasıyla sistemin belirlenen bir haldeki iç enerjisini, hacmini ve entropisini göstermektedir. U₀, V₀, S₀ ise aynı sırayla sistem ölü hale ulaştığındaki özellikleri göstermektedir.

2.4. Sistemlerden Ekserji Geçişi

Genel olarak bir sistemden Ekserji geçişi;

- Isı alışverişi ile,
- İş alışverişi ile,
- Madde akışı ile (Kütle ile birlikte enerji transferi) olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleşebilir.

2.4.1. Isı Alışverişinin Ekserji Eşdeğeri:

Sıcaklığı T olan kapalı bir sistemle çevresi arasındaki ∂Q değerindeki ısı alışverişinin ekserji eşdeğeri, sistemle ortam arasında çalıştırılan ısı makinesinin ∂Q ısısından üreteceği iş olarak tanımlanır. Isı makinesinin üreteceği iş, $(1-T_0/T)\partial Q$ kadar olacağından, T sıcaklığına sahip sisteme transfer edilen ∂Q ısısının ∂E^o ekserji eşdeğeri aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\partial E^o = \partial W = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \partial Q \quad (2.21)$$

Kapalı sistemin hali ısı transferi sonucunda 1 'den 2 'ye değişiyorsa, 1 ve 2 halleri arasında sisteme transfer edilen ısısının ekserji eşdeğeri, (2.21) ifadesinin integrali alınarak belirlenir. Burada, sisteme transfer edilen ısısının pozitif alındığı kabul edilmiştir. Kapalı sistemin sıcaklığı sabit ya da sistemin sınırı ısısının transfer edildiği ısı deposuna kadar genişletilmiş varsayılmıştır.

$${}_1E_2^o = \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \partial Q \quad (2.22)$$

$${}_1E_2^o = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) {}_1Q_2 \quad (2.23)$$

Burada yapılmış tanımlara göre, $T > T_0$ ise ve sisteme ısı geçişi oluyorsa, ısı alışverişinin ekserji eşdeğeri pozitif olur. $T > T_0$ ise ve sistemden ortama ısı geçişi oluyorsa, ısı alışverişinin ekserji eşdeğeri negatif olur. $T < T_0$ ise ve sisteme ısı geçişi oluyorsa, ısı alışverişinin ekserji eşdeğeri negatif ve $T < T_0$ iken sistemden ısı transferi söz konusu ise, ısı alışverişinin ekserji eşdeğeri pozitif olacaktır.

2.4.2. İş Alışverişinin Ekserji Eşdeğeri:

Kapalı bir sistem ${}_1W_2$ işini yapıyorsa, sistem ortam içinde genişlediğinden, bu işin $P_0(V_2 - V_1)$ şeklinde tanımlanan değeri ortam üzerinde yapılacaktır. Bununla, sistemin yaptığı işten, sistemin ortam üzerinde yaptığı iş çıkarıldıktan sonra geriye kalan miktar kullanılabilir işe çevrilebilir. Kullanılabilir işin ekserji eşdeğeri aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$${}_1E_2^W = {}_1W_2 - P_0(V_2 - V_1) \quad (2.24)$$

İşin ekserji eşdeğeri diferansiyel olarak da yazılabilir.

$$\partial E^W = \partial W - P_0 dV \quad (2.25)$$

(2.25) ifadesinin her iki tarafı Δt ile bölünüp $\Delta t \rightarrow 0$ limiti alınır, E^W gücün ekserji eşdeğeri tanımlanır.

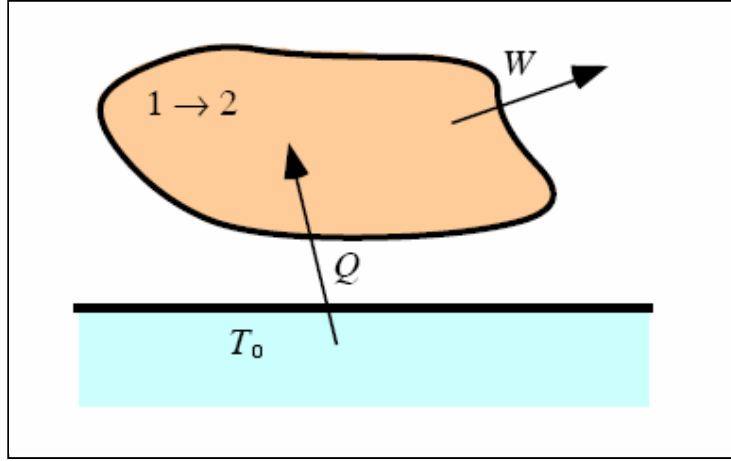
$$E^W = W - P_0 \frac{dV}{dt} \quad (2.26)$$

2.4.3. Madde akışının (Kütle ile birlikte enerji transferi) Ekserji Eşdeğeri:

Kararlı akış halindeki bir maddenin ekserjisi; sadece çevre ile etkileşebilen akışın prosesler vasıtası ile başlangıç durumundan çevrenin ölü durumuna getirildiği zaman elde edilen iş miktarı olarak tanımlanmaktadır.

2.5. Ekserji Kaybı Kavramı

Şekil 2.4 deki gibi T_0 çevre sıcaklığındaki bir kaynaktan Q ısısını alarak 1 durumundan 2 durumuna giden ve bu sırada W işini elde ettiğimiz termodinamik bir sistem tanımlarsak;



Şekil 2.4 Termodinamik bir sistem

Tanımladığımız sistem için termodinamiğin birinci yasasını uygularsak;

$$Q = U_2 - U_1 + W \quad (2.27)$$

Sistemin entropi değişimini;

$$S_{\text{sis}} = S_2 - S_1 \quad (2.28)$$

olarak tanımlayabiliriz.

Kaynak Q ısını verdiğinde kaynağın entropi değişimi;

$$S_{KAYNAK} = \frac{Q}{T_o} \quad (2.29)$$

olarak tanımlanabilir.

Sistem ve çevrenin toplam entropi değişimini S^{TOP} ile gösterirsek;

$$S^{TOP} = S_{SIS} - S_{KAYNAK} = S_2 - S_1 - (Q / T_o) \quad (2.30)$$

(2.30) ve (2.27) denklemlerinde Q ifadesini yok ederek;

$$W = U_2 - U_1 - T_o (S_1 - S_2) - T_o S^{TOP} \quad (2.31)$$

ifadesini elde ederiz.

Toplam entropi değişimi termodinamiğin ikinci yasasına göre daima pozitif olacaktır.

$$S^{TOP} > 0 \quad (2.32)$$

(2.31) ve (2.32) eşitlikleri W işinin sistemden elde edilebilecek maksimum değerini verir.

Söz konusu maksimum değer, tersinir bir proses için toplam entropi üretimi $S^{TOP} = 0$ olduğunda elde edilir.

Tersinir bir prosesimiz olduğu ve T_o sıcaklığındaki bir ısı kaynağından ısı alarak sistemimizin 1 durumundan 2 durumuna geldiğini kabul ettiğimizde elde edebileceğimiz maksimum iş;

$$E = U_1 - U_2 - T_o (S_1 - S_2) \quad (2.33)$$

olacaktır.

Eğer (2.31) ve (2.33) denklemlerini birleştirirsek;

$$W = E - T_0 S^{\text{TOP}} \quad (2.34)$$

elde edilir.

Entropi üretimi daima pozitif olduğundan ekserji, sistemden elde edilebilecek iş için bir üst sınır verir. Elde edilebilir iş W , ekserji değeri ile sınırlıdır.

Entropi üretiminin S^{TOP} olduğu tersinmez bir proses için bu değer, kullanılabilir iş kaybı yada ekserji kaybına karşılık gelir. Tersinmez bir proses için ;

$$W_{\text{KAYIP}} = E_{\text{KAYIP}} = T_0 S^{\text{TOP}} \text{ ve } S^{\text{TOP}} \geq 0 \quad (2.35)$$

yazılabilir.

Bu ifade Literatürde Gouy-Stodola Teoremi olarak bilinmektedir. Eşitlikten de görüleceği üzere Kullanılabilir Enerji Kaybı (Ekserji Kaybı) asla negatif olamaz. Ekserji kaybı, izlenen yola yani sistem tasarımına bağlıdır, sistemin termodinamik bir özelliği değildir. Bu nedenle Ekserji Kaybı sistemlerin farklı tasarımlarını karşılaştırmak için kullanılabilir.

Sonuç olarak bir sistemdeki Ekserji kaybı;

$$\underline{\text{Ekserji Kaybı}} = \underline{\text{Çevre Sıcaklığı (Ölü hal sıcaklığı) x Sistemdeki Entropi Üretim Değeri}}$$

olarak ifade edilebilir.

BİNA ISITMA ENERJİSİ İHTİYACININ BELİRLENMESİ (TS-825) VE EKSERJİ KAYIPLARININ HESAPLANMASI

3.1. İncelenen Binanın Tanıtımı

Çalışmada incelenen bina Ankara'da yer alan ve konut olarak kullanılan 3 katlı bir yapıdır. Hesaplamalar binanın mimari projesindeki ölçüler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın bina içerisindeki tüm mahallerde aynı ve 19 °C olduğu kabul edilmiş, hesaplamalara ısı köprüleri dahil edilmemiştir. Dış duvarlarda (Dd1) daha yüksek seviyede bir yalıtım sağlayabilmek amacıyla sandviç duvar olduğu kabulü ile hesaplamalar yapılmıştır. Pencere ve kapıların çift cam oldukları ve 6 cm lik PVC malzemenin imal edildikleri kabul edilmiştir. Çalışmada izolasyon malzemesi olarak sıkıştırılmış Polistiren Levha kullanılmıştır.

Yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayılarının hesaplanması sırasında TS-825 standardında belirtilen hususlara riayet edilmiştir. Hesaplamalar yapılırken; mahallerden gelen ısı kazançları dikkate alınmış, boya/badana/halı/iç dekorasyon gibi ilave yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları toplam ısı iletkenlik katsayısı hesabına dahil edilmemiştir.

İlk aşamada, incelenen binanın dış duvarlarına (Dd1) herhangi bir izolasyon malzemesi uygulanmadığı, yapıya ait taban (temel) ve tavan (çatı) kısımlarına ise incelenen yapının bulunduğu il için (Ankara-illere göre derece gün bölgeleri sınıflandırmasında 3. Bölge) TS-825 standardında tavsiye edilen toplam ısı iletkenlik sınır değerlerini sağlayacak tür ve kalınlıkta izolasyon malzemesi kullanıldığı kabul edilmiştir. İncelenen binada kullanılan ve benzer teknik

özelliklere sahip diğer yapı elemanları arasında en fazla ısı kaybının, binayı çevreleyen Dış Duvarlardan (Dd1) gerçekleşeceği kabul edilerek sadece binanın yanal alanları hesaplamalarda kullanılmıştır. Bu kısımdaki hesaplamalarda yalnızca Dış Duvarların (Dd1) yalıtımsız olduğu kabulü ile kullanılan tüm yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayıları, binadan gerçekleşen ısı kayıpları ile bunun sonucu olarak ortaya çıkan ekserji kayıplarının aylık ve yıllık değerleri hesaplanmıştır.

İkinci aşamada, hesaplamalara temel teşkil eden Dış Duvarlar (Dd1) da dahil olmak üzere binayı oluşturan tüm yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik değerleri TS-825 standardında bölgelere göre tavsiye edilen sınır değerlerde olacak şekilde izolasyon malzemesi kalınlığı (0,038 m) belirlenmiştir. Yeni durum için mahallerdeki sıcaklığın 19 °C olduğu kabulü ile binadan gerçekleşen ısı kayıpları ve ekserji kayıpları aylık ve yıllık olarak bir kez daha hesaplanmıştır.

Üçüncü aşamada, hesaplamaların gerçekleştirildiği Dış Duvarlara (Dd1) 0,01 metreden başlayarak 0,05 metreye kadar farklı kalınlıklarda izolasyon malzemesi uygulanmaya başlanmış, her seferinde yeni duruma göre yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayıları, binadan gerçekleşen ısı kayıpları ve ekserji kayıpları yine aylık ve yıllık değerleri gösterecek şekilde hesaplanmıştır.

TS-825 standardına göre binanın özgül ısı kaybı miktarı (H), dış yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybı (Hi) ile havalandırma yolu ile gerçekleşen ısı kaybı (Hh) değerlerinin toplanması ile elde edilmektedir. Binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı değerini (Hi) tespit edebilmek için öncelikle ısı geçişlerinin meydana geldiği yüzey alanlarını belirlemek gerekmektedir. İnceleme yaptığımız binada Pencere Alanını A_P , Dış Duvar Alanını A_D , Tavan Alanını A_T , Isıtılmayan Düşük Sıcaklıktaki Bodrum Tabanını A_{dsc} ve Toprak Temaslı Taban Alanını A_T ile ifade edersek, yapı kabuğundan gerçekleşen ısı kaybı değeri TS 825 standardına göre aşağıda yer alan denklemler ile hesaplanacaktır.

$$H_i = \sum AU + \ell U \ell$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{dsc} A_{dsc}$$

Çalışmada yer alan bina için formüldeki ifadeler, mimari proje üzerinden ayrı ayrı

belirleyerek takip eden çizelgelerde yer alan değerler bulunmuştur.

Binanın Yüksekliği	10,965	metre
Binanın Eni	18,650	metre
Binanın Boyu	22,950	metre
Binanın Toplam Yanal Yüzey Alanı	912,288	m ²

Çizelge 3.1. Binanın yanal yüzey alanları

No	Yapı Elemanının Cinsi	Ebadı	Alan	Birim	Yönü
1	Pencere	1,40 x 0,70	0,980	m ²	Kuzey
2	Pencere	1,40 x 0,70	0,980	m ²	Kuzey
3	Pencere	1,40 x 0,70	0,980	m ²	Kuzey
	Kuzey Toplamı		2,940	m ²	
1	Pencere	1,40 x 0,70	0,980	m ²	Güney
2	Pencere	1,40 x 0,70	0,980	m ²	Güney
3	Pencere	1,40 x 0,70	0,980	m ²	Güney
	Güney Toplamı		2,940	m ²	
1	Pencere	1,40 x 0,70	0,980	m ²	Batı
2	Pencere	0,90 x 0,70	0,630	m ²	Batı
3	Pencere	0,63 x 0,70	0,441	m ²	Batı
	Batı Toplamı		2,051	m ²	
	Toplam Alan		7,93	m ²	

Çizelge 3.2. Bodrum kat kapı ve pencere alanları

No	Yapı Elemanının Cinsi	Ebadı	Alan	Birim	Yönü
1	Pencere	0,57 x 3,15	1,796	m ²	Kuzey
2	Kapı	1,95 x 2,95	5,753	m ²	Kuzey
3	Pencere	0,62 x 3,15	1,953	m ²	Kuzey
4	Pencere	1,25 x 3,15	3,938	m ²	Kuzey
5	Pencere	0,57 x 3,15	1,796	m ²	Kuzey
6	Pencere	4,40 x 2,20	9,680	m ²	Kuzey
7	Pencere	4,40 x 2,20	9,680	m ²	Kuzey
8	Pencere	3,20 x 2,20	7,040	m ²	Kuzey
	Kuzey Toplamı		41,634	m ²	
1	Pencere	2,85 x 2,20	6,270	m ²	Doğu
2	Kapı	1,50 x 2,87	4,305	m ²	Doğu
	Doğu Toplamı		10,575	m ²	
1	Pencere	2,60 x 1,70	4,420	m ²	Güney
2	Pencere	0,90 x 1,70	1,530	m ²	Güney
3	Pencere	0,90 x 1,70	1,530	m ²	Güney
4	Pencere	1,60 x 1,70	2,720	m ²	Güney
5	Pencere	0,65 x 1,70	1,105	m ²	Güney
6	Pencere	2,20 x 1,70	3,740	m ²	Güney
7	Pencere	0,65 x 1,70	1,105	m ²	Güney
	Güney Toplamı		16,150	m ²	
1	Pencere	1,00 x 2,20	2,200	m ²	Batı
2	Pencere	2,20 x 2,20	4,840	m ²	Batı
3	Pencere	2,20 x 2,20	4,840	m ²	Batı
	Batı Toplamı		11,880	m ²	
	Toplam Alan		80,24	m²	

Çizelge 3.3. Zemin kat kapı ve pencere alanları

No	Yapı Elemanının Cinsi	Ebadı	Alan	Birim	Yönü
1	Pencere	2,10 x 1,35	2,835	m ²	Kuzey
2	Kapı	0,90, x 2,30	2,070	m ²	Kuzey
3	Pencere	3,80 x 1,45	5,510	m ²	Kuzey
4	Kapı	0,90 x 2,30	2,070	m ²	Kuzey
5	Pencere	0,75 x 1,35	1,013	m ²	Kuzey
6	Pencere	0,75 x 1,35	1,013	m ²	Kuzey
7	Kapı	0,90 x 2,30	2,070	m ²	Kuzey
8	Pencere	2,95 x 1,45	4,278	m ²	Kuzey
	Kuzey Toplamı		20,858		
1	Pencere	2,15 x 1,35	2,903	m ²	Doğu
2	Pencere	0,90 x 1,35	1,215	m ²	Doğu
	Doğu Toplamı		4,118		
1	Pencere	2,60 x 1,60	4,160	m ²	Güney
2	Pencere	0,90 x 1,60	1,440	m ²	Güney
3	Pencere	0,90 x 1,60	1,440	m ²	Güney
4	Kapı	0,90 x 2,30	2,070	m ²	Güney
5	Pencere	0,75 x 1,35	1,013	m ²	Güney
6	Kapı	0,90 x 2,30	2,070	m ²	Güney
7	Pencere	1,60 x 3,82	6,112	m ²	Güney
	Güney Toplamı		18,305		
1	Pencere	1,00 x 1,35	1,350	m ²	Batı
2	Pencere	2,20 x1,35	2,970	m ²	Batı
3	Pencere	2,20 x1,35	2,970	m ²	Batı
	Batı Toplamı		7,290		
	Toplam Alan		50,57	m ²	

Çizelge 3.4. Normal kat kapı ve pencere alanları

Kuzey Yön Kapı ve Pencere Alanları Toplamı	65,432	m ²
Güney Yön Kapı ve Pencere Alanları Toplamı	37,395	m ²
Doğu Yön Kapı ve Pencere Alanları Toplamı	14,693	m ²
Batı Yön Kapı ve Pencere Alanları Toplamı	21,221	m ²
Toplam Alan	138,74	m²

Çizelge 3.5. Yönlere göre kapı ve pencere alanları

Bina Dış Duvar Alanları Toplamı (Tuğla-Dd1)	A_{Dd1}	618,548	m^2
Bina Dış Duvar Alanları Toplamı (Perde-Dd2)	A_{Dd2}	155,000	m^2

Çizelge 3.6. Binanın dış duvar alanları toplamı

Kapı ve Pencere Alanları Toplamı	A_p	138,740	m^2
Bina Dış Duvar Alanları Toplamı (Yanal)	A_D	773,548	m^2
Tavan Alanları Toplamı	A_T	358,140	m^2
Toprak Temaslı Taban Alanları Toplamı	A_t	358,140	m^2

Çizelge 3.7. Binanın ısı kaybeden yüzey alanları toplamı

Binanın en, boy ve yükseklik değerleri kullanılarak $V_{BRÜT}$ değerini hesapladığımızda;

$$V_{BRÜT} = 358,14 \times 10,965 \times 3,927 \text{ m}^3 \quad \text{elde edilir.}$$

TS-825'e göre;

$$A_n = 0,2 \times V_{BRÜT}$$

$$A_n = 0,32 \times 3,927$$

$$A_n = 1,256,64 \text{ m}^2 \text{ değeri bulunur.}$$

Binanın dış yüzeylerinden olan ısı kaybını hesaplayabilmek amacıyla öncelikle ilk hal için (dış duvarların yalıtımsız olduğu hal) toplam ısı iletim katsayılarını tespit etmemiz gerekmektedir.

