



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİLİ KONUT ISITMA SİSTEMLERİNİN
F-GRAFİK YÖNTEMİ İLE OPTİMUM
BOYUTLANDIRILMASI**

**Mak.Müh. Barış SANDAL
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Prof. Dr. Salim ÖZÇELEBİ**

Haziran, 2006

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİLİ KONUT ISITMA SİSTEMLERİNİN
F-GRAFİK YÖNTEMİ İLE OPTİMUM
BOYUTLANDIRILMASI**

**Mak. Müh. Barış SANDAL
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Prof. Dr. Salim ÖZÇELEBİ**

Haziran, 2006

İSTANBUL

Bu alışma 12/07/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Salim ÖZÇELEBİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
(Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Feridun ÖZGÜÇ
İstanbul Teknik Üniversitesi
Makina Fakültesi

Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi
Makina Fakültesi

Doç. Dr. Erol UZAL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Serdar BARIş
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmam boyunca sağladığı kaynaklar, bilgi birikimi ve tecrübesi ile beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Salim ÖZÇELEBİ' ye en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Sevgili anne ve babama hayatım boyunca gösterdikleri her türlü destek ve yardımdan dolayı teşekkürü borç bilirim, birlikte daha nice mutlu ve sağlıklı günler geçirmek dileğiyle.

Haziran, 2006

Barış SANDAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1. YERYÜZÜNE GELEN ANLIK VE GÜNLÜK GÜNEŞ IŞINIMININ BELİRLENMESİ.....	2
2.1.1. Parametrik Modeller.....	3
2.1.2. Dekompozisyon Modelleri	4
2.2. GÜNEŞ ENERJİLİ KONUT ISITMA SİSTEMLERİNİN TASARIMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER	9
3. MALZEME VE YÖNTEM	14
3.1. EĞİK DÜZLEME GELEN GÜNLÜK GÜNEŞ IŞINIMININ BELİRLENMESİ ...	14
3.1.1. Güneş Açıları	14
3.1.1.1. Güneş Deklinasyon Açısı	14
3.1.1.2. Saat Açısı	16
3.1.2. Türetilmiş Güneş Açıları	17
3.1.2.1. Zenith Açısı	18
3.1.2.2 Güneş Yükseklik Açısı ve Gün Uzunluğu.....	18
3.1.2.3 Güneş Azimut Açısı	20
3.1.2.4 Güneş Geliş Açısı.....	21
3.1.3. Atmosfer Dışına Gelen Güneş Işınımı	22

3 .1.4. Yeryüzüne Gelen Anlık Ve Günlük Güneş Işınımı	24
3.1.4.1 Tüm Güneş Işınımı	26
3.1.4.2 Direkt Ve Yayılı Güneş Işınımı.....	27
3.1.4.3 Eğik Düzleme Gelen Günlük Güneş Işınımı.....	28
3.2. YAPI ISITMA İHTİYACININ BELİRLENMESİ.....	29
3.2.1 Derece Gün Yöntemi	29
3.2.2 Sıcak Su Isı İhtiyacı.....	34
3.3. GÜNEŞ TOPLAYICISI	34
3.3.1 Güneş Toplayıcıları	34
3.3.2. Sıvı Akışkanlı Düzlemsel Güneş Toplayıcıları.....	36
3.3.3. Düzlemsel Güneş Toplayıcılarının Verimi.....	37
3.3.4. Toplayıcı Isı Değiştiricisi Verimi.....	43
3.3.5. Toplayıcı Işınım Geçiş-Yutma Oranı	44
3.4. F-GRAFİK YÖNTEMİ	46
3.4.1 Boyutsuz Sistem Değişkenlerinin Tanımlanması	46
3.4.2 Sıvı Akışkanlı Güneş Enerjili Konut Isıtma Sistemleri	48
3.4.3 F-Grafik Yönteminde Düzeltme Katsayıları	49
3.4.3.1 Toplayıcıdaki Akışkan Debisi.....	49
3.4.3.2 Isıl Depo Kapasitesi	50
3.4.3.3 Terminal Isı Değiştirici Boyutu.....	51
3.5. GÜNEŞ ENERJİLİ KONUT ISITMA SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ	54
4. BULGULAR	57
4.1. ÖRNEK UYGULAMALAR	57
4.1.1. Yapı-1	58
4.1.2. Yapı-2	68
4.2. İRDELEMELER	74
4.2.1. Kullanım Süresinin Etkisi	74
4.2.2. Faiz Oranının Etkisi.....	82
4.2.3. Enflasyon Oranının Etkisi.....	90
4.2.3. Toplayıcı Eğiminin Etkisi	98
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	107

KAYNAKLAR	109
EKLER.....	112
EK-A : EKONOMİK ANALİZ	112
Ek-B : YAPI-1 MİMARİ ÇİZİMLERİ	120
Ek-C : YAPI-2 MİMARİ ÇİZİMLERİ	129
ÖZGEÇMİŞ.....	134

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Ångström denkleminin grafiksel gösterimi [6].....	5
Şekil 3.1: Güneş deklinasyon açısının (d), gün sayısına göre (n) değişimi	14
Şekil 3.2: Güneş deklinasyon açısının gündönümleri ve ekinokslara göre değişimi	16
Şekil 3.3: Saat açısı	17
Şekil 3.4: Güneş yükseklik ve azimut açısı.....	18
Şekil 3.5: Güneş yükseklik açısı	18
Şekil 3.6: Güneş azimut açısı	19
Şekil 3.7: Güneşin gün içindeki hareketine bağlı güneş yükseklik ve azimut açıları	21
Şekil 3.8: Deniz seviyesinde güneş spektrumu	25
Şekil 3.9: Dış hava sıcaklığını bağlı olarak yapının ısı kaybındaki değişim [29].....	30
Şekil 3.10: Yapının ısıtma yükü ile dış hava sıcaklığı arasındaki ilişki [29].....	31
Şekil 3.11: Sıcaklık serisi kesimi [30].....	33
Şekil 3.12: Düzlemsel güneş toplayıcısının kesit ve açılmış görünüşü [32].....	37
Şekil 3.13: ASHRAE 93-72 Standardına göre sıvı akışkanlı güneş toplayıcılarının test tesisatı şeması [31]	39
Şekil 3.14: Sıvı akışkanlı düzlemsel güneş toplayıcılarının test sonuçları [31].....	42
Şekil 3.15: Bir, iki ve üç kat cam örtü için toplayıcı toplam ısı geçiş katsayısının yutucu yüzey sıcaklığı ve toplayıcıyı çevreleyen havanın sıcaklığına bağlı değişimi [5]	42
Şekil 3.16: Toplayıcı ısı değiştiricisi düzeltme faktörü [31].....	43
Şekil 3.17: Işınımın eğik geldiği durumundaki geçiş ve yutma katsayılarını ışınımın dik geldiği durumdakine oranı [31].....	45
Şekil 3.18: Geçiş-yutma oranının ışınımın geliş açısına bağlı değişimi [5]	46
Şekil 3.19: Güneş enerjili su akışkanlı konut ısıtma sistemi [31]	48
Şekil 3.20: Sıvı akışkanlı sistem için f-grafik eğrileri [31].....	48
Şekil 3.21: Paralel akışlı bir ısı değiştiricisinde sıcaklık dağılımları [35]	52
Şekil 4.1: Fan coil cihazının ölçüleri.....	58

Şekil 4.2: Yapının ısı ihtiyacının hesabı için akış şeması	59
Şekil 4.3: Eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının hesabı için akış şeması	61
Şekil 4.4: Antalya’da eğimi 36,5° olan eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının aylara göre değişimi	62
Şekil 4.5: Faydalanma oranının hesabı için akış şeması	63
Şekil 4.6: Yapı-1 için ısıtma dönemindeki aylardaki faydalanma oranlarının ortalamalarının toplayıcı alanlarına göre değişimi.....	65
Şekil 4.7: Sistemin ekonomik analizi için akış şeması	66
Şekil 4.8: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi.....	68
Şekil 4.9: İstanbul’da eğimi 41° olan eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının aylara göre değişimi	70
Şekil 4.10: Yapı-2 için ısıtma dönemindeki aylardaki faydalanma oranlarının ortalamalarının toplayıcı alanlarına göre değişimi.....	72
Şekil 4.11: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi	74
Şekil 4.12: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=10 yıl , i=%10 , e=%15)	76
Şekil 4.13: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=10 yıl , i=%10 , e=%15)	78
Şekil 4.14: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=20 yıl , i=%10 , e=%15)	80
Şekil 4.15: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=20 yıl , i=%10 , e=%15)	82
Şekil 4.16: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%5 , e=%15)	84
Şekil 4.17: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%5 , e=%15).....	86
Şekil 4.18: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%15 , e=%15)	88
Şekil 4.19: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%15 , e=%15)	90

Şekil 4.20: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi ($n=15$ yıl , $i=\%10$, $e=\%10$)).....	92
Şekil 4.21: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi ($n=15$ yıl , $i=\%10$, $e=\%10$)).....	94
Şekil 4.22: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi ($n=15$ yıl , $i=\%10$, $e=\%20$)).....	96
Şekil 4.23: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi ($n=15$ yıl , $i=\%10$, $e=\%20$)).....	98
Şekil 4.24: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin, enlem $+15^\circ$ olması durumunda faydalanma oranları grafiği.....	100
Şekil 4.25: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin enleme eşit olması durumunda faydalanma oranları grafiği.....	102
Şekil 4.26: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin, enlem -15° olması durumunda faydalanma oranları grafiği.....	104
Şekil 4.27: Değişik toplayıcı eğimlerinde Yapı-1 için faydalanma oranları grafiği.....	106
Şekil Ek-A.1: Değişik enflasyon faiz farklarında efektif faiz değerleri.....	117
Şekil Ek-A.2: Ekonomik dönüşüm katsayısının efektif faiz ve kullanım süresine göre değişimi.....	119
Şekil Ek-B.1: Yapı-1 Yerleşim planı	120
Şekil Ek-B.2: Yapı-1 A-A kesit görünümü.....	121
Şekil Ek-B.3: Yapı-1 B-B kesit görünümü	122
Şekil Ek-B.4: Yapı-1 $-2,50$ kotu yerleşim planı	123
Şekil Ek-B.5: Yapı-1 $+0,00$ kotu yerleşim planı.....	124
Şekil Ek-B.6: Yapı-1 $+2,50$ kotu yerleşim planı.....	125
Şekil Ek-B.7: Yapı-1 $+5,50$ kotu yerleşim planı.....	126
Şekil Ek-B.8: Yapı-1 $+8,50$ kotu yerleşim planı.....	127
Şekil Ek-B.9: Yapı-1 $+12,50$ kotu yerleşim planı.....	128
Şekil Ek-C.1: Yapı-2 sağ yan ve sol yan cephe görüşleri	129
Şekil Ek-C.2: Yapı-2 ön ve giriş cephesi görüşleri.....	130
Şekil Ek-C.3: Yapı-2 $-3,20$ kotu yerleşim planı	131
Şekil Ek-C.4: Yapı-2 $+0,00$ kotu yerleşim planı.....	132
Şekil Ek-C.5: Yapı-2 $+3,20$ kotu yerleşim planı.....	133

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: Önerilen a ve b katsayıları ve veri kaynağı	9
Tablo 3.1: Güneş deklinasyon açılarının aylık ortalaması ve bu açılara karşılık gelen gün sayıları.....	15
Tablo 3.2: Hava ve sıvı akışkanlı toplayıcıların karşılaştırılması	36
Tablo 4.1: Fan coil cihazının özellikleri	57
Tablo 4.2: Yapı-1'in özellikleri.....	58
Tablo 4.3: Yapı-1'in aylara göre ısı ihtiyacı	60
Tablo 4.4: Antalya'da eğimi 36,5° olan eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının değerleri.....	62
Tablo 4.5: Yapı-1 için aylara göre faydalanma oranlarının toplayıcı alanlarına göre değişimi	64
Tablo 4.6: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu	67
Tablo 4.7: Yapı-2'nin özellikleri.....	68
Tablo 4.8: Yapı-2'nin aylara göre ısı ihtiyacı	69
Tablo 4.9: İstanbul'da eğimi 41° olan eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının değerleri.....	70
Tablo 4.10: Yapı-2 için aylara göre faydalanma oranlarının toplayıcı alanlarına göre değişimi	71
Tablo 4.11: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu	73
Tablo 4.12: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu (n=10 yıl , i=%10 , e=%15).....	75
Tablo 4.13: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu (n=10 yıl , i=%10 , e=%15).....	77
Tablo 4.14: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu (n=20 yıl , i=%10 , e=%15).....	79
Tablo 4.15: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu (n=20 yıl , i=%10 , e=%15).....	81
Tablo 4.16: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%5 , e=%15).....	83
Tablo 4.17: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%5 , e=%15).....	85
Tablo 4.18: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%15 , e=%15).....	87

Tablo 4.19: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%15 , e=%15).....	89
Tablo 4.20: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%10 , e=%10).....	91
Tablo 4.21: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%10 , e=%10).....	93
Tablo 4.22: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%10 , e=%20).....	95
Tablo 4.23: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%10 , e=%20).....	97
Tablo 4.24: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin, enlem +15° olması durumunda faydalanma oranları	99
Tablo 4.25: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin enleme eşit olması durumunda faydalanma oranları	101
Tablo 4.26: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin, enlem -15° olması durumunda faydalanma oranları	103
Tablo 4.27: Değişik toplayıcı eğimlerinde Yapı-1 için faydalanma oranları.....	105
Tablo Ek-A.1: Değişik enflasyon ve faiz farklarında efektif faizin alacağı değerler ...	116
Tablo Ek-A.2: Ekonomik dönüşüm katsayısının efektif faiz ve kullanım süresine göre değişimi	118

SEMBOL LİSTESİ

A	: atmosfer dışına gelen anlık güneş ışıınımı (ASHRAE modeli) (W/m^2)
A	: toplayıcı alanı (m^2)
A	: sabit ödeme miktarı (YTL)
A_{opt}	: optimum toplayıcı alanı (m^2)
a	: Ångström denklemi sabiti
a_g	: güneş azimut açısı (derece)
a_y	: yüzey azimut açısı (derece)
b	: Ångström denklemi sabiti
B	: atmosferik zayıflatma katsayısı (ASHRAE modeli)
B_y	: boylam (derece)
C	: ısı kapasite debisi (W/K)
C	: güneş enerjisi sisteminin maliyeti (YTL)
C₁	: toplayıcı birim fiyatı (YTL/m^2)
C₂	: sabit maliyetler (YTL)
C_{min}	: en küçük ısı kapasite debisi ($\text{W/}^\circ\text{C}$)
C_n	: berraklık faktörü (ASHRAE modeli)
c_p	: akışkanın özgül ısısı ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)
DD_{t,p}	: taban sıcaklığı ve zaman dilimindeki derece gün sayısı ($^\circ\text{C.gün}$)
d	: güneş deklinasyon açısı (derece)
d₀	: güneş deklinasyon açısının aylık ortalaması (derece)
E	: ay boyunca gerekli ek enerji ihtiyacı (J)
E	: ekonomik değerleri dönüştürme katsayısı
E₀	: dünya yörüngesinin eksen kaçıklığını düzeltme faktörü
e	: enlem (derece)
e	: enflasyon oranı
F	: paranın gelecekteki değeri (YTL)
F_R	: toplayıcı ısı verim sayısı
F_R'	: toplayıcı ısı değiştiricisi verim sayısı
f	: güneş sabitini günlere göre düzeltme faktörü
f	: faydalanma oranı
f_{opt}	: optimum faydalanma oranı
G	: toplayıcıdan birim yüzey alanı başına geçen akışkanın kütleli debisi (kg/s m^2)
GS	: güneş saati
g	: güneş geliş açısı (derece)
g_g	: güneye dönük eğik düzlem için güneş geliş açısı (derece)
h	: saat açısı (derece)
h	: akışkanın entalpisi (kJ/kg)
H	: güneş doğuş ve batış anındaki saat açısı (derece)
H_F	: yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

H_p	: güneş ışınlarının eğik düzleme paralel geldiği anlar için saat açısı (derece)
$\overline{H_T}$	: eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalaması ($J/m^2.gün$)
i	: faiz oranı
I_0	: atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışıının (W/m^2)
I_d	: yatay düzleme gelen direkt güneş ışıının (W/m^2)
I_e	: eğik düzleme gelen toplam güneş ışıının (W/m^2)
I_{ed}	: eğik düzleme gelen direkt güneş ışıının (W/m^2)
I_{ey}	: eğik düzleme gelen yayılı güneş ışıının (W/m^2)
I_{gs}	: güneş sabiti (W/m^2)
I_T	: test sırasında toplayıcı yüzeyine gelen güneş ışıının (W/m^2)
I_n	: yatay düzleme dik gelen direkt güneş ışıının (W/m^2)
I_y	: yatay düzleme gelen yayılı güneş ışıının (W/m^2)
j	: bağıl faiz oranı
K_t	: berraklık indeksi
K_y	: yayılı ışıınım oranı
L	: mekan ve sıcak su ısıtmak için gerekli aylık ısı ihtiyacı (J)
L_D	: yapının yıllık ısı ihtiyacı (J)
L_S	: yapının aylık ısı ihtiyacı (J)
L_W	: aylık sıcak su ısı ihtiyacı (J)
M	: toplayıcı birim alanı başına depo hacmi ($litre/m^2$)
M	:güneş enerjili sistemin kullanım süresi boyunca toplam maliyetinin bugünkü değeri (YTL)
M_1	: güneş enerjili sistemin kullanım süresi boyunca yakıt maliyetinin bugünkü değeri (YTL)
M_2	: güneş enerjisi sistemin maliyetinin bugünkü değeri (YTL)
m	: optik (mutlak) hava kütlesi
m_i	: izafi optik hava kütlesi
MS	: memleket saati (standart saat)
N	: hesap yapılan aydaki gün sayısı (gün)
n	: güneş enerjili ısınma sisteminin kullanım süresi (yıl)
n	: konutta yaşayan kişi sayısı
n	: gün sayısı (1 Ocak'tan itibaren gün sayısı)
N_F	: tüketilen yakıt miktarı (m^3 yada kg)
P	: paranın bugünkü değeri
P	: hesap yapılan yerdeki atmosfer basıncı (Pa)
P_0	: standart atmosfer basıncı (Pa)
Q	: yatay düzleme gelen günlük tüm güneş ışıının (MJ/m^2)
Q_c	: açık havadaki günlük tüm güneş ışıının aylık ortalaması (MJ/m^2)
Q_e	: eğik düzleme gelen günlük tüm güneş ışıının (MJ/m^2)
Q_0	: atmosfer dışında yatay düzleme bir gün boyunca gelen güneş ışıının (MJ/m^2)
Q_{0g}	: atmosfer dışında güneye dönük eğik düzleme bir gün boyunca gelen güneş ışıının (MJ/m^2)
Q_T	: ay boyunca güneşten elde edilen kullanılabilir enerji (J)
Q_y	: yatay düzleme gelen günlük yayılı güneş ışıının (MJ/m^2)
$\dot{Q}$	: ısı geçişi (W)

$\dot{Q}_{\text{kayıp}}$	: yapının ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_{\text{kayıp,tasarım}}$	: yapının tasarım ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_{\text{kazanç}}$	: yapının ısı kazancı (W)
$\dot{Q}_{\text{net}}$	: yapının net ısı yükü (W)
$\dot{Q}_U$	: Güneşte elde edilen kullanılabilir enerji (W)
R_d	: direkt güneş ışıınının eğik düzleme gelenin yatay düzleme gelene oranı
R_{dg}	:bir gün boyunca gelen direkt güneş ışıınının eğik düzleme gelenin yatay düzleme gelene oranı
s	: eğik düzlem açısı (derece)
S_f	: güneşlenme oranı
T_a	: toplayıcının bulunduğu ortamın hava sıcaklığı (°C)
T_i	: akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığı (°C)
$T_{i,\text{tasarım}}$	: yapının tasarım iç hava sıcaklığı (°C)
$T_{iç}$	: yapının iç hava sıcaklığı (°C)
$T_{dış}$	: yapının bulunduğu dış ortamın sıcaklığı (°C)
$T_{dış,\text{tasarım}}$	: yapının tasarım dış hava sıcaklığı (°C)
T_m	: şebeke suyu sıcaklığını aylık ortalaması (°C)
T_o	: akışkanın toplayıcıdan çıkış sıcaklığı (°C)
T_{ref}	: referans sıcaklık ($T_{\text{ref}} = 100$ °C)
T_t	: taban sıcaklığı (°C)
T_w	: sıcak su için kabul edilebilir en düşük sıcaklık (°C)
$\bar{T}_a$	: dış hava sıcaklığının aylık ortalaması (°C)
t	: güneşlenme süresi (saat)
t_g	: gün uzunluğu (saat)
t_o	: gün uzunluğunun aylık ortalaması (saat)
t_{om}	: değiştirilmiş gün uzunluğu (saat)
UA_{eff}	: yapının toplam özgül ısı kaybı (W/K)
U_L	: toplayıcının toplam ısı geçiş katsayısı ($W/m^2\text{°C}$)
V	: hesap yapılan dönemde kullanılan sıcak su miktarı (m^3)
y	: güneş yükseklik açısı (derece)
z	: zenith açısı (derece)
z_y	: deniz seviyesinden yükseklik (m)

α	: yutucu yüzeyin güneş ışınlamını yutma oranı
Δt	: aydaki toplam saniye sayısı (s)
ΔU	: Isıl depodaki suyun iç enerjisindeki değişim (J)
ϵ	: ısı değiştirici etkenliği
ϵ_c	: toplayıcı ısı değiştiricisi etkenliği
	: terminal ısı değiştiricisinin etkenliği
η_F	: geleneksel sistemin ısı verimi
ρ	: yoğunluk (kg/m^3)
ρ	: yerin yansıtma oranı
ρ_a	: açık havanın yansıtma oranı
ρ_c	: bulut yansıtma oranı
τ	: saydam örtünün güneş ışınlamını geçirme oranı
$(\tau\alpha)_n$	: yüzeye dik gelen ışınlam için geçiş-yutma katsayısı
$(\overline{\tau\alpha})$	: geçiş-yutma katsayısının aylık ortalaması
$(\overline{\tau\alpha})_b$	: direk güneş ışınlamının geçiş-yutma oranının aylık ortalamasına katkısının
$(\overline{\tau\alpha})_d$	: yayılı güneş ışınlamının geçiş-yutma oranının aylık ortalamasına katkısının
$(\overline{\tau\alpha})_r$	: yansıtılarak gelen güneş ışınlamının geçiş-yutma oranının aylık ortalamasına katkısının

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİLİ KONUT ISITMA SİSTEMLERİNİN F-GRAFİK YÖNTEMİ İLE OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

Sunulan çalışmada, sıvı akışkanlı sistemler esas alınarak, güneş enerjili (güneş enerjisi destekli) konut ısıtma sistemlerinin boyutlandırılması için sistem tasarımının nasıl yapılacağı ve optimize edileceği incelenmiştir.

Çalışmanın ilk kısmında literatür araştırması yapılmış ve yer yüzüne gelen anlık ve günlük güneş ışıının belirlenmesinde ve güneş enerjili sistemlerinin performanslarının hesaplanmasında kullanılan yöntemler tanıtılmıştır daha sonra da çalışmada kullanılan yöntemler detaylı olarak anlatılmıştır.

Sunulan çalışmada

- a) Yeryüzündeki yatay ve eğik düzlemlere gelen anlık ve günlük ışıının hesaplanması için Ångström-Prescott yöntemi kullanılmıştır.
- b) Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin boyutlandırılması için bilinmesi gereken güneş enerjisinden faydalanma oranının hesaplanması f-grafik yöntemi ile yapılmıştır.
- c) Optimum faydalanma oranının hesaplanmasında ise ömür boyu maliyet yaklaşımı ve bugünkü değer yönteminden yararlanılmıştır.

SUMMARY

OPTIMAL SIZING OF RESIDENTIAL SOLAR HEATING SYSTEMS BY THE F-CHART METHOD

In this study, system design and optimization issues for liquid-based solar space heating systems are addressed. In the first part of the study literature survey was made and methods for determining hourly and daily solar radiation and computing long-term performance of solar heating systems were introduced; later details of the methods used in the study were given

In this study

- a) Ångström-Prescott method was used in computing hourly and daily radiation on horizontal and tilted surfaces on earth.
- b) F-chart method was used in computing fraction of heating load supplied by solar energy needed to size solar space heating system.
- c) Life cycle costing approach and present value method were used in computing optimum fraction of heating load supplied by solar energy.