3.2 Bina Dış Duvarının (Dd1) Yalıtımsız Olduğu Halin İncelenmesi

3.2.1 Yalıtımsız dış duvar için toplam ısı iletim katsayıları

İşareti	: Dd 1			
Açıklaması	: Dış Duvar			
U_D (W/m ² K°)	: 1,292			
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,50			
Uygunluk	: UYGUN DEĞİL			
Toplam Kalınlık (m)	: 0.21			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.13			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αdış (m ² K°/W) 0.04			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık (metre)	λ (W/mK°)	Birim Hacim (kg/m ³)	Su Buharı Dif. Fak.
Kireç harcı, kireç-çimento harcı (4.1)	0,020	0,870	1.800	15
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Çimento Harcı (4.2)	0,020	1,400	2.000	15
Yapı elemanı için toplam ısı iletim katsayısı: U=1,292 olarak bulunur.				

Çizelge 3.8. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal için toplam ısı iletim katsayısı

İşareti	: Dd 2			
Açıklaması	: Dış Duvar			
U_D (W/m ² K°)	: 0,50			
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,50			
Uygunluk	: UYGUN			
Toplam Kalınlık (m)	: 0,3911			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.13			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αdış (m ² K°/W) 0.04			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık (metre)	λ (W/mK°)	Birim Hacim (kg/m ³)	Su Buharı Dif. Fak.
Kireç harcı, kireç-çimento harcı (4.1)	0,020	0,870	1.800	15
Normal beton (TS 500'e uygun doğal agrega veya normal mıcır kullanılarak yapılmış betonlar-Donatılı) (5.1.1)	0,300	2,100	2.400	70
Yüzeyi pürüzlü veya pürüzlü veya kanallı levhalar (10.2.2.1)	0,0511	0,031	>20	80
Çimento Harcı (4.2)	0,020	1,400	2.000	15
Yapı elemanı için toplam ısı geçiş katsayısı: U=0,50 olarak bulunur.				

Çizelge 3.9. Dış duvarın (Dd2) TS-825'e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

İşareti	: Dö 1			
Açıklaması	: Taban (Toprağa Temas Eden)			
U (W/m ² K°)	: 0,45			
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,45			
Uygunluk	: UYGUN			
Toplam Kalınlık (m)	: 0,7147			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.17			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αdış (m ² K°/W) 0			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık	λ	Birim Hacim	Su Buharı
	(metre)	(W/mK°)	(kg/m ³)	Dif. Fak.
Çimento harçlı şap (4.6)	0,030	1,400	2.000	15
Yüzeyi düzgün (ciltli) levhalar (10.2.2.2)	0,0447	0,028	>=30	80
Çimento harçlı şap (4.6)	0,030	1,400	2.000	15
Normal beton (TS 500'e uygun doğal agrega veya normal mıcır kullanılarak yapılmış betonlar-Donatılı) (5.1.1)	0,300	2,100	2.400	70
Polimer Bitümlü Su Yalıtımı (9.2.2.6)	0,010	0,870	2.000	20.000
Kum, kum-çakıl (2.1)	0,300	1,400	1.800	1
Yapı elemanı için toplam ısı geçiş katsayısı: U=0.45 olarak bulunur.				

Çizelge 3.10. Tabanın (toprağa temas eden) TS-825'e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

İşareti	: Ta 1			
Açıklaması	: Çatı			
U (W/m ² K°)	: 0,30			
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,30			
Uygunluk	: UYGUN			
Toplam Kalınlık (m)	: 0,284			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.13			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αdış (m ² K°/W) 0.08			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık	λ	Birim Hacim	Su Buharı
	(metre)	(W/mK°)	(kg/m ³)	Dif. Fak.
Kireç harcı, kireç-çimento harcı (4.1)	0,020	0,870	1.800	15
Normal beton (TS 500'e uygun doğal agrega veya normal mıcır kullanılarak yapılmış betonlar-Donatılı) (5.1.1)	0,150	2,100	2.400	70
Yüzeyi düzgün (ciltli) levhalar (10.2.1.2.2)	0,084	0,028	30	8
Çimento harçlı şap (4.6)	0,030	1,400	2.000	15
Yapı elemanı için toplam ısı geçiş katsayısı: U=0,30 olarak bulunur.				

Çizelge 3.11. Çatının (Ta1) TS-825'e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

Yapmış olduğumuz hesaplamalar neticesinde dış duvarların (Dd1) yalıtımsız olduğu hal için binada kullanılmakta olan yapı elemanlarına ait U değerleri elde edilmiştir.

İşaret	Açıklama	U (W/m ² °K)	Kalınlık (m)	Uygunluk
Dd 1	Dış Duvar	1,292	0,21	UYG. DEĞ.
Dd 2	Dış Duvar	0,50	0,3911	UYGUN
Dp	Dış Pencere	2,80		
Dk	Dış Kapı	2,80		
Döl	Taban (Toprağa Temas Eden)	0,45	0,7147	UYGUN
Ta 1	Çatı	0,30	0,2840	UYGUN

Çizelge 3.12. Yalıtımsız hal için yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayıları

3.2.2. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu kabulü ile bina ısı ve ekserji kaybı hesabı

Dış duvarların (Dd1) yalıtımsız olduğu hal için elde ettiğimiz “U” toplam ısı iletkenlik değerlerini kullanarak binanın ısı kaybeden yüzeylerinden gerçekleşen kayıp miktarını (H_i) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplırsak;

$$H_i = \sum A U + \ell U \ell$$

$$\sum A U = U_D A_D + U_P A_P + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_I A_I + U_d A_d + 0.5 U_{dsc} A_{dsc}$$

Üzerinde inceleme yaptığımız yapıda dış havaya açık taban (A_d) ve düşük sıcaklıktaki ortamları birbirinden ayıran elemanlar (A_{dsc}) bulunmadığından ve ayrıca hesaplamalar sırasında ısı köprüleri (U_I) ihmal edildiğinden, yapı dış

kabuğundan gerçekleşen ısı kaybı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$H_i = U_{Dd1} \times A_{Dd1} + U_{Dd2} \times A_{Dd2} + U_p \times A_p + 0,8 \times U_T \times A_T + 0,5 \times U_t \times A_t$$

$$H_i = 1,292 \times 618,5 + 0,5 \times 155 + 2,8 \times 138,74 + 0,8 \times 0,3 \times 358,14 + 0,5 \times 0,5 \times 358,1$$

$$H_i = 799,2 + 77,5 + 388,5 + 86,0 + 80,6$$

$$H_i = 1431,7 \text{ W/K}$$

İncelemekte olduğumuz binada herhangi mekanik bir havalandırma sistemi mevcut olmadığı kabul edilmektedir. Hesaplamalarımızda sadece kapı ve pencerelerden gerçekleşen doğal havalandırma etkisi olduğu varsayımı ile havalandırma katsayısı $n_h = 1,0 \text{ h}^{-1}$ kabul edilmiştir.

Havalandırma ile meydana gelen kayıpların hesabında (H_h) kullanmak için öncelikle (V_h) değeri bulunur;

$$V_h = 0,8 \times V_{BRÜT}$$

$$V_h = 0,8 \times 3927 \text{ m}^3$$

$$V_h = 3.142 \text{ m}^3$$

$$H_h = 0,33 \times n_h \times V_h$$

$$H_h = 1.037 \text{ W/K} \quad \text{değeri elde edilir.}$$

Elde ettiğimiz değerleri kullanarak binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı (H_i) ile havalandırma nedeniyle oluşan ısı kaybının (H_h) toplamı olan yapının özgül ısı kaybının değeri (H) ;

$$H = H_i + H_h$$

$$H = 1.431,7 + 1037$$

$$H = 2.468,7 \text{ W/K} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Isı kazancı olarak iç ısı kazançları ve güneş enerjisi vasıtası ile elde edilecek ve aylara göre değişen miktarlarda ısı kazancı söz konusu olacaktır.

Binanın konut olarak kullanılmakta olduğundan hareketle TS-825'e göre iç ısı kazancı miktarını 5 W/m^2 olarak aldığımızda binanın toplam iç ısı kazanç değeri(Φ_i);

$$\Phi_i = 5 \times A_n$$

$$\Phi_i = 5 \times 1256,6$$

$$\Phi_i = 6.283,20 \text{ Watt} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Binanın güneş enerjisinden kaynaklanan ısı kazançlarının hesaplanması için, binanın ayrı ve az katlı binaların bulunduğu bir yerleşim bölgesinde inşa edildiği ve çevresinde bulunan bitki örtüsü nedeniyle gölgelenme etkisi altında olacağı kabulleri ile TS-825'e göre $r_{i,ay} = 0,6$ olarak seçilmiştir.

Binada kullanılan kapı ve pencereler çift cam oldukları için hesaplamalarda kullanılacak (g_L) değeri $g_L = 0,75$ olarak seçilerek aşağıdaki formülde yerine konulduğunda;

$$g_{i,ay} = 0,8 \times g_L$$

$$g_{i,ay} = 0,8 \times 0,75$$

$$g_{i,ay} = 0,6 \text{ elde edilir.}$$

Yukarıda yer alan hesaplamalar yapıldıktan sonra TS-825'deki aylık güneş

ışınımı şiddetleri tablosundan alınacak ($I_{i,ay}$) değerleri yardımı ile aylık ortalama güneş enerjisi kazançları aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$\Phi_{g,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$$

Yaptığımız hesaplamalar neticesinde elde ettiğimiz binaya ait aylık ortalama güneş enerjisi kazanç değerleri aşağıda yer almaktadır.

$\Phi_{g,OCAK}$	=	2137,67	W
$\Phi_{g,ŞUBAT}$	=	2739,33	W
$\Phi_{g,MART}$	=	3499,33	W
$\Phi_{g,NISAN}$	=	3835,64	W
$\Phi_{g,MAYIS}$	=	4573,32	W
$\Phi_{g,HAZİRAN}$	=	4811,36	W
$\Phi_{g,TEMMUZ}$	=	4685,61	W
$\Phi_{g,AĞUSTOS}$	=	4342,02	W
$\Phi_{g,EYLÜL}$	=	3588,05	W
$\Phi_{g,EKİM}$	=	2808,93	W
$\Phi_{g,KASIM}$	=	2068,06	W
$\Phi_{g,ARALIK}$	=	1858,18	W

Çizelge 3.13. Binanın aylık ortalama güneş enerjisi kazançları

Binaya ait iç sıcaklık ve aylık dış sıcaklık değerleri de kullanılarak yapının Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır;

$$KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{g,ay}) / H (T_{i,ay} - T_{d,ay})$$

Aylar	$\Phi_{i,ay}$	$\Phi_{g,ay}$	H	$T_{i,ay}$	$T_{d,ay}$	KKO_{ay}
Ocak	6283,20	2137,67	2468,7	19	1,3	0,19
Şubat	6283,20	2739,33	2468,7	19	2,0	0,21
Mart	6283,20	3499,33	2468,7	19	5,0	0,28
Nisan	6283,20	3835,64	2468,7	19	9,8	0,45
Mayıs	6283,20	4573,32	2468,7	19	14,1	0,90
Haziran	6283,20	4811,36	2468,7	19	18,1	4,99
Temmuz	6283,20	4685,61	2468,7	19	21,1	-2,12
Ağustos	6283,20	4342,02	2468,7	19	20,6	-2,69
Eylül	6283,20	3588,05	2468,7	19	16,5	1,60
Ekim	6283,20	2808,93	2468,7	19	11,3	0,48
Kasım	6283,20	2068,06	2468,7	19	6,5	0,27
Aralık	6283,20	1858,18	2468,7	19	2,6	0,20

Çizelge 3.14. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal için kazanç/kayıp oranları

Elde ettiğimiz aylık Kazanç/Kayıp oranlarını (KKO_{ay}) kullanarak yapının aylık ortalama kazanç kullanım faktörünü aşağıdaki formül yardımı ile hesaplarız:

$$\eta_{ay} = 1 - \exp \left(-1 / KKO_{ay} \right)$$

Aylar	KKO_{ay}	η_{ay}
Ocak	0,19	0,99
Şubat	0,21	0,99
Mart	0,28	0,97
Nisan	0,45	0,89
Mayıs	0,90	0,67
Haziran	4,99	0,00
Temmuz	-2,12	0,00
Ağustos	-2,69	0,00
Eylül	1,60	0,46
Ekim	0,48	0,87
Kasım	0,27	0,97
Aralık	0,20	0,99

Çizelge 3.15. Yalıtımsız hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri

KKO_{ay} oranı 2,5 ve üzerinde bir değer aldığı takdirde o ay için binada ısı kaybı olmadığı kabul edildiğinden Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında kazanç kullanım faktörü sıfır kabul edilir.

Elde edilen tüm değerler kullanılarak Aylık periyotlar halinde binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını ve buradan da Aylık ve yıllık Ekserji kayıplarını hesaplamak mümkündür.

Aylar	Isı Kayıpları			Isı Kazançları			Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam		
	$H=H_i+H_h$	T_i-T_d	$H(T_i-T_d)$	Φ_i	Φ_g	$\Phi_t=\Phi_i+\Phi_g$	η_{ay}	Q_{ay}
	(W/°K)	(°K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)	(-)	(kJ)
Ocak	2.468,70	17,7	43.696,0	6.283,2	2.137,7	8.420,9	0,99	91.651.378
Şubat	2.468,70	17,0	41.967,9	6.283,2	2.739,3	9.022,5	0,99	85.628.252
Mart	2.468,70	14,0	34.561,8	6.283,2	3.499,3	9.782,5	0,97	64.988.552
Nisan	2.468,70	9,2	22.712,0	6.283,2	3.835,6	10.118,8	0,89	35.526.657
Mayıs	2.468,70	4,9	12.096,6	6.283,2	4.573,3	10.856,5	0,67	12.500.600
Haziran	2.468,70	0,9	2.221,8	6.283,2	4.811,4	11.094,6	0	0
Temmuz	2.468,70		0,0	6.283,2	4.685,6	10.968,8	0	0
Ağustos	2.468,70		0,0	6.283,2	4.342,0	10.625,2	0	0
Eylül	2.468,70	2,5	6.171,8	6.283,2	3.588,1	9.871,3	0,46	4.227.484
Ekim	2.468,70	7,7	19.009,0	6.283,2	2.808,9	9.092,1	0,87	28.768.175
Kasım	2.468,70	12,5	30.858,8	6.283,2	2.068,1	8.351,3	0,97	58.988.815
Aralık	2.468,70	16,4	40.486,7	6.283,2	1.858,2	8.141,4	0,99	84.050.051

Çizelge 3.16. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları

Aylar	Aylık Isı Kaybı Miktarı	İç Sıcaklık	Aylık Ortalama Çevre Sıcaklığı	Aylık Çevre Sıcaklığı	Aylık Ekserji Kaybı
	(KJ)	(°K)	(°C)	(°K)	(KJ)
Ocak	91.651.378	292	1,3	274,3	5.555.580
Şubat	85.628.252	292	2,0	275,0	4.985.206
Mart	64.988.552	292	5,0	278,0	3.115.889
Nisan	35.526.657	292	9,8	282,8	1.119.333
Mayıs	12.500.600	292	14,1	287,1	209.770
Haziran	0	292	18,1	291,1	0
Temmuz	0	292	21,1	294,1	0
Ağustos	0	292	20,6	293,6	0
Eylül	4.227.484	292	16,5	289,5	36.194
Ekim	28.768.175	292	11,3	284,3	758.613
Kasım	58.988.815	292	6,5	279,5	2.525.206
Aralık	84.050.051	292	2,6	275,6	4.720.619
Toplam Isı Kaybı Miktarı (Yıllık)			466.329.964	KJ	
Toplam Ekserji Kaybı Miktarı			23.026.412	KJ	

Çizelge 3.17. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları

3.3 Bina Dış Duvarına (Dd1) TS-825 Standardında Tavsiye Edilen Isıl İletkenlik Katsayısı Değerlerinde Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi

3.3.1 TS-825 standardına uygun yalıtım kalınlığı için toplam ısı iletkenlik katsayıları

İşareti	: Dd 1			
Açıklaması	: Dış Duvar			
U_D (W/m ² K°)	: 0,50			
Yönetmelik K Değeri (W/m ² K°)	: 0,50			
Uygunluk	: UYGUN			
Toplam Kalınlık (m)	: 0,248			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.13			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αdış (m ² K°/W) 0.04			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık (metre)	λ (W/mK°)	Birim Hacim (kg/m ³)	Su Buharı Dif. Fak.
Kireç harcı, kireç-çimento harcı (4.1)	0,020	0,870	1.800	15
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Yüzeyi pürüzlü veya pürüzlü veya kanallı levhalar (10.2.2.1)	0,038	0,031	>20	80
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Çimento Harcı (4.2)	0,020	1,400	2.000	15
Yapı elemanı için toplam ısı iletim katsayısı: U=0,50 olarak bulunur.				

Çizelge 3.18. Dış duvara (Dd1) TS-825'de tavsiye edilen kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

İşareti	: Dd 2			
Açıklaması	: Dış Duvar			
U_D (W/m^2K°)	: 0,50			
Yönetmelik U Değeri (W/m^2K°)	: 0,50			
Uygunluk	: UYGUN			
Toplam Kalınlık (m)	: 0,3911			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	$1/\alpha_{iç}$ (m^2K°/W) : 0.13			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	$1/\alpha_{dış}$ (m^2K°/W) 0.04			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık	λ	Birim Hacim	Su Buharı
	(metre)	(W/mK°)	(kg/m^3)	Dif. Fak.
Kireç harcı, kireç-çimento harcı				
(4.1)	0,020	0,870	1.800	15
Normal beton (TS 500'e uygun doğal agregası veya normal mıcır kullanılarak yapılmış betonlar-Donatılı)				
(5.1.1)	0,300	2,100	2.400	70
Yüzeyi pürüzlü veya pürüzlü veya kanallı levhalar				
(10.2.2.1)	0,0511	0,031	>20	8
Çimento Harcı				
(4.2)	0,020	1,400	2.000	15
Yapı elemanı için toplam ısı geçiş katsayısı:				
U=0,50 olarak bulunur.				

Çizelge 3.19. Dış duvarın (Dd2) TS-825'e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

İşareti	: Dö 1
Açıklaması	: Taban (Toprağa Temas Eden)
U (W/m ² K°)	: 0,45
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,45
Uygunluk	: UYGUN
Toplam Kalınlık (m)	: 0,7147
Birinci Taşınım Katsayısı	:
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.17
İkinci Taşınım Katsayısı	:
	1/αdış (m ² K°/W) 0
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:	
	Kalınlık λ Birim Hacim Su Buharı
	(metre) (W/mK°) (kg/m ³) Dif. Fak.
Çimento harçlı şap (4.6)	0,030 1,400 2.000 15
Yüzeyi düzgün (ciltli) levhalar (10.2.2.2)	0,0447 0,028 >=30 80
Çimento harçlı şap (4.6)	0,030 1,400 2.000 15
Normal beton (TS 500'e uygun doğal agrega veya normal mıcır kullanılarak yapılmış betonlar-Donatılı) (5.1.1)	0,300 2,100 2.400 70
Polimer Bitümlü Su Yalıtımı (9.2.2.6)	0,010 0,870 2.000 20.000
Kum, kum-çakıl (2.1)	0,300 1,400 1.800 1
Yapı elemanı için toplam ısı geçiş katsayısı: U=0.45 olarak bulunur.	

Çizelge 3.20. Tabanın (toprağa temas eden) TS-825'e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

İşareti	: Ta 1			
Açıklaması	: Çatı			
U (W/m ² K°)	: 0,30			
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,30			
Uygunluk	: UYGUN			
Toplam Kalınlık (m)	: 0,284			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.13			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αdış (m ² K°/W) 0.08			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık	λ	Birim Hacim	Su Buharı
	(metre)	(W/mK°)	(kg/m ³)	Dif. Fak.
Kireç harcı, kireç-çimento harcı (4.1)	0,020	0,870	1.800	15
Normal beton (TS 500'e uygun doğal agrega veya normal mıcır kullanılarak yapılmış betonlar-Donatılı) (5.1.1)	0,150	2,100	2.400	70
Yüzeyi düzgün (ciltli) levhalar (10.2.1.2.2)	0,084	0,028	30	8
Çimento harçlı şap (4.6)	0,030	1,400	2.000	15
Yapı elemanı için toplam ısı geçiş katsayısı: U=0,30 olarak bulunur.				

Çizelge 3.21. Çatının (Ta1) TS-825'e uygun yalıtıldığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

Yapmış olduğumuz hesaplamalar neticesinde binada kullanılmakta olan yapı elemanlarına ait U değerleri elde edilmiştir.

İşaret	Açıklama	U (W/m ² °K)	Kalınlık (m)	Uygunluk
Dd 1	Dış Duvar	0,50	0,248	UYGUN
Dd 2	Dış Duvar	0,50	0,3911	UYGUN
Dp	Dış Pencere	2,80		
Dk	Dış Kapı	2,80		
Döl	Taban (Toprağa Temas Eden)	0,45	0,7147	UYGUN
Ça 1	Çatı	0,30	0,284	UYGUN

Çizelge 3.22. TS-825’de tavsiye edilen kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayısı

3.3.2 Dış duvarın (Dd1) TS-825 standardında tavsiye edilen toplam ısı iletkenlik katsayısına uygun olarak belirlenen yalıtım kalınlığında olduğu kabulü ile bina ısı ve ekserji kaybı hesapları

$$H_i = U_{Dd1} \times A_{Dd1} + U_{Dd2} \times A_{Dd2} + U_p \times A_p + 0,8 U_T \times A_T + 0,5 U_t \times A_t$$

$$H_i = 0,50 \times 618,5 + 0,5 \times 155 + 2,8 \times 138,74 + 0,8 \times 0,3 \times 358,14 + 0,5 \times 0,45 \times 358,14$$

$$H_i = 309,3 + 77,5 + 388,5 + 86,0 + 80,6$$

$$H_i = 941,8 \quad \text{W/K}$$

Havalandırma katsayısı daha önceki hesaplamalarda $n_h = 1,0 \text{ h}^{-1}$ olarak kabul edilmişti bu nedenle yine aynı değer kullanılacaktır.

Havalandırma ile meydana gelen kayıp miktarını belirlemek için kullandığımız (H_h) ile (V_h) değerlerini yalıtımsız hali incelerken (V_h) = 3.142 m³ ve (H_h)= 1.037 W/K olarak hesaplamıştık.

Elde ettiğimiz değerleri kullanarak binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı (H_i) ile havalandırma nedeniyle oluşan ısı kaybının (H_h) toplamı olan yapının özgül ısı kaybının değerini (H) hesapladığımızda;

$$H = H_i + H_h$$

$$H = 941,8 + 1037$$

$$H = 1.978,8 \quad \text{W/K}$$

Binanın konut olarak kullanılacağı kabulü ile iç ısı kazanç miktarı 5 W/m^2 olarak kabul edilmişti, yine aynı değeri kullanarak binanın toplam iç ısı kazanç değeri(Φ_i)= 6283,20 Watt olarak elde edilir.

Yapının aylık ortalama güneş enerjisi kazançları da daha önce hesaplandığı için yeniden hesaplama gereği duyulmamıştır.

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) ise aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	$\Phi_{i,\text{ay}}$	$\Phi_{g,\text{ay}}$	H	$T_{i,\text{ay}}$	$T_{d,\text{ay}}$	KKO_{ay}
Ocak	6283,20	2137,67	1978,8	19	1,3	0,24
Şubat	6283,20	2739,33	1978,8	19	2,0	0,27
Mart	6283,20	3499,33	1978,8	19	5,0	0,35
Nisan	6283,20	3835,64	1978,8	19	9,8	0,56
Mayıs	6283,20	4573,32	1978,8	19	14,1	1,12
Haziran	6283,20	4811,36	1978,8	19	18,1	6,23
Temmuz	6283,20	4685,61	1978,8	19	21,1	-2,64
Ağustos	6283,20	4342,02	1978,8	19	20,6	-3,36
Eylül	6283,20	3588,05	1978,8	19	16,5	2,00
Ekim	6283,20	2808,93	1978,8	19	11,3	0,60
Kasım	6283,20	2068,06	1978,8	19	6,5	0,34
Aralık	6283,20	1858,18	1978,8	19	2,6	0,25

Çizelge 3.23. Dış duvarın (Dd1) TS-825'e uygun yalıtıldığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) vasıtası ile elde ettiğimiz aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri de aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	KKO_{ay}	η_{ay}
Ocak	0,24	0,98
Şubat	0,27	0,97
Mart	0,35	0,94
Nisan	0,56	0,83
Mayıs	1,12	0,59
Haziran	6,23	0,00
Temmuz	-2,64	0,00
Ağustos	-3,36	0,00
Eylül	2,00	0,39
Ekim	0,60	0,81
Kasım	0,34	0,95
Aralık	0,25	0,98

Çizelge 3.24. TS-825'e uygun yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım oranları

Aylar	Isı Kayıpları			Isı Kazançları			Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam		
	$H=H_i+H_h$	T_i-T_d	$H(T_i-T_d)$	Φ_i	Φ_g	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_g$		
	(W/°K)	(°K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)		
Ocak	1.978,80	17,7	35.024,8	6.283,2	2.137,7	8.420,9	0,98	69.393.819
Şubat	1.978,80	17,0	33.639,6	6.283,2	2.739,3	9.022,5	0,97	64.509.027
Mart	1.978,80	14,0	27.703,2	6.283,2	3.499,3	9.782,5	0,94	47.971.751
Nisan	1.978,80	9,2	18.205,0	6.283,2	3.835,6	10.118,8	0,83	25.417.988
Mayıs	1.978,80	4,9	9.696,1	6.283,2	4.573,3	10.856,5	0,59	8.529.686
Haziran	1.978,80	0,9	1.780,9	6.283,2	4.811,4	11.094,6	0	0
Temmuz	1.978,80		0,0	6.283,2	4.685,6	10.968,8	0	0
Ağustos	1.978,80		0,0	6.283,2	4.342,0	10.625,2	0	0
Eylül	1.978,80	2,5	4.947,0	6.283,2	3.588,1	9.871,3	0,39	2.843.972
Ekim	1.978,80	7,7	15.236,8	6.283,2	2.808,9	9.092,1	0,81	20.404.564
Kasım	1.978,80	12,5	24.735,0	6.283,2	2.068,1	8.351,3	0,95	43.548.985
Aralık	1.978,80	16,4	32.452,3	6.283,2	1.858,2	8.141,4	0,98	63.436.014

Çizelge 3.25. Dış duvara (Dd1) TS-825'de tavsiye edilen kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binamın aylık ısı kayıp ve kazançları

Aylar	Aylık Isı Kaybı Miktarı	İç Sıcaklık	Aylık Ortalama Çevre Sıcaklığı	Aylık Çevre Sıcaklığı	Aylık Ekserji Kaybı
	(KJ)	(°K)	(°C)	(°K)	(KJ)
Ocak	69.393.819	292	1,3	274,3	4.206.406
Şubat	64.509.027	292	2,0	275,0	3.755.663
Mart	47.971.751	292	5,0	278,0	2.300.015
Nisan	25.417.988	292	9,8	282,8	800.841
Mayıs	8.529.686	292	14,1	287,1	143.135
Haziran	0	292	18,1	291,1	0
Temmuz	0	292	21,1	294,1	0
Ağustos	0	292	20,6	293,6	0
Eylül	2.843.972	292	16,5	289,5	24.349
Ekim	20.404.564	292	11,3	284,3	538.066
Kasım	43.548.985	292	6,5	279,5	1.864.254
Aralık	63.436.014	292	2,6	275,6	3.562.845
Toplam Isı Kaybı Miktarı (Yıllık)			346.055.806	KJ	
Toplam Ekserji Kaybı Miktarı			17.195.574	KJ	

Çizelge 3.26. Dış duvara (Dd1) TS-825'de tavsiye edilen kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binamın aylık ve yıllık ekserji kayıpları

3.4 Bina Dış Duvarına (Dd1) 0.01 m. Kalınlığında Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi

3.4.1 Bina dış duvarı (Dd1) yalıtım kalınlığının 0.01 m. olduğu kabulü ile dış duvar için toplam ısı iletkenlik katsayıları

İşareti	: Dd 1			
Açıklaması	: Dış Duvar			
U_D (W/m ² K°)	: 0,911			
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,50			
Uygunluk	: UYGUN DEĞİL			
Toplam Kalınlık (m)	: 0.22			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.13			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αdış (m ² K°/W) 0.04			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık (metre)	λ (W/mK°)	Birim Hacim (kg/m ³)	Su Buharı Dif. Fak.
Kireç harcı, kireç-çimento harcı (4.1)	0,020	0,870	1.800	15
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Yüzeyi pürüzlü veya pürüzlü veya kanallı levhalar (10.2.2.1)	0,010	0,031	>20	80
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Çimento Harcı (4.2)	0,020	1,400	2.000	15
Yapı elemanı için toplam ısı iletim katsayısı: U=0,911 olarak bulunur.				

Çizelge 3.27. Dış duvara (Dd1) 0,01 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

Yapmış olduğumuz hesaplamalar neticesinde binada kullanılmakta olan yapı elemanlarına ait U değerleri elde edilmiştir.

İşaret	Açıklama	U (W/m ² °K)	Kalınlık (m)	Uygunluk
Dd 1	Dış Duvar	0,911	0,22	UYG. DEĞ.
Dd 2	Dış Duvar	0,50	0,3911	UYGUN
Dp	Dış Pencere	2,80		
Dk	Dış Kapı	2,80		
Dö1	Taban (Toprağa Temas Eden)	0,45	0,7147	UYGUN
Ça 1	Çatı	0,30	0,284	UYGUN

Çizelge 3.28. Dış duvara (Dd1) 0,01 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayıları

3.4.2 Dış duvarın (Dd1) yalıtım kalınlığının 0,01 m olduğu kabulü ile bina ısı ve ekserji kaybı hesapları

$$H_i = U_{Dd1} \times A_{Dd1} + U_{Dd2} \times A_{Dd2} + U_p \times A_p + 0,8 \times U_T \times A_T + 0,5 \times U_t \times A_t$$

$$H_i = 0,911 \times 618,5 + 0,5 \times 155 + 2,8 \times 138,74 + 0,8 \times 0,3 \times 358,14 + 0,5 \times 0,45 \times 358,14$$

$$H_i = 563,5 + 77,5 + 388,5 + 86,0 + 80,6$$

$$H_i = 1196,0 \text{ W/K}$$

Havalandırma katsayısı daha önceki hesaplamalarda $n_h = 1,0 \text{ h}^{-1}$ olarak kabul edilmişti bu nedenle yine aynı değer kullanılacaktır.

Havalandırma ile meydana gelen kayıp miktarını belirlemek için kullandığımız (H_h) ile (V_h) değerlerini yalıtımsız hali incelerken (V_h) = 3.142 m³ ve (H_h)= 1.037 W/K olarak hesaplamıştık.

Elde ettiğimiz değerleri kullanarak binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı (H_i) ile havalandırma nedeniyle oluşan ısı kaybının (H_h) toplamı olan yapının özgül ısı kaybının değerini (H) hesapladığımızda;

$$H = H_i + H_h$$

$$H = 1.196,0 + 1037$$

$$H = 2.233,0 \quad \text{W/K}$$

Binanın konut olarak kullanılacağı kabulü ile iç ısı kazanç miktarı 5 W/m^2 olarak kabul edilmişti, yine aynı değeri kullanarak binanın toplam iç ısı kazanç değeri(Φ_i)= 6283,20 Watt olarak elde edilir.

Yapının aylık ortalama güneş enerjisi kazançları da daha önce hesaplandığı için yeniden hesaplama gereği duyulmamıştır.

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) ise aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	$\Phi_{i,\text{ay}}$	$\Phi_{g,\text{ay}}$	H	$T_{i,\text{ay}}$	$T_{d,\text{ay}}$	KKO_{ay}
Ocak	6283,20	2137,67	2233,00	19	1,3	0,21
Şubat	6283,20	2739,33	2233,00	19	2,0	0,24
Mart	6283,20	3499,33	2233,00	19	5,0	0,31
Nisan	6283,20	3835,64	2233,00	19	9,8	0,49
Mayıs	6283,20	4573,32	2233,00	19	14,1	0,99
Haziran	6283,20	4811,36	2233,00	19	18,1	5,52
Temmuz	6283,20	4685,61	2233,00	19	21,1	-2,34
Ağustos	6283,20	4342,02	2233,00	19	20,6	-2,97
Eylül	6283,20	3588,05	2233,00	19	16,5	1,77
Ekim	6283,20	2808,93	2233,00	19	11,3	0,53
Kasım	6283,20	2068,06	2233,00	19	6,5	0,30
Aralık	6283,20	1858,18	2233,00	19	2,6	0,22

Çizelge 3.29. Dış duvara (Dd1) 0,01 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) vasıtası ile elde ettiğimiz aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri de aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	KKO_{ay}	η_{ay}
Ocak	0,21	0,99
Şubat	0,24	0,98
Mart	0,31	0,96
Nisan	0,49	0,87
Mayıs	0,99	0,63
Haziran	5,52	0,00
Temmuz	-2,34	0,00
Ağustos	-2,97	0,00
Eylül	1,77	0,43
Ekim	0,53	0,85
Kasım	0,30	0,96
Aralık	0,22	0,99

Çizelge 3.30. 0,01 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri

Aylar	Isı Kayıpları			Isı Kazançları			Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam		
	$H=H_i+H_h$	T_i-T_d	$H(T_i-T_d)$	Φ_i	Φ_g	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_g$		
	(W/°K)	(°K,°C)	(W)	(W)	(W)	(W)		
Ocak	2.233,00	17,7	39.524,1	6.283,2	2.137,7	8.420,9	0,99	80.837.839
Şubat	2.233,00	17,0	37.961,0	6.283,2	2.739,3	9.022,5	0,98	75.476.231
Mart	2.233,00	14,0	31.262,0	6.283,2	3.499,3	9.782,5	0,96	56.689.034
Nisan	2.233,00	9,2	20.543,6	6.283,2	3.835,6	10.118,8	0,87	30.430.621
Mayıs	2.233,00	4,9	10.941,7	6.283,2	4.573,3	10.856,5	0,63	10.632.625
Haziran	2.233,00	0,9	2.009,7	6.283,2	4.811,4	11.094,6	0	0
Temmuz	2.233,00		0,0	6.283,2	4.685,6	10.968,8	0	0
Ağustos	2.233,00		0,0	6.283,2	4.342,0	10.625,2	0	0
Eylül	2.233,00	2,5	5.582,5	6.283,2	3.588,1	9.871,3	0,43	3.467.737
Ekim	2.233,00	7,7	17.194,1	6.283,2	2.808,9	9.092,1	0,85	24.535.316
Kasım	2.233,00	12,5	27.912,5	6.283,2	2.068,1	8.351,3	0,96	51.568.600
Aralık	2.233,00	16,4	36.621,2	6.283,2	1.858,2	8.141,4	0,99	74.030.726

Çizelge 3.31. Dış duvarlara (Dd1) 0,01 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları

Aylar	Aylık Isı Kaybı Miktarı	İç Sıcaklık	Aylık Ortalama Çevre Sıcaklığı	Aylık Çevre Sıcaklığı	Aylık Ekserji Kaybı
	(KJ)	(°K)	(°C)	(°K)	(KJ)
Ocak	80.837.839	292	1,3	274,3	4.900.102
Şubat	75.476.231	292	2,0	275,0	4.394.164
Mart	56.689.034	292	5,0	278,0	2.717.967
Nisan	30.430.621	292	9,8	282,8	958.773
Mayıs	10.632.625	292	14,1	287,1	178.424
Haziran	0	292	18,1	291,1	0
Temmuz	0	292	21,1	294,1	0
Ağustos	0	292	20,6	293,6	0
Eylül	3.467.737	292	16,5	289,5	29.690
Ekim	24.535.316	292	11,3	284,3	646.993
Kasım	51.568.600	292	6,5	279,5	2.207.560
Aralık	74.030.726	292	2,6	275,6	4.157.890
Toplam Isı Kaybı Miktarı (Yıllık)			407.668.729	KJ	
Toplam Ekserji Kaybı Miktarı			20.191.563	KJ	

Çizelge 3.32. Dış duvarlara (Dd1) 0,01 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları

3.5 Bina Dış Duvarına (Dd1) 0.02 m Kalınlığında Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi

3.5.1 Bina dış duvarı (Dd1) yalıtım kalınlığının 0.02 m olduğu kabulü ile dış duvar için toplam ısı iletkenlik katsayıları

İşareti	: Dd 1		
Açıklaması	: Dış Duvar		
U_D (W/m ² K°)	: 0,704		
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,50		
Uygunluk	: UYGUN DEĞİL		
Toplam Kalınlık (m)	: 0,23		
Birinci Taşınım Katsayısı	:		
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.13		
İkinci Taşınım Katsayısı	:		
	1/αdış (m ² K°/W) 0.04		
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:			
	Kalınlık (metre)	λ (W/mK°)	Birim Hacim (kg/m ³)
Kireç harcı, kireç-çimento harcı (4.1)	0,020	0,870	1.800
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700
Yüzeyi pürüzlü veya pürüzlü veya kanallı levhalar (10.2.2.1)	0,020	0,031	>20
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700
Çimento Harcı (4.2)	0,020	1,400	2.000
Yapı elemanı için toplam ısı iletim katsayısı: U=0,704 olarak bulunur.			