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları uygulamalarının kullanımı geleneksel yakıtlardaki fiyat artışı ve çevre etkileri nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır. Güneş enerjili konut ısıtma sistemleri boyutlandırılırken öncelikli olarak sistemin performansını hesaplayan bir yöntem seçilir. Seçilen yönteme göre, hesap yapılan yapının bulunduğu yerdeki güneş ışıınımı, uygulanacak sistemdeki parçaların ve yapının özelliklerine bağlı olarak bazı değerlerin bilinmesi gerekir. Bu değerler bazen performans hesabında kullanılan yönteminin bazı şartlar altında tavsiye ettiği değerler olabileceği gibi bazen de tasarımcının elde etmek zorunda olduğu değerlerdir. Çalışmada performans hesabı için f-grafik yöntemi seçilmiştir. Yöntem belirli bir sistem şeması için geliştirilmiş olsa da sistemde kullanılacak parçaların seçimi ve özellikleri kullanıcının tercihine bağlıdır, f-grafik yönteminin kullanıcıdan istediği güneş ışıınımı değerleri Ångström-Prescott yöntemi ile hesaplanmıştır, denklem sabitleri ise Türkiye'nin genelinde kullanılabilen, diğer yöntemlerden farklı olarak enlem dışında boylam ve deniz seviyesinden yüksekliği de hesaba dahil eden KILIÇ ve ÖZTÜRK [1] tarafından önerilen sabitlerdir. f-grafik yönteminde güneş enerjili ısıtma sisteminin uygulanacağı yapının aylık bazda ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının da bilinmesi gerekmektedir, yapılarda geçmişe dönük ısıtma enerjisi değerleri toplanmadığı için değerleri bulmakta derece gün yöntemi kullanılmıştır. İnceleme yapılan farklı şehirlerdeki iki yapının projeleri üzerinden yapıların toplam ısı geçiş katsayıları bulunduktan sonra yapıların aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçları bulunmuş ve f-grafik yöntemi ile değişik tasarım değişkenlerinin sistem performansı ve sistemin ömür boyu maliyeti üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. YERYÜZÜNE GELEN ANLIK VE GÜNLÜK GÜNEŞ IŞINIMININ BELİRLENMESİ

Bir bölgedeki anlık ve günlük güneş ışıınının bilinmesi yapı enerji sistemlerinin ve güneş enerjili sistemlerin düzgün tasarlanmasında ayrıca yapı konfor şartlarının iyi şekilde değerlendirilmesinde gereklidir. Herhangi bir bölgede gerek duyulan güneş ışıınıını değerlerini bilmenin en iyi yolu uzun süreli ölçümlere dayalı veritabanlarını kullanmaktır, fakat ölçüm istasyonlarının her yerleşim bölgesinde olmaması güneş ışıınıını belirleyecek güneş ışıınıını modellerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Anlık direkt güneş ışıınıının önemli olduğu yüksek yoğunluklu güneş hücreleri ve yüksek sıcaklıkta çalışan ısı motorları gibi sistemlerle birlikte güneş ışıınıını modellerinde direkt ışıınıının belirlenmesi önemli olmuştur. [2]

Güneş ışıınıını modelleri 2 ana gruba ayrılır;

- Parametrik modeller
- Dekompozisyon modeller

Parametrik modeller hesabın yapılacağı ana ait detaylı atmosferik bilgiler istemektedir, bu bilgilerden sıkça kullanılanları; bulutların tip, miktar ve dağılımı, güneşlenme oranı, atmosferdeki bulanıklık değeri, atmosferdeki su buharı miktarıdır. Bu anlık değerlere ulaşp hesaplamalarda kullanmak pratik olmayacaktır. Daha basit bir yöntem ASHRAE tarafından geliştirilmiş, mühendislik ve mimarlık çevrelerinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur.

Direkt yada diğer güneş ışıınıını değerlerini, ölçülmüş güneş ışıınıını değerlerinde yola çıkarak belirleyen korelasyon modelleri geliştirmekte mümkündür, bu modeller

genellikle tüm güneş ışıınımlı kullanarak yeryüzündeki anlık ve günlük ışıınımlı belirlenmektedir.

2.1.1. Parametrik Modeller

Düzleme dik gelen direkt güneş ışıınımlı Iqbal [3] tarafından Iqbal Model C 'de

$$I_n = 0,9751 E_0 I_{gs} \tau_r \tau_o \tau_g \tau_w \tau_a \quad (2.1)$$

şeklinde verilmiştir.

Bu modelde güneş spektrumu 0,3-3 μm aralığında alındığı için 0,9751 sabiti kullanılmaktadır. I_{gs} güneş sabitidir ve 1367 W/m^2 alınmıştır. E_0 boyutsuz sayısı ise dünya yörüngesinin eksen kaçıklığını düzeltme faktörüdür. $\tau_r, \tau_o, \tau_g, \tau_w, \tau_a$ boyutsuz sayıları sırasıyla atmosfer özelliklerine bağlı rayleigh, ozon, gaz, su ve aerosolların saçma-geçirme katsayılarıdır. [4]

ASHRAE modeli mühendislik ve mimarlık çevresinde geniş kullanım alanı bulan, ASHRAE [5] tarafından geliştirilmiş bir modeldir. Düzleme dik gelen direkt güneş ışıınımlı I_n (W/m^2)

$$I_n = C_n A e^{-\frac{B}{\sec z}} \quad (2.2)$$

olarak verilmiştir.

A (W/m^2) atmosfer dışına gelen güneş ışıınımlıdır ve dünya-güneş mesafesine göre değişmektedir.

$$A = I_{gs} \cdot E_0 \cdot \text{sabit} \quad (2.3)$$

Güneş sabiti olan I_{gs} bu modelde 1322 W/m^2 olarak alınmıştır. E_0 boyutsuz sayısı ise dünya yörüngesinin eksen kaçıklığını düzeltme faktörüdür. Çarpım sabitinin değeri ise 0,9 değerine yakındır. B boyutsuz sayısı atmosferik zayıflatma katsayısıdır ve değeri yıl içinde değişiklik göstermektedir. C_n boyutsuz sayısı ise berraklık faktörüdür

Denklem (2.2) deniz seviyesindeki şartlara göre verilmiştir. P hesabın yapıldığı yerdeki hava basıncı ve P_0 standart atmosfer basıncı olmak üzere deniz seviyesinden farklı yüksekliklerde denklem (2.3) deki gibi bulunabilir.

$$I_n = C_n A e^{-\frac{B}{\sec z} \left(\frac{P}{P_0} \right)} \quad (2.4)$$

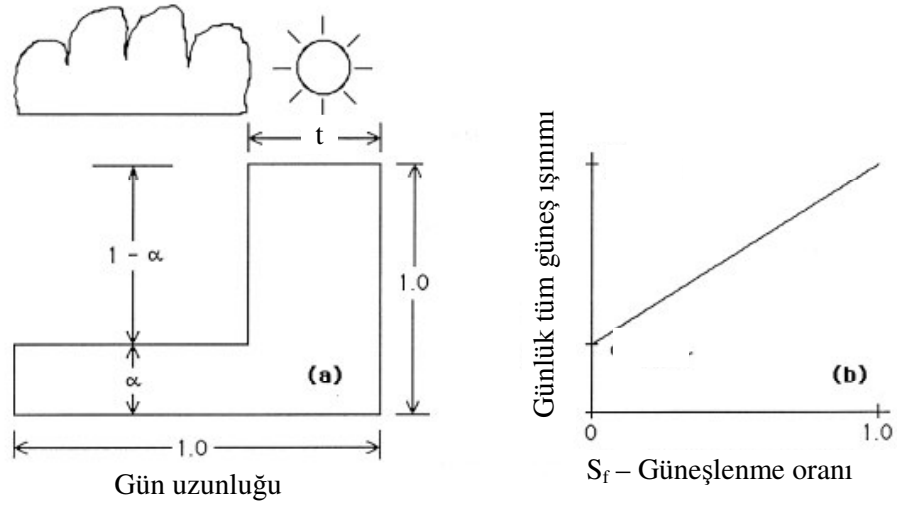
A ve B sayıları tablolarda verilmiştir, fakat ASHRAE'nin yaptığı bir çalışma olduğu için tablolar Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan şehirlere uygun hazırlanmıştır. Başka ülkelerde bu tabloların kullanılması hatalı sonuçlar vermektedir. Güneş sabitinin 1322 W/m^2 alınması ve atmosfer dışı ışıınım çalışması, zamanın gerisinde kalmıştır. B değerleri 2 A.B.D. şehrinde yapılan yerel ölçümlerin değerlendirilmesiyle deneysel olarak bulunmuştur ve deneylerde kullanılan ölçüm cihazlar eski modellerdir, ayrıca ölçülen değerler yerleşim yerindeki şartlar etkilediği için, dünyadaki her yerleşim yerinde kullanılması uygun değildir. Bu modelde, yerin yansıtma oranı kullanılmamıştır, bu nedenle çevreden olan yansımaların ışıınıma katkısı olmayacaktır. Aerosol kaynaklı yayılı ışıınımın katkısı da ihmal edilmektedir, her ne kadar yayılı ışıınımın direkt ışıınıma katkısı az olsa da aerosol kaynaklı yayılı ışıınımın toplam yayılı ışıınıma katkısı büyüktür.

2.1.2. Dekompozisyon Modelleri

Güneş ışıınımının teorik olarak belirlenmesi için bulutların tipi, optik özellikleri, miktarı, kalınlığı, pozisyonu ve katman sayısı gibi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler nadiren toplanmaktadır ama güneşlenme süreleri ve toplam bulutlanma (gökyüzünün bulutlarla kaplanma oranı) bilgileri bir çok yer için toplanmıştır ve kolaylıkla ulaşılabilir.

Yatay düzleme gelen tüm güneş ışıınımının aylık ortalaması, güneşlenme süresinden yola çıkarak belirlenebilir. Kimball, 1919 yılında güneşlenme oranının günlük tüm güneş ışıınımıyla bağıntılı olabileceğini ileri sürmüştür, Ångström ilk modeli geliştirmiş günlük tüm güneş ışıınımının aylık ortalamasının açık havadaki günlük tüm güneş ışıınımının aylık ortalamasına oranının, güneşlenme oranına bağılı olduğunu önermiştir.

a sabiti Stockholm/İsveç için 0,25 olarak elde edilmiştir. Ångström denkleminin grafiksel gösterimi Şekil 2.1 deki gibidir gösterilmiştir. Denklem 2.4 anlamak için Şekil 2.1.a incelenirse, yatay eksen gün uzunluğu dikey eksen ise günlük tüm güneş ışıdır. Gün uzunluğunu 1 kabul edilirse, güneşlenme süresi t, havanın kapalı olduğu süre ise (1-t) olacaktır. Benzer yaklaşımla açık havadaki tüm güneş ışı 1 , havanın kapalı olduğu süredeki tüm güneş ışı α olacaktır, açık ve bulutlu zaman dilimlerindeki tüm güneş ışıları zamanlar ile çarpılırsa denklem 2.4 elde edilmiş olur. Şekil 2.1.b ise güneşlenme oranı ile günlük tüm güneş ışı arasındaki ilişki görülmektedir. [6]



Şekil 2.1: Ångström denkleminin grafiksel gösterimi [6]

$$\frac{Q}{Q_c} = a + (1-a)S_f = a + bS_f \quad (2.5)$$

$$S_f = \frac{t}{t_0} \quad (2.6)$$

Ångström modelinde havanın açık olduğu günlerde S_f değerinin $a+b=1$ değerini sağlaması gerekir fakat güneşlenme süresini ölçen cihazlardan kaynaklanan problemlerden dolayı eşitlik asla sağlanamamaktadır bu da ışıının düşük belirlenmesine neden olmaktadır.

Ångström denkleminin değiştirilmiş hali olan Ångström-Prescott denklemi 1940 yılında Prescott tarafından teklif edilmiştir.

$$\frac{Q}{Q_c} = a + b S_f \quad (2.7)$$

Bu denklem için katsayılar $a_1 = 0,22$, $b_1 = 0,54$ verilmiştir.

Her iki denklemde de ((2.4) ve (2.6)) a ve b değerleri havanın kapalı olduğu bir gündeki yayılı ışıma bağlıyken a+b toplamı açık havadaki tüm güneş ışımasına bağlıdır. Her iki denklemde de Q değerinin hesap yapılan aydaki idealize edilmiş bir güne uyduğu kabul edilmektedir. Bu değer hesap yapılan aydaki iki limit gün (gökyüzünün bulutlarla tam kapalı yada tamamen açık olduğu) boyunca toplanan tüm güneş ışımasının ağırlıklı toplamından elde edilmektedir. Q_c değerinin kesin olarak hesaplanmasında da problemler yaşanmaktadır.

Bu denklem atmosfer dışına gelen ışımayı esas alacak şekilde Prescott tarafından tekrar değiştirilmiş, Gueymard ve diğ. tarafında gözden geçirilmiştir. a ve b farklı yerler için sabit değerler almaktadır. Denklem (2.8) ile belirtilen değiştirilmiş Ångström-Prescott denkleminin olumsuz yönü denklem (2.4) de Q_c ile değerlendirilmiş olan atmosferin güneş ışımasını geçirme etkisinin yerel olarak olmayışdır.

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b S_f \quad (2.8)$$

Atmosfer dışındaki yatay düzleme gelen bir saatlik güneş ışımasını Q_0 (MJ/m^2) denklem (2.8) ile bulunabilir.

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} E_0 \cos \epsilon \cos \delta \left[\sin H - \left(\frac{\pi}{180} \right) H \cos \epsilon \right] \quad (2.9)$$

$$I_{gs} = 1367 \times 3,6 \text{ kJ/m}^2 \text{ h}$$

Ångström-Prescott denklemi mühendislik ve bilimde çok geniş kullanım alanı bulmuş ve yerel olarak a ve b katsayılarını inceleyen ve denklemde yerel olarak değişiklikler öneren bir çok çalışma yapılmıştır. [7]

Rietveld, a ve b sabitleri ile ilgili bir çok yayını incelediğinde yıllık güneşlenme oranına göre a 'nın doğrusal b'nin ise hiperbolik değişim gösterdiğini görmüştür.

$\left\langle \frac{t}{t_0} \right\rangle$ yıllık güneşlenme oranı olmak üzere

$$a = 0,10 + 0,24 \left\langle \frac{t}{t_0} \right\rangle \quad (2.10)$$

$$b = 0,38 + 0,08 \left\langle \frac{t}{t_0} \right\rangle \quad (2.11)$$

Eğer $\left\langle \frac{t}{t_0} \right\rangle = \frac{t}{t_0}$ kabul edilirse Rietveld Modeli sabit katsayılı Ångström-Prescott denklemine basitleştirilebilir. (2.9) ve (2.10) denklemleri (2.7) yerine konursa

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,18 + 0,62 \frac{t}{t_0} \quad (2.12)$$

(2.11) denklemi dünyanın her yeri için denenmiş ve $\frac{t}{t_0} < 0,4$ olduğu bulutlu durumlarda üstün sonuçlar alınmıştır.

Glover ve McCulloch enlem etkisini de hesaba katmış ve enlemin 60° den küçük olduğu değerler için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,29 \cos e + 0,52 \frac{t}{t_0} \quad (2.13)$$

Gopinathan enlem, yükseklik ve güneşlenme süresi yüzdesinin regresyonu ile a ve b katsayılarını dünyanın herhangi bir yerinde kullanmak üzere önermiştir.

$$a = -0,309 + 0,539 \cos e - 0,0693 z_y + 0,29 \frac{t}{t_0} \quad (2.14)$$

$$b = 1,527 - 1,027 \cos e + 0,0926 z_y - 0,359 \frac{t}{t_0} \quad (2.15)$$

a ve b katsayıları önerildikleri bölgeye bağımlıdır. Bulutların optik özellikleri, yerin yansıtma oranı ve ortalama hava kütesinden etkilenmektedirler. Hay bu faktörleri Kanada'nın batısında yapılan ölçüm bilgileriyle incelemiş ve bölgeden bağımsız bir korelasyon önermiştir.

$$\frac{G}{G_0} = \frac{0,1572 + 0,556 \left(\frac{t}{t_{0m}} \right)}{1 - \rho \left[\rho_a \left(\frac{t}{t_{0m}} \right) \right] + \rho_c \left(1 - \frac{t}{t_{0m}} \right)} \quad (2.16)$$

$$\rho_a = 0,25$$

$$\rho_c = 0,6$$

$$t_{0m} = \frac{1}{7,5} \cos^{-1} \left(\frac{\cos 85 - \sin e \sin d_0}{\cos e \cos d_0} \right) \quad (2.17)$$

Tablo 2.1: Önerilen a ve b katsayıları ve veri kaynağı

a_1	b_1	veri kaynağı
$0,10 + 0,24 \left\langle \frac{t}{t_0} \right\rangle$	$0,38 + 0,08 \left\langle \frac{t}{t_0} \right\rangle$	Dünya çapında 42 nokta $6^\circ < e < 69^\circ$
0,18	0,62	Dünya çapında 42 nokta $6^\circ < e < 69^\circ$
$0,29 \cos e$	0,52	$e < 69^\circ$
0,175	0,552	Tahran, Suudi Arabistan $17^\circ < e < 27^\circ$
$-0,309 + 0,539 \cos e - 0,0693z + 0,29 \frac{t}{t_0}$	$1,527 - 1,027 \cos e + 0,0926z - 0,359 \frac{t}{t_0}$	Dünya çapında $5^\circ < e < 54^\circ$
0,2843	0,4509	Bahreyn($e = 69^\circ$)
0,206	0,546	Fransa'nın güneyi ($e = 42^\circ$)
0,2006	0,5313	Hindistan'ın kuzeyi ($e = 27^\circ$)

2.2. GÜNEŞ ENERJİLİ KONUT ISITMA SİSTEMLERİNİN TASARIMINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Çok değişik tiplerde güneş enerjili konut ısıtma sistemi mevcuttur ve ticari olarak satılmaktadır. Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin tasarımında merak edilen en önemli unsur ekonomik bakış açısıyla sistemi optimize eden güneş toplayıcısı alanının belirlenmesidir. Bu ihtiyaç güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin maliyetleri ile yakıt tasarrufu arasındaki ilişkinin düşünülmesine neden olmuştur. Problemin çözümüne bir yaklaşım da bilgisayar simülasyonunu bir tasarım aracı olarak kullanılmasıdır bu doğrultuda, istenilen güneş enerjili konut ısıtma sisteminin performansını modelleyecek detaylı bilgisayar simülasyon modelleri geliştirilmiştir, bu simülasyonlar üç amaca hizmet etmektedir; birincisi sistemin değişik iklim şartlarındaki performansının dinamik olarak gözlenmesi, ikincisi sistemin istenilen amaç için düzgün olarak tasarlanmasında yardımcı olması, üçüncüsü ise genelleştirilmiş tasarım çalışmalarına yardımcı olmasıdır. Bu simülasyon modellerinde [8-13] özgül sistemlerin tasarımı için önemli sistem

parametreleri bu simülasyonlarda tanımlanabilir. En doğru sonuç veren ve karmaşık simülasyon yazılımı TRNSYS'dir [14-17]. TRNSYS yazılımı çok iyi bir analiz programı olmasına rağmen üç nedenden dolayı tasarım amaçlı olarak rahatlıkla kullanılamamaktadır. Bu nedenlerden birincisi simülasyon yapılan yerdeki meteorolojik değerlere ve yazılımı kullanmak için deneyime ihtiyaç duymasındır, ikinci neden tasarım yapan her kişinin bilgisayara ve yazılıma sahip olamaması, üçüncü neden ise iterasyon gerektiren optimizasyon problemlerinin çözümü gibi çalışmaların yüksek maliyetlerdir. Simülasyonlar büyük ve standart dışı sistemler için halen önemli bir tasarım aracı olmaya devam edecektir ama detaylı simülasyon maliyeti göz ardı edilemeyecek miktarda yüksektir. [22]

Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin geniş bir alanda yaygın olarak kullanılmaya başlaması ısıtma sektörünün kullanımı için sadeleştirilmiş, güneş enerjisini etkili kullanan ve ekonomik olarak optimum sonuçları veren bir tasarım prosedürüne ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en önemlisi f-grafik yöntemidir yöntem kullanıcı merkezli bir tasarım sürecine sahiptir. Yöntem TRNSYS yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir, yöntem geliştirilirken güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin önemli boyutsuz değişkenleri belirlenmiş ve bu değişkenler arasındaki bağıntıları kurmak için detaylı bilgisayar simülasyonları uygulanmıştır. f-grafik yöntemi, hesabı yapılan güneş enerjili konut ısıtma sisteminin yapının toplam ısı ihtiyacını hangi oranda karşıladığını belirlemekte kullanılır. Yöntem sıvı veya hava akışkanlı evsel ısıtma ve sıcak kullanım suyu sistemleri için özellikle geliştirilmiştir. BECKMAN ve diğ. [18] tarafından tarif edilmiş, KLEIN ve diğ. [19] ve KLEIN ve BECKMAN [20] tarafından tartışılmıştır. Çalışmalar sonucunda sistemin aylık performansını iki boyutsuz değişkene (X ve Y) bağlı olarak okuyabileceğimiz grafikler elde edilmiştir, grafikler f-grafik olarak adlandırılmıştır. Yöntemi grafiğe bağımlılıktan kurtarmak için X ve Y arasında bir bağıntı geliştirilerek belirli bir aralıkta f değeri bu iki değere bağlı olarak hesaplanabilir olmuştur. Yöntem sistemde kullanılan parçaların özellikleri dışında diğer yöntemlerden farklı olarak sadece aylık ortalama meteorolojik değerleri kullanmaktadır ve uzun yıllara dayalı saat bazındaki bilgilerle tasarım yapan yöntemlerin sonuçlarına çok yakın sonuçlar vermektedir. Hesabın yapılacağı yerleşim yerindeki maliyet ve meteorolojik bilgilerin birlikte kullanımı ile kolaylıkla güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin ısı

performansını belirlenir ve böylece güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin tasarımı maliyetler açısından optimize edilmiş olur. f-grafik yöntemi kullanılırken uyulması gereken sınırlar ve yapılan kabuller şunlardır.

1. Sıvı akışkanlı sistemlerde ısı depo ve ön ısıtma tanklarının çok iyi karışmış olduğu, tanklarda herhangi bir tabakalaşma olmadığı kabul edilir.
2. Günler güneş öğlesine göre simetrik kabul edilir.
3. Kullanım suyu ısıtma sistemlerinde ayar sıcaklığının altındaki değerlerde, sudaki enerjinin kullanılabilir olmadığı kabul edilir.
4. Kullanım suyu ısıtma sistemlerinde günlük sıcak su kullanımı dağılımının sabit olduğu kabul edilir.
5. Güneş ön ısıtma tankının iyi şekilde ısı yalıtıldığı kabul edilmiş ve yöntem geliştirilirken ek ısıtma tankı göz önüne alınmamıştır.
6. Zaman içinde sistem performansında kötüleşme ve kaçak olmadığı kabul edilmiştir.
7. Sistemin düzgün olarak monte edildiği, akış dağılımının düzgün olduğu, sistem yapılandırmasının f-grafiklerin geliştirildiği sisteme benzer olduğu varsayılmaktadır.

TRNSYS yazılımının karmaşıklığı ve f-grafik yönteminin sınırları göz önüne alındığında A.B.D. Enerji Araştırma ve Geliştirme İdaresi tarafından Martin Marletta şirketine bir yazılım geliştirme işi verilmiştir, çalışmanın sonucunda SOLCOST yöntemi ve yazılımı ortaya çıkmıştır [21]. Yöntem bulutsuz ve bulutlu bir gün için simülasyon yapmakta aylık ortalama bulutluluk oranına göre bu iki simülasyon değerini ağırlıklandırmakta ve sistemin aylık performansını bulmaktadır. Yöntem değişik güneş enerjili sistemleri değerlendirmekte de kullanılabilir. Bu sistemler;

- sıvı veya hava akışkanlı kullanım sıcak suyu ve mekan ısıtma sistemlerinde
- absorpsiyonlu iklimlendirme sistemlerinde
- güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemlerinde

Ayrıca yöntem değişik tipteki toplayıcılarda kullanılabilir;

- sıvı veya hava akışkanlı düzlemsel toplayıcı
- odaklamalı toplayıcılar
- vakum borulu toplayıcılar

- güneşi takip eden toplayıcılar

Aynı şartlarda SOLCOST yönteminin verdiği sonuçlar f-grafik değerleri ile karşılaştırıldığında %20 ye varan büyük farklılıklar olduğu görülmüştür. Bunun sebepleri şunlar olabilir;

- Her iki yöntem de farklı çözümleme yöntemleri kullanılmaktadır.
- SOLCOST sistemi simüle ederken f-grafik regresyon tekniğini kullanmaktadır.
- Her iki yöntemde de farklı meteorolojik değerler kullanılmaktadır.

SLR (Solar Load Ratio) yöntemi olarak bilinen yöntem BALCOMB ve HEDSTON [23] tarafında sistemin aylık ortalama getirisini bir saatlik zaman adımlarıyla 25 farklı A.B.D. şehir ve aynı sistem için 5 farklı toplayıcı ölçüsünde simüle etmektedir. SLR Yöntemi f-grafik yöntemine göre daha basit olmakla birlikte yıllık bazda diğer yöntemin verdiği sonuçlarla kıyaslanabilir sonuçlar verir. Yöntem hesap makinesi ile kolayca hesaplanabilecek 5 adımdan oluşmaktadır. Yöntemde boyutsuzlaştırma olmadığı için genel kullanımdan mahrumdur. Yöntemde ısı depo hacmi, ısı değiştiricisi özellikleri, toplayıcı parametreleri, akış özellikleri gibi önemli parametreler metoda analitik olarak dahil edilememektedir fakat bu parametreler f-grafik yönteminde kolaylıkla yöntemde kullanılabilir. Yöntem aylık meteorolojik değerleri kullanarak hesap yapılan yer için gerekli toplayıcı alanını öngörmektedir. KREITH ve KREIDES [24] tarafından yapılan çalışmada aynı sistem için aylık güneşten faydalanma oranını SLR ve f-Grafik Yöntemleri ile hesaplanmış. Sonuçlar karşılaştırılınca her iki yöntemin sonuçları çok yakın olmakla birlikte, büyük ısıtma yüklerinde sürekli olarak SLR yöntemi diğer yöntemle göre daha küçük değerler vermektedir, buna rağmen çalışma bir sistem üzerinde yapılmıştır, kesin bir sonuca varabilmek için daha çok sayıda sistem üzerinde inceleme yapılmalıdır. [25]

Güneş enerjili ısıtma sistemlerinin tasarımında kullanılan bir başka sade ve sistematik yöntem da LAMEIRO ve BENDT [26] tarafından geliştirilmiş olan GFL yöntemidir. Yöntem, sıvı ve hava akışkanlı toplayıcı tipleri, farklı toplayıcı tasarım parametreleri, farklı şehirler ve %0-%90 aralığındaki güneşten yararlanma oranı içeren 1500 adete yakın örneklerle geçerliliği denetlenmiştir. Yöntem uygulanırken adım adım ilerlenmekte

ve birkaç tablo ve bağıntı kullanılmaktadır. GFL yöntemi özünde f-grafik yöntemiyle büyük bir benzerlik göstermektedir, f-grafik yöntemindeki kabullere ek olarak

- Günlük kullanım sıcak suyu tüketimi 300 litre dir.
- Su sıcaklığında 11 °C dan 60 °C artış istenmektedir.
- Toplayıcı güneye tam dönük ve eğim derecesi bulunduğu enlem derecesi kadardır.

Çok sayıda özdeş zaman ve sistem için GFL ve f-grafik yöntemleri karşılaştırılmıştır. Sonuçların %99 oranında bağıntılı ve en büyük RMS hatası ise %2.09 oranında olmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

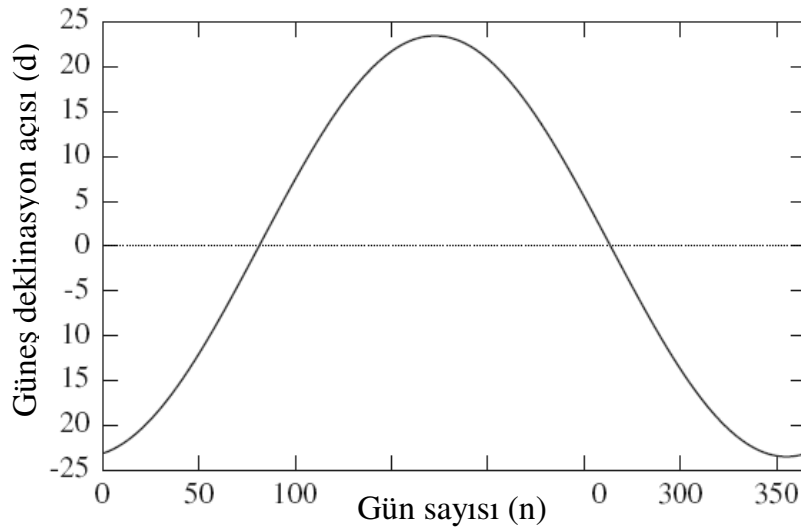
3.1. EĞİK DÜZLEME GELEN GÜNLÜK GÜNEŞ IŞINIMININ BELİRLENMESİ

3.1.1. Güneş Açıları

Dünyaya gelen güneş ışınımının bulunmasında dünyaya göre güneşin hareketi incelenir. Güneş açılarının belirlenmesinde dünya merkezde diğer gezegenlerin ve güneşin (veya yıldızlar) dünyanın etrafında gösterildiği çok büyük yarıçaplı gökküreden faydalanılır. Bu gökküre üzerinde güneşin dünyaya göre konumu ve hareketi “Güneş Açıları” ile belirlenir.

3.1.1.1. Güneş Deklinasyon Açısı

Gökküre üzerinde dünya-güneş doğrultusunun ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Dünya-güneş doğrultusu ekvator düzleminin kuzey tarafında ise pozitif güney tarafında ise negatif kabul edilir. Değeri $-23,45$ (21 Aralık kış gündönümü) ile $+23,45$ (21 Haziran yaz gündönümü) arasında değişir. 21 Mart İlkbahar ekinoksu ve 21 Eylül sonbahar ekinoksunda açı sıfır değerini alır. [27]



Şekil 3.1: Güneş deklinasyon açısının (d), gün sayısına göre (n) değişimi

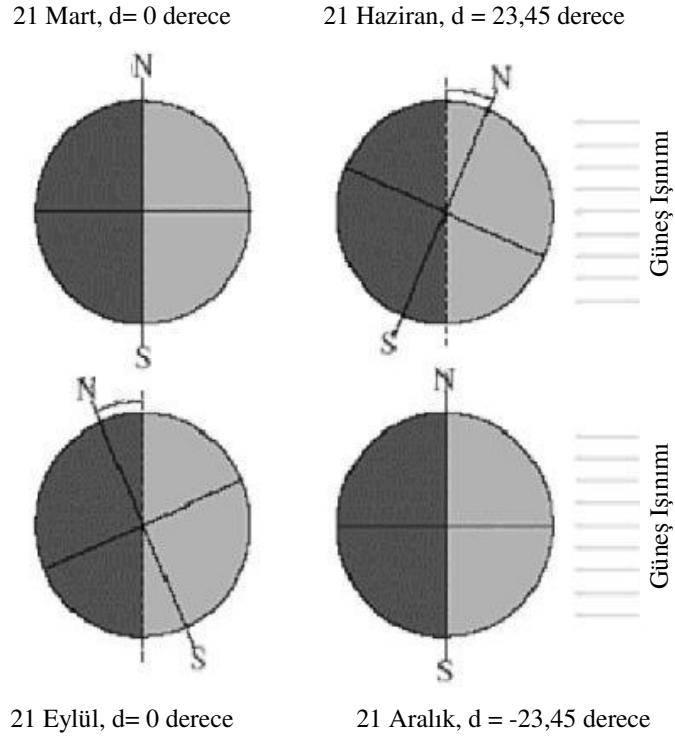
Açının değeri derece cinsinden ampirik Cooper Formülü denklem (3. 1) ile bulunabilir.

$$d = 23,45 \sin \left(360 \frac{n+284}{365} \right) \quad (3. 1)$$

Çoğu zaman hesaplamalarda aylık ortalama değerler kullanılır. Güneş deklinasyon açısının aylık ortalama değerleri Tablo 3.1 den okunur yada güneş deklinasyon açısı değeri hesap yapılacak ayın ortalama güneş deklinasyon açısına (d_0) eşit olan gün o ayı karakterize eden gün olarak kabul edilip o gün için hesap yapılır.

Tablo 3.1: Güneş deklinasyon açılarının aylık ortalaması ve bu açılara karşılık gelen gün sayıları.

Ay	Gün	n	D₀ (drc)
Ocak	17	17	-20,92
Şubat	16	47	-13,29
Mart	16	75	-2,42
Nisan	15	105	9,41
Mayıs	15	135	18,79
Haziran	11	162	23,09
Temmuz	17	198	21,18
Ağustos	16	228	13,45
Eylül	15	258	2,22
Ekim	15	288	-9,6
Kasım	14	318	-18,91
Aralık	10	344	-23,05



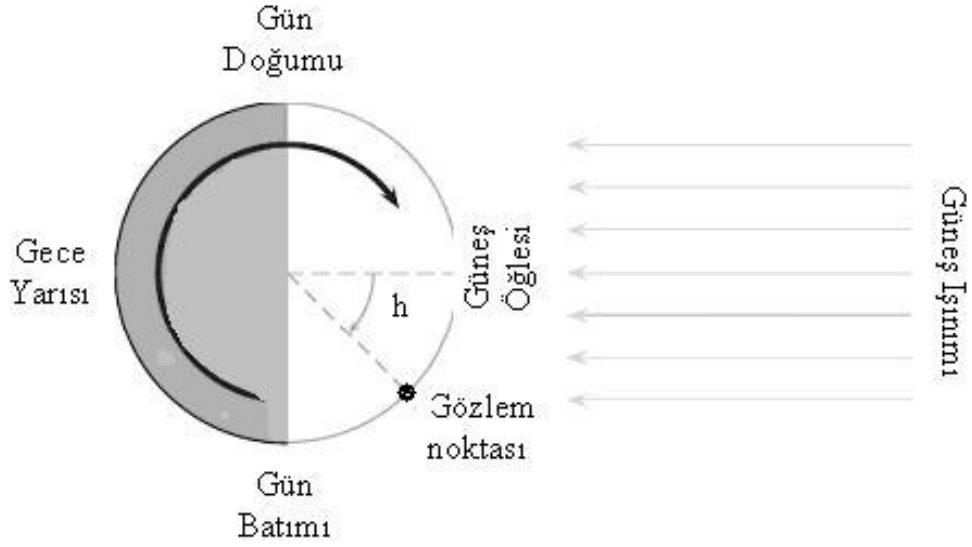
Şekil 3.2: Güneş deklinasyon açısının gündönümleri ve ekinokslara göre değişimi

3.1.1.2. Saat Açısı

Gökküre üzerinde incelenen yerin boylamı ile güneşin bulunduğu boylam arasındaki açıdır, güneş saatinin açısal olarak ifadesidir, 15° saat açısı 1 saatlik zamana denk gelir. Güneşin bulunduğu boylam incelenen yerin bulunduğu boylam eşit olduğunda güneş öğlesi denir ve güneş saati (GS) 12 dir. Güneş öğlesinden önce saat açısı (+) güneş öğlesinden sonra ise (-) değer alır.

Güneş ışıınının ölçüm ve hesaplamaları güneş saatine (GS) göre yapılır., saat açısı güneş saatine bağlı olarak derece cinsinden (3.2) bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$h \text{ (drc)} = 15 (12\text{-GS}) \quad (3.2)$$



Şekil 3.3: Saat açısı

Bazı durumlarda problemde GS yerine MS (Memleket Saati) verilebilir. MS'den GS' ye dönüşüm yaparken ZD (Zaman Düzeltmesi) faktörü kullanılır. ZD faktörü dünyanın dönme hızındaki pertürbasyon ve yörüngesindeki düzensizliklerden ileri gelir ve yıl içinde günlere göre değişir bu nedenle hesabı x değişkenine bağlı olarak yapılır.

$$x(\text{drc}) = 360 \frac{n-1}{365,242} \quad (3.3)$$

$$ZD(\text{saat}) = 0,0043(\cos x) - 0,1236(\sin x) - 0,0606(\cos 2x) - 0,1538(\sin 2x) \quad (3.4)$$

ve 30° Türkiye için standart boylam olmak üzere

$$GS = MS - \frac{30 - B_y}{15} + ZD \quad (3.5)$$

GS ile MS arasındaki dönüşümü veren (3.5) denklemi bulunur.

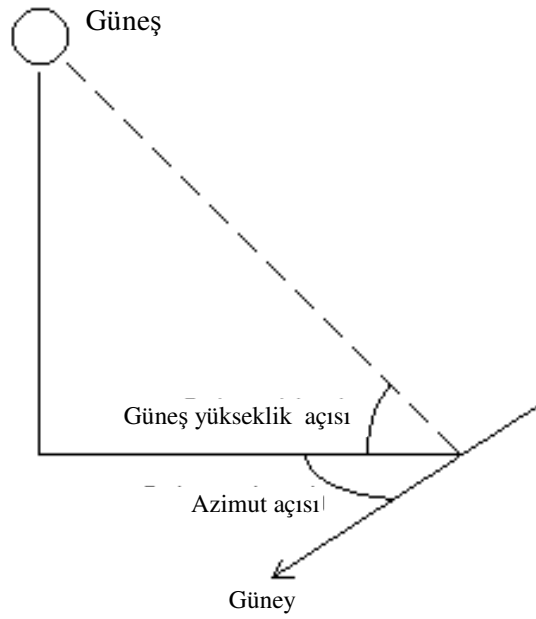
3 .1.2. Türetilmiş Güneş Açıları

Yeryüzündeki yatay veya eğik düzleme gelen güneş ışıının belirlenmesinde düzlemin (güneş geliş açısı, profil açısı) ve ışıının (zenith açısı, güneş yükseklik açısı, güneş azimut açısı) doğrultularını veren açılar kullanılır.

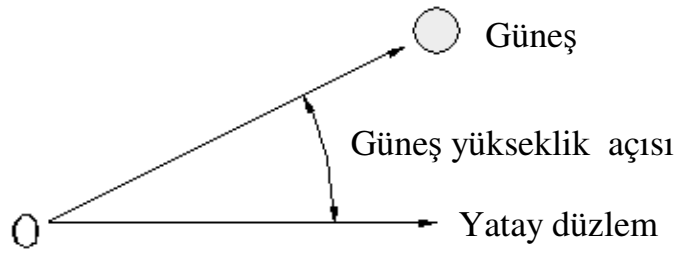
3.1.2.1. Zenith Açısı

Gökküre de dünya üzerinde incelenen yatay düzlemin normali ile direkt güneş ışınlarını yaptığı açıdır. Güneşin doğuşunda ve batışında $z = 90^\circ$, güneş ışınlarının yatay düzleme dik geldiği zaman $z = 0^\circ$ 'dir.

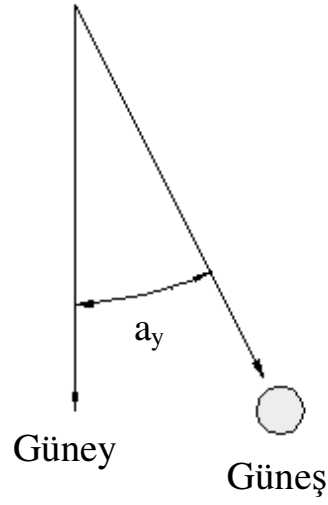
3.1.2.2 Güneş Yükseklik Açısı ve Gün Uzunluğu



Şekil 3.4: Güneş yükseklik ve azimut açısı



Şekil 3.5: Güneş yükseklik açısı



Şekil 3.6: Güneş azimut açısı

Direkt güneş ışınlarını yatay düzlem ile yaptığı açıdır.

$$y+z = 90 \quad (3.6)$$

$$\sin y = \cos z \quad (3.7)$$

Gökkürede X_1 ve X_2 ekvator düzleminde göz önüne alınan yerin boylamından geçen ve buna dik doğru, X_3 ise kuzey kutbundan geçen doğru olmak üzere, X_1 , X_2 , X_3 eksen takımı belirlenir.

Bu eksen takımına göre yerdeki yatay düzlemin normalinin doğrultu kosinüsleri

$$a_1 = \cos e \quad a_2 = 0 \quad a_3 = \sin e \quad (3.8)$$

güneş ışınımının doğrultu kosinüsleri ise

$$b_1 = \cos d \cos h \quad b_2 = \cos d \sin h \quad b_3 = \sin d \quad (3.9)$$

olduğuna göre zenith açısının kosinüsü (3.10) bağıntısındaki gibi bulunur.

$$\cos z = \cos d \cos e \cos h + \sin d \sin e \quad (3.10)$$

Güneşin doğuş ve batış anındaki saat açılarını hesaplamak için güneşin doğuş ve batış anındaki zenith açısı değeri olan $z = 0^\circ$ konursa (3.10) denklemi aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$\cos H = -\frac{\sin d \sin e}{\cos d \cos e} = -\tan d \tan e \quad (3.11)$$

(3.11) denklemi ile bulunan değerden saat açısı değerinden saat açısı güneş öğlesinde (GS=12) aldığı değer $h = 0^\circ$ çıkarılırsa gün doğumundan güneş öğlesine kadar olan saat açısı bulunur bu değer 15'e bölümü açıyı saat cinsinden verecektir. Gün doğumundan güneş öğlesine kadar geçen süre güneş öğlesinde gün batımına kadar geçen süreye eşittir dolayısıyla saat cinsinden bulduğumuz değer iki katı alınarak gün uzunluğu bulunur (3.12).

$$t_g(\text{saat}) = \frac{2}{15} H(\text{drc}) = \frac{2}{15} \arccos(-\tan d \tan e) \quad (3.12)$$

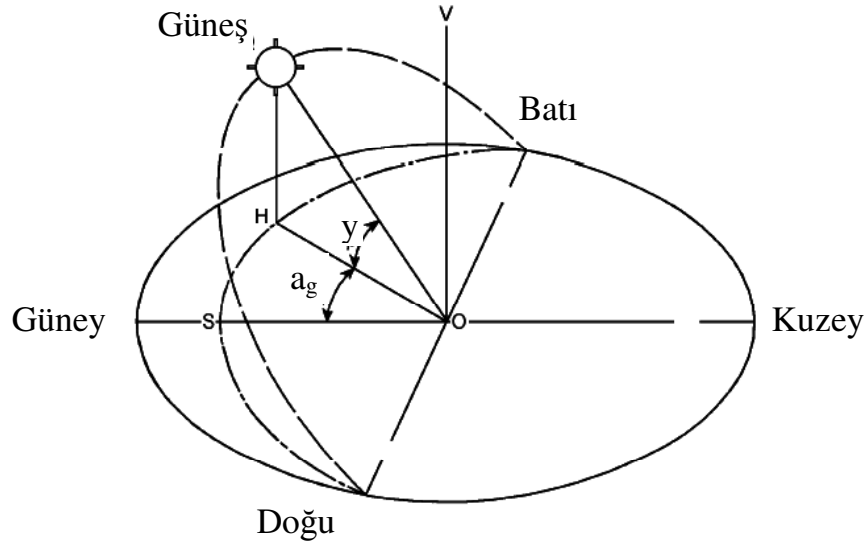
Güneş deklinasyon açısında olduğu gibi aylık ortalama değer gerektiği durumlarda aylık ortalama gün uzunluğu (3.12) denkleminde deklinasyon açısı değeri o aya ait deklinasyon açısının aylık ortalaması kullanılarak denklem (3.13) elde edilir.

$$t_o(\text{saat}) = \frac{2}{15} H(\text{drc}) = \frac{2}{15} \arccos(-\tan d_o \tan e) \quad (3.13)$$

3.1.2.3 Güneş Azimut Açısı

Dünya-Güneş doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün güneş doğrultusu ile yaptığı açıdır. Güneyden doğuya doğru (sabahları) (+) ve güneyden batıya doğru (öğleden sonraları) (-) değer alır (3.14) denklemi ile hesaplanabilir.

$$\sin a_g = \frac{\cos d \sin h}{\cos y} \quad (3.14)$$



Şekil 3.7: Güneşin gün içindeki hareketine bağlı güneş yükseklik ve azimut açıları

3.1.2.4 Güneş Geliş Açısı

Eğik düzlemin konumu iki açıyı kullanarak belirleriz, bu açılar eğik düzlemin yatay düzlemle yaptığı eğim açısı (s) ve yüzey normalinin yatay düzlemdeki izdüşümünün güney yönüyle yaptığı açı yüzey azimut açısıdır (a_y). Yüzey azimut açısı, yüzey normalinin izdüşümü doğuya doğru ise (+) batıya doğru ise (-) değer alır. Eğim açısı güneye eğik yüzeyler için (+) kuzeye eğik yüzeyler için ise (-) dir. Bu iki açıdan hareketle güneş ışınlarının eğik düzlemin normali ile yaptığı açı olan güneş geliş açısı hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \cos g &= \cos d \cos e \cos h \cos s \\ &+ \cos a_y \cos d \sin e \cos h \sin s \\ &+ \sin a_y \cos d \sin h \sin s \\ &+ \sin d \sin e \cos s \\ &- \cos a_y \sin d \cos e \sin s \end{aligned} \quad (3.15)$$

güneye dönük eğik düzlemler için $a_y = 0^\circ$ olduğundan denklem (3.15) yeniden düzenlenirse

$$\cos g_g = \cos d \cos h \cos(e - s) - \sin d \sin(e - s) \quad (3.16)$$

dik bir yüzey için ($s = 90$) ise denklem (3.15)

$$\begin{aligned} \sin g_d &= \cos a_y \cos d \sin e \cos h \\ &+ \sin a_y \cos d \sin h \\ &- \cos a_y \sin d \cos e \end{aligned} \quad (3.17)$$

şeklini alır.

Güneye dönük eğik düzlemler için güneş ışınlarının ilk ve son gelişinde $z = 90^\circ$ veya $g_g = 90^\circ$ olur . Denklem (3.15) dan ışınların yüzeye paralel geldiği anlar için saat açısı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\cos H_p = - \tan d \tan (e - s) \quad (3.18)$$

3 .1.3. Atmosfer Dışına Gelen Güneş Işınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışınımının hesabı atmosfer dışındaki yatay veya eğik düzleme gelen güneş ışınımına dayanarak yapılır.

Atmosfer dışındaki dik birim alana bütün dalga boylarında gelen güneş ışınımı değerine Güneş sabiti ($I_{gs}=1353 \text{ W/m}^2$) denir. Dünya-güneş mesafesinin değişmesi nedeniyle güneş sabiti değeri de değişiklik gösterir. Hesaplarda kolaylık sağlaması için dünya-güneş mesafesinin ortalama değerindeki güneş sabiti değeri kullanılır, ayrıca güneş sabitini günlere göre düzeltme faktörü (f) kullanılarak hassasiyet artırılır.

$$f = 1 + 0,033 \cos \left(360 \frac{n}{365} \right) \quad (3.19)$$

Atmosfer dışında yatay düzlemin gelen güneş ışınımı denklem (3.20) ile hesaplanabilir.

$$I_0 = I_{GS} f \cos z \quad (3.20)$$

dt zamanda düzleme gelen ışınım

$$dQ_0 = I_{GS} f \cos z dt \quad (3.21)$$

dt saat açısı cinsinden denklem (3.22) deki gibi yazılabilir

$$dt = \left(\frac{12}{\pi} \right) dh \quad (3.22)$$

denklem (3.20) düzenlenirse

$$dQ_0 = \frac{12}{\pi} I_{gs} f \cos z dh \quad (3.23)$$

zenith açısının değeri yerine konarak gün boyu integrali alınır

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} f (\cos d \cos e \sin H + \frac{\pi}{180} H \sin d \sin e) \quad (3.24)$$

Atmosfer dışında yatay düzlemin bir gün boyunca gelen güneş ışıınının denklemi (3.24) bulunur.

Atmosfer dışında eğik düzleme bir gün boyunca gelen güneş ışıını güneş geliş açısına göre değışir, denklem (3.24) de $\cos z$ yerine denklem (3.16) daki $\cos g_g$ konularak güneye dönük eğik düzlemin bir gün boyunca gelen güneş ışıını (Q_{og}) bulunur. [28]

$$H_g = \min (H_p, H) \quad (3.25)$$

olmak üzere

$$Q_{og} = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left\{ \cos d \cos (e - s) \sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g \sin d \sin (e - s) \right\} \quad (3.26)$$

Atmosfer dışında eğik düzleme gelen güneş ışıınının yatay düzleme gelen ışıına oranı direkt güneş ışıını için yeryüzünde de aynı kaldığı kabul edilir.

Direkt güneş ışıınının eğik düzleme gelenin yatay düzleme gelene oranı (güneye dönük eğik düzlemler için)

$$R_d = \frac{\cos d \cos (e - s) \sin h + \sin d \sin (e - s)}{\cos e \cos d \cos h + \sin d \sin e} \quad (3.27)$$

Bir gün boyunca gelen direkt güneş ışıınının eğik düzleme gelenin yatay düzleme gelene oranı (güneye dönük eğik düzlemler için)

$$R_{dg} = \frac{\cos d \cos(e-s) \sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g \sin d \sin(e-s)}{\cos e \cos d \cos h + \frac{\pi}{180} H \sin d \sin e} \quad (3.28)$$

3.1.4. Yeryüzüne Gelen Anlık Ve Günlük Güneş Işınımı

Atmosfere giren güneş ışıını atmosferden geçip yeryüzüne gelirken atmosferde bulunan parçacıklar tarafından yutulur ve saçılır bu nedenle atmosfere giren ışıının belirli bir kısmı yeryüzüne ulaşabilir.