Çizelge 3.33. Dış duvara (Dd1) 0,02 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

Yapmış olduğumuz hesaplamalar neticesinde binada kullanılmakta olan yapı elemanlarına ait U değerleri elde edilmiştir.

İşaret	Açıklama	U (W/m ² °K)	Kalınlık (m)	Uygunluk
Dd 1	Dış Duvar	0,704	0,23	UYG. DEĞ.
Dd 2	Dış Duvar	0,50	0,3911	UYGUN
Dp	Dış Pencere	2,80		
Dk	Dış Kapı	2,80		
Dö1	Taban (Toprağa Temas Eden)	0,45	0,7147	UYGUN
Ça 1	Çatı	0,30	0,284	UYGUN

Çizelge 3.34. Dış duvara (Dd1) 0,02 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayıları

3.5.2 Dış duvarın (Dd1) yalıtım kalınlığının 0,02 m olduğu kabulü ile bina ısı ve ekserji kaybı hesapları

$$H_i = U_{Dd1} \times A_{Dd1} + U_{Dd2} \times A_{Dd2} + U_P \times A_P + 0,8 \times U_T \times A_T + 0,5 \times U_t \times A_t$$

$$H_i = 0,704 \times 618,5 + 0,5 \times 155 + 2,8 \times 138,7 + 0,8 \times 0,3 \times 358,1 + 0,5 \times 0,45 \times 358,14$$

$$H_i = 435,5 + 77,5 + 388,5 + 86,0 + 80,6$$

$$H_i = 1068,0 \text{ W/K}$$

Havalandırma katsayısı daha önceki hesaplamalarda $n_h = 1,0 \text{ h}^{-1}$ olarak kabul edilmişti bu nedenle yine aynı değer kullanılacaktır.

Havalandırma ile meydana gelen kayıp miktarını belirlemek için kullandığımız (H_h) ile (V_h) değerlerini yalıtımsız hali incelerken (V_h) = 3.142 m³ ve (H_h)= 1.037 W/K olarak hesaplamıştık.

Elde ettiğimiz değerleri kullanarak binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı (H_i) ile havalandırma nedeniyle oluşan ısı kaybının (H_h) toplamı olan yapının özgül ısı kaybının değerini (H) hesapladığımızda;

$$H = H_i + H_h$$

$$H = 1.068,0 + 1037$$

$$H = 2.105,0 \quad \text{W/K}$$

Binanın konut olarak kullanılacağı kabulü ile iç ısı kazanç miktarı 5 W/m^2 olarak kabul edilmişti, yine aynı değeri kullanarak binanın toplam iç ısı kazanç değeri(Φ_i)= 6283,20 Watt olarak elde edilir.

Yapının aylık ortalama güneş enerjisi kazançları da daha önce hesaplandığı için yeniden hesaplama gereği duyulmamıştır.

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) ise aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	$\Phi_{i,\text{ay}}$	$\Phi_{g,\text{ay}}$	H	$T_{i,\text{ay}}$	$T_{d,\text{ay}}$	KKO_{ay}
Ocak	6283,20	2137,67	2105,00	19	1,3	0,23
Şubat	6283,20	2739,33	2105,00	19	2,0	0,25
Mart	6283,20	3499,33	2105,00	19	5,0	0,33
Nisan	6283,20	3835,64	2105,00	19	9,8	0,52
Mayıs	6283,20	4573,32	2105,00	19	14,1	1,05
Haziran	6283,20	4811,36	2105,00	19	18,1	5,86
Temmuz	6283,20	4685,61	2105,00	19	21,1	-2,48
Ağustos	6283,20	4342,02	2105,00	19	20,6	-3,15
Eylül	6283,20	3588,05	2105,00	19	16,5	1,88
Ekim	6283,20	2808,93	2105,00	19	11,3	0,56
Kasım	6283,20	2068,06	2105,00	19	6,5	0,32
Aralık	6283,20	1858,18	2105,00	19	2,6	0,24

Çizelge 3.35. Dış duvara (Dd1) 0,02 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) vasıtası ile elde ettiğimiz aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri de aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	KKO_{ay}	η_{ay}
Ocak	0,23	0,99
Şubat	0,25	0,98
Mart	0,33	0,95
Nisan	0,52	0,85
Mayıs	1,05	0,61
Haziran	5,86	0,00
Temmuz	-2,48	0,00
Ağustos	-2,97	0,00
Eylül	1,88	0,41
Ekim	0,56	0,83
Kasım	0,32	0,96
Aralık	0,24	0,98

Çizelge 3.36. 0,02 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri

Aylar	Isı Kayıpları			Isı Kazançları			Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam		
	$H=H_i+H_h$	T_i-T_d	$H(T_i-T_d)$	Φ_i	Φ_g	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_g$		
	(W/°K)	(°K,°C)	(W)	(W)	(W)	(W)		
Ocak	2.105,00	17,7	37.258,5	6.283,2	2.137,7	8.420,9	0,99	74.965.404
Şubat	2.105,00	17,0	35.785,0	6.283,2	2.739,3	9.022,5	0,98	69.836.039
Mart	2.105,00	14,0	29.470,0	6.283,2	3.499,3	9.782,5	0,95	52.297.733
Nisan	2.105,00	9,2	19.366,0	6.283,2	3.835,6	10.118,8	0,85	27.902.843
Mayıs	2.105,00	4,9	10.314,5	6.283,2	4.573,3	10.856,5	0,61	9.569.725
Haziran	2.105,00	0,9	1.894,5	6.283,2	4.811,4	11.094,6	0	0
Temmuz	2.105,00		0,0	6.283,2	4.685,6	10.968,8	0	0
Ağustos	2.105,00		0,0	6.283,2	4.342,0	10.625,2	0	0
Eylül	2.105,00	2,5	5.262,5	6.283,2	3.588,1	9.871,3	0,41	3.150.022
Ekim	2.105,00	7,7	16.208,5	6.283,2	2.808,9	9.092,1	0,83	22.451.977
Kasım	2.105,00	12,5	26.312,5	6.283,2	2.068,1	8.351,3	0,96	47.421.400
Aralık	2.105,00	16,4	34.522,0	6.283,2	1.858,2	8.141,4	0,98	68.800.625

Çizelge 3.37. Dış duvarlara (Dd1) 0,02 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları

Aylar	Aylık Isı Kaybı Miktarı	İç Sıcaklık	Aylık Ortalama Çevre Sıcaklığı	Aylık Çevre Sıcaklığı	Aylık Ekserji Kaybı
	(KJ)	(°K)	(°C)	(°K)	(KJ)
Ocak	74.965.404	292	1,3	274,3	4.544.136
Şubat	69.836.039	292	2,0	275,0	4.065.797
Mart	52.297.733	292	5,0	278,0	2.507.426
Nisan	27.902.843	292	9,8	282,8	879.131
Mayıs	9.569.725	292	14,1	287,1	160.588
Haziran	0	292	18,1	291,1	0
Temmuz	0	292	21,1	294,1	0
Ağustos	0	292	20,6	293,6	0
Eylül	3.150.022	292	16,5	289,5	26.969
Ekim	22.451.977	292	11,3	284,3	592.056
Kasım	47.421.400	292	6,5	279,5	2.030.026
Aralık	68.800.625	292	2,6	275,6	3.864.145
Toplam Isı Kaybı Miktarı (Yıllık)			376.395.768	KJ	
Toplam Ekserji Kaybı Miktarı			18.670.272	KJ	

Çizelge 3.38. Dış duvarlara (Dd1) 0,02 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları

3.6 Bina Dış Duvarına (Dd1) 0.03 m Kalınlığında Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi

3.6.1 Bina dış duvarı (Dd1) yalıtım kalınlığının 0.03 m olduğu kabulü ile dış duvar için toplam ısı iletkenlik katsayıları

İşareti	: Dd 1			
Açıklaması	: Dış Duvar			
U_D (W/m ² K°)	: 0,574			
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,50			
Uygunluk	: UYGUN DEĞİL			
Toplam Kalınlık (m)	: 0,24			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.13			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αdış (m ² K°/W) 0.04			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık (metre)	λ (W/mK°)	Birim Hacim (kg/m ³)	Su Buharı Dif. Fak.
Kireç harcı, kireç-çimento harcı (4.1)	0,020	0,870	1.800	15
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Yüzeyi pürüzlü veya pürüzlü veya kanallı levhalar (10.2.2.1)	0,030	0,031	>20	80
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Çimento Harcı (4.2)	0,020	1,400	2.000	15
Yapı elemanı için toplam ısı iletim katsayısı: U=0,574 olarak bulunur.				

Çizelge 3.39. Dış duvara (Dd1) 0,03 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

Yapmış olduğumuz hesaplamalar neticesinde binada kullanılmakta olan yapı elemanlarına ait U değerleri elde edilmiştir.

İşaret	Açıklama	U (W/m ² °K)	Kalınlık (m)	Uygunluk
Dd 1	Dış Duvar	0,574	0,24	UYG. DEĞ.
Dd 2	Dış Duvar	0,50	0,3911	UYGUN
Dp	Dış Pencere	2,80		
Dk	Dış Kapı	2,80		
Dö1	Taban (Toprağa Temas Eden)	0,45	0,7147	UYGUN
Ça 1	Çatı	0,30	0,284	UYGUN

Çizelge 3.40. Dış duvara (Dd1) 0,03 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayıları

3.6.2 Dış duvarın (Dd1) yalıtım kalınlığının 0,03 m olduğu kabulü ile bina ısı ve ekserji kaybı hesapları

$$H_i = U_{Dd1} \times A_{Dd1} + U_{Dd2} \times A_{Dd2} + U_P \times A_P + 0,8 U_T \times A_T + 0,5 U_l \times A_l$$

$$H_i = 0,574 \times 618,5 + 0,5 \times 155 + 2,8 \times 138,74 + 0,8 \times 0,3 \times 358,1 + 0,5 \times 0,45 \times 358,14$$

$$H_i = 355,0 + 77,5 + 388,5 + 86,0 + 80,6$$

$$H_i = 987,6 \quad \text{W/K}$$

Havalandırma katsayısı daha önceki hesaplamalarda $n_h = 1,0 \text{ h}^{-1}$ olarak kabul edilmişti bu nedenle yine aynı değer kullanılacaktır.

Havalandırma ile meydana gelen kayıp miktarını belirlemek için kullandığımız (H_h) ile (V_h) değerlerini yalıtımsız hali incelerken (V_h) = 3.142 m³ ve (H_h)= 1.037 W/K olarak hesaplamıştık.

Elde ettiğimiz değerleri kullanarak binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı (H_i) ile havalandırma nedeniyle oluşan ısı kaybının (H_h) toplamı olan yapının özgül ısı kaybının değerini (H) hesapladığımızda;

$$H = H_i + H_h$$

$$H = 987,6 + 1037$$

$$H = 2.024,6 \quad \text{W/K}$$

Binanın konut olarak kullanılacağı kabulü ile iç ısı kazanç miktarı 5 W/m^2 olarak kabul edilmişti, yine aynı değeri kullanarak binanın toplam iç ısı kazanç değeri (Φ_i)= 6283,20 Watt olarak elde edilir.

Yapının aylık ortalama güneş enerjisi kazançları da daha önce hesaplandığı için yeniden hesaplama gereği duyulmamıştır.

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) ise aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	$\Phi_{i,\text{ay}}$	$\Phi_{g,\text{ay}}$	H	$T_{i,\text{ay}}$	$T_{d,\text{ay}}$	KKO_{ay}
Ocak	6283,20	2137,67	2024,60	19	1,3	0,23
Şubat	6283,20	2739,33	2024,60	19	2,0	0,26
Mart	6283,20	3499,33	2024,60	19	5,0	0,35
Nisan	6283,20	3835,64	2024,60	19	9,8	0,54
Mayıs	6283,20	4573,32	2024,60	19	14,1	1,09
Haziran	6283,20	4811,36	2024,60	19	18,1	6,09
Temmuz	6283,20	4685,61	2024,60	19	21,1	-2,58
Ağustos	6283,20	4342,02	2024,60	19	20,6	-3,28
Eylül	6283,20	3588,05	2024,60	19	16,5	1,95
Ekim	6283,20	2808,93	2024,60	19	11,3	0,58
Kasım	6283,20	2068,06	2024,60	19	6,5	0,33
Aralık	6283,20	1858,18	2024,60	19	2,6	0,25

Çizelge 3.41. Dış duvara (Dd1) 0,03 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) vasıtası ile elde ettiğimiz aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri de aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	KKO_{ay}	η_{ay}
Ocak	0,23	0,99
Şubat	0,26	0,98
Mart	0,35	0,94
Nisan	0,54	0,84
Mayıs	1,09	0,60
Haziran	6,09	0,00
Temmuz	-2,58	0,00
Ağustos	-3,28	0,00
Eylül	1,95	0,40
Ekim	0,58	0,82
Kasım	0,33	0,95
Aralık	0,25	0,98

Çizelge 3.42. 0,03 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri

Aylar	Isı Kayıpları			Isı Kazançları			Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam		
	$H=H_i+H_n$	T_i-T_d	$H(T_i-T_d)$	Φ_i	Φ_g	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_g$	η_{ay}	Q_{ay}
	(W/°K)	(°K, °C)	(W)	(W)	(W)	(W)	(-)	(kJ)
Ocak	2.024,60	17,7	35.835,4	6.283,2	2.137,7	8.420,9	0,99	71.276.781
Şubat	2.024,60	17,0	34.418,2	6.283,2	2.739,3	9.022,5	0,98	66.293.294
Mart	2.024,60	14,0	28.344,4	6.283,2	3.499,3	9.782,5	0,94	49.633.741
Nisan	2.024,60	9,2	18.626,3	6.283,2	3.835,6	10.118,8	0,84	26.247.872
Mayıs	2.024,60	4,9	9.920,5	6.283,2	4.573,3	10.856,5	0,60	8.829.981
Haziran	2.024,60	0,9	1.822,1	6.283,2	4.811,4	11.094,6	0	0
Temmuz	2.024,60		0,0	6.283,2	4.685,6	10.968,8	0	0
Ağustos	2.024,60		0,0	6.283,2	4.342,0	10.625,2	0	0
Eylül	2.024,60	2,5	5.061,5	6.283,2	3.588,1	9.871,3	0,40	2.884.893
Ekim	2.024,60	7,7	15.589,4	6.283,2	2.808,9	9.092,1	0,82	21.082.990
Kasım	2.024,60	12,5	25.307,5	6.283,2	2.068,1	8.351,3	0,95	45.032.905
Aralık	2.024,60	16,4	33.203,4	6.283,2	1.858,2	8.141,4	0,98	65.382.917

Çizelge 3.43. Dış duvarlara (Dd1) 0,03 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları

Aylar	Aylık Isı Kaybı Miktarı	İç Sıcaklık	Aylık Ortalama Çevre Sıcaklığı	Aylık Çevre Sıcaklığı	Aylık Ekserji Kaybı
	(KJ)	(°K)	(°C)	(°K)	(KJ)
Ocak	71.276.781	292	1,3	274,3	4.320.545
Şubat	66.293.294	292	2,0	275,0	3.859.541
Mart	49.633.741	292	5,0	278,0	2.379.700
Nisan	26.247.872	292	9,8	282,8	826.988
Mayıs	8.829.981	292	14,1	287,1	148.174
Haziran	0	292	18,1	291,1	0
Temmuz	0	292	21,1	294,1	0
Ağustos	0	292	20,6	293,6	0
Eylül	2.884.893	292	16,5	289,5	24.699
Ekim	21.082.990	292	11,3	284,3	555.956
Kasım	45.032.905	292	6,5	279,5	1.927.778
Aralık	65.382.917	292	2,6	275,6	3.672.191
Toplam Isı Kaybı Miktarı (Yıllık)			356.665.374	KJ	
Toplam Ekserji Kaybı Miktarı			17.715.572	KJ	

Çizelge 3.44. Dış duvarlara (Dd1) 0,03 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları

3.7 Bina Dış Duvarına (Dd1) 0.04 m. Kalınlığında Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi

3.7.1 Bina dış duvarı (Dd1) yalıtım kalınlığının 0.04 m. olduğu kabulü ile dış duvar için toplam ısı iletkenlik katsayıları

İşareti	: Dd 1			
Açıklaması	: Dış Duvar			
U_D (W/m ² K°)	: 0,484			
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,50			
Uygunluk	: UYGUN			
Toplam Kalınlık (m)	: 0.25			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	$1/\alpha_{iç}$ (m ² K°/W) : 0.13			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	$1/\alpha_{dış}$ (m ² K°/W) 0.04			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık	λ	Birim Hacim	Su Buharı
	(metre)	(W/mK°)	(kg/m ³)	Dif. Fak.
Kireç harcı, kireç-çimento harcı				
(4.1)	0,020	0,870	1.800	15
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar				
(7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Yüzeyi pürüzlü veya pürüzlü veya kanallı levhalar				
(10.2.2.1)	0,040	0,031	>20	80
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar				
(7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Çimento Harcı				
(4.2)	0,020	1,400	2.000	15
Yapı elemanı için toplam ısı iletim katsayısı:				
U=0,484 olarak bulunur.				

Çizelge 3.45. Dış duvara (Dd1) 0,04 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

Yapmış olduğumuz hesaplamalar neticesinde binada kullanılmakta olan yapı elemanlarına ait U değerleri elde edilmiştir.

İşaret	Açıklama	U (W/m ² °K)	Kalınlık (m)	Uygunluk
Dd 1	Dış Duvar	0,484	0,25	UYGUN
Dd 2	Dış Duvar	0,50	0,3911	UYGUN
Dp	Dış Pencere	2,80		
Dk	Dış Kapı	2,80		
Dö1	Taban (Toprağa Temas Eden)	0,45	0,7147	UYGUN
Ça 1	Çatı	0,30	0,284	UYGUN

Çizelge 3.46. Dış duvara (Dd1) 0,04 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayıları

3.7.2 Dış duvarın (Dd1) yalıtım kalınlığının 0,04 m olduğu kabulü ile bina ısı ve ekserji kaybı hesapları

$$\begin{aligned}
 H_i &= U_{Dd1} \times A_{Dd1} + U_{Dd2} \times A_{Dd2} + U_P \times A_P + 0,8 \ U_T \times A_T + 0,5 \ U_t \times A_t \\
 H_i &= 0,484 \times 618,5 + 0,5 \times 155 + 2,8 \times 138,7 + 0,8 \ 0,3 \times 358,14 + 0,5 \ 0,5 \times 358,14 \\
 H_i &= 299,4 + 77,5 + 388,5 + 86,0 + 80,6 \\
 H_i &= 931,9 \ W/K
 \end{aligned}$$

Havalandırma katsayısı daha önceki hesaplamalarda $n_h = 1,0 \ h^{-1}$ olarak kabul edilmişti bu nedenle yine aynı değer kullanılacaktır.

Havalandırma ile meydana gelen kayıp miktarını belirlemek için kullandığımız (H_h) ile (V_h) değerlerini yalıtımsız hali incelerken (V_h) = 3.142 m³ ve (H_h)= 1.037 W/K olarak hesaplamıştık.