Yeryüzüne ulaşan ışıını 5 grupta incelenebilir.

1) Direkt Güneş Işınımı : Doğrudan yani başka cisimler (bulut, dağ, vs...) tarafından yansıtılıp veya saçılmadan sadece atmosferde bir kısmı yutularak yeryüzüne gelen ışıınıdır.

2) Yayılı Güneş Işınımı : Yeryüzüne düşmeden önce doğal yada doğal olmayan cisimlere (bulut, dağ, yapı, vs...) düşerek bu cisimler tarafından etrafa değişik yönlerde yayılarak gelen ışıınıdır.

3) Yansıyan Güneş Işınımı : Yeryüzüne düşmeden önce doğal yada doğal olmayan cisimlere (bulut, dağ, yapı, vs...) tarafından yansıtılarak gelen ışıınıdır.

4) Atmosfer Işınımı : Atmosfer gazları özellikle CO₂ ve O₂ tarafından yapılan ışıınıdır.

5) Yer Işınımı : Yeryüzü tarafından yapılan ışıınıdır.

Bunlardan farklı olarak yeryüzüne gelen ışıını aşağıdaki iki şekilde de isimlendirilebilir.

Tüm (Global) Güneş Işınımı : Direkt ve yayılı güneş ışıınının toplamına denir.

Toplam (Total) Güneş Işınımı : Yukarda bahsi geçen 5 güneş ışıınının toplamına denir.

Atmosferde yutulan güneş ışıını miktarı, ışıının atmosferde kat ettiği mesafe ile atmosferin yutma ve saçma katsayılarına bağlıdır. Normal atmosfer basıncında güneş

ışınımının herhangi bir doğrultuda kat ettiği mesafenin güneşin zenitte bulunduğu konumda kat ettiği mesafeye oranına izafi optik hava kütlesi denir. Güneş zenitte ise bu oran 1 güneşin diğer konumlarında ise daima 1 den büyüktür ve denklem (3.29) ile hesaplanabilir.

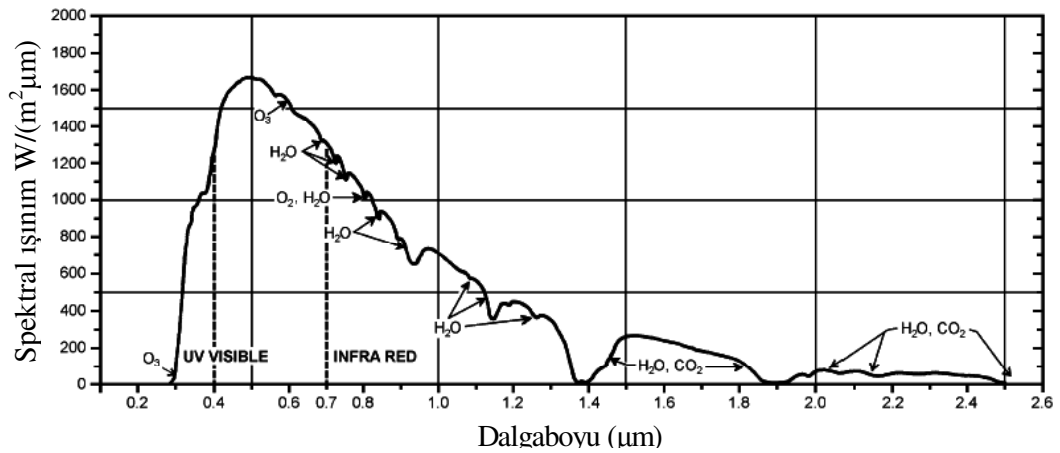
$$m_i = \frac{1}{\cos z} = \frac{1}{\cos e \cos d \cos h - \sin d \sin e} \quad (3.29)$$

ve tanımda geçen normal atmosfer basıncı ifadesinden yararlanarak optik (mutlak) hava kütlesi (3.30) ifadesi ile bulunabilir.

$$m = \frac{P}{P_0} m_i \quad (3.30)$$

Atmosferdeki su buharı, ozon ve CO₂ güneş ışıınının büyük bir kısmını yutarlar. Su buharı görülebilen ve kırmızı altı ışıım bölgesinde ozon ise morötesi ışıım bölgesinde yutulur. O₂ , N₂ , CH₄ gazlarda morötesi ışıımı yutsalar da etkileri ihmal edilebilecek kadar azdır.

Atmosferde bulunan parçacıklar (atomlar, moleküller, tozlar, vs...) güneş ışıınıını saçarlar. Dalga boyu 0,3 m'den küçük güneş ışıınıını büyük bir kısmı hava molekülleri tarafından saçılır. Hava molekülleri dışında kalan toz, su buharı ve diğer parçacıklar tarafından saçılan ışıım bu parçacıkların atmosferdeki konsantrasyonuna bağlıdır, konsantrasyon arttıkça saçılımda artar.



Şekil 3.8: Deniz seviyesinde güneş spektrumu

3.1.4.1 Tüm Güneş Işınımı

Tüm güneş ışınımı direkt ve yayılı güneş ışınımının toplamıdır. Yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımını hesaplamak için kullanılan bağıntılarda genellikle güneşlenme süresi, izafi nem, atmosfer basıncı, sıcaklık ve bulutluluk oranı gibi anlık meteorolojik verilerden bir veya birkaçı kullanılmaktadır. En yaygın olanı güneşlenme süresinin fonksiyonu olarak verilen bağıntılardır.

$$Q = Q_0 \left(a + b \frac{t}{t_0} \right) \quad (3.31)$$

Denklem (3.31) Ångström- Prescott denklemi olarak bilinir. a ve b sabitleri tüm güneş ışınımı ve güneşlenme süresi ölçümlerine dayanarak istatistiksel yöntemlerle bulunmaktadır. İstatistik hesaplarında kullanılan verilerin 15 yıldan fazla yapılmış olması ve ölçümlerin doğru yapılmış olması gerekmektedir. Türkiye’de Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılan ölçümlere dayanarak a ve b katsayıları belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır fakat bu çalışmalar yerel yada bölgesel bazda olduğunda Türkiye’nin tümünü kapsamamaktadır. KILIÇ ve ÖZTÜRK [1] tarafından yapılan çalışmada önerilen katsayılar, Türkiye’nin genelinde kullanılabilmektedir aynı zamanda komşu ülkelerdeki katsayılarla uyum göstermektedirler. Diğer katsayılardan farklı olarak da deniz seviyesinden olan yüksekliğin etkisini de göz önüne alır.

$$a = 0,103 + 0,000017 z_y + 0,198 \cos(e-d) \quad (3.32)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(e-d) \quad (3.33)$$

Anlık tüm güneş ışınımı günlük tüm güneş ışınımına bağlı olarak hesaplanır.

$$r_t = \frac{I}{Q} \quad (3.34)$$

$$\psi = e^{\left\{ -4 \left(1 - \frac{|h|}{H} \right)^2 \right\}} \quad (3.35)$$

$$r_t = \frac{I}{Q} = \frac{\pi}{4 t_0} \left\{ \cos \left(90 \frac{h}{H} \right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \psi) \right\} \quad (3.36)$$

3.1.4.2 Direkt Ve Yayılı Güneş Işınımı

Tüm güneş ışınımı direkt ve yayılı güneş ışınımının toplamıdır.

$$Q = Q_y + Q_d \quad (3.37)$$

Tüm güneş ışınımından direkt veya yayılı güneş ışınımının hesaplanması için ampirik denklemler bulunmuştur. Bu denklemlerden en çok kullanılanı Page Bağıntısıdır (3.40)

Yayılı Işınım Oranı (yatay düzleme gelen yayılı güneş ışınımının tüm güneş ışınımına oranı)

$$K_y = \frac{Q_y}{Q} \quad (3.38)$$

Berraklık İndeksinin (yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımının atmosfer dışına gelen güneş ışınımına oranı)

$$K_t = \frac{Q}{Q_0} \quad (3.39)$$

yada İzafi Güneşlenme Süresinin (güneşlenme süresinin gün uzunluğuna oranı) fonksiyonu olarak verilmektedir.

$$K_y = \frac{Q_y}{Q} = 1 - 1,13 \frac{Q}{Q_0} = 1 - 1,13 K_t \quad (3.40)$$

Yatay düzleme gelen anlık yayılı ışınımın aylık ve uzun yıllara dayalı ölçüme dayalı ortalamasının günlük toplam yayılı ışınımına oranı ile atmosfer dışında yatay düzleme gelen anlık yayılı ışınımın aylık ve uzun yıllara dayalı ölçüme dayalı ortalamasının günlük toplam yayılı ışınımına oranı eşit kabul edilerek.

$$r_y = \frac{I_y}{Q_y} = \frac{I_0}{Q_0} = \frac{\cos h - \cos H}{\sin H - \frac{\pi}{180} H \cos H} \quad (3.41)$$

3.1.4.3 Eğik Düzleme Gelen Günlük Güneş Işınımı

Eğik düzleme gelen anlık ışınlam direkt, yayılı ve yansiyarak gelen güneş ışınlamlarının toplamıdır. Direkt güneş ışınlamının eğik düzleme gelenin yatay düzleme gelene oranı (güneye dönük eğik düzlemler için) daha önce (3.27) denkleminde verilmişti.

$$R_d = \frac{I_{ed}}{I_d} = \frac{\cos d \cos(e-s) \sin h + \sin d \sin(e-s)}{\cos e \cos d \cos h + \sin d \sin e} \quad (3.42)$$

Eğik düzleme gelen yayılı güneş ışınlamı

$$I_{ey} = I_y \frac{1 + \cos s}{2} \quad (3.43)$$

Eğik düzleme yansiyarak gelen güneş ışınlamı

$$I_{ya} = I \rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (3.44)$$

Böylece eğik düzleme gelen toplam ışınlam

$$I_e = R_d (I - I_y) + I_y \frac{1 + \cos s}{2} + I \rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (3.45)$$

Eğik düzleme gelen toplam ışınlamın yatay düzleme gelen tüm güneş ışınlamına oranı ise.

$$R = \frac{I_e}{I} = R_d \left(1 - \frac{I_y}{I}\right) + \frac{I_y}{I} \frac{1 + \cos s}{2} + \rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (3.46)$$

Eğik düzleme gelen günlük direkt güneş ışınlamın yatay düzleme gelen günlük direkt güneş ışınlamına oranı ise.

$$\overline{R_d} = \frac{Q_{ed}}{Q_d} = \frac{\cos d \cos(e-s) \sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g \sin d \sin(e-s)}{\cos e \cos d \cos h + \frac{\pi}{180} H \sin d \sin e} \quad (3.47)$$

Eğik düzleme bir gün boyunca gelen toplam ışınlamın yatay düzleme gelen tüm güneş ışınlamına oranı ise.

$$\bar{R} = \frac{Q_e}{Q} = \overline{R_d} (1 - K_y) + K_y \frac{1 + \cos s}{2} + \rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (3.48)$$

3.2. YAPI ISITMA İHTİYACININ BELİRLENMESİ

Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin verim ve ekonomisini ısı yüklerine bağlı olarak tasarlanan sistem ölçüleri belirler. Klasik ısıtma sistemlerinde sistemin boyutlandırılmasında ısı kaybı (anlık olası ısıtma yükü) gerekli iken güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinde tasarım ısıtma yüklerinin uzun süreli aylık ortalamalarına dayanmaktadır.

Isıtma yükü hesabında yapının coğrafi konumu, tasarımı, güneş alıp almaması, yapı kalitesi, yaşam düzeyi gibi birçok faktör etkilemektedir. Yapının ısı kaybını belirlemek için birçok yöntem geliştirilmiştir, bu yöntemler derece gün yöntemi gibi kolay kullanılabilir bir yöntemden anlık meteorolojik değerler kullanan bilgisayar simülasyonlarına kadar uzanır. Kuzey iklimlerinde ısı ihtiyacını hesabında derece gün yöntemi kullanılması güneş enerjili ısıtma sistemi tasarlamak için yeterlidir. [29] [30]

3.2.1 Derece Gün Yöntemi

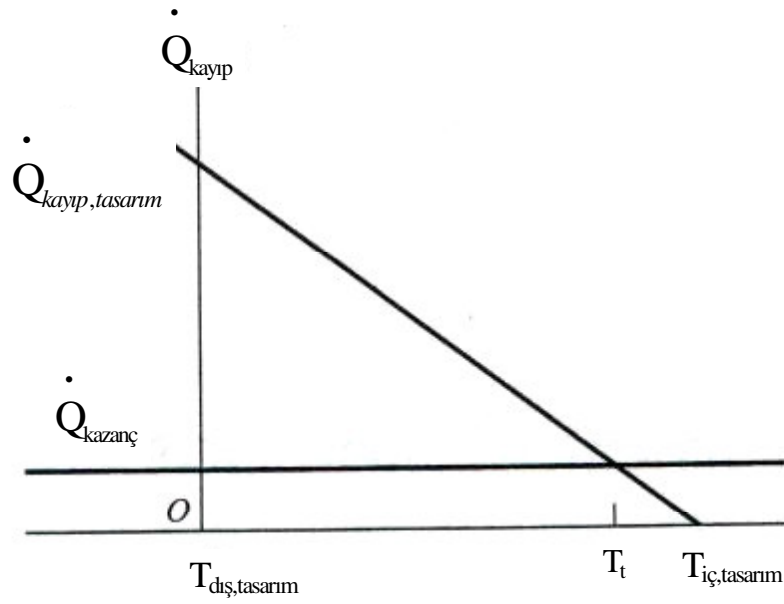
Derece gün yöntemi yapının belirli bir zaman dilimindeki enerji ihtiyacını belirlemek etmekte kullanılan en basit yöntemdir. Enerji ihtiyacının belirlenmesi çoğu kez yıllık veya ısıtma sezonu süresince yapıldığı gibi aylık da yapılabilir. Derece gün Yöntemi sürekli rejimde yöntemdir. Bu yöntem hesabı bilgisayar kullanmaya gerek kalmadan elle yapılabilir. Sonuç elde etmek için bir adet meteorolojik veri gereklidir, Bu nedenle derece gün yönteminin tek ölçülü (Single Measure) yöntem olarak isimlendirilir.

Bu yöntemde yapılan kabuller;

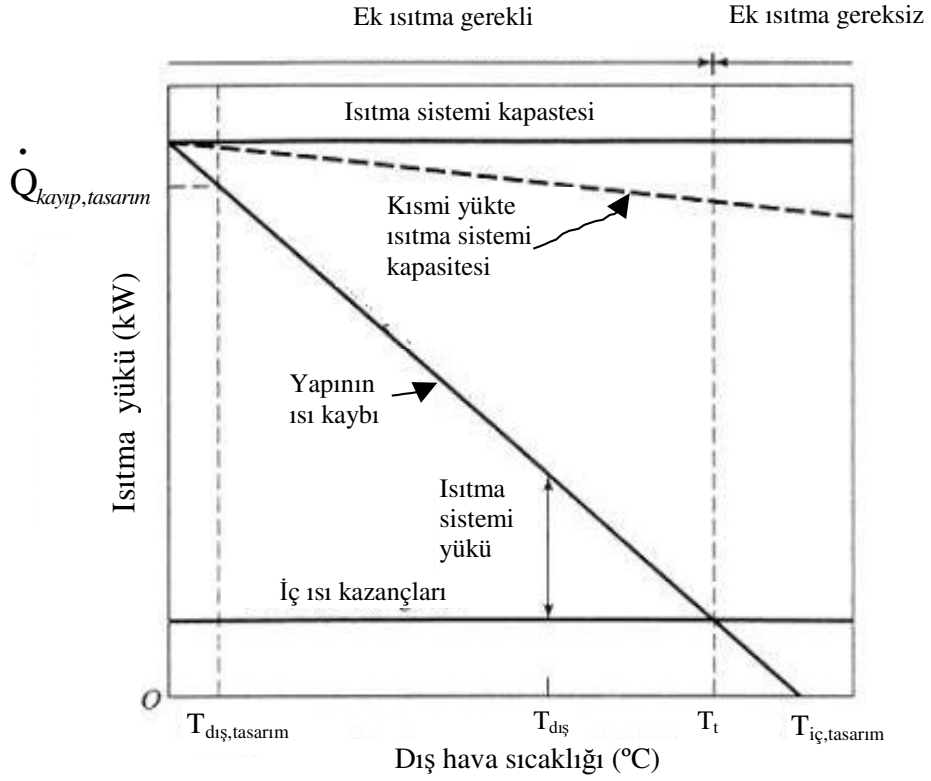
- 1) Isı kazançları hesap yapılan zaman dilimindeki ortalama değerleri alınarak kabul edilmiş değerlerdir.
- 2) Isıl depolama etkileri ihmal edilmiştir.
- 3) $(UA)_{\text{eff}}$ değeri zamandan bağımsızdır.

4) T_t değeri zamandan bağımsızdır.

Bu kabuller güneş yükü düşük, yapıdaki ısı depolamanın hızlı değişmediği, iç-dış sıcaklık farkının büyük olduğu kuzey iklimlerindeki küçük yapıların ısı ihtiyacının belirlenmesinde oldukça iyidir. Derece gün yöntemi soğutma yükünün belirlenmesinde de kullanılabilir ama geçici güneş yükleri ve gizli ısı yükleri bu yöntemin kullanılabilirliğini kısıtlamaktadır. [29]



Şekil 3.9: Dış hava sıcaklığını bağılı olarak yapının ısı kaybındaki değişim [29]



Şekil 3.10: Yapının ısıtma yükü ile dış hava sıcaklığı arasındaki ilişki [29]

Şekil 3.9 da yapı için gerekli ek ısıtma görülmektedir. Yatay ekseninde dış kuru hava sıcaklığı vardır bu değer yapının etrafındaki çevre sıcaklığını göstermektedir. Bu değer tam olarak doğru değildir toprağa temas halindeki yüzeylerden ve atmosfer ışıınım sıcaklığının farklılığından (sky-radiant temperature) yapıdan çevresine olan ısı geçişi çevre sıcaklığına bağlı değildir. Dikey eksen ise yapının ısı kaybıdır. İç ısı kazancı tarafından sağlanan ısıtma miktarı yatay bir doğruyla gösterilmiştir. Yapının ısı kaybı şu şekilde ifade edilir.

$$\dot{Q}_{kayıp} = (UA)_{eff} (T_{iç} - T_{dış}) \quad (3.49)$$

$(UA)_{eff}$ katsayısı yapının toplam özgül ısı kaybı katsayısıdır. Bu katsayı yapının tasarım değerlerinden bulunabilir.

$$(UA)_{eff} = \frac{\dot{Q}_{kayıp,tasarım}}{(T_{iç,tasarım} - T_{dış,tasarım})} \quad (3.50)$$

$(UA)_{eff}$ değerini bulmanın bir başka yolu da mevcut yapının geçmiş yıllardaki yakıt tüketim kayıtlarına bakarak ait oldukları döneme ait ısıtmada kullanılan enerji miktarı bulunur bu değerde yine o döneme ait derece gün sayısına bölünerek $(UA)_{eff}$ değeri bulunabilir. [29]

$$(UA)_{eff} = \frac{N_F H_F \eta_F}{(DD)_{t,p}} \quad (3.51)$$

Yapının toplam ısı kaybını dış hava sıcaklığına bağlı değişimi şekil 3.9 üzerinde eğik doğru ile gösterilmiştir. Buradan yapının net ısı yükü

$$\dot{Q}_{net} = \dot{Q}_{kayıp} - \dot{Q}_{kazanç} \quad (3.52)$$

olarak bulunur.

Yapıdaki iç hava sıcaklığı dış hava sıcaklığına eşit olduğunda ısı kaybı gerçekleşmez dış hava sıcaklığı düşerek T_t sıcaklığına geldiğinde ısı kazancı yapının kaybettiği ısıya eşittir. T_t sıcaklığı şu şekilde hesaplanabilir.

$$T_t = T_i - \frac{\dot{Q}_{kazanç}}{(UA)_{eff}} \quad (3.53)$$

Dış hava sıcaklığı T_t nin altına düştüğünde yapının ısı kaybı ısı kazancından daha fazla olacaktır ve ek ısıtma gerekecektir. Gerekli ek ısıtma yükü.

$$\dot{Q}_{net} = (UA)_{eff} (T_t - T_{dış}) \quad (3.54)$$

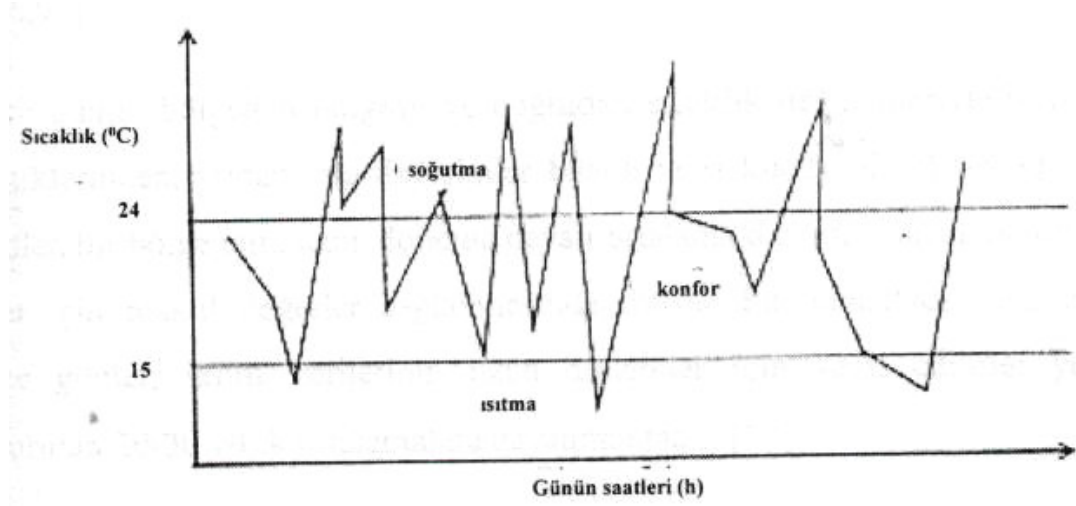
Belirli zaman dilimindeki gerekli ısı ihtiyacın (L_s), gerekli ısıtma yükü $\dot{Q}_{net}$ in zaman dilimi boyunca entegre edilmesiyle bulunabilir.

$$L_s = \int_p \dot{Q}_{net} d\tau \quad (3.55)$$

$$L_s = (UA)_{eff} \int_p \|T_t - T_{dış}\| d\tau \quad (3.56)$$

$$L_S = (UA)_{\text{eff}} (DD)_{z,p} \quad (3.57)$$

çift çizgiler farkın sadece pozitif değerlerinin alınacağını göstermektedir.



Şekil 3.11: Sıcaklık serisi kesimi [31]

Eski kaynaklarda 18,3 °C olarak önerilen iç hava sıcaklığı 70'li yıllarda aynı çevre koşulları için 24,4 °C çıkmıştır. 1973 yılındaki enerji bunalımı ve bazı kentlerdeki hava kirliliği nedeniyle iç hava sıcaklığı yeniden gözden geçirilmiş ülkeler kendi koşullarına göre değişik değerler önermişlerdir. Taban sıcaklığı günün zamanına, kullanıma, kullanıcı aktivitelerine, kullanım süresine, dış ortam şartlarına, kişiye, bölgeye, enleme, topografik, meteorolojik ve klimatolojik özelliklere göre değişebilmektedir. Örneğin Erzurum ve çevresinde 15 °C altında olabilirken Antalya ve Adana gibi düşük enlemlerde 18 °C veya daha büyük olabilmektedir. Buna rağmen dünya çapında yapılan çeşitli araştırmalarda 18,3 °C ve altında ısıtma ihtiyacı olduğu belirtilmiştir. Türkiye de İstanbul ve Ankara gibi Büyükşehirlerde 15 °C ve altında ısıtma ihtiyacı olduğu kabul edilmiş kazançlardan dolayı da iç hava sıcaklığının dış hava sıcaklığında 3 °C fazla olduğu kabul edilmiştir.

Bir günlük derece gün değeri 15 °C ile günlük ortalama sıcaklık değeri (gün içindeki en yüksek ve en düşük sıcaklıkların ortalaması) arasındaki fark kadardır. Günlük ortalama sıcaklık değeri 15 °C değerinin üstündeyse o gün için derece gün değeri sıfır alınır. Derece gün hesabında 19 °C yerine 15 °C alınır çünkü ısıtılacak mekandaki ısı

kaynaklarından ve güneşten pencereler yoluyla gelecek ısı kazançları iç hava sıcaklığını 15 °C den 19 °C ye yükseltmeye yeterli olacaktır. Aylık derece gün değerleri ise günlük derece gün değerlerinin aritmetik toplamı kadardır. [31]

3.2.2 Sıcak Su Isı İhtiyacı

Evsel kullanım için ısıtılacak su için gerekli ısı ihtiyacını konutta yaşayanların yaşam tarzına bağlıdır. Yaklaşık olarak konutta yaşayan her birey günlük ortalama 100 litre/gün sıcak suya ihtiyaç duymaktadır. [32]

$$L_w = N.n.100.(T_w - T_m). \rho . c_p \quad (3.58)$$

Denklem (3.58) deki 100 sabiti kişi başı günlük ortalama sıcak su ısı ihtiyacını göstermektedir ve konutta yaşayanların isteğine göre değiştirilebilir. Sıcak su için kabul edilebilir en düşük sıcaklık (T_w) ise Beckman ve diğ. [32] tarafından 60 °C olarak önerilmektedir, bu sıcaklık kaza durumunda insan sağlığını ciddi şekilde etkileyeceği için ve sıcak suyun iletimi sırasındaki ısı kayıplarını düşürmek için 40-50 °C aralığındaki sıcaklık değerleri daha uygun olacaktır. Soğuk su sıcaklığı, T_m ise hesap yapılan aydaki ortalama şebeke suyu sıcaklığı alınabilir.

Konutlar dışındaki yapılarda da benzer bir yöntemle sıcak su ısı ihtiyacı belirlenebilir. Sıcak su ısı ihtiyacı kullanılan suyun miktarına ve soğuk su-sıcak su sıcaklık farkına bağlıdır. Ticari yapılarda haftanın 5 yada 6 günü sıcak su kullanımı olmaktadır. Eğer sıcak su haftanın 1-2 gününde kullanılmaz ise sıcak su deposundaki suyun sıcaklığı yükselecek bu nedenle depoya geçen enerji azalacaktır. Bu durumda f-grafik yönteminde ısıtma yükünün güneş tarafında sağlanma oranı çok yüksek olacaktır.

$$L_w = V.(T_w - T_m). \rho . c_p \quad (3.59)$$

3.3. GÜNEŞ TOPLAYICISI

3.3.1 Güneş Toplayıcıları

Güneş toplayıcıları güneş ışınımının enerjisini ısıya çeviren ısı değiştiricileridir. Toplayıcılar temelde güneş ışınımını yutan ve daha sonra bu ısı enerjisi devredeki akışkana geçiren bir yutucu yüzeyden oluşur. Gerek güneş ışınımının doğasından (dalga

boyu, gün içinde ve mevsimsel değişiklikler, yayılı ışıınımdaki değişiklikler) gerekse güneş enerjisinin ısı kullanımıına dayanan uygulama tiplerinin çokluğundan dolayı güneş toplayıcılarının analizi ve tasarımı ısı geçişi, optik ve malzeme bilimi açısından değışik problemler gösterir.

Güneş toplayıcıları kullanılan akışkan (su, hava, yağ) tipine göre veya toplayıcının güneşi takip edip etmediğine göre sınıflandırılabilir. En çok kullanılan akışkanlar su (donmadan korumak amacıyla glikol ilave edilmiş) ve havadır. Tablo 3.2 de her iki akışkan tipi birbirine göre değışik özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Havanın zayıf ısı geçiş özelliklerinde dolayı toplayıcı sıvı akışkanlı toplayıcılardan daha yüksek sıcaklıklarda çalışmak zorunda kalacak bu durumda daha çok ısı kaybına dolayısıyla da verimin düşmesine neden olacaktır. Akışkanın seçiminde asıl etken güneş enerjili ısıtma sisteminin kullanım amacıdır, eğer konut ısıtma veya taşıınım ile kurutma amaçlı sistemlerde kullanılacaksa hava akışkanlı toplayıcılar, evsel veya endüstriyel sıcak su temininde kullanılacaksa sıvı akışkanlı toplayıcılar tercih edilir, yüksek sıcaklık uygulamalarında sıvı akışkan olarak su yerine daha iyi ısı geçişi özellikleri sağlayan ısı transfer yağları kullanılır.

Toplayıcılarda diğeri bir sınıflandırma da toplayıcıya güneşi yılın her günü gün boyunca takip ettirecek bir mekanizma olup olmadığına göre yapılır. Sabit toplayıcılar ekvatora (kuzey yarım kürede tam güneye, güney yarım kürede kuzeye) tam dönük, yer düzlemi ile bulunduğu enleme eşit veya amaca uygun olarak bulunmuş optimum açıya eşit açı yapacak şekilde sabitlenirler. Fresnel yansıtıcıları paraboloid ve heliostatların ise güneşi iki eksenli olarak takip etmeleri gerekir. Parabolik toplayıcılar ise doğu-batı yada kuzey-güney yönünde bir eksenli takip yapmaları gerekmektedir.

Toplayıcılarda üçüncü sınıflandırma da toplayıcının güneş ışıınımini yoğunlaştırıp yoğunlaştırmadığıdır. Yoğunlaştırmadaki amaç daha fazla enerji elde etmek değildir, amaç daha yüksek sıcaklıkta ısı enerji eldesidir. Bu da ısı kayıpların olduğu alanı (yutucu alanı) güneş ışıınımini buraya yönlendiren yoğunlaştırıcı alanına göre daha küçültürük gerçekleştirilir. Yoğunlaştırıcı alanının yutucu alanına oranı ise yoğunlaştırma oranı olarak tanımlanır. [33]

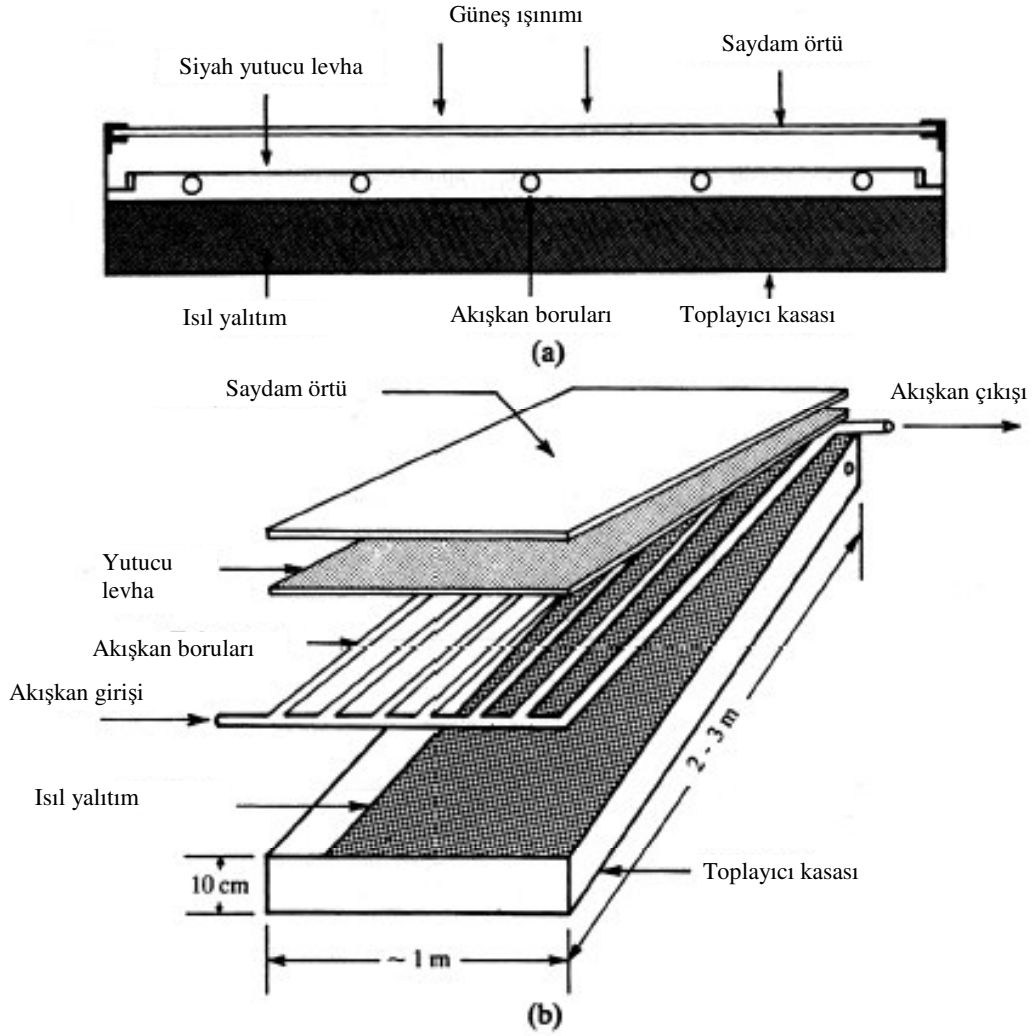
Bir güneş toplayıcısındaki enerji dönüşüm sürecini incelersek 3 önemli olaydan bahsedebiliriz, birincisi toplayıcı üzerine gelen güneş enerjisinin ne kadarının kolektör tarafından yutulduğudur, ikincisi toplayıcıdan etrafa olan ısı kayıpları, üçüncüsü, ise toplayıcının yutmuş olduğu enerjini ne kadarını akışkana geçirebildiğidir. Bahsedilen üç ana olay toplayıcının esas tasarım ölçütleridir.

Tablo 3.2: Hava ve sıvı akışkanlı toplayıcıların karşılaştırılması

Özellik	Sıvı Akışkan	Hava
Verim	Verilmiş sıcaklık farkında hava akışkanlı toplayıcıya göre daha verimlidir.	Sıvı akışkana göre biraz daha düşük verimde çalışırlar.
Sistem	Kullanım sıcak suyu ve soğutma sistemleri ile birleştirilebilirler.	Soğutma sistemine kolaylıkla birleştirilemez fakat kullanım sıcak suyunun ön ısıtmasında kolaylıkla kullanılabilir.
Donma Koruması	Maliyeti arttırıp verimi düşüren antifriz ve ısı değiştiricileri kullanımı gerektirebilir.	Gerek yoktur.
Bakım	Sızdırma, korozyon ve kaynamaya karşı önlemler alınmalıdır.	Düşük bakım ihtiyacı, kaçaklar tamir edilebilir fakat kaçağın yerini bulmak zordur.
Montaj Hacmi	İzole edilmiş borular en küçük hacmi kaplayacaktır ve mevcut yapılara kurulabilecek en uygun sistemdir.	Hava kanalları ve ısı depo olarak kullanılan taş yatakları çok yer kaplayacaktır.
İşletme	Sıvıları pompalamak daha az enerji gerektirir.	Havayı hareket ettirmek daha çok enerji gerektirir ve gürültülü bir iştir.
Maliyet	Toplayıcılar maliyetlidir.	Isıl depolama maliyetlidir.

3.3.2. Sıvı Akışkanlı Düzlemsel Güneş Toplayıcıları

Düzlemsel güneş toplayıcıları bugün en çok kullanılan toplayıcı tipidir nedeni ise 100 °C a kadar olan uygulamalara enerji sağlamak açısından en uygun ve en ekonomik toplayıcı tipi olmasıdır. İmalatı diğer toplayıcı tiplerine göre daha basit ve piyasada bir çok modeli mevcuttur. Şekil 3.12 de sıvı akışkanlı düzlemsel güneş toplayıcısı görülmektedir. [33]



Şekil 3.12: Düzlemsel güneş toplayıcısının kesit ve açılmış görünüşü [33]

3.3.3. Düzlemsel Güneş Toplayıcılarının Verimi

Düzlemsel güneş toplayıcılarının verimi iki şekilde incelenebilir.

Anlık Toplayıcı Verimi : Meteorolojik şartların ve işletme şartlarının fonksiyonu olarak istenen herhangi bir zamandaki verim.

Uzun Süreli Toplayıcı Verimi : Toplayıcının yıl içinde değişen şartlarda gösterdiği yıllık verim.

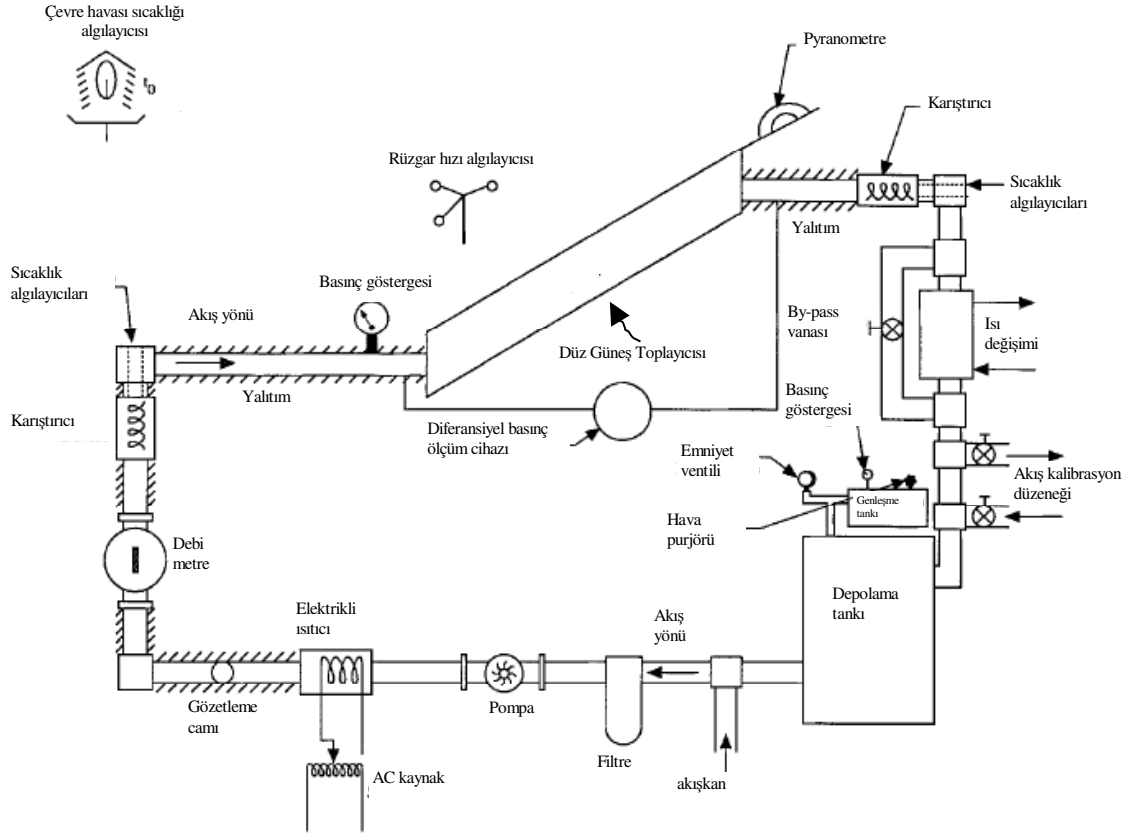
Güneş toplayıcısının verimini belirlenmesinde iki değere ihtiyaç duyacağız birincisi güneş enerjisinin yutulması diğeri ise çevreye olan ısı kaybı. Bu iki değer en iyi olarak değişik şartlarda yapılan ölçümlerle belirlenebilir.

Toplayıcıdan elde edilen faydalı enerji yutucu levhanın yuttuğu güneş enerjisi ile çevreye olan ısı kaybının farkı kadardır. Toplayıcıdan etrafa olan ısı kayıpları toplayıcının güneş gören yüzünde taşınım ve ışınlama ile yan yüzlerinde ve arka yüzünde ise taşınım ile olur.

Toplayıcıya gelen anlık ışınlamanın bir kısmı saydam örtüde (saydam örtünün ışınlama geçirme oranı) bir kısmı da toplayıcı yüzeyinde (yutucu yüzeyin güneş ışınlamını yutma oranı) kayba uğrar kalan kısım levhanın yuttuğu güneş enerjisidir. Sıdam örtünün ışınlama geçirme oranı (τ) ve yutucu yüzeyin güneş ışınlamını yutma oranı (α) malzemenin ve gelen güneş ışınlamının açısına bağlıdır.

Düzlemsel güneş toplayıcısından elde edilen faydalı enerji anlık olarak şu ifadeyle verilir. [32]

$$\dot{Q}_u = F_R A [(I_T(\tau\alpha)) - U_L(T_i - T_A)] \quad (3.60)$$



Şekil 3.13: ASHRAE 93-72 Standardına göre sıvı akışkanlı güneş toplayıcılarının test tesisi şeması [32]

Toplayıcıya gelen anlık güneş ışıını I_T üç bileşenden oluşur;

- Direkt güneş ışıını
- Yayılı güneş ışıını
- Yansiyarak gelen güneş ışıını

toplayıcı test edilirken (Şekil 3.13) I_T değeri eğimi toplayıcıyla aynı eğim açısına ayarlanmış bir pyranometre ile ölçülür. Toplayıcıya gelen anlık güneş ışıının τ kadarlık oranı saydam örtüden geçebilir, geçen ışıınında α kadarlık bir kısmı yutucu yüzey tarafından yutulur dolayısıyla toplayıcı tarafından yutulan güneş ışıını τ ve α değerlerine bağlıdır. τ ve α alacağı değerler malzemelerin ve gelen ışıının açısının fonksiyonudur. Toplayıcıya gelen anlık güneş ışıının bileşenleri olan direkt, yayılı ve

yansıyarak gelen ışınlamalar toplayıcı üzerine farklı açılardan düşerler bu nedenle τ ve α , ışınlamaların ağırlıklı oranları göz önüne alınarak hesaplanır.

Toplayıcının her bir bileşeninden çevreye olan ısı kayıpları değişik ısı geçiş mekanizmalarıyla olur. Yutucu levhadan saydam örtüye ve saydam örtüden dış ortama olan ısı geçişi taşınım ve ışınlım yoluyla, toplayıcının yan ve arka yüzeylerinden ise taşınım yoluyla olur. Toplayıcı toplam ısı geçiş katsayısı olan U_L ve sıcaklık farkı $(T_i - T_a)$, bütün levhanın T_i sıcaklığında olduğunu kabul ederek toplayıcı levhasından olan ısı kaybını göstermektedir, fakat toplayıcıyla akışkanın aynı sıcaklıkta olması toplayıcıdan akışkana ısı geçişi olmayacağı anlamına gelir. Gerçekte toplayıcı levha yüzeyi T_i sıcaklığında çok daha yüksek sıcaklıkta olmakta ve toplayıcının çevreye olan ısı kaybı U_L ve $(T_i - T_a)$ çarpımından daha yüksek değer almaktadır. Güneşten elde edilen gerçek kullanılabilir enerji değeri ile hesaplanan değer arasındaki fark toplayıcı ısı verim sayısı (F_R) ile giderilmektedir. F_R hesaplanan kullanılabilir enerji değerini düşürmektedir bu yolla gerçek kayıp değeri kullanılmış gibi etki göstermektedir. F_R değeri toplayıcıdaki akışkan debisine, yutucu levha tasarımına (et kalınlığı, malzeme özelliği, borular arası mesafe, vs.) bağlıdır. Toplayıcı toplam ısı geçiş katsayısı toplayıcının üst, alt ve yan yüzlerindeki ısı geçiş katsayılarının toplamıdır. İyi tasarlanmış bir toplayıcıda alt ve yan taraflardaki ısı geçiş katsayısı $0,5-0,75 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ civarındadır. Toplayıcının üst tarafından olan kayıplar ise toplayıcı levha sıcaklığı, saydam örtü sayısı, saydam örtü malzemesi, yutucu levhanın ısı yayılımı, çevre sıcaklığı ve rüzgar sıcaklığına bağlıdır. [32]

Toplayıcı testi sırasında toplayıcının güneş ışınlımı, rüzgar hızı, çevre sıcaklığı ve akışkan giriş sıcaklığı gibi şartların sabit olduğu daimi şartlar altında çalıştırılarak bazı ölçümler yapılır. Bu sırada toplayıcıya gelen ışınlım, toplayıcı akışkan debisi, toplayıcı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve çevre sıcaklıkları ölçülür. Test sırasında toplayıcıdan elde edilebilen kullanılabilir enerji

$$\dot{Q}_U = A G c_p (T_i - T_a) \quad (3.61)$$

Test sonuçlarında verilen toplayıcı verimi η şu şekilde hesaplanır

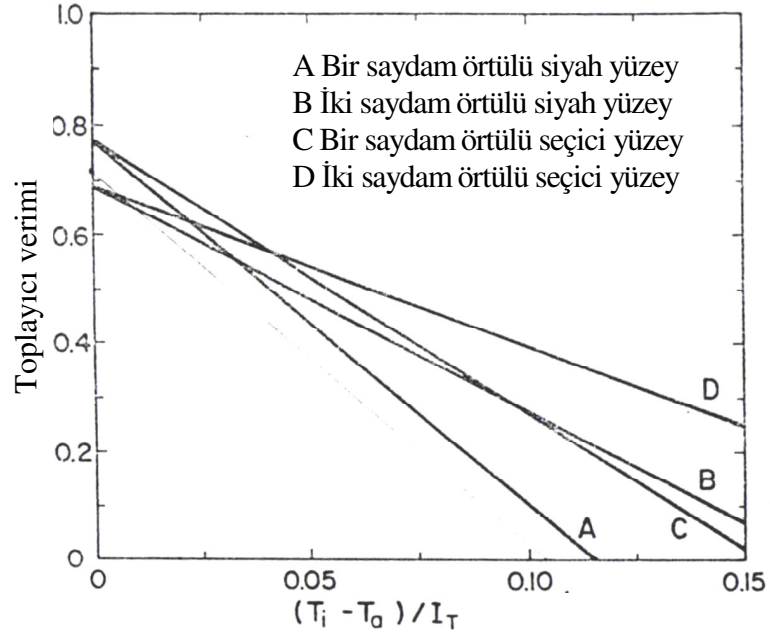
$$\eta = \dot{Q}_U / A I_T \quad (3.62)$$

Toplayıcı testleri hem dışarıda, açık havalarda güneş öğlesine yakın zamanlarda hem de kapalı mekanda güneş simülatörleri kullanılarak yapılır. Her iki durumda da ışıının yayılı bileşeni küçük miktarda ve toplayıcı yüzeyine gelen ışıının yüzeye yaklaşık olarak dik gelecektir. Sonuç olarak geçiş-yutma katsayısı ışıının ağırlıklı oranlarına göre hesaplandığından bulunan sonuç alt indis normali göstermek üzere $(\tau\alpha)_n$ olarak ifade edilecektir. Toplayıcı testleri eksenleri $(T_i - T_a) / I_T$ ve anlık verim olan grafikler şeklinde verilir. Denklem (3.62) belirtilen toplayıcı verimi gereği (3.60) denkleminin her iki tarafı $A I_T$ ile bölünerek anlık toplayıcı verimi (3.63) deki gibi ifade edilir. [32]

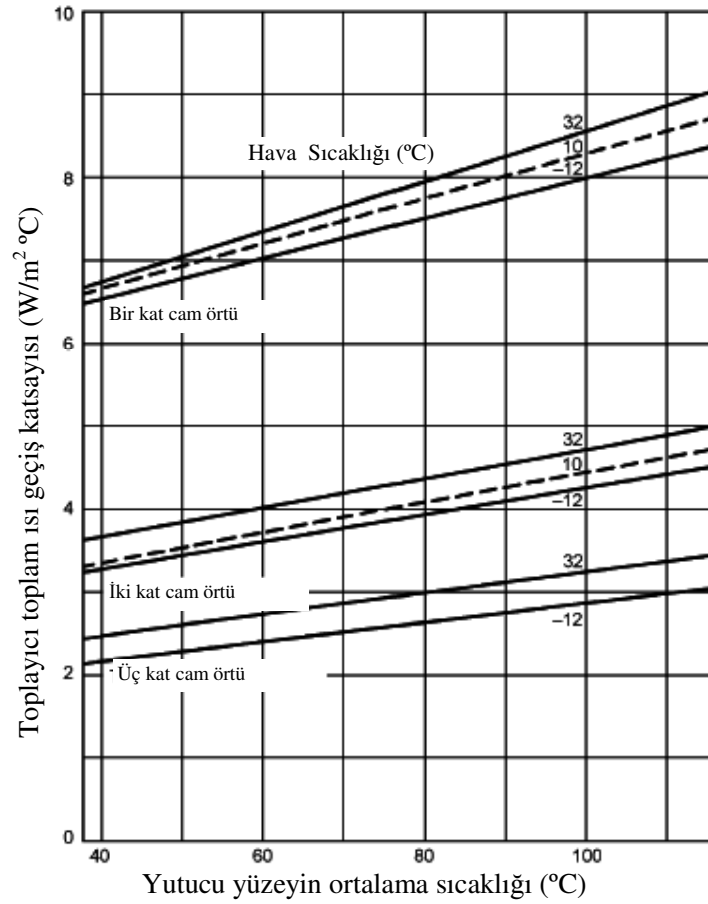
$$\eta = \dot{Q}_U / A I_T = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L (T_i - T_a) / I_T \quad (3.63)$$

Eğer U_L değeri sabiti kabul edilirse toplayıcı verimi $-(T_i - T_a) / I_T$ doğrusunun eğimi $-F_R U_L$ ye eşit olacak ve doğrunun dikey eksenini kestiği nokta ise $F_R (\tau\alpha)_n$ değerine eşit olacaktır. Test sonuçları yaklaşık olarak düz bir çizgi üzerinde çıkacaktır, çizginin etrafında dağılım yapmasının nedeni U_L 'nin değerinin rüzgar hızı ve sıcaklıkla değişmesidir. Gerek güneş enerjisi ile ısıtmada kullanılan toplayıcıların yapısı gerekse f-grafik yönteminin basit tasarım yöntemi olmadaki amacı gereği değerlere kolay ulaşabilmek için U_L 'nin değeri sabit kabul edilerek noktalardan bir doğru elde edilir.