Elde ettiğimiz değerleri kullanarak binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı (H_i) ile havalandırma nedeniyle oluşan ısı kaybının (H_h) toplamı olan yapının özgül ısı kaybının değerini (H) hesapladığımızda;

$$H = H_i + H_h$$

$$H = 931,9 + 1037$$

$$H = 1.968,9 \quad \text{W/K}$$

Binanın konut olarak kullanılacağı kabulü ile iç ısı kazanç miktarı 5 W/m^2 olarak kabul edilmişti, yine aynı değeri kullanarak binanın toplam iç ısı kazanç değeri(Φ_i)= 6283,20 Watt olarak elde edilir.

Yapının aylık ortalama güneş enerjisi kazançları da daha önce hesaplandığı için yeniden hesaplama gereği duyulmamıştır.

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) ise aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	$\Phi_{i,\text{ay}}$	$\Phi_{g,\text{ay}}$	H	$T_{i,\text{ay}}$	$T_{d,\text{ay}}$	KKO_{ay}
Ocak	6283,20	2137,67	1968,90	19	1,3	0,24
Şubat	6283,20	2739,33	1968,90	19	2,0	0,27
Mart	6283,20	3499,33	1968,90	19	5,0	0,35
Nisan	6283,20	3835,64	1968,90	19	9,8	0,56
Mayıs	6283,20	4573,32	1968,90	19	14,1	1,13
Haziran	6283,20	4811,36	1968,90	19	18,1	6,26
Temmuz	6283,20	4685,61	1968,90	19	21,1	-2,65
Ağustos	6283,20	4342,02	1968,90	19	20,6	-3,37
Eylül	6283,20	3588,05	1968,90	19	16,5	2,01
Ekim	6283,20	2808,93	1968,90	19	11,3	0,60
Kasım	6283,20	2068,06	1968,90	19	6,5	0,34
Aralık	6283,20	1858,18	1968,90	19	2,6	0,25

Çizelge 3.47. Dış duvara (Dd1) 0,04 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) vasıtası ile elde ettiğimiz aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri de aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	KKO_{ay}	η_{ay}
Ocak	0,24	0,98
Şubat	0,27	0,97
Mart	0,35	0,94
Nisan	0,56	0,83
Mayıs	1,13	0,58
Haziran	6,26	0,00
Temmuz	-2,65	0,00
Ağustos	-3,37	0,00
Eylül	2,01	0,39
Ekim	0,60	0,81
Kasım	0,34	0,95
Aralık	0,25	0,98

Çizelge 3.48. 0,04 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri

Aylar	Isı Kayıpları			Isı Kazançları			Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam		
	$H=H_i+H_n$	T_i-T_d	$H(T_i-T_d)$	Φ_i	Φ_g	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_g$		
	(W/°K)	(°K,°C)	(W)	(W)	(W)	(W)		
Ocak	1.968,90	17,7	34.849,5	6.283,2	2.137,7	8.420,9	0,98	68.939.623
Şubat	1.968,90	17,0	33.471,3	6.283,2	2.739,3	9.022,5	0,97	64.072.793
Mart	1.968,90	14,0	27.564,6	6.283,2	3.499,3	9.782,5	0,94	47.612.499
Nisan	1.968,90	9,2	18.113,9	6.283,2	3.835,6	10.118,8	0,83	25.181.908
Mayıs	1.968,90	4,9	9.647,6	6.283,2	4.573,3	10.856,5	0,58	8.685.349
Haziran	1.968,90	0,9	1.772,0	6.283,2	4.811,4	11.094,6	0	0
Temmuz	1.968,90		0,0	6.283,2	4.685,6	10.968,8	0	0
Ağustos	1.968,90		0,0	6.283,2	4.342,0	10.625,2	0	0
Eylül	1.968,90	2,5	4.922,3	6.283,2	3.588,1	9.871,3	0,39	2.779.820
Ekim	1.968,90	7,7	15.160,5	6.283,2	2.808,9	9.092,1	0,81	20.206.975
Kasım	1.968,90	12,5	24.611,3	6.283,2	2.068,1	8.351,3	0,95	43.228.225
Aralık	1.968,90	16,4	32.290,0	6.283,2	1.858,2	8.141,4	0,98	63.015.177

Çizelge 3.49. Dış duvarlara (Dd1) 0,04 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları

Aylar	Aylık Isı Kaybı Miktarı	İç Sıcaklık	Aylık Ortalama Çevre Sıcaklığı	Aylık Çevre Sıcaklığı	Aylık Ekserji Kaybı
	(KJ)	(°K)	(°C)	(°K)	(KJ)
Ocak	68.939.623	292	1,3	274,3	4.178.874
Şubat	64.072.793	292	2,0	275,0	3.730.265
Mart	47.612.499	292	5,0	278,0	2.282.791
Nisan	25.181.908	292	9,8	282,8	793.403
Mayıs	8.685.349	292	14,1	287,1	145.747
Haziran	0	292	18,1	291,1	0
Temmuz	0	292	21,1	294,1	0
Ağustos	0	292	20,6	293,6	0
Eylül	2.779.820	292	16,5	289,5	23.800
Ekim	20.206.975	292	11,3	284,3	532.855
Kasım	43.228.225	292	6,5	279,5	1.850.523
Aralık	63.015.177	292	2,6	275,6	3.539.209
Toplam Isı Kaybı Miktarı (Yıllık)			343.722.369	KJ	
Toplam Ekserji Kaybı Miktarı			17.077.468	KJ	

Çizelge 3.50. Dış duvarlara (Dd1) 0,04 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları

3.8 Bina Dış Duvarına (Dd1) 0.05 m. Kalınlığında Yalıtım Uygulandığı Halin İncelenmesi

3.8.1 Bina dış duvarı (Dd1) yalıtım kalınlığının 0.05 m. olduğu kabulü ile dış duvar için toplam ısı iletkenlik katsayıları

İşareti	: Dd 1			
Açıklaması	: Dış Duvar			
U_D (W/m ² K°)	: 0,418			
Yönetmelik U Değeri (W/m ² K°)	: 0,50			
Uygunluk	: UYGUN			
Toplam Kalınlık (m)	: 0.26			
Birinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αiç (m ² K°/W) : 0.13			
İkinci Taşınım Katsayısı	:			
	1/αdış (m ² K°/W) 0.04			
Yapı elemanında kullanılan malzemelerin teknik özellikleri:				
	Kalınlık (metre)	λ (W/mK°)	Birim Hacim (kg/m ³)	Su Buharı Dif. Fak.
Kireç harcı, kireç-çimento harcı (4.1)	0,020	0,870	1.800	15
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Yüzeyi pürüzlü veya pürüzlü veya kanallı levhalar (10.2.2.1)	0,050	0,031	>20	80
Normal harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar (7.1.4.1.1)	0,085	0,300	<700	5
Çimento Harcı (4.2)	0,020	1,400	2.000	15
Yapı elemanı için toplam ısı iletim katsayısı: U=0,418 olarak bulunur.				

Çizelge 3.51. Dış duvara (Dd1) 0,05 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için toplam ısı iletkenlik katsayısı

Yapmış olduğumuz hesaplamalar neticesinde binada kullanılmakta olan yapı elemanlarına ait U değerleri elde edilmiştir.

İşaret	Açıklama	U (W/m ² °K)	Kalınlık (m)	Uygunluk
Dd 1	Dış Duvar	0,418	0,26	UYGUN
Dd 2	Dış Duvar	0,50	0,3911	UYGUN
Dp	Dış Pencere	2,80		
Dk	Dış Kapı	2,80		
Dö1	Taban (Toprağa Temas Eden)	0,45	0,7147	UYGUN
Ça 1	Çatı	0,30	0,284	UYGUN

Çizelge 3.52. Dış duvara (Dd1) 0,05 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için yapı elemanlarının toplam ısı iletkenlik katsayıları

3.8.2 Dış duvarın (Dd1) yalıtım kalınlığının 0,05 m olduğu kabulü ile bina ısı ve ekserji kaybı hesapları

$$H_i = U_{Dd1} \times A_{Dd1} + U_{Dd2} \times A_{Dd2} + U_P \times A_P + 0,8 U_T \times A_T + 0,5 U_t \times A_t$$

$$H_i = 0,418 \times 618,5 + 0,5 \times 155 + 2,8 \times 138,7 + 0,8 \times 0,3 \times 358,14 + 0,5 \times 0,45 \times 358,14$$

$$H_i = 258,6 + 77,5 + 388,5 + 86,0 + 80,6$$

$$H_i = 891,1 \quad \text{W/K}$$

Havalandırma katsayısı daha önceki hesaplamalarda $n_h = 1,0 \text{ h}^{-1}$ olarak kabul edilmişti bu nedenle yine aynı değer kullanılacaktır.

Havalandırma ile meydana gelen kayıp miktarını belirlemek için kullandığımız (H_h) ile (V_h) değerlerini yalıtımsız hali incelerken (V_h) = 3.142 m³ ve (H_h)= 1.037 W/K olarak hesaplamıştık.

Elde ettiğimiz değerleri kullanarak binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı (H_i) ile havalandırma nedeniyle oluşan ısı kaybının (H_h) toplamı olan yapının özgül ısı kaybının değerini (H) hesapladığımızda;

$$H = H_i + H_h$$

$$H = 891,1 + 1037$$

$$H = 1.928,1 \quad \text{W/K}$$

Binanın konut olarak kullanılacağı kabulü ile iç ısı kazanç miktarı 5 W/m^2 olarak kabul edilmişti, yine aynı değeri kullanarak binanın toplam iç ısı kazanç değeri(Φ_i)= 6283,20 Watt olarak elde edilir.

Yapının aylık ortalama güneş enerjisi kazançları da daha önce hesaplandığı için yeniden hesaplama gereği duyulmamıştır.

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) ise aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	$\Phi_{i,\text{ay}}$	$\Phi_{g,\text{ay}}$	H	$T_{i,\text{ay}}$	$T_{d,\text{ay}}$	KKO_{ay}
Ocak	6283,20	2137,67	1928,10	19	1,3	0,25
Şubat	6283,20	2739,33	1928,10	19	2,0	0,28
Mart	6283,20	3499,33	1928,10	19	5,0	0,36
Nisan	6283,20	3835,64	1928,10	19	9,8	0,57
Mayıs	6283,20	4573,32	1928,10	19	14,1	1,15
Haziran	6283,20	4811,36	1928,10	19	18,1	6,39
Temmuz	6283,20	4685,61	1928,10	19	21,1	-2,71
Ağustos	6283,20	4342,02	1928,10	19	20,6	-3,44
Eylül	6283,20	3588,05	1928,10	19	16,5	2,05
Ekim	6283,20	2808,93	1928,10	19	11,3	0,61
Kasım	6283,20	2068,06	1928,10	19	6,5	0,35
Aralık	6283,20	1858,18	1928,10	19	2,6	0,26

Çizelge 3.53. Dış duvara (Dd1) 0,05 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın kazanç/kayıp oranları

Yapıya ait Kazanç/Kayıp Oranları (KKO_{ay}) vasıtası ile elde ettiğimiz aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri de aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Aylar	KKO_{ay}	η_{ay}
Ocak	0,25	0,98
Şubat	0,28	0,97
Mart	0,36	0,94
Nisan	0,57	0,82
Mayıs	1,15	0,58
Haziran	6,39	0,00
Temmuz	-2,71	0,00
Ağustos	-3,44	0,00
Eylül	2,05	0,38
Ekim	0,61	0,80
Kasım	0,35	0,94
Aralık	0,26	0,98

Çizelge 3.54. 0,05 m kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ortalama kazanç kullanım faktörleri

Aylar	Isı Kayıpları			Isı Kazançları			Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam		
	$H=H_i+H_h$	T_i-T_d	$H(T_i-T_d)$	Φ_i	Φ_g	$\Phi_T=\Phi_i+\Phi_g$		
	(W/°K)	(°K,°C)	(W)	(W)	(W)	(W)		
Ocak	1.928,10	17,7	34.127,4	6.283,2	2.137,7	8.420,9	0,98	67.067.784
Şubat	1.928,10	17,0	32.777,7	6.283,2	2.739,3	9.022,5	0,97	62.274.982
Mart	1.928,10	14,0	26.993,4	6.283,2	3.499,3	9.782,5	0,94	46.131.949
Nisan	1.928,10	9,2	17.738,5	6.283,2	3.835,6	10.118,8	0,82	24.471.255
Mayıs	1.928,10	4,9	9.447,7	6.283,2	4.573,3	10.856,5	0,58	8.167.156
Haziran	1.928,10	0,9	1.735,3	6.283,2	4.811,4	11.094,6	0	0
Temmuz	1.928,10		0,0	6.283,2	4.685,6	10.968,8	0	0
Ağustos	1.928,10		0,0	6.283,2	4.342,0	10.625,2	0	0
Eylül	1.928,10	2,5	4.820,3	6.283,2	3.588,1	9.871,3	0,38	2.771.299
Ekim	1.928,10	7,7	14.846,4	6.283,2	2.808,9	9.092,1	0,80	19.628.341
Kasım	1.928,10	12,5	24.101,3	6.283,2	2.068,1	8.351,3	0,94	42.122.769
Aralık	1.928,10	16,4	31.620,8	6.283,2	1.858,2	8.141,4	0,98	61.280.818

Çizelge 3.55. Dış duvarlara (Dd1) 0,05 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ısı kayıp ve kazançları

Aylar	Aylık Isı Kaybı Miktarı	İç Sıcaklık	Aylık Ortalama Çevre Sıcaklığı	Aylık Çevre Sıcaklığı	Aylık Ekserji Kaybı
	(KJ)	(°K)	(°C)	(°K)	(KJ)
Ocak	67.067.784	292	1,3	274,3	4.065.410
Şubat	62.274.982	292	2,0	275,0	3.625.598
Mart	46.131.949	292	5,0	278,0	2.211.806
Nisan	24.471.255	292	9,8	282,8	771.012
Mayıs	8.167.156	292	14,1	287,1	137.052
Haziran	0	292	18,1	291,1	0
Temmuz	0	292	21,1	294,1	0
Ağustos	0	292	20,6	293,6	0
Eylül	2.771.299	292	16,5	289,5	23.727
Ekim	19.628.341	292	11,3	284,3	517.597
Kasım	42.122.769	292	6,5	279,5	1.803.201
Aralık	61.280.818	292	2,6	275,6	3.441.799
Toplam Isı Kaybı Miktarı (Yıllık)			333.916.353	KJ	
Toplam Ekserji Kaybı Miktarı			16.597.202	KJ	

Çizelge 3.56. Dış duvarlara (Dd1) 0,05 m yalıtım uygulandığı hal için binanın aylık ve yıllık ekserji kayıpları

YALITIM KALINLIĞININ EKSERJİ EKONOMİK YÖNTEM İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ekserji ekonomik optimizasyonda amaç ele alınan bir sistem için en düşük toplam maliyeti sağlayan tasarım ve şartların tespitini sağlamak, sistemin yıllık yatırım maliyeti ve yıllık işletme masraflarını minimize etmek olarak ifade edilebilir.

Kotas, 1985 ve Knoche ve Hesselmann, 1985, tarafından uygulanan yöntemde, sistemin toplam maliyeti (T_M), yatırım maliyeti (Y_M) ve ekserji kaybı maliyeti (E_D) toplamından oluşmaktadır.

$$T_M = Y_M + E_D \quad (4.1)$$

Söz konusu yöntem, bugün için, bir sistem elemanının, ekserji ekonomik optimizasyonun gerçekleştirilmesinde, diğer araştırmacılar tarafından kullanılan yaklaşımların esasını da oluşturmaktadır.

Toplam maliyetin yıllık maliyet olarak ifade edilmesi, ekserji ekonomik optimizasyonun esaslarından birini oluşturmaktadır. Bu amaçla, ilk yatırım maliyeti, bir yıllık maliyet katsayısı yardımıyla yıllık olarak ifade edilirken, ekserji kayıplarının neden olduğu işletme masrafları, sistemin yıllık işletme saati ile birlikte hesaplanmaktadır. Buna göre yıllık toplam maliyet;

$$T_M = a_f Y_M + t C_E E_D \quad (4.2)$$

ile ifade edilir. Burada;

T_M = Toplam maliyet,

a_f = Ana parayı geri kazanma katsayısı,

$$a_f = i (1+i)^N / (1+i)^N - 1 \quad (4.3)$$

i = Yıllık reel faiz oranı,

N = Ömür süresi,

Y_M = Yatırım maliyeti,

t = Yıllık işletme süresi,

C_E = Sistemde kullanılan ekserjinin birim maliyeti ve

E_D = Ekserji kaybı olarak tanımlanmaktadır.

Dördüncü bölümde incelemekte olduğumuz binaya ait ısıtma enerjisi ihtiyacı dış duvarların yalıtımsız olduğu, dış duvarlara TS-825 standardında tavsiye edilen ısı iletkenlik sınır değerlerine uygun kalınlıkta izolasyon malzemesi uygulandığı ve dış duvarlara sırasıyla 0,01 m., 0,02 m., 0,03 m., 0,04 m. ve 0,05 m. kalınlığında yalıtım malzemesi uygulandığı haller için ayrı ayrı belirlenmiştir. Elde edilen ısıtma enerjisi ihtiyacı yardımı ile yapının aylık ve yıllık ekserji kayıp miktarları da bina içi sıcaklığın 19 °C olduğu kabulü ile hesaplanmıştır. Aylık ekserji kayıplarının hesaplanması sırasında kullanılan dış sıcaklık değerleri, TS-825 standardında yer alan “farklı derece gün (DG) bölgeleri için hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri” tablosundan alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada incelemekte olduğumuz bina için toplam maliyet, yatırım maliyeti ile ekserji kayıplarının meydana getireceği maliyet toplamına eşit olacaktır. Sistemin yatırım maliyeti, izolasyon malzemesi maliyeti, kazan maliyeti ve radyatör maliyetinin toplamından, işletme maliyeti ise yıllık ekserji kayıplarından kaynaklanan maliyetten oluşmaktadır.

Yapının tamamen izolasyonsuz olduğu durumu ele aldığımızda; bu halde yatırım maliyeti içerisinde herhangi bir yalıtım malzemesi maliyeti bulunmayacaktır. Toplam maliyet hesaplanırken, sistemde kullanılacak yakıt türüne bağlı olarak yıllık yakıt tüketim bedeli dikkate alınmayıp yalnızca ekserji kayıplarının oluşturacağı maliyet hesaplamalarda kullanılacaktır.

Yalıtım uygulandığı durumda ise kullanılan izolasyon malzemesinin maliyeti yatırım maliyetini oluşturan kalemlerden birisi olacaktır. Her farklı kalınlık için yatırım maliyeti farklılık gösterecek, yalıtım malzemesinin artması yatırım maliyetini arttırıcı bir unsur olmasına karşın sistemdeki Ekserji kayıplarını da azaltıcı bir rol oynayacaktır. Toplam maliyet hesaplanırken, yalıtımsız durumda olduğu gibi ekserji kayıplarının oluşturacağı maliyet dikkate alınacaktır.