Toplayıcı verimi $-(T_i - T_a) / I_T$ grafiğindeki doğrunun eğimine ve verim eksenini kestiği yeri toplayıcıdaki saydam örtü sayısı, toplayıcı yüzey kaplamasının yapısına bağlıdır.



Şekil 3.14: Sıvı akışkanlı düzlemsel güneş toplayıcılarının test sonuçları [32]



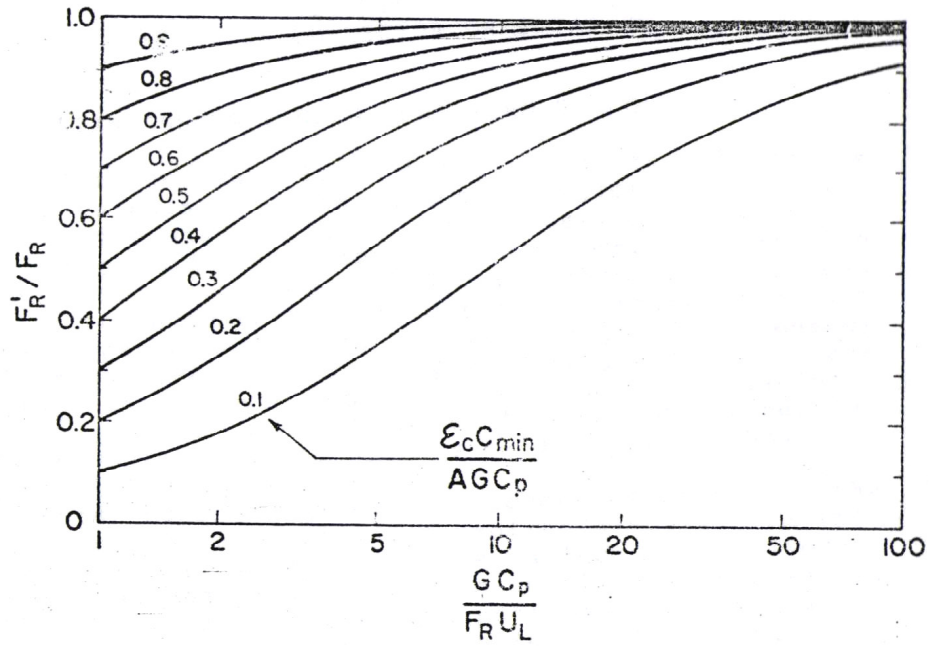
Şekil 3.15: Bir, iki ve üç kat cam örtü için toplayıcı toplam ısı geçiş katsayısının yutucu yüzey sıcaklığı ve toplayıcıyı çevreleyen havanın sıcaklığına bağlı değişimi [5]

3.3.4. Toplayıcı Isı Değiştiricisi Verimi

Don olayı yaşanan bölgelerde sıvı akışkanlı toplayıcılarda toplayıcı ile ısı depo arasında genellikle ısı değiştiricisi kullanılır. Bu ısı değiştiricisi toplayıcının bir parçası olmayıp bunun içinde bir verim katsayısı belirlemek gerekir. [34]

F'_R/F_R toplayıcı ısı değiştiricisi ve ısı değiştiricisine bağlı her iki dolaşım devresinin kullanılabilir enerjide neden olduğu zararı gösterir. F'_R/F_R oranı toplayıcı parametrelerinin, ısı değiştiricisindeki akış debisinin ve ısı değiştiricisinin etkinliğinin fonksiyonu olarak yazılabilir. [32]

$$\frac{F'_R}{F_R} = \left[1 + \frac{F_R U_L}{G c_p} + \frac{A G c_p}{\epsilon_c C_{\min}^{-1}} \right]^{-1} \quad (3.64)$$



Şekil 3.16: Toplayıcı ısı değiştiricisi düzeltme faktörü [32]

Şekilde 3.16 de F'_R/F_R oranı $\frac{G c_p}{F_R U_L}$ ve $\frac{\epsilon_c C_{\min}}{A G c_p}$ değerlerine bağlı çizilmiştir.

3.3.5. Toplayıcı Işınım Geçiş-Yutma Oranı

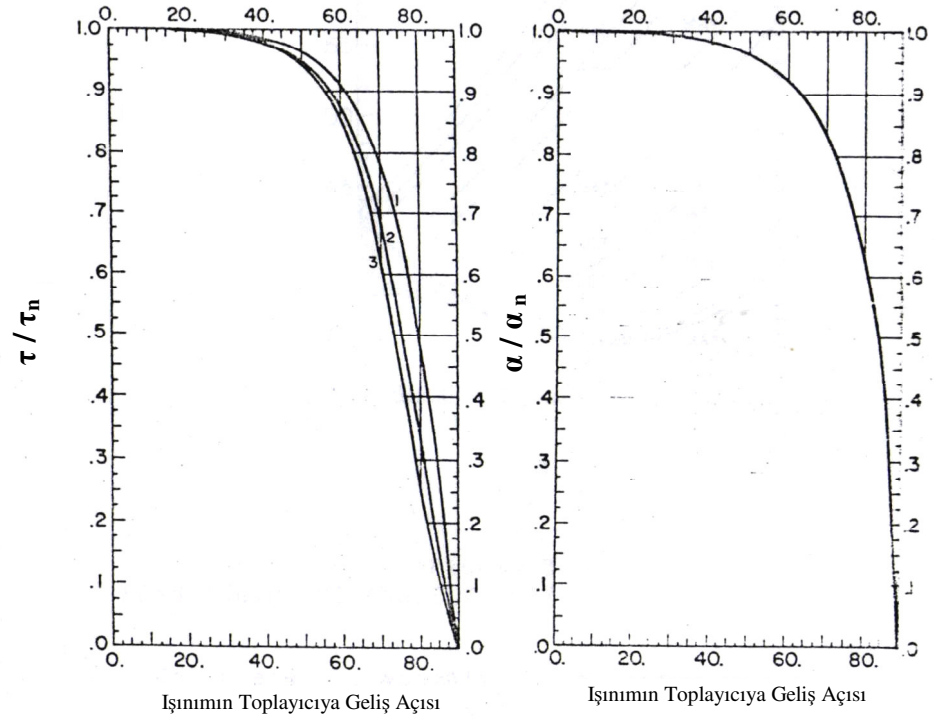
Gerek saydam örtünün güneş ışınlamını geçirme oranı (τ) gerekse yutucu yüzeyin güneş ışınlamını yutma oranı (α) güneş ışınlarının toplayıcı yüzeyine geliş açısına bağlıdır. Toplayıcı testlerinde τ ve α için ayrı ayrı anlık değerler elde edilemez, ancak F_R , τ ve α çarpımı test sonuçlarında belirlenebilir. Uzun süreli sistem performansının belirlenmesinde bunların her birinin bilinmesine gerekmemektedir hesap yöntemi de zaten F_R , τ ve α çarpımını kullanmaktadır. Test sonuçlarındaki olumsuz yön ölçümlerin ışınlamın toplayıcıya dik gelirken yapılmasıdır ($F_R(\tau\alpha)_n$), toplayıcıya gelen ışınlamın aylık ortalama değeri toplayıcının eğimine bağlı olarak ışınlamın dik geldiği durumdaki değerlere göre daha düşük olacaktır. Toplayıcı ışınlam geçiş-yutma oranının aylık ortalaması ($\overline{\tau\alpha}$) toplayıcı eğiminin enlemin $\pm 15^\circ$ ve güneye 15° ye kadar dönük olduğu durumlarda ısıtma sezonundaki her ay için

$$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} = 0,94 \text{ (tek kat saydam örtü)}$$

$$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} = 0,96 \text{ (iki kat saydam örtü)}$$

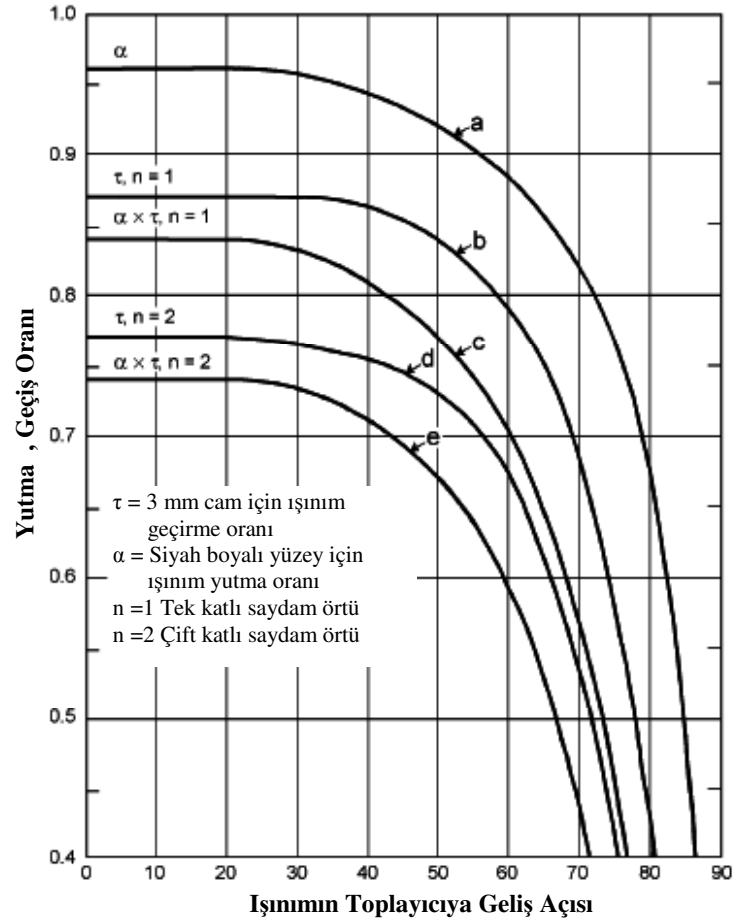
eğimi enlem açısından 15° den daha fazla olan toplayıcılarda $\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}$ değerinin bulmak için hesap yapılması gerekir. Toplayıcıya gelen anlık güneş ışınlamı direkt, yayılı ve yansiyarak gelen ışınlamların bileşkesidir. Geçiş-yutma oranının aylık ortalaması ($\overline{\tau\alpha}$) ve ışınların toplayıcıya dik geldiği durumdaki geçiş-yutma oranı ($\tau\alpha$)_n bu ışınlamların ağırlıklı oranlarından bulunur. [32] [35]

$$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} = \left(1 - \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}\right) \frac{\overline{R}_b}{\overline{R}} \frac{(\overline{\tau\alpha})_b}{(\tau\alpha)_n} + \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} \frac{1}{\overline{R}} \frac{1 + \cos s}{2} \frac{(\overline{\tau\alpha})_d}{(\tau\alpha)_n} + \rho \frac{1}{\overline{R}} \frac{1 - \cos s}{2} \frac{(\overline{\tau\alpha})_r}{(\tau\alpha)_n} \quad (3.65)$$



Şekil 3.17: Işınımın eğik geldiği durumundaki geçiş ve yutma katsayılarını ışınımın dik geldiği durumdakine oranı [32]

Şekilde 3.17 da sol tarafta 1, 2 ve 3 katlı cam veya tedlar malzemedен yapılmış saydam örtünün değişik ışınım açılarında saydam örtüdeki geçirme oranının ışınımın dik geldiği anlardakine oranı gözükmemektedir. Sağ tarafta ise düzlemsel ve siyah toplayıcı yüzeyinin yutma katsayısı değeri ışınımın dik geldiği andakine oranı gözükmemektedir.



Şekil 3.18: Geçiş-yutma oranının ışıının geliş açısına bağlı değişimi [5]

3.4. F-GRAFİK YÖNTEMİ

3.4.1 Boyutsuz Sistem Değişkenlerinin Tanımlanması

Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin aylık enerji dengesi şu şekilde yazılabilir.

$$\Delta U = Q_T - L + E \quad (3.66)$$

Güneş enerjili ısıtma sistemlerinde kullanılan ısı depo boyutları göz önüne alınca ΔU değerinin büyüklüğü Q_T , L ve E 'nin büyüklükleri yanında ihmal edilebilecek ölçüde küçük kalmaktadır ve sıfır olarak düşünülebilir. Denklem 3.47 $\Delta U \approx 0$ olacak şekilde

düzenlenirse ve f aylık toplam ısı yükünün güneş enerjisinden karşılanan oranı olarak tanımlanırsa. [32]

$$Q_T = L - E \quad (3.67)$$

$$f = \frac{Q_T}{L} = \frac{L-E}{L} \quad (3.68)$$

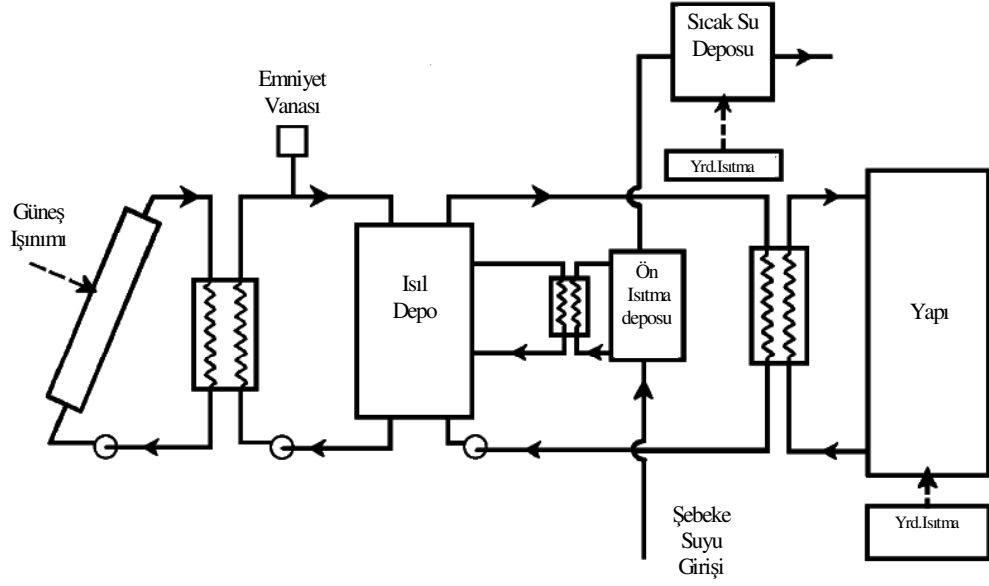
Denklem 3.49 ile f 'in değeri doğrudan hesaplanamaz Q_T ' nin değeri toplayıcıya gelen güneş ışıını, çevre sıcaklığı ve ısıtma yüklerinin karmaşık bir fonksiyonudur. f 'in bulunmasında 2 adet ampirik olarak bulunmuş boyutsuz sayı kullanılır.

$$X = F_R U_L \left(\frac{F_R'}{F_R} \right) (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t \frac{A}{L} \quad (3.69)$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \left(\frac{F_R'}{F_R} \right) \frac{(\bar{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \bar{H}_T N \frac{A}{L} \quad (3.70)$$

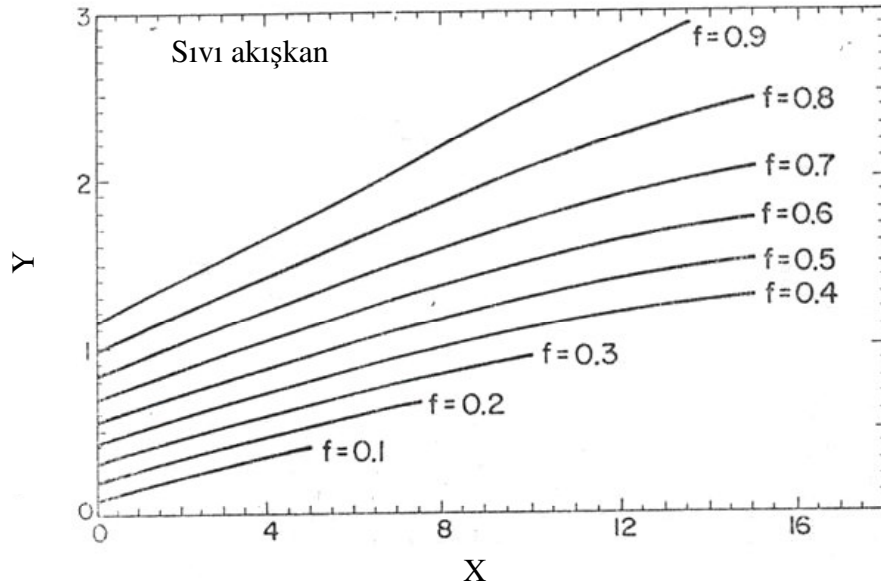
X ve Y boyutsuz sayılarının fiziksel olarak tanımları vardır. Y boyutsuz sayısı ay boyunca güneş toplayıcısında yutulan enerjinin aylık toplam ısıtma yüküne oranıdır. X boyutsuz sayısı ise ay boyunca referans güneş toplayıcısı enerji kaybının aylık toplam ısıtma yüküne oranıdır. $F_R U_L$ ve $(\tau\alpha)_n$ değerleri toplayıcının test sonuçlarından elde edilen değerlerden bulunur.

3.4.2 Sıvı Akışkanlı Güneş Enerjili Konut Isıtma Sistemleri



Şekil 3.19: Güneş enerjili su akışkanlı konut ısıtma sistemi [32]

f-grafik yöntemi sadece konutların güneş enerjili konut ısıtma ve sıcak su sistemlerinin için geliştirilmiştir ve sadece şekil 3.19'deki sıvı akışkanlı sistem için uygulanabilir.



Şekil 3.20: Sıvı akışkanlı sistem için f-grafik eğrileri [32]

Şekil 3.20 de sıvı akışkanlı sistemin ay boyunca güneş enerjisinde sağlanan ısı enerjisinin aylık toplam ısı yüküne oranı olan f 'in X ve Y değişkenlerine bağlı grafiği görülmektedir. X ve Y boyutsuz sayılarını tanımlayan bağıntılar çeşitli yerleşim yerlerinde, mümkün olan en geniş kapsamlı sistem tasarımlarına bağlı olarak yapılmış yüzlerce detaylı bilgisayar simülasyonundan elde edilmiştir. X ve Y 'nin değerleri hesap yapılan yerin ve tesisatın bilgilerine göre hesaplandıktan sonra f değeri şekilde X ve Y 'nin kesiştiği noktadan okunur. Örnek vermek gerekirse $X = 4$ ve $Y = 1$ için şekil üzerinde kesişim noktası bulunur ve $f = 0,57$ bulunur.

Aylık ısıtma yüküne güneş enerjisinin katkısı f ile aylık toplam ısı yükü olan L 'nin çarpımı kadardır. Yıl boyunca güneşten sağlanan enerjinin toplam enerji yüküne oranı olan f ise güneş enerjisinin aylık ısıtma yükü katkılarının toplamının yıllık toplam enerji yüküne oranıdır.

X , Y ve f arasındaki bağıntı aynı zamanda denklem olarak da ifade edilebilir.

$0 < x < 18$ ve $0 < y < 3$ sınırlarında kalmak kaydıyla f değeri denklem 3.71 ile hesaplanabilir. [32]

$$f = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018 X^2 + 0,0215 Y^3 \quad (3.71)$$

3.4.3 F-Grafik Yönteminde Düzeltme Katsayıları

f -grafik yöntemi geliştirilirken 3 tasarım parametresi sabit tutularak çalışmalar yapılmıştır. Bu 3 tasarım parametresinin değişik değerlerinde de f -grafik yöntemiyle tasarım yapılabilir. Bunlar toplayıcı birim alanından geçen sıvı debisi, toplayıcı birim alanı başına ısı depo hacmi, terminal ısı değiştiricinin terminal yüke bağlı büyüklüğü. Bu 3 parametre etkileri bu bölümde incelenmiştir. [32]

3.4.3.1 Toplayıcıdaki Akışkan Debisi

Toplayıcıdaki akışkan debisinin optimum değeri sonsuz büyük değerdedir. Buna karşın sistem performansı ile toplayıcıdaki akışkan debisi arasındaki bağıntı asimptotiktir, dolayısıyla F_R değerindeki ufak bir artış akışkana geçen debiyi ufak bir şekilde arttıracaktır. Bu artış akışkanın ısı kapasitesinin toplayıcı birim alanı başına $50 \text{ W/}^\circ\text{C}$

değerinin üzerine çıkarsa gerçekleşecek ve antifrizli sıvı akışkan için yaklaşık 0,015 litre/s.m² değerine karşılık gelecektir.

Düşük değerlerdeki akışkan debilerinde ise F_R (yada F_R') değerinin düşüşünün göstergesi olarak akışkana geçen enerjideki azalmayla kendini gösterecektir. Eğer akışkan debisi çok düşük olursa akışkan aşırı ısınarak buhar fazına geçecek ve emniyet vanasından atılacaktır, dışarı atılan buhar sistemde enerji kaybına eşit olacaktır.

f-grafik yöntemi geliştirilirken yapılan simülasyon sonuçları ve elde edilen bağıntılarda birim toplayıcı alanı başına gelen akışkan debisi 0,015 litre/s antifrizli su akışkan kullanıldığı düşünülerek belirlenmiştir.

Debideki değişim F_R değerini değiştirmekte bu da X ve Y yi oluşturan gruplarda değişime neden olacaktır.

Sıvı akışkanlı sistemler için f-grafik yönteminde verilen bağıntılar kabul edilebilir debilerdeki her akışkan debisi için kullanılabilir. (hava akışkanlı sistemlerde hava debisi düzeltme faktörü kullanılmaktadır.) [32]

3.4.3.2 Isıl Depo Kapasitesi

Isıl depo kapasitesinin uzun dönemde sistem performansı üzerindeki etkisini saptamak için çok sayıda bilgisayar simülasyonu yapılmıştır. Birim toplayıcı alanı başına depo kapasitesinin 50 litre üzerindeki değerleri için yıllık sistem performansında çok küçük bir değişim olduğu görülmüştür. Isıl depo maliyetleri göz önüne alınınca toplayıcı birim alanı başına 50-100 litre aralığında seçilmesinin en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

f-grafik yöntemi geliştirilirken ısı depo hacminin birim toplayıcı alan başına 75 litre olarak kabul edilmiştir. f-grafik yöntemi diğer depo kapasitelerinde de sistem performansını bulmak için kullanılmak istenirse X boyutsuz sayısını ısı depo düzeltme faktörü ile düzelterek kullanılabilir. [32]

M toplayıcı birim alanı başına ısı depo hacmi olma üzere ve $37,5 < M < 300$ aralığında

$$\text{Isıl depo düzeltme faktörü} = \frac{X_c}{X} = \left(\frac{M}{75} \right)^{-0,25} \quad (3.72)$$

3.4.3.3 Terminal Isı Değiştirici Boyutu

Terminal ısı değiştirici boyutu güneş enerjili ısıtma sistemlerinin performansını önemli ölçüde değiştirebilir. Terminal ünitenin bulunduğu mekanın havasını ısıtan bir ısı değiştiricinin boyutları küçük seçilirse ısı depo sıcaklığının aynı miktarda ısıyı sağlaması için yüksek olması gerekecektir bunun sonucu toplayıcıya giren akışkanın sıcaklığı artacak ve toplayıcı verimini düşürecektir.

Isıtılacak mekana özgü terminal ısı değiştirici ölçüleri boyutsuz bir parametre ile belirlenecektir.

$$\frac{\varepsilon_L C_{\min}}{UA} \quad (3.73)$$

Isıl açıdan bu değer optimum değeri sonsuz büyük değerdedir. Ama sistem performansı bu değere asimptotik olarak bağlıdır. Bu boyutsuz sayının 10 dan büyük değerlerinde sistem performansı sayını sonsuz büyüklükteki değerleri ile yakın olacaktır. Düşük boyutta seçilmiş terminal ısı değiştiriciye bağlı olarak sistem performansındaki düşüş boyutsuz sayını 1 in altındaki değerleri için hissedilir olacaktır. Terminal ısı değiştirici seçiminde maliyet faktörleri de hesaba katıldığında boyutsuz sayının yer alması gereken en ekonomik değer aralığı 1-3 dür.

f-grafik yöntemi geliştirilirken bu boyutsuz sayı 2 olarak göz önüne alınarak çalışmalar yapılmıştır. Bu boyutsuz sayını diğer değerleri de olması durumunda sistem performansını hesaplamak için Y boyutsuz sayısını terminal ısı değiştiricisi düzeltme faktörü ile düzelterek kullanılabilir. [32]

$$37,5 < \frac{\varepsilon_L C_{\min}}{UA} < 300 \text{ aralığında}$$

$$\begin{aligned} \text{Terminal ısı değiştiricisi} \\ \text{düzeltme faktörü} \end{aligned} = \frac{Y_C}{Y} = 0,39 + 0,65 e^{\left(\frac{-0,139}{\left(\frac{\varepsilon_L C_{\min}}{UA} \right)} \right)} \quad (3.74)$$

Isı değıştircilerinin etkenliği, bir ısı değıştircisinde gerçek ısı geçişinin olabilecek en yüksek ısı geçişine oranı olarak tanımlanır. [36]

Isı değıştircisinden geçen akışkanların toplam enerji dengesini ısı değıştirciden çevreye ısı kaybı olmadığına kabulü , kinetik ve potansiyel enerji değışimini ihmal ederek yazarsak

$$\dot{Q} = \dot{m}_h (h_{h,i} - h_{h,o}) \quad (3.75)$$

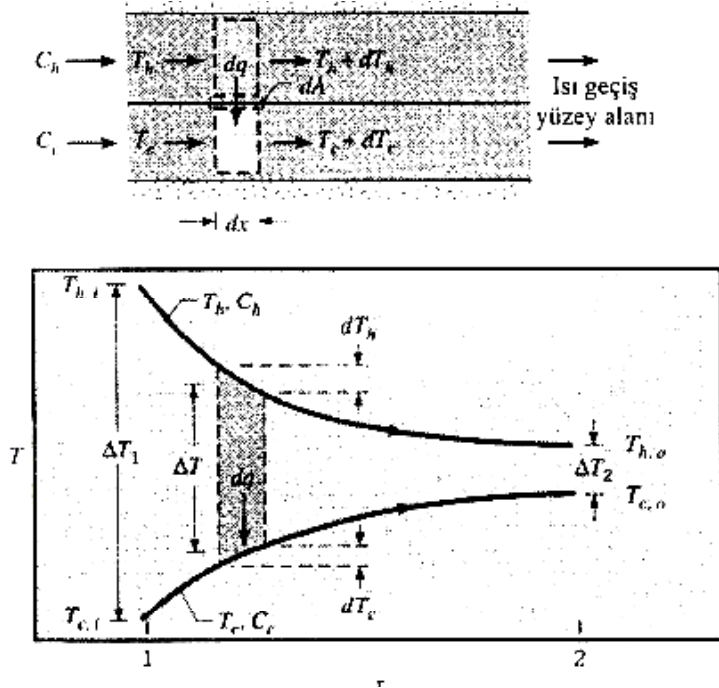
$$\dot{Q} = \dot{m}_c (h_{c,o} - h_{c,i}) \quad (3.76)$$

akışkanda faz değışimi olmadığı ve özgül ısıların sabit olduğu kabul edilirse denklem (3.75) ve (3.76) aşığıdaki gibi düzenlenir.

$$\dot{Q} = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (3.77)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (3.78)$$

Diferansiyel hacimdeki soğuk ve sıcak akışkan hacim elemanlarına enerjinin korunumu uygulanırsa



Şekil 3.21: Paralel akışlı bir ısı değıştircisinde sıcaklık dağılımları [36]

$$d\dot{Q} = -\dot{m}_h c_{p,h} dT_h \equiv -C_h dT_h \quad (3.79)$$

$$d\dot{Q} = \dot{m}_c c_{p,c} dT_c \equiv C_c dT_c \quad (3.80)$$

$$C = \dot{m} c_p \quad (3.81)$$

Bir ısı değıştiricisinde olacak en fazla ısı geçişi teorik olarak sonsuz uzunluktaki paralel ve ters akışlı bir ısı değıştiricisinde gerçekleşen ısı geçişi olarak tanımlanır.

$C_c < C_h$ durumunu göz önüne alırsak, her iki diferansiyel elemanda ısı geçişi miktarı birbirine eşit olduğundan, denklem (3.79) ve (3.80) göröleceğı üzere $|dT_c| > |dT_h|$ olacak, soğuk akışkanda daha büyük bir sıcaklık değışimi gerçekleşecektir, ısı değıştirici sonsuz uzunlukta olduğu için sıcak akışkanın giriş sıcaklığına kadar ısınabilecektir ($T_{c,o} = T_{h,i}$). Denklem (3.78) dan

$$C_c < C_h \text{ için } \dot{Q}_{\max} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (3.82)$$

Aynı şekilde $C_c > C_h$ durumunu göz önüne alırsak, sıcak akışkanda daha büyük bir sıcaklık değışimi gerçekleşecek, soğuk akışkanın giriş sıcaklığına kadar soğuyacaktır ($T_{h,o} = T_{c,i}$) durumunda Denklem (3.77) den

$$C_h < C_c \text{ için } \dot{Q}_{\max} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (3.83)$$

Denklem (3.82) ve (3.83) den göröleceğı üzere

$$\dot{Q}_{\max} = C_{\min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (3.84)$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} \quad (3.85)$$

Etkenlik boyutsuz bir büyüklük olup $0 \leq \varepsilon \leq 1$ arasında değeri alır. Hem gerçek ısı geçişi hem de olabilecek en yüksek ısı geçişi giren akışkan sıcaklığıyla değışecektir. Etkenlik kavramının önemi kütle debilerinin sabit kaldığı durumda etkenliğin sıcaklık değışiminden bağımsız olarak yaklaşık sabit bir değerde kalmasıdır. Sıvı-Hava ısı

değiştiricilerinde genellikle havanın ısıl kapasite debisi küçük olacaktır. Sıvı-sıvı ısı değiştiricilerinde ise her iki akışkanında ısıl kapasite debilerinin incelenmesi gerekir. Toplayıcı ısı değiştiricisinde her iki devrede de akış debileri genelde eşit olsa da toplayıcı devresinde dolaşan antifriz-su karışımının özgül ısısı sudan daha düşük olacağı için en küçük ısıl kapasite debisi genelde toplayıcı devresindeki akışkanın ısıl kapasite debisidir. [32]

3.5. GÜNEŞ ENERJİLİ KONUT ISITMA SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Bir ısıtma sisteminin satın alma ve işletme maliyeti yapının yatırım planının bir parçası olmalıdır. Bu bilgiler aynı zamanda yıllık bütçenin hazırlanmasında ve farklı sistemler arasından seçim yapılmasında yardımcı olacaktır. Yıllık veya ömür boyu maliyetleri hesaplamak için sistemin satın alma maliyeti, faiz oranı, ekonomik analiz süresi, hurda değeri, yenileme maliyeti ve sigorta, vergi gibi diğer düzenli maliyetleri belirlenmelidir.

Satın alma maliyet aşağıdaki unsurlardan oluşur. [37]

- Elektrik ve yakıt tesisatı maliyeti (yakıtın yapıya girdiği andan kullanıldığı ana kadar geçtiği yakıt deposu, hazırlama üniteleri ve boru devresinin maliyetidir. Elektrik tesisatında ise kablolar ve panolar dahildir.)
- Isı üretici ekipman (kazanlar, ısı pompaları, yardımcı ısıtıcılar, vb.)
- Isıtma tesisatı devresi (boru, boru yalıtımı, pompa, vana, terminal ünite)
- Sistem otomasyonu (terminal ve/ veya bölgesel kontrol)
- Yapıda inşa edilen ve değiştirilen yapısal unsurlar (mekanik ve elektrik tesisat için alan ayrılması, baca yapımı, yapının yalıtılması, düşey dağıtım kanalları)

İşletme maliyetleri ise sistemin gerçek çalışmasına bağlı olarak ortaya çıkan maliyetlerdir. Bu maliyetin kapsamına yakıt, elektrik, su, bakım malzemeleri ve servis bedelleri ile işçi ücretleri girer.

Çoğu insanda güneş enerjili ısınma sistemine sahip olmayı, sistemin geleneksel ısıtma sistemlerine rakip olabileceğini gördükten sonra düşünmeye başlamaktadır. Kullanıcı tarafından çeşitli geleneksel ısıtma sistemleri arasındaki ekonomik seçim günümüzde yakıt maliyetine göre yapılmaktadır, ısınmak için elde edilen birim enerji başına doğalgaz en ucuz yakıt, en pahalı yakıt ise elektrik olduğu için kullanıcı tercihleri

doğalgaz ile ısıtma sistemlerinden yanadır. Bu yaklaşımda sistemin beklenen ömrü boyunca işletme maliyetinin satın alma maliyetine göre çok büyük olduğu için ve işletme maliyetindeki en büyük payın yakıt maliyeti olduğu için kaba bir bakış açısıyla doğrudur. Fakat bu yaklaşım her zaman kesin sonucu vermeyeceği gibi bu çalışmada da yer alan iki farklı sistemin (güneş enerjisi sistemi ve geleneksel sistem) birlikte kullanıldığı durumlar için kullanılamaz.

Konut ısıtma sistemlerinde güneş enerjisi sisteminin boyutunun konutun ısıtma ihtiyacını tek başına karşılayacak kadar büyük olması ekonomik olmayacağı gibi güvenilir de değildir. Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinde temel yaklaşım yapının ısı ihtiyacını mümkün olduğunca (güneşli havalar, ısıl deponun kullanılabilir olması) güneş enerjisi sisteminden karşılamak, güneş enerjisi sisteminin yeterli olmadığı durumlarda (gece, kapalı havalar, ısıl deponun kullanılabilir olmaması) ise geleneksel ısıtma sistemlerinden karşılamaktır. Bu yaklaşımda yapının aylık ısı ihtiyacı ile aylık kullanılabilir güneş enerjisi miktarları arasındaki fark geleneksel ısıtma sisteminin karşılaması gereken ısıtma ihtiyacıdır.

Yapının aylık ısı ihtiyacı derece gün yöntemi ile bulunur daha sonra toplayıcı alanına bağlı olarak f-grafik yöntemi ile aylık bazda faydalanma oranı bulunur, aylık ihtiyacın güneş enerjisi sistemi tarafından karşılanmayan kısmı geleneksel ısıtma sistemi tarafından karşılanır, işlemler her ay için farklı toplayıcı alanlarına göre yapılır.

Bu aşamaya kadar elde edilen değerler ekonomik analiz yapmak için yeterli olacaktır. Her toplayıcı alanı için ısıtma dönemi aylarında geleneksel sistemin karşılayacağı ısı ihtiyaçları toplanarak geleneksel sisteminin karşılayacağı yıllık ısı ihtiyacı bulunur, bu değerden yapının tüketeceği yıllık yakıt miktarı ve maliyeti bulunur.

Geleneksel sistemi destekleyecek güneş enerjisi sisteminin maliyeti ise toplayıcı alanı ile toplayıcı birim fiyatının çarpımına sabit maliyetlerin toplanmasıyla elde edilebilir.

$$C = C_1.A + C_2 \quad (3.86)$$

Yıllık yakıt tüketiminin değişmeyeceği kabul edilerek güneş enerjili sistemin kullanım süresi (bu çalışmada 20 yıl alınmıştır) boyunca tüketeceği yakıtın maliyetinin bugünkü değeri olan M_2 , Ek-B de anlatılan düzenli serilerin şimdiki değerini hesaplama yöntemi (denklem (EkA.8)) ile hesaplanır, yöntemde kullanılan faiz oranı ise yine Ek-B de anlatılan efektif faiz oranı (denklem (EkA10)) olmalıdır. Güneş enerjisi sisteminin maliyetinin bir kerede ve alım sırasında karşılanacağı düşünüldüğü için maliyetinin değerine herhangi bir dönüşüm uygulanmaz, bu durumda

$$C = M_2 \quad (3.87)$$

Böylece güneş enerjili sistemin kullanım süresi boyunca toplam maliyeti

$$M = M_1 + M_2 \quad (3.88)$$

elde edilmiş olur, bulunan değerlerden $A-M$, $A-M_1$ ve $A-M_2$ eğrileri aynı grafik üzerinde çizilerek ilişkileri bir arada görülebilir.

Yapılan ekonomik analiz sonucunda güneş enerjili sistemin kullanım süresi boyunca toplam maliyetini (M) en düşük veren toplayıcı alanı (A) ekonomik açıdan en etkin değer olacaktır, bu nokta aynı zamanda $A-M$ grafiği üzerinde tepe noktası olarak görülecektir.

4. BULGULAR

4.1. ÖRNEK UYGULAMALAR

Sunulan çalışmada Antalya ve İstanbul’da bulunan iki yapının ısıtılmasının geleneksel sistem yerine güneş enerjili sistem ile yapılması incelenmiştir. Her iki yapıda TS 825 Yapılarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı ve standardı tamamlayıcı nitelikteki “Isı Yalıtım Yönetmeliği” göre projelendirilmiş yapılardır.

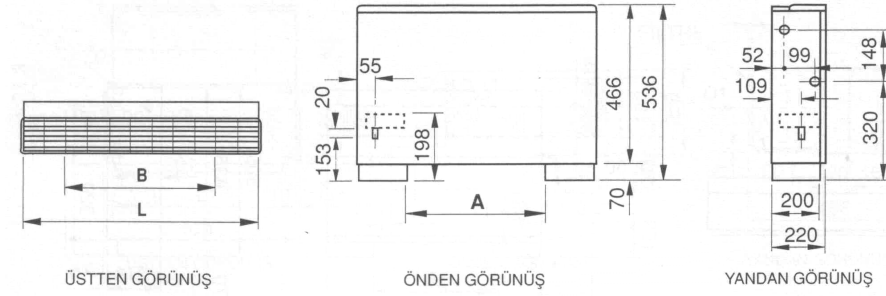
Yapılarda ısıtıcı olarak fan coil cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihazın ısıtma şartlarındaki özellikleri üretici firma katalogundan alınmıştır ve tablo 4.1 de verilmiştir.

Cihazın etkenliği ise tablodaki değerlerden yola çıkarak denklem (3.84) ve (3.85) ile bulunmuştur.

Tablo 4.1: Fan coil cihazının özellikleri

Cihaz Özelliği	Isıtma (90 °C)
Su debisi (l/h)	530
Üfleme havası debisi (m ³ /h)	350
Basınç kaybı (mSS)	0,4
Fan motoru gücü (220V) (W)	24
Ses seviyesi (dBA)	41
Isıtma gücü (90-70) (kcal/h)	4250
Cihazın etkenliği	0,603

KASETLİ DÖŞEME TİPİ A1, A2,



TİP	1	2	3	4	5
L	825	990	1320	1485	1815
B	495	660	990	1155	1485
Klape: A x 70	495	660	990	1155	1485

Şekil 4.1: Fan coil cihazının ölçüleri

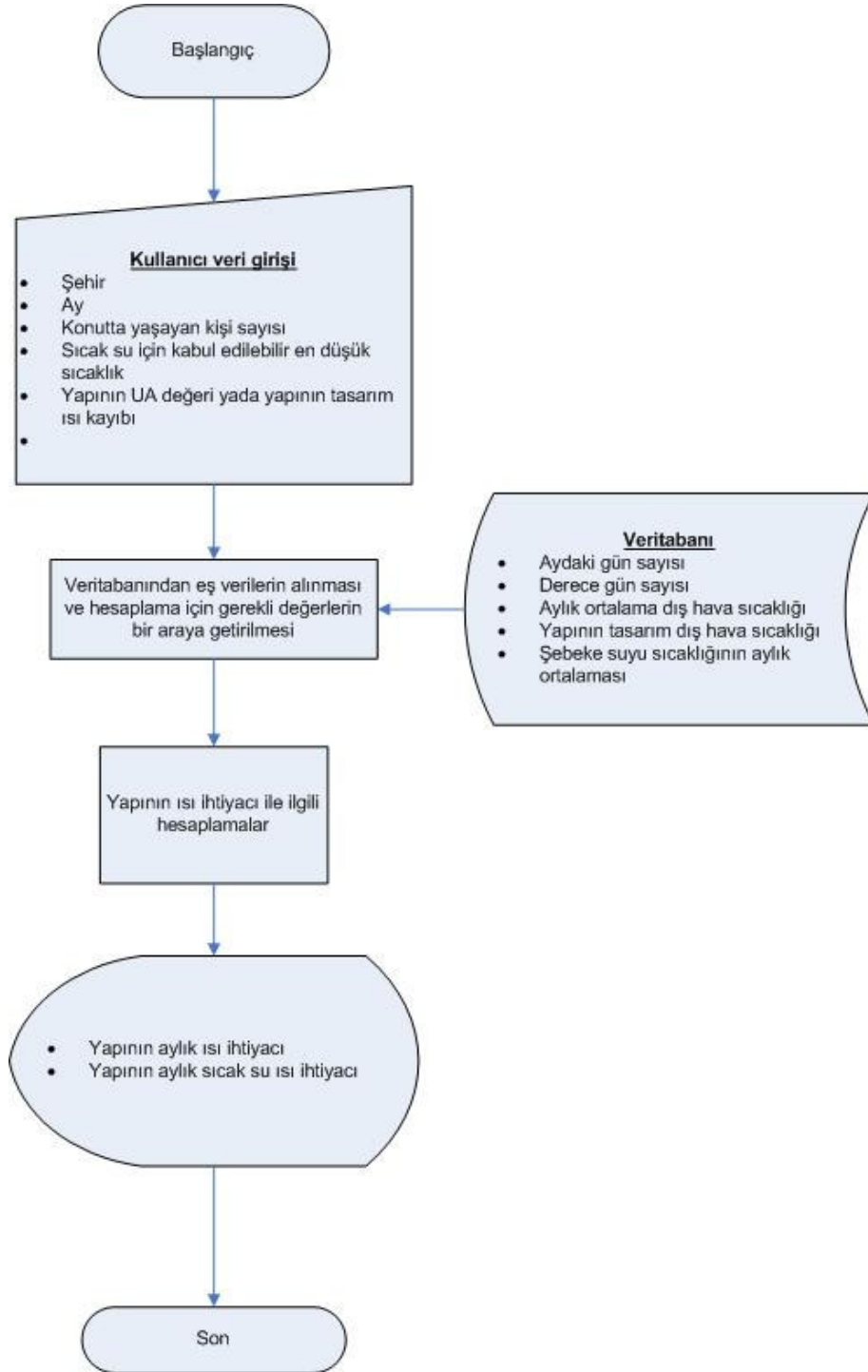
4.1.1. Yapı-1

Antalya ili Merkez ilçesinde bulunan 1 zemin 3 normal kattan oluşan net kullanım alanı 531 m² olan konut amaçlı yapının diğer özellikleri tablo 4.2 de verilmiştir. Yapının cephe görünümleri ve kat planları Ek-B de verilmiştir.

Tablo 4.2: Yapı-1'in özellikleri

	Yapı-1
Dış tasarım sıcaklığı (°C)	+3
UA (W/K)	1165
Kullanılan yakıt	Fuel-Oil
Kat yüksekliği (m)	3
Yapıda yaşayan kişi sayısı	16

Yapı -1'in aylara göre ısı ihtiyacı denklem 3.54 ve tablo 4.2 kullanılarak ve şekil 4.3 gösterildiği gibi hesaplanmış ve tablo 4.3 de verilmiştir.

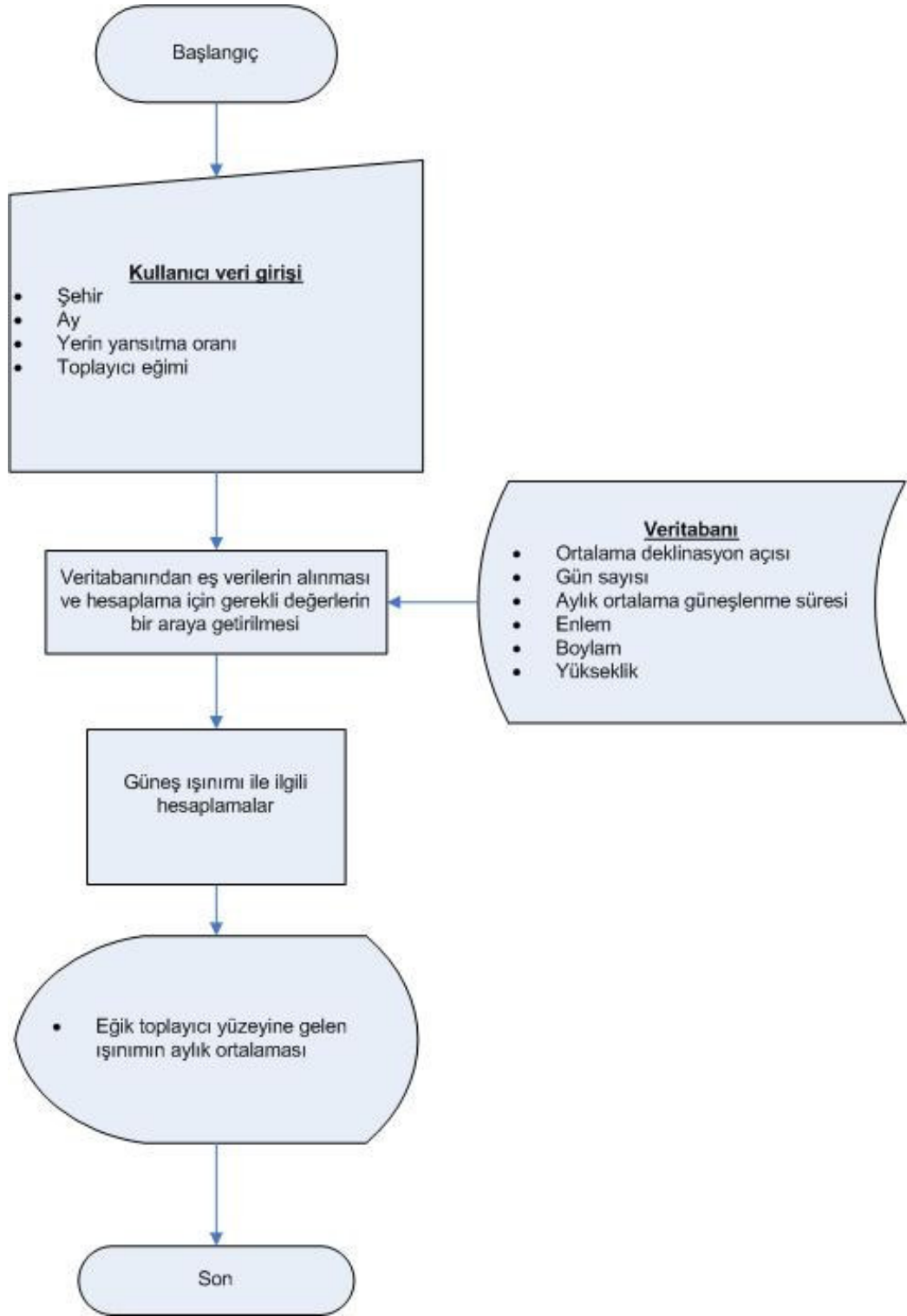


Şekil 4.2: Yapının ısı ihtiyacının hesabı için akış şeması

Tablo 4.3: Yapı-1'in aylara göre ısı ihtiyacı

	Derece gün (°C.gün)	Isı İhtiyacı (GJ)
Ocak	303,4	30,5475
Şubat	268,4	27,0236
Mart	222,2	22,3738
Nisan	74,6	7,51633
Mayıs	0	-
Haziran	0	-
Temmuz	0	-
Ağustos	0	-
Eylül	0	-
Ekim	0	-
Kasım	140	14,0994
Aralık	258,1	25,9875

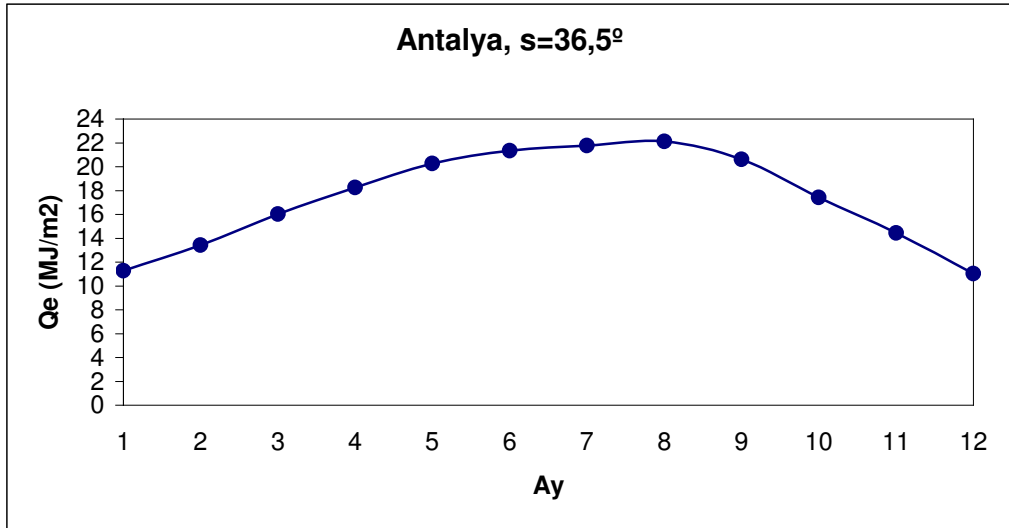
Antalya için eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının değerleri, denklem (3.48) kullanılarak ve şekil 4.3 gösterildiği gibi, her ay için bulunmuş ve tablo 4.4 ile şekil 4.4 de verilmiştir.