Aylar	Yalıtımsız	0,01 m.	0,02 m.	0,03 m.	TS-825	0,04 m.	0,05 m.
	Hal	Yalıtım	Yalıtım	Yalıtım	Yalıtım	Yalıtım	Yalıtım
	(KJ)	(KJ)	(KJ)	(KJ)	(KJ)	(KJ)	(KJ)
Ocak	91.651.378	80.837.839	74.965.404	71.276.781	69.393.819	68.939.623	67.067.784
Şubat	85.628.252	75.476.231	69.836.039	66.293.294	64.509.027	64.072.793	62.274.982
Mart	64.988.552	56.689.034	52.297.733	49.633.741	47.971.751	47.612.499	46.131.949
Nisan	35.526.657	30.430.621	27.902.843	26.247.872	25.417.988	25.181.908	24.471.255
Mayıs	12.500.600	10.632.625	9.569.725	8.829.981	8.529.686	8.685.349	8.167.156
Haziran	0	0	0	0	0	0	0
Temmuz	0	0	0	0	0	0	0
Ağustos	0	0	0	0	0	0	0
Eylül	4.227.484	3.467.737	3.150.022	2.884.893	2.843.972	2.779.820	2.771.299
Ekim	28.768.175	24.535.316	22.451.977	21.082.990	20.404.564	20.206.975	19.628.341
Kasım	58.988.815	51.568.600	47.421.400	45.032.905	43.548.985	43.228.225	42.122.769
Aralık	84.050.051	74.030.726	68.800.625	65.382.917	63.436.014	63.015.177	61.280.818
TOPLAM ISITMA İHTİYACI							
	466.329.964	407.668.729	376.395.768	356.665.374	346.055.806	343.722.369	333.916.353

Çizelge 4.1. Yalıtım kalınlığına bağlı aylık ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları

Aylar	Yalıtımsız	0,01 m.	0,02 m.	0,03 m.	TS-825	0,04 m.	0,05 m.
	Hal	Yalıtım	Yalıtım	Yalıtım	Yalıtım	Yalıtım	Yalıtım
	(KJ)	(KJ)	(KJ)	(KJ)	(KJ)	(KJ)	(KJ)
Ocak	5.555.580	4.900.102	4.544.136	4.320.545	4.206.406	4.178.874	4.065.410
Şubat	4.985.206	4.394.164	4.065.797	3.859.541	3.755.663	3.730.265	3.625.598
Mart	3.115.889	2.717.967	2.507.426	2.379.700	2.300.015	2.282.791	2.211.806
Nisan	1.119.333	958.773	879.131	826.988	800.841	793.403	771.012
Mayıs	209.770	178.424	160.588	148.174	143.135	145.747	137.052
Haziran	0	0	0	0	0	0	0
Temmuz	0	0	0	0	0	0	0
Ağustos	0	0	0	0	0	0	0
Eylül	36.194	29.690	26.969	24.699	24.349	23.800	23.727
Ekim	758.613	646.993	592.056	555.956	538.066	532.855	517.597
Kasım	2.525.206	2.207.560	2.030.026	1.927.778	1.864.254	1.850.523	1.803.201
Aralık	4.720.619	4.157.890	3.864.145	3.672.191	3.562.845	3.539.209	3.441.799
TOPLAM EKSERJİ KAYBI							
	23.026.410	20.191.563	18.670.274	17.715.572	17.195.574	17.077.467	16.597.202

Çizelge 4.2. Yalıtım kalınlığına bağlı aylık ve yıllık ekserji kayıpları

Ele aldığımız sistemde yakıt olarak alt ısı değeri 37.400 KJ/m³ olan doğalgaz kullanıldığını ve söz konusu yakıtın kazan verimi 0,95 olan bir kazanda yakılarak kullanılacağını kabul ettiğimizde; yalıtımsız halde ve uygulayacağımız yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık yakıt tüketim miktarları aşağıda yer aldığı gibi olacaktır.

Yalıtım Durumu	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (KJ)	Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı (KWh)	Kullanım Alanı Başına Düşen Yıllık Isıtma Enerjisi (KWh/m ²)	Kullanılacak Doğalgaz Miktarı (m ³ /yıl)
Yalıtımsız Hal	466.329.964	129.640	103,2	13.135
0,01 m. Yalıtım	407.668.729	113.332	90,2	11.483
0,02 m. Yalıtım	376.395.768	104.638	83,3	10.602
0,03 m. Yalıtım	356.665.374	99.153	78,9	10.046
TS-825	346.055.806	96.204	76,6	9.748
0,04 m. Yalıtım	343.722.369	95.555	76,0	9.682
0,05 m. Yalıtım	333.916.353	92.829	73,9	9.406

Çizelge 4.3. Yalıtım kalınlığına bağlı yıllık yakıt (doğalgaz) ihtiyacı

Gerçekleştirilen hesaplamalardan da görüleceği üzere yıl içerisinde en fazla ısıtma ihtiyacı ve ekserji kaybı Ocak ayı içerisinde gerçekleşmektedir. Bu nedenden dolayı sistemin yatırım maliyetini hesaplarken kullanacağımız kalemlerden olan kazan kapasitesini belirlerken Ocak ayı değerlerini temel alma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Yalıtımsız hal ve farklı yalıtım kalınlıkları için sistemde kullanılacak kazan kapasiteleri ve fiyatları aşağıda yer almaktadır.

Yalıtım Durumu	Ocak Ayı Enerji İhtiyacı	Ocak Ayı Enerji İhtiyacı	Kazan Kapasitesi	Kazan Yatırım Maliyeti
	(KJ)	(KWh)	(KW)	(YTL)
Yalıtımsız Hal	91.651.378	25.479	55	4.140
0,01 m. Yalıtım	80.837.839	22.473	48	3.620
0,02 m. Yalıtım	74.965.404	20.840	45	3.400
0,03 m. Yalıtım	71.276.781	19.815	43	3.250
TS-825	69.393.819	19.291	41	3.100
0,04 m. Yalıtım	68.939.623	19.165	41	3.100
0,05 m. Yalıtım	67.067.784	18.645	40	3.000

Çizelge 4.4. Yalıtım kalınlığına bağlı kazan kapasitesi ve yatırım maliyeti

Sistemde kazan, radyatörler ve yalıtım malzemesi dışındaki ekipman (vanalar, borular, otomatik kontrol elemanları vb.) incelenen her durum için aynı kalacağından maliyet değerlendirmesinde dikkate alınmamıştır. Hesaplanan her ısıtma enerjisi ihtiyacı için sistemde kullanılacak radyatörlerin de yüzey alanı değişecek ve sistemin yatırım maliyetini etkileyecektir. Sistemde kullanılacak radyatörlerin 600 mm. yüksekliğinde ve 1 metresi için ısı güç değerinin 872 W olduğu kabulü ile radyatör ihtiyacı ve maliyeti;

Yalıtım Durumu	Ocak Ayı Enerji İhtiyacı	Ocak Ayı Enerji İhtiyacı	Radyatör Uzunluğu	Radyatör Yatırım Maliyeti
	(KJ)	(KWh)	(m)	(YTL)
Yalıtımsız Hal	91.651.378	25.479	63	3.707
0,01 m. Yalıtım	80.837.839	22.473	55	3.270
0,02 m. Yalıtım	74.965.404	20.840	51	3.032
0,03 m. Yalıtım	71.276.781	19.815	49	2.883
TS-825	69.393.819	19.291	48	2.807
0,04 m. Yalıtım	68.939.623	19.165	47	2.789
0,05 m. Yalıtım	67.067.784	18.645	46	2.713

Çizelge 4.5. Yalıtım kalınlığına bağlı radyatör ihtiyacı ve yatırım maliyeti

Yalıtım Durumu	Ocak Ayı Enerji İhtiyacı	Ocak Ayı Enerji İhtiyacı	Yalıtım Malzemesi İhtiyacı	Yalıtım Malzemesi Maliyeti
	(KJ)	(KWh)	(m ³)	(YTL)
Yalıtımsız Hal	91.651.378	25.479	0	0
0,01 m. Yalıtım	80.837.839	22.473	6,19	1.175
0,02 m. Yalıtım	74.965.404	20.840	12,37	2.350
0,03 m. Yalıtım	71.276.781	19.815	18,56	3.526
TS-825	69.393.819	19.291	23,50	4.466
0,04 m. Yalıtım	68.939.623	19.165	24,74	4.701
0,05 m. Yalıtım	67.067.784	18.645	30,93	5.876

Çizelge 4.6. Yalıtım kalınlığına bağlı izolasyon malzemesi ihtiyacı ve yatırım maliyeti

Yalıtım Durumu	Kullanılacak Doğalgaz Maliyeti	Kazan Yatırım Maliyeti	Yalıtım Yatırım Maliyeti	Radyatör Yatırım Maliyeti
	(YTL/yıl)	(YTL)	(YTL)	(YTL)
Yalıtımsız Hal	6.870	4.140	0	3.707
0,01 m. Yalıtım	6.006	3.620	1.175	3.270
0,02 m. Yalıtım	5.545	3.400	2.350	3.032
0,03 m. Yalıtım	5.254	3.250	3.526	2.883
TS-825	5.098	3.100	4.466	2.807
0,04 m. Yalıtım	5.064	3.100	4.701	2.789
0,05 m. Yalıtım	4.919	3.000	5.876	2.713

Çizelge 4.7. Yalıtım kalınlığına bağlı yatırım kalemlerinin maliyet değişimi

Yapmış olduğumuz hesaplamalara göre yalıtımsız halde ve farklı yalıtım kalınlıkları uygulandığı hallerde yatırım maliyeti sistemin enerji ihtiyacına bağlı olarak değişim sergilemektedir.

Yalıtım Durumu	Yatırım Maliyeti				Yıllık Yakıt (Doğalgaz) Maliyeti	Yıllık Ekserji Kayıpları
	Yalıtım Maliyeti	Seçilecek Kazan Maliyeti	Radyatör Maliyeti	Toplam Yatırım Maliyeti		
	(YTL)	(YTL)	(YTL)	(YTL)	(YTL)	(KJ)
Yalıtımsız Hal	0	4.140	3.707	7.847	6.870	23.026.410
0,01 m. Yalıtım	1.175	3.620	3.270	8.065	6.006	20.191.563
0,02 m. Yalıtım	2.350	3.400	3.032	8.782	5.545	18.670.274
0,03 m. Yalıtım	3.526	3.250	2.883	9.659	5.254	17.715.572
TS-825	4.466	3.100	2.807	10.373	5.098	17.195.574
0,04 m. Yalıtım	4.701	3.100	2.789	10.590	5.064	17.077.467
0,05 m. Yalıtım	5.876	3.000	2.713	11.589	4.919	16.597.202

Çizelge 4.8. Yıllık ekserji kayıpları ve maliyet ilişkisi

Ekserji Ekonomik analiz yaparken yakıt olarak kullanmakta olduğumuz doğalgazın ekserji birim maliyetinin İsveç'deki maliyet ile aynı olduğu kabul edilerek doğalgazın maliyeti hesaplamalarda 1.1 \$/GJoule olarak alınmıştır. US \$ ise 1.40 YTL olarak kullanılmıştır. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında herhangi bir ısıtma ihtiyacı olmadığı dolayısı ile söz konusu aylarda ekserji kaybı da olmadığı kabul edilmiştir. Sistemin senede 273 gün çalıştığı ve her gün 15 saat devrede kalacağı kabulleri ile hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda sistemin 10 yıl (N) kullanılacağı ve yıllık reel faiz oranı (i) olarak da TÜFE değeri % 15 alınmıştır. Yapılan kabuller yardımı ile yalıtımsız hal ve yalıtımlı her durum için yıllık ekserji kayıpları ve yatırım maliyetlerini kullanarak hesaplamalarımızı yaparsak;

Yalıtımsız Durum					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
7.847	23.026.410	20,65	4.095	1,54	35,461
0,01 m.Yalıtım Kalınlığı Durumu					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
8.065	20.191.563	18,11	4.095	1,54	31,095
Yalıtımsız-0,01 m. Yalıtımlı Durumların Farkı					
Yatırım Maliyeti Farkı	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı Farkı	Saatteki Ekserji Kaybı Farkı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kazanç
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
218	2.834.847	2,54	4.095	1,54	4,366
İki Durumun Sayısal Değerlendirmesi					
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	Yalıtımsız- Yalıtımlı Yatırım Bedeli Farkının Yıllık Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,1993	43,437	4,366	39,071
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	0,01 m. Yalıtımlı Durumda Yatırım Bedeli Farkının Yıllık Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,1993	1.606,968	31,095	1575,873

Çizelge 4.9. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile 0,01 m yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme

Yalıtımsız Durum					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
7.847	23.026.410	20,65	4.095	1,54	35,461
0,02 m.Yalıtım Kalınlığı Durumu					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
8.782	18.670.274	16,74	4.095	1,54	28,752
Yalıtımsız-0,02 m. Yalıtımlı Durumların Farkı					
Yatırım Maliyeti Farkı	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı Farkı	Saatteki Ekserji Kaybı Farkı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kazanç
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
935	4.356.136	3,91	4.095	1,54	6,708
İki Durumun Sayısal Değerlendirmesi					
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	Yalıtımsız-Yalıtımlı Yatırım Bedeli Farkının Yıllık	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,1993	186,301	6,708	179,592
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	0,02 m. Yalıtımlı Durumda Yatırım Bedeli Farkının Yıllık	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,1993	1.749,832	28,752	1.721,079

Çizelge 4.10. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile 0,02 m yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme

Yalıtımsız Durum					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
7.847	23.026.410	20,65	4.095	1,54	35,461
0,03 m.Yalıtım Kalınlığı Durumu					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	
9.659	17.715.572	15,89	4.095	1,54	27,282
Yalıtımsız-0,03 m. Yalıtımlı Durumların Farkı					
Yatırım Maliyeti Farkı	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı Farkı	Saatteki Ekserji Kaybı Farkı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kazanç
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	
1.812	5.310.838	4,76	4.095	1,54	8,179
İki Durumun Sayısal Değerlendirmesi					
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	Yalıtımsız- Yalıtımlı Yatırım Bedeli Farkının Yıllık	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,1993	361,045	8,179	352,866
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	0,03 m. Yalıtımlı Durumda Yatırım Bedeli Farkının Yıllık	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,1993	1.924,576	27,282	1.897,294

Çizelge 4.11. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile 0,03 m yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme

Yalıtımsız Durum					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
7.847	23.026.410	20,65	4.095	1,54	35,461
TS-825 Standardına Uygun Yalıtım Kalınlığı Durumu					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	
10.373	17.195.574	15,42	4.095	1,54	26,481
Yalıtımsız-TS-825 Standardına Uygun Yalıtım Durumların Farkı					
Yatırım Maliyeti Farkı	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı Farkı	Saatteki Ekserji Kaybı Farkı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kazanç
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	
2.526	5.830.836	5,23	4.095	1,54	8,979
İki Durumun Sayısal Değerlendirmesi					
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	Yalıtımsız-Yalıtımlı Yatırım Bedeli Farkının Yıllık	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,1993	503,311	8,979	494,331
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	TS-825'e Uygun Yalıtımlı Durumda Yatırım Bedeli Farkının Yıllık Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,1993	2.066,842	26,481	2.040,360

Çizelge 4.12. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile TS-825 standardında tavsiye edilen kalınlıkta yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme

Yalıtımsız Durum					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
7.847	23.026.410	20,65	4.095	1,54	35,461
0,04 m.Yalıtım Kalınlığı Durumu					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
10.590	17.077.467	15,31	4.095	1,54	26,299
Yalıtımsız-0,04 m. Yalıtımlı Durumların Farkı					
Yatırım Maliyeti Farkı	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı Farkı	Saatteki Ekserji Kaybı Farkı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kazanç
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
2.743	5.948.943	5,33	4.095	1,54	9,161
İki Durumun Sayısal Değerlendirmesi					
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	Yalıtımsız- Yalıtımlı Yatırım Bedeli Farkının Yıllık	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,1993	546,548	9,161	537,387
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	0,04 m. Yalıtımlı Durumda Yatırım Bedeli Farkının Yıllık	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,1993	2.110,079	26,299	2.083,780

Çizelge 4.13. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile 0,04 m yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme

Yalıtımsız Durum					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
7.847	23.026.410	20,65	4.095	1,54	35,461
0,05 m.Yalıtım Kalınlığı Durumu					
Yatırım Maliyeti	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı	Saatteki Ekserji Kaybı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kayıp
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
11.589	16.597.202	14,88	4.095	1,54	25,560
Yalıtımsız-0,05 m. Yalıtımlı Durumların Farkı					
Yatırım Maliyeti Farkı	Yıllık Ekserji Kaybı Toplamı Farkı	Saatteki Ekserji Kaybı Farkı	Yıllık Çalışma Saati	Ekserji Birim Maliyeti	Kazanç
(YTL)	(KJ)	(KW)	(h)	(YTL/GJ)	(YTL)
3.742	6.429.208	5,77	4.095	1,54	9,901
İki Durumun Sayısal Değerlendirmesi					
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	Yalıtımsız- Yalıtımlı Yatırım Bedeli Farkının Yıllık	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,199	745,601	9,901	735,700
N (10 Yıl)	i (% 15)	af	0,05 m. Yalıtımlı Durumda Yatırım Bedeli Farkının Yıllık	Yıllık Ekserji Kaybının Toplam Maliyeti	Toplam Fark
			(YTL)	(YTL)	(YTL)
10	0,15	0,199	2.309,132	25,560	2.283,572

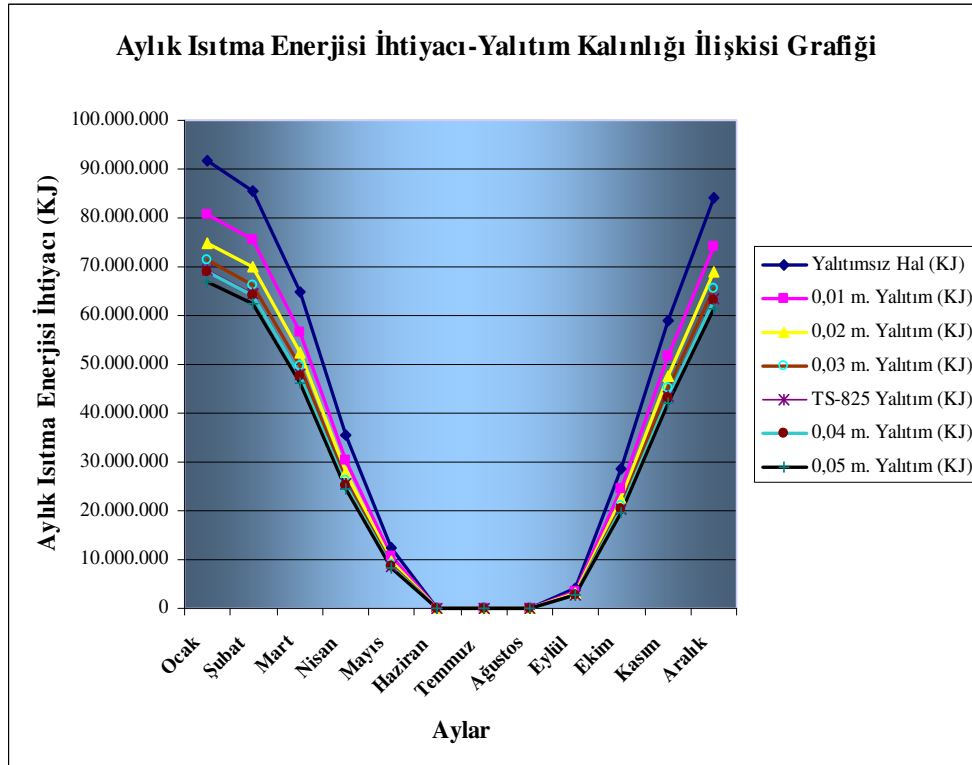
Çizelge 4.14. Dış duvarın (Dd1) yalıtımsız olduğu hal ile 0,05 m yalıtım uygulandığı hal arasındaki ekserji ekonomik değerlendirme

Yalıtım Durumu	Yatırım Maliyeti	Ana Parayı Geri Kazanma Katsayısı	Zaman (t)	C_E	Yıllık Yakıt (Doğalgaz) Maliyeti	Yıllık Ekserji Kayıp Miktarı	Yıllık Ekserji Kayıp Miktarı	Yıllık Toplam Ekserji Kaybı Maliyeti
	(YTL)	(af)	(saat)	(YTL/GJ)	(YTL)	(KJ)	(KW)	(YTL)
Yalıtımsız Hal	7.847	0,199	4.095	1,54	6.870	23.026.410	20,65	35,5
0,01 m. Yalıtım	8.065	0,199	4.095	1,54	6.006	20.191.563	18,11	31,1
0,02 m. Yalıtım	8.782	0,199	4.095	1,54	5.545	18.670.274	16,74	28,8
0,03 m. Yalıtım	9.659	0,199	4.095	1,54	5.254	17.715.572	15,89	27,3
TS-825	10.373	0,199	4.095	1,54	5.098	17.195.574	15,42	26,5
0,04 m. Yalıtım	10.590	0,199	4.095	1,54	5.064	17.077.467	15,31	26,3
0,05 m. Yalıtım	11.589	0,199	4.095	1,54	4.919	16.597.202	14,88	25,6

Çizelge 4.15. Dış duvarın (Dd1) her bir yalıtım durumu için ekserji ekonomik değerlendirme

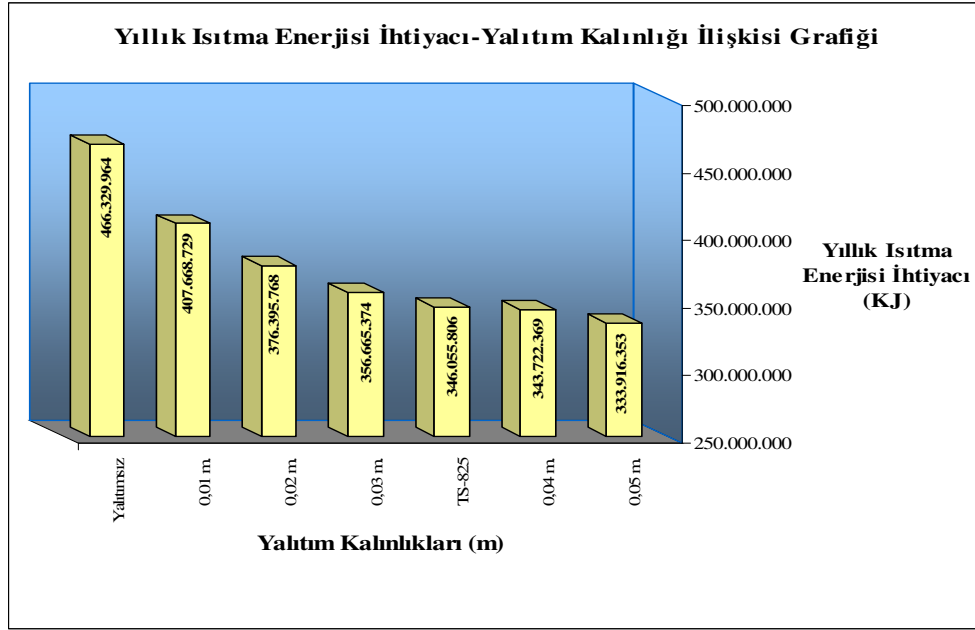
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Aşağıdaki şekilden de görüleceği üzere incelemekte olduğumuz binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı kış aylarında artış gösterirken aynı şartlarda yalıtım kalınlığını arttırdığımızda ısıtma enerjisi ihtiyacında azalma gözlenmektedir.

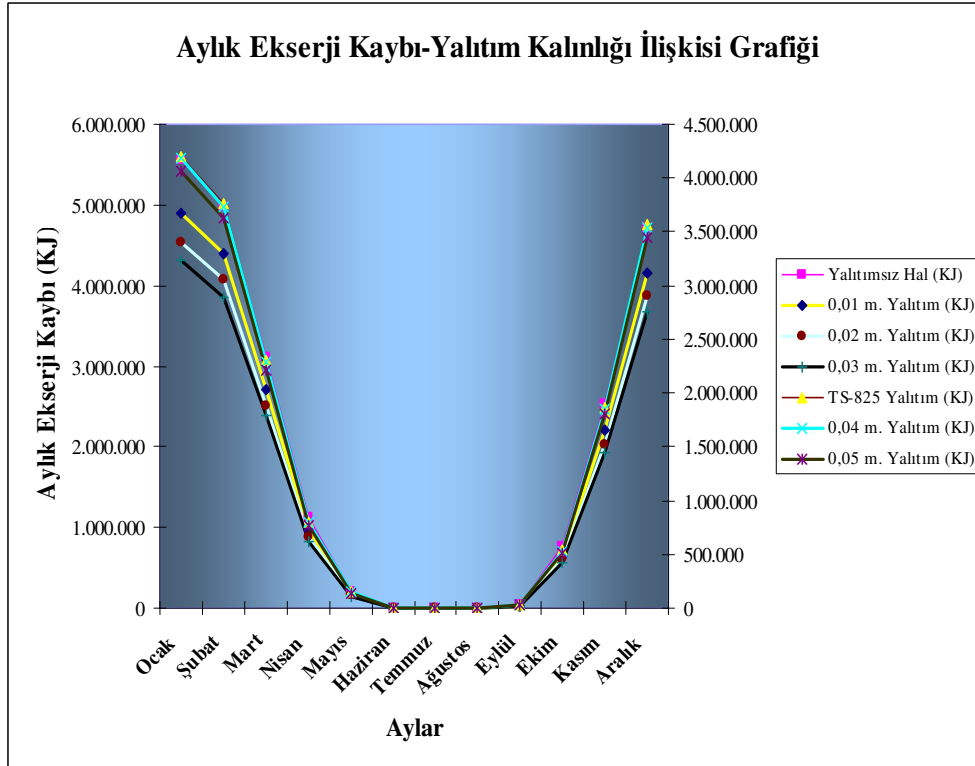


Şekil 5.1. Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı-yalıtım kalınlığı ilişkisi

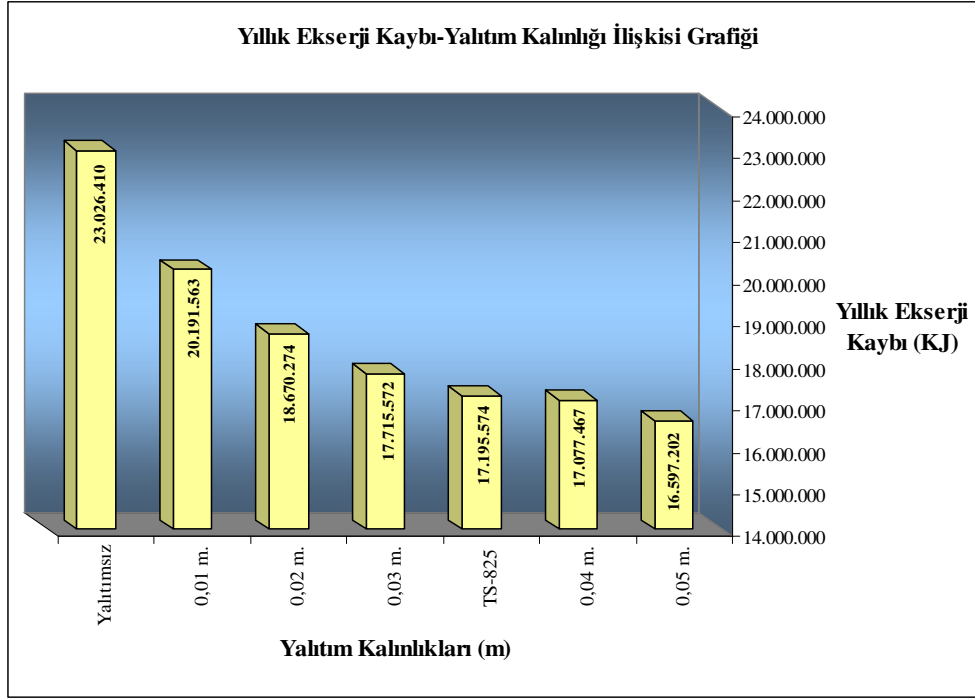
Yalıtım kalınlığını arttırdığımızda, Şekil 5.2 de görüleceği üzere yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacında da önemli bir azalma gerçekleşmekte fakat bir noktadan sonra söz konusu azalma kayda değer olmamaktadır,



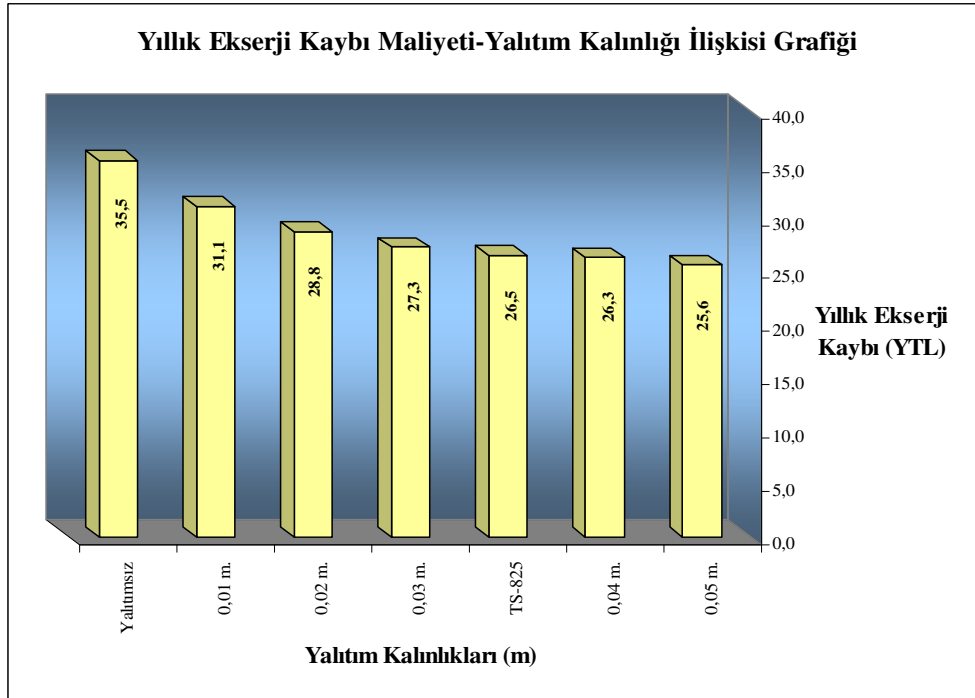
Şekil 5.2. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı-yalıtım kalınlığı ilişkisi



Şekil 5.3. Aylık ekserji kaybı-yalıtım kalınlığı ilişkisi



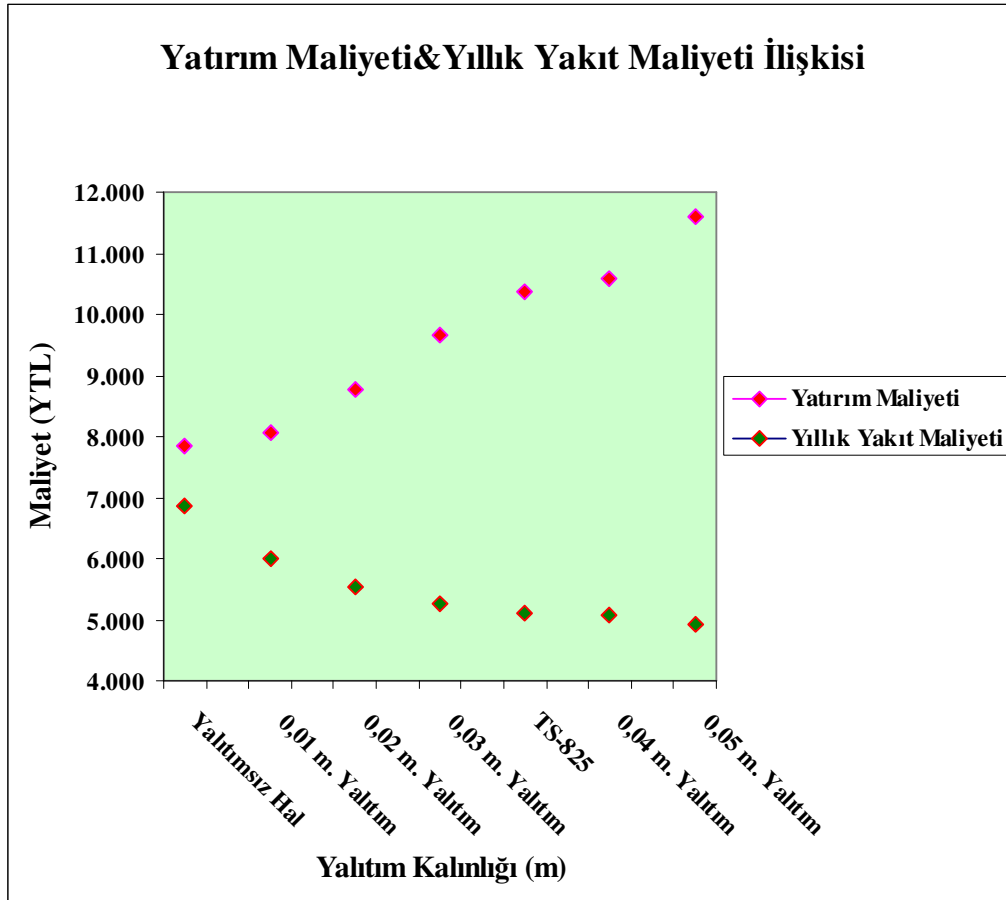
Şekil 5.4. Yıllık ekserji kaybı-yalıtım kalınlığı ilişkisi



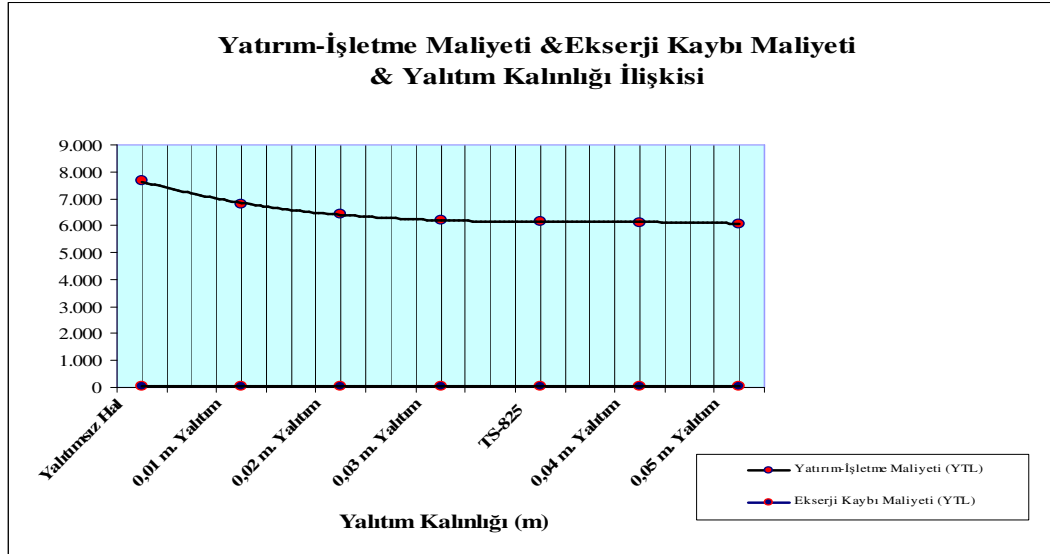
Şekil 5.5. Yıllık ekserji kaybı maliyeti-yalıtım kalınlığı ilişkisi

Gerçekleştirilen çalışmada ekonomik anlamda optimum yalıtım kalınlığı değerini tespit amacıyla iki farklı durum ele alınarak incelenmiştir.

İlk yaklaşımda ele aldığımız bina için yalıtımsız hal ve her yalıtım kalınlığı için yatırım maliyeti değerlerinin aylık % 1.25 reel faiz oranı ve 120 ay vade ile bankadan kredi almak suretiyle karşılandığı kabul edilmiştir. Bu durumda yatırım maliyeti içerisinde kazan, radyatör ve yalıtım malzemesi maliyetleri yer alacaktır. İşletme maliyeti olarak ise; bakım ve onarım giderlerinin ihmal edildiği kabulü ile yalnızca yıllık yakıt (doğalgaz) maliyeti yansıyacaktır. Bu yaklaşımda ekserji kayıplarının rolü dikkate alınmamaktadır. Her yalıtım durumu için yatırım yaptığımız parayı bugünkü değeri üzerinden değerlendirdiğimizde Şekil 5.6.da yer alan değerler elde edilecektir.