Şekil 4.3: Eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının hesabı için akış şeması

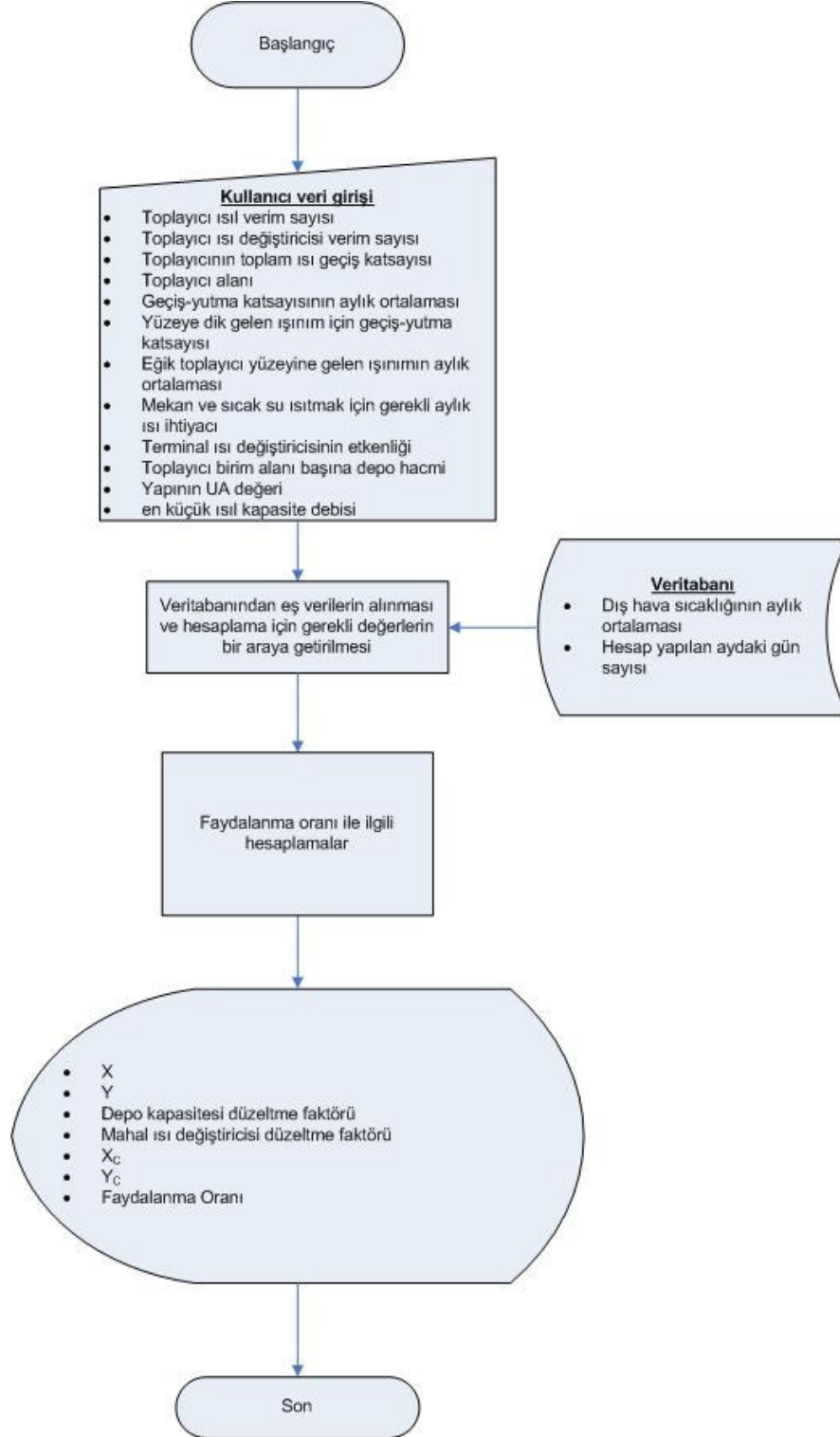
Tablo 4.4: Antalya’da eğimi $36,5^\circ$ olan eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının değeri

Ay	$\overline{H_T}$ (MJ/m ² .gün)
Ocak	11,27
Şubat	13,42
Mart	16,03
Nisan	18,25
Mayıs	20,26
Haziran	21,33
Temmuz	21,76
Ağustos	22,13
Eylül	20,61
Ekim	17,42
Kasım	14,45
Aralık	11,04



Şekil 4.4: Antalya’da eğimi $36,5^\circ$ olan eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının aylara göre değişimi

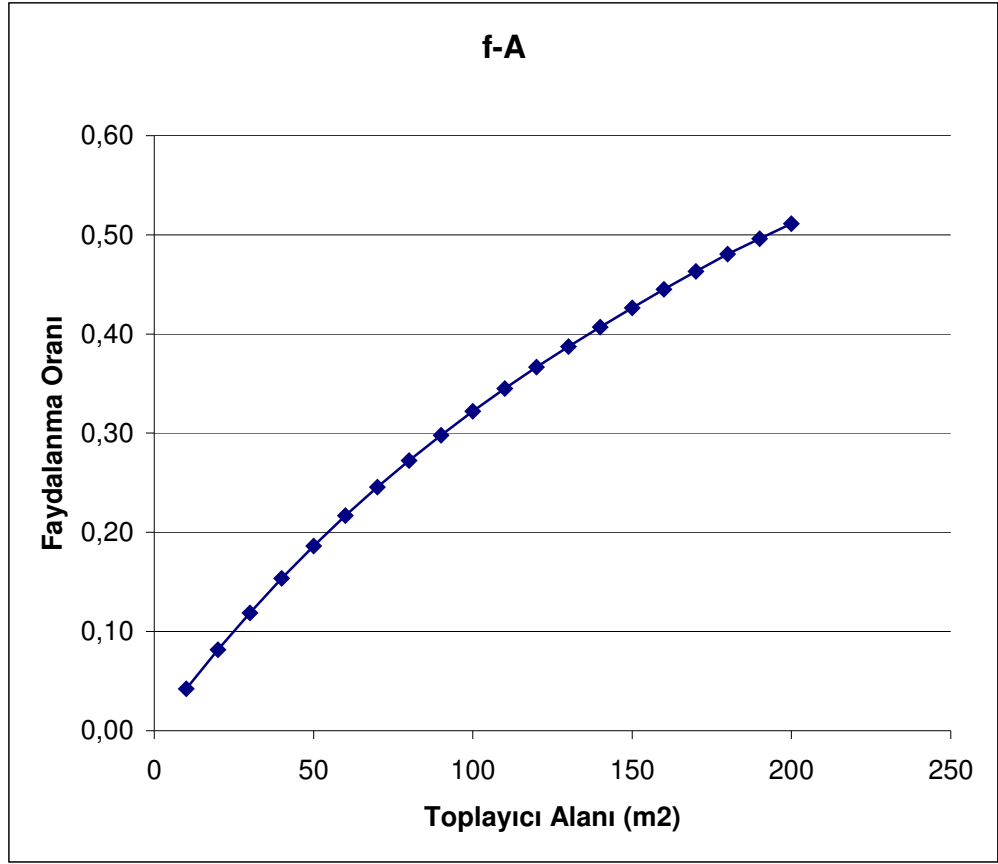
Yapı-1 için toplayıcı alanına bağlı olarak faydalanma oranları (3.69), (3.70) ve (3.71) denklemleri kullanılarak şekil 4.5 de gösterildiği gibi hesaplanmış ve tablo 4.5 de verilmiştir.



Şekil 4.5: Faydalanma oranının hesabı için akış şeması

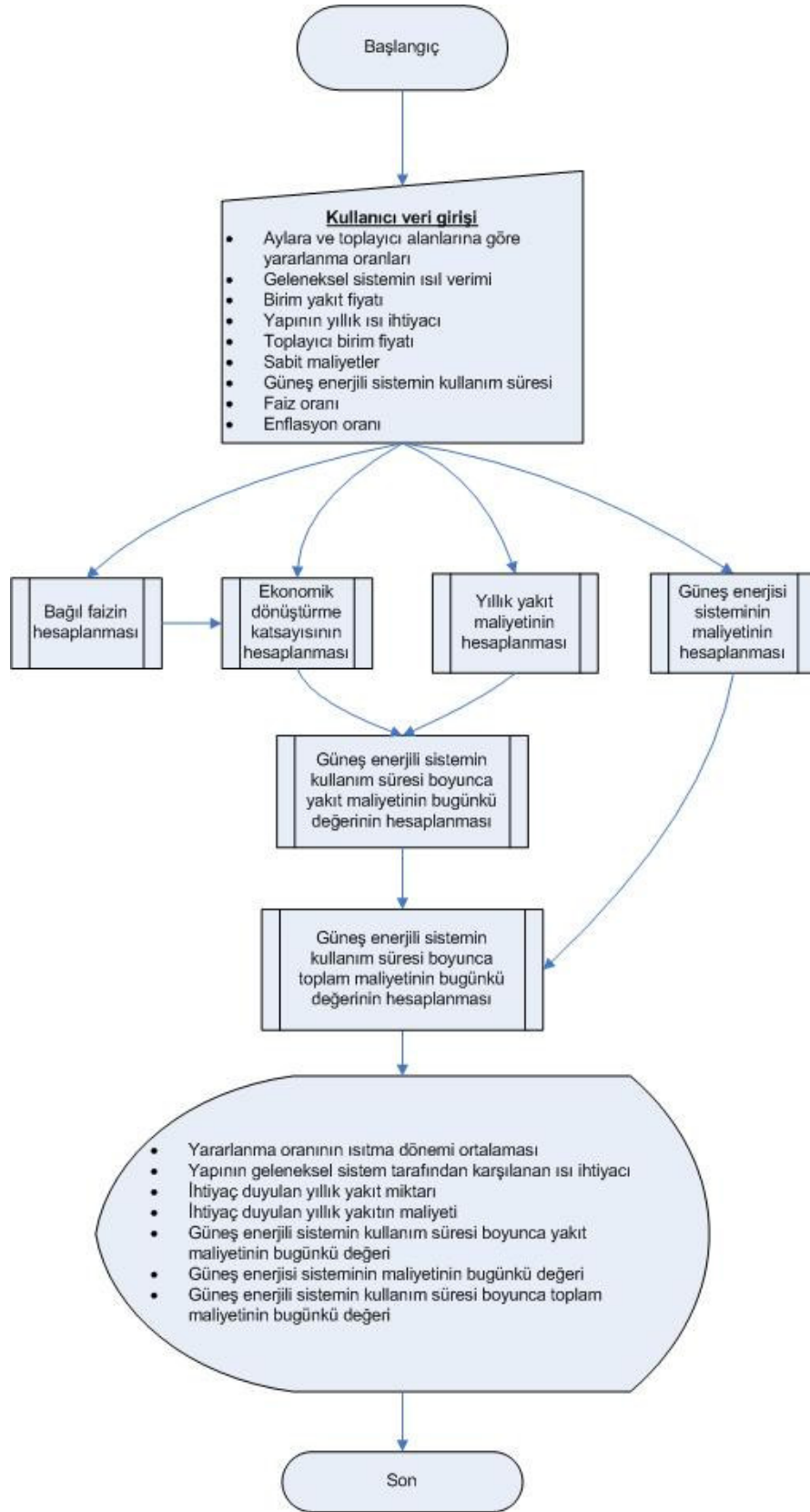
Tablo 4.5: Yapı-1 için aylara göre faydalanma oranlarının toplayıcı alanlarına göre değişimi

Toplayıcı Alanı (m ²)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Isıtma dönemi ortalaması
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,021	0,029	0,051	0,170	-	-	-	-	-	-	0,067	0,024	0,0422
20	0,041	0,057	0,100	0,316	-	-	-	-	-	-	0,129	0,047	0,0817
30	0,061	0,084	0,146	0,440	-	-	-	-	-	-	0,188	0,069	0,2453
40	0,080	0,111	0,191	0,544	-	-	-	-	-	-	0,243	0,091	0,1536
50	0,099	0,136	0,233	0,631	-	-	-	-	-	-	0,295	0,112	0,1862
60	0,118	0,161	0,274	0,701	-	-	-	-	-	-	0,343	0,133	0,2168
70	0,136	0,186	0,312	0,758	-	-	-	-	-	-	0,389	0,154	0,2455
80	0,154	0,209	0,349	0,802	-	-	-	-	-	-	0,431	0,174	0,2726
90	0,171	0,232	0,384	0,836	-	-	-	-	-	-	0,470	0,193	0,2980
100	0,188	0,255	0,417	0,863	-	-	-	-	-	-	0,506	0,212	0,3221
110	0,205	0,276	0,448	0,883	-	-	-	-	-	-	0,540	0,230	0,3449
120	0,221	0,297	0,478	0,898	-	-	-	-	-	-	0,571	0,248	0,3666
130	0,237	0,318	0,507	0,912	-	-	-	-	-	-	0,600	0,266	0,3872
140	0,253	0,338	0,533	0,925	-	-	-	-	-	-	0,626	0,283	0,4071
150	0,268	0,357	0,558	0,940	-	-	-	-	-	-	0,651	0,300	0,4263
160	0,283	0,376	0,582	0,958	-	-	-	-	-	-	0,674	0,316	0,4450
170	0,298	0,394	0,605	0,982	-	-	-	-	-	-	0,695	0,332	0,4633
180	0,313	0,411	0,626	1,000	-	-	-	-	-	-	0,714	0,348	0,4806
190	0,327	0,429	0,646	1,000	-	-	-	-	-	-	0,732	0,363	0,4961
200	0,340	0,445	0,664	1,000	-	-	-	-	-	-	0,749	0,378	0,5111



Şekil 4.6: Yapı-1 için ısıtma dönemindeki aylardaki faydalanma oranlarının ortalamalarının toplayıcı alanlarına göre değişimi

Yapı-1 için faydalanma oranına bağlı olarak güneş enerjili sistemin kullanım süresi boyunca toplam maliyetin bugünkü değerleri (3.86), (3.88), (EkA.8) ve (EkA10) denklemleri kullanılarak şekil 4.7 de gösterildiği hesaplanmış ve tablo 4.6 de verilmiştir.

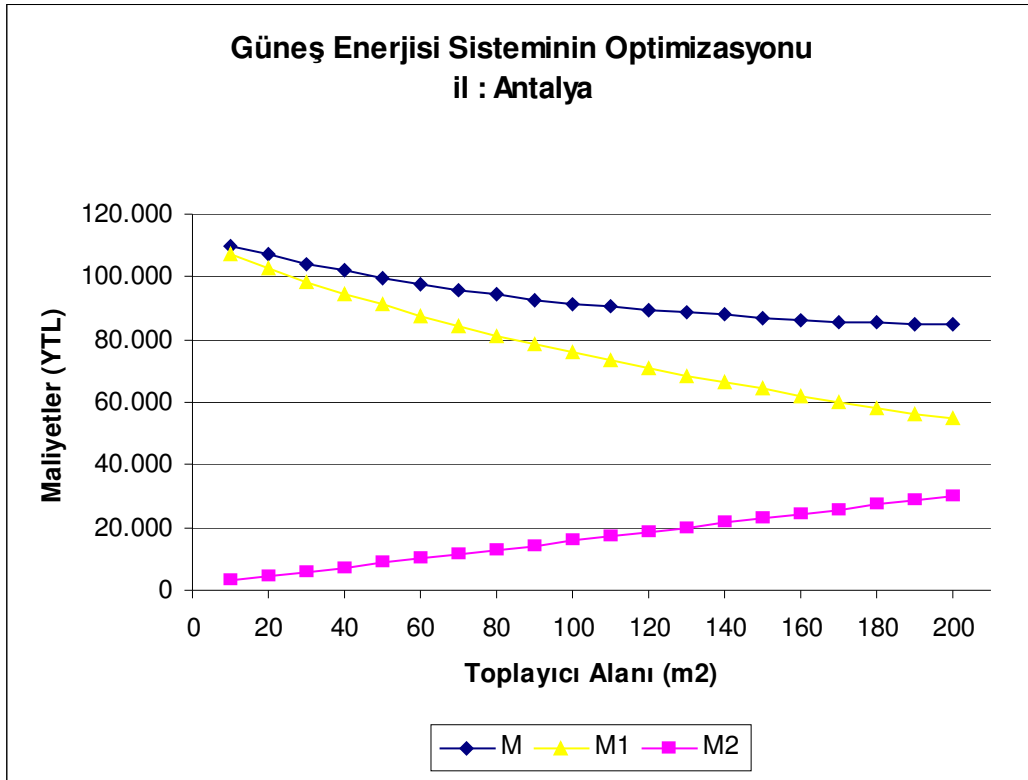


Şekil 4.7: Sistemin ekonomik analizi için akış şeması

Tablo 4.6: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu

Toplayıcı Alanı (m ²)	Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması	Yapının Geleneksel Sistem Tarafından Karşılanan Yıllık Isı İhtiyacı (GJ/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıt Miktarı (kg/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıtın Maliyeti (YTL/yıl)	M1 - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Yakıtın Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M2 - Güneş Enerjisi Sisteminin Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Toplam Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)
0	0	128,9	3.352,6	5.129,5	111.837,7	0,0	111.837,66
10	0,0422	123,5	3.211,3	4.913,2	107.122,0	2.926,0	110.048,05
20	0,0817	118,4	3.078,8	4.710,6	102.703,7	4.352,0	107.055,72
30	0,1188	113,6	2.954,4	4.520,3	98.555,2	5.778,0	104.333,18
40	0,1536	109,1	2.837,8	4.341,8	94.663,5	7.204,0	101.867,52
50	0,1862	104,9	2.728,5	4.174,6	91.017,0	8.630,0	99.646,97
60	0,2168	101,0	2.625,8	4.017,5	87.592,2	10.056,0	97.648,17
70	0,2455	97,3	2.529,5	3.870,1	84.379,2	11.482,0	95.861,15
80	0,2726	93,8	2.438,8	3.731,4	81.355,5	12.908,0	94.263,53
90	0,2980	90,5	2.353,4	3.600,7	78.505,6	14.334,0	92.839,64
100	0,3221	87,4	2.272,7	3.477,3	75.813,8	15.760,0	91.573,83
110	0,3449	84,4	2.196,3	3.360,3	73.263,7	17.186,0	90.449,67
120	0,3666	81,7	2.123,7	3.249,3	70.843,6	18.612,0	89.455,56
130	0,3872	79,0	2.054,3	3.143,1	68.528,7	20.038,0	88.566,73
140	0,4071	76,4	1.987,6	3.041,1	66.303,9	21.464,0	87.767,87
150	0,4263	74,0	1.923,3	2.942,7	64.158,2	22.890,0	87.048,25
160	0,4450	71,5	1.860,8	2.847,0	62.071,5	24.316,0	86.387,53
170	0,4633	69,2	1.799,4	2.753,1	60.025,8	25.742,0	85.767,79
180	0,4806	67,0	1.741,5	2.664,5	58.093,9	27.168,0	85.261,86
190	0,4961	65,0	1.689,3	2.584,6	56.350,7	28.594,0	84.944,69
200	0,5111	63,0	1.639,1	2.507,9	54.678,5	30.020,0	84.698,49
Optimum Toplayıcı Alanı (m2):							0,5111
Optimum Faydalanma Oranı :							200,00
En Düşük Maliyet (YTL):							84.698,49

Buna göre Yapı-1 'in özellikleri ele alındığında, toplayıcı birim fiyatının (C1) 124 YTL/m² , sabit maliyetin (C2) 1500 YTL , 15 yıl kullanım süresinde, %10 faiz ve %15 enflasyon oranı üzerinden güneş enerjili ısıtma sistemi 200 m² toplayıcı alanında optimum olmaktadır.



Şekil 4.8: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi

4.1.2. Yapı-2

İstanbul ili Kemerburgaz ilçesinde bulunan 1 zemin 2 normal kattan oluşan net kullanım alanı 242 m² olan konut amaçlı yapının diğer özellikleri tablo 4.7 de verilmiştir. Yapının cephe görünimleri ve kat planları Ek-C de verilmiştir. Yapının UA değeri denklem (3.50) ve tablo 4.7 deki değerlerden bulunur.

Tablo 4.7: Yapı-2'nin özellikleri

	Yapı-2
İlçe	Kemerburgaz
Şehir	İstanbul
Dış tasarım sıcaklığı (°C)	-3
Tasarım ısı kaybı (W)	26510
Kullanılan yakıt	Doğal gaz
Kat yüksekliği (m)	3
Yapıda yaşayan kişi sayısı	4
UA (W/K)	1205

Yapı -2'in aylara göre ısı ihtiyacı denklem (3.54) ve tablo 4.7 kullanılarak hesaplanmış ve tablo 4.8 de verilmiştir.

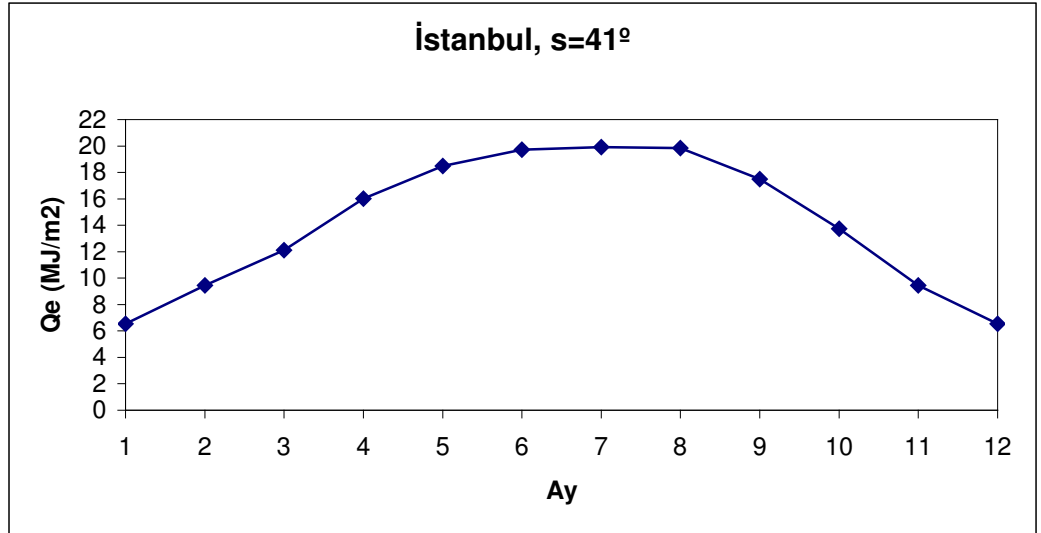
Tablo 4.8: Yapı-2'nin aylara göre ısı ihtiyacı

	Derece gün (°C.gün)	Isı İhtiyacı (GJ)
Ocak	411,3	42,8235
Şubat	390,1	40,6161
Mart	372,8	38,8151
Nisan	217,5	22,6463
Mayıs	69,1	7,19606
Haziran	0	-
Temmuz	0	-
Ağustos	0	-
Eylül	0	-
Ekim	82,3	8,57036
Kasım	230,6	24,0102
Aralık	343	35,7126

İstanbul için eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının değerleri tablo 4.9 ve şekil 4.9 de verilmiştir.

Tablo 4.9: İstanbul'da eğimi