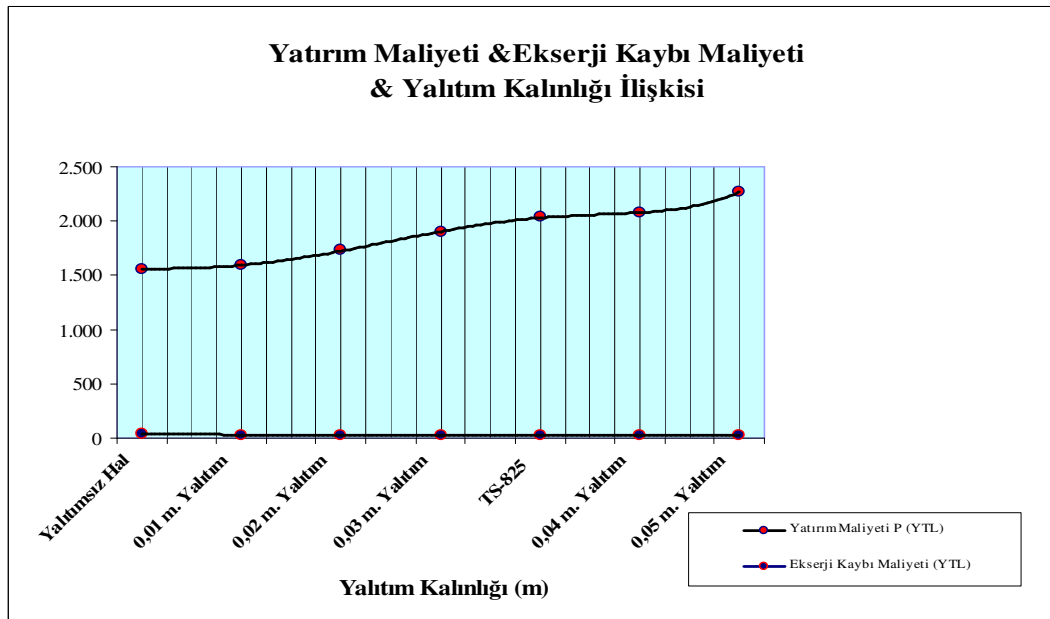


Şekil 5.6. Yatırım maliyeti&yıllık yakıt maliyeti&yalıtım kalınlığı ilişkisi



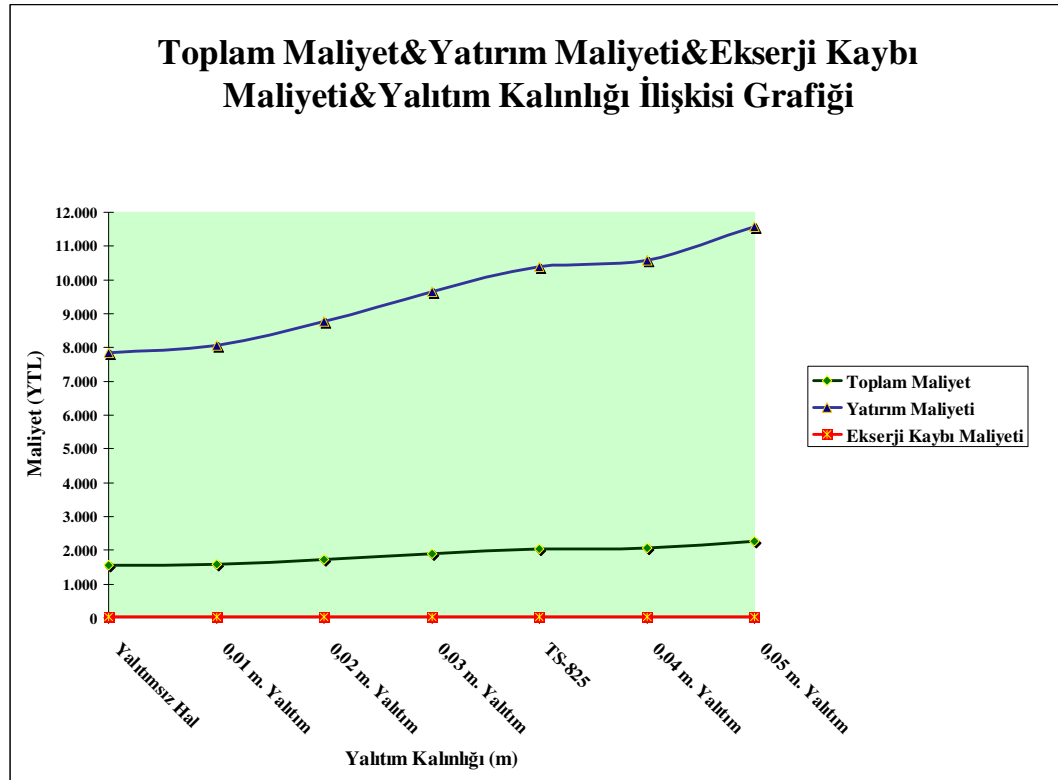
Şekil 5.7. Yatırım maliyeti&ekserji kaybı&yalıtım kalınlığı ilişkisi

İkinci durumda yatırımda kullandığımız miktarın 10 yıl sonraki değeri üzerinden bankaya geri ödeyeceğimiz paranın yıllık maliyetine ekserji değerlerinin yıllık maliyetini eklediğimizde oluşan değerler Şekil 5.8.de yer almaktadır.



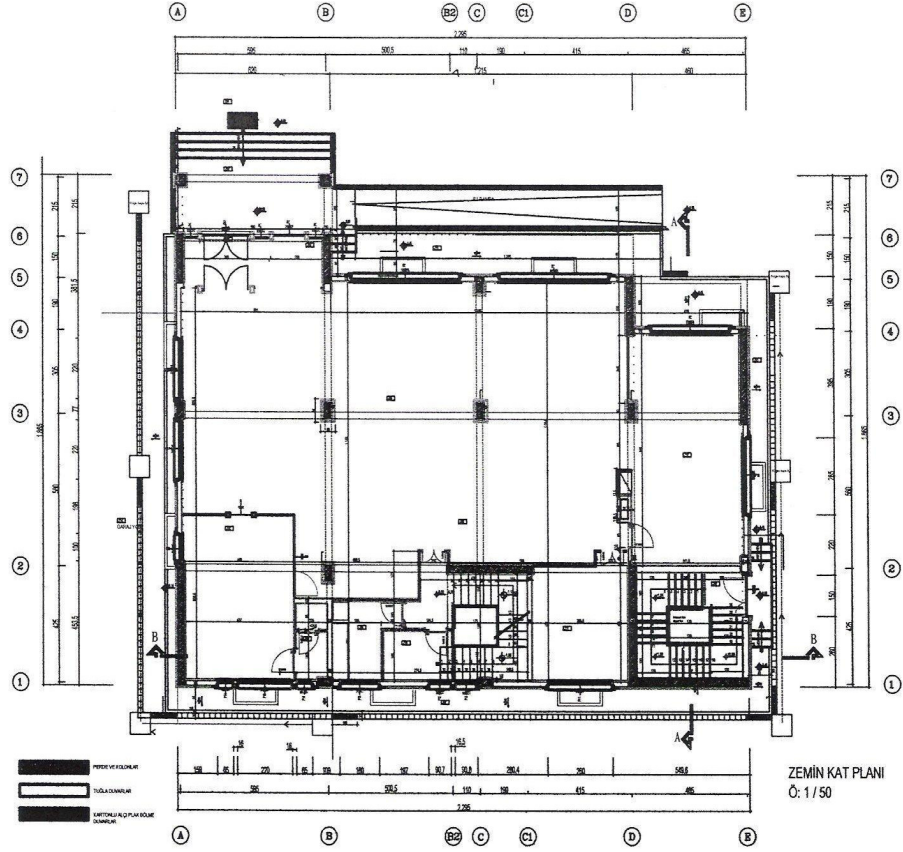
Şekil 5.8. Yıllık yatırım maliyeti&ekserji kaybı&yalıtım kalınlığı ilişkisi

Yaptığımız değerlendirmelerin de gösterdiği üzere incelemiş olduğumuz yapı için ekserji değerlerinin maliyeti diğer maliyet kalemleri yanında oldukça küçük değerlerde seyretmektedirler. Çalışmada yalıtım kalınlığını arttırmak yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını düşürmekte bununla beraber toplam yatırım maliyetini arttırmaktadır. Yalıtımsız durum ve farklı yalıtım kalınlıkları için yatırım maliyetlerinin değişimi ve ekserji kayıplarının da dahil edildiği toplam maliyetlerin değişimi Şekil 5.9. da görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi incelenen bina için (ekonomik) optimum bir yalıtım kalınlığından söz edilememektedir.

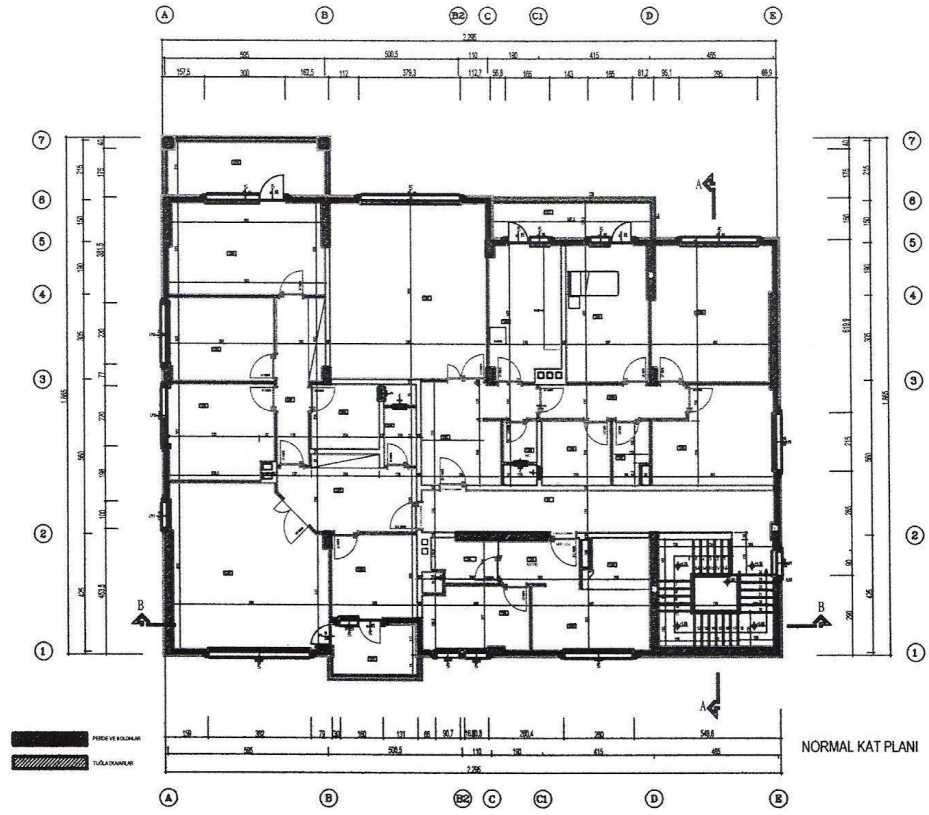


**Şekil 5.9. Toplam Maliyet & Yatırım Maliyeti& Ekserji Kaybı
Maliyeti&Yalıtım Kalınlığı ilişkisi**

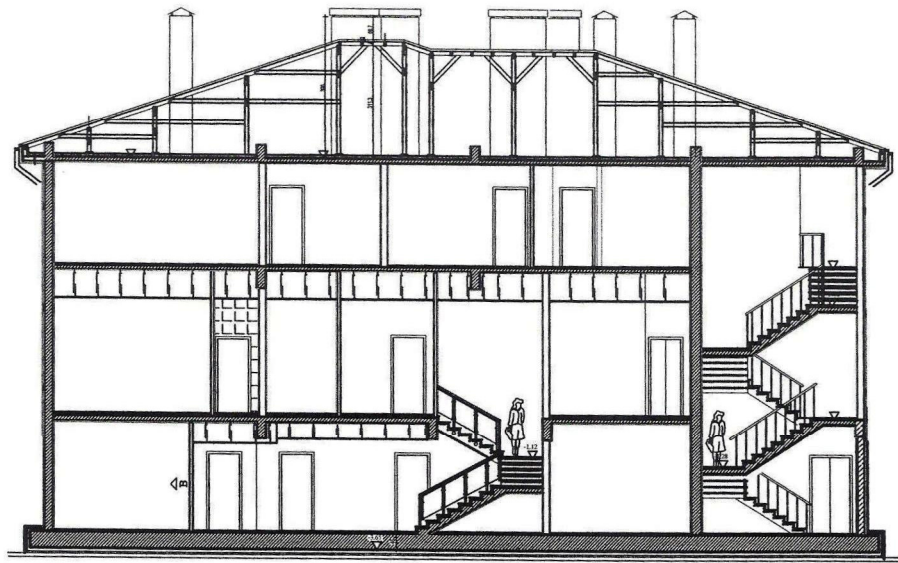
EK A- Binanın Zemin Kat Planı



EK B- Binanın Normal Kat Planı



EK B- Bina Kesiti



KAYNAKLAR

Can. A., “Türkiye’de Enerji İhtiyacının Karşılanmasında Yapılarda Isı Yalıtımının Önemi” Bülten, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Edirne Şubesi, Yıl 4, Sayı : 15 – 16, Temmuz – Aralık 1998, Edirne.

Can. A., “Yapılarda Isı Yalıtımı ve Türkiye’de Enerji İhtiyacının Azaltılması Yönünden Önemi” TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Dergisi, s. 18-23, Ocak-Şubat 1998, İstanbul.

Can. A., E. Buyruk, D. Eryener, “Exergoeconomic Analysis of Condenser Type Heat Exchangers” Exergy- an International Journal 2 (2002), pp. 113-118, Elsevier 23,

Can. A., “Isıl Sistem Tasarımı ve Termodinamik Yasalarının Uygulanması” Mühendislik Anabilim Dalı Doktora Ders Notları, Mart 2007

Stoecker W.F.”Design of Thermal Systems”, Third Edition, McGraw-Hill, Inc. 1989

Dandy G.C., Warner R.F.”Planning and Design of Engineering Systems” Unwin Hyman Ltd., 1989

M.A. Rosen, I. Dincer, “Exergy–cost–energy–mass analysis of thermal systems and processes”, Energy Conversion and Management 44 (2003) 1633–1651

Genceli O.F., Parmaksızoğlu C.İ., “Kalorifer Tesisatı” TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No MMO/352/3, Şubat 2006, Ankara.

Dilmaç Ş., N. Kesen, “ A Comparison of New Turkish Thermal Insulation Standard (TS-825), ISO 9164, EN 832 and German Regulation” Energy and Buildings, 35: 161-174, (2003).

Mohsen M. S., Akash B. A., “Some Prospects of Energy Savings in Buildings”, Energy Conversion and Management, 42:1307-1315, 2001.

Kaan Ertaş, “Soğutma Sistemlerinde Kullanılabilir Enerji (Ekserji) Analizi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (2002)

Göran Wall, “Exergy –A Useful Concept Within Resource Accounting”, Report no. 77-42, Institute of Theoretical Physics, Chalmers University of Technology and University of Göteborg, S-412 96 Göteborg, Sweden

Serkan Dazlak, “Bir Doğalgaz Santralinde Atık Isı Kazanım Tesisinin Enerji ve Ekserji Analizi”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı Bilim Uzmanlığı Tezi (2006)

Moran, M.J. and Sciubba, E. (1994), 'Exergy Analysis: Principles and Practice,' J. Engineering for Gas Turbines and Power, 116, 285-290.

Al-Khawaja, M., "Thermal Resistance of Building Materials", B.S. Graduation Project, Birzeit University, (1995).

M. A. Habib, S. A. M. Said and J. J. Al-Bagawi, Thermodynamic performance analysis of the Ghazlan power plant, Energy, vol. 20, no. 11, pp. 1121-1130, 1995.

Nakicenovic, N., Gilli, P.V. and Kurz, R. (1996), Regional and global exergy and energy efficiencies, Energy - The International Journal, 21(3), 223-237. (ISSN 0360-5442)

Gilli, P.V., Nakicenovic, N. and Kurz, R. (1996), First- and second-law efficiencies of the global and regional energy systems, RR-96-2, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. Reprinted from More Efficient Use of Energy, Division 3 of Energy for Our Common World, Proceedings of the 16th WEC Congress, World Energy Council, 8-13 October 1995, Tokyo.

Adamo, I., Cammarata, A., Fichera, L., and Marletta, L., (1996), "Improvement of a District Network Through Thermoeconomic Approach", Renewable Energy, 10, 2-3, 213-216.

Tsatsaronis, G., and Moran, M. J. Exergy-aided cost minimization. Energy Conversion and Management 38, 15–17 (1997), 1535–1542. 23

Manninen J, Zhu,"Thermodynamic analysis and mathematical optimization of power plants [J].“ Comput Chem Eng, 1998, 22(s):s 537-s544.

İleri A, Gürer T., "Energy and Exergy Utilization in Turkey During 1995", Energy 1998; 23 (12) : 1099–106.

Hasan A., "Optimizing Insulation Thickness for Buildings Using Life Cycle Cost", Applied Energy, 63:115-124, 1999.

Gustafsson, S.I., (2000), "Optimisation of Insulation Measures on Existing Buildings", Energy and Building, 33, 49-55

Gustafsson, S.I., (1998), "Sensitivity Analysis of Building Energy Retrofits", Applied Energy, 61, 13-23

Orhan Aydın, "Conjugate Heat Transfer Analysis of Double Pane Windows", Building and Environment Volume 41, Issue 2 , February 2006, Pages 109-116

E.Yantovski, “Exergonomics in Education”, Energy 25 (2000) 1021-1031

Çomaklı K., Yüksel B., “Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving”, Applied Thermal Engineering, 23:473-479, 2003.

Bolattürk A., “Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Hesabı ve Enerji Tasarrufundaki Rolü”, 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Isparta, 41-47, 3-5 Eylül 2003.

M. Gölcü, Ö. A. Dombaycı, S. Abalı, “Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları” Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 21, No 4, 639-644, 2006

Oğuz Arslan, Ramazan Köse., “Thermoeconomic Optimization of Insulation Thickness Considering Condensed Vapor in Buildings”, Energy and Buildings 38 (2006) 1400–1408

Ayça AYTAÇ, U. Teoman AKSOY, “The Relation Between Optimum Insulation Thickness and Heating Cost on External Walls for Energy Saving (in Turkish), J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Vol 21, No 4, 753-758, 2006

Kemal Çomaklı , Bedri Yüksel, Ömer Çomaklı, “Evaluation of Energy and Exergy Losses in District Heating Network”, Applied Thermal Engineering 24 (2004) 1009–1017

BP Statistical Review of World Energy, www.bp.com

Y. Çengel, M. Boles. 1994, Thermodynamics: An Engineering Approach, 2nd Edition, Mc Graw-Hill, New York

R. Selbaş, “Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde Absorber Sıcaklığının Etkisinin Termodinamik ve Termoekonomik Analizi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1-10, 2006, 136-143

Ricardo Rivero, “Application of the Exergy Concept in the Petroleum Refining and Petrochemical Industry”, Energy Conversion and Management, 43 (2002) 1199–1220.

A. Bejan, G. Tsatsaronis, M. Moran., 1996, “Thermal Design and Optimization”, Wiley, New York, 1-236

Çomaklı K., Karşlı S., Çomaklı Ö., Yılmaz M., Ocak 2004, “Termal Sistemlerin Ekserjetik Analizi, Termodinamik”, 94-98

www.isisan.com

TS-825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1999

www.izocam.com

www.izoder.com

Eryener D., “Türbülanslı Cebri Konveksiyonla Isı Geçişi Sağlayan Isıl Sistemlerin Ekserji Ekonomik Analizi”, Trakya Üniversitesi. Fen Bil. Enstitüsü, Doktora Tezi

Kemal Çomaklı, Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezinin Enerji ve Ekserji Analizi, Atatürk Üniversitesi. Fen Bil. Enstitüsü, Doktora Tezi (2003)

www.exergy.se

ÖZGEÇMİŞ

11.08.1972 tarihinde Ankara' da doğdu. İlköğretimini Ankara'da orta öğretimini İstanbul'da tamamladı. 1989 yılında Şişli Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü'nden mezun oldu. 1996 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Lisans diplomasını aldı. Bir süre Trakya Üniversitesi Meslek Yüksekokulu'nda mesleki dersler verdikten sonra İstanbul'da mekanik tesisat alanında çalıştı. 1998-2006 yılları arasında Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu Roket Fabrikası'nda (ELROKSAN) Üretim Mühendisi, 2006 yılında Kırıkkale'de Ağır Silah ve Çelik Fabrikası'nda Kalite Mühendisi olarak görev yaptı. Halen aynı kurumun Ankara'da bulunan Kapsül Fabrikası Üretim Müdürlüğü'nde Başmühendis olarak görev yapmaktadır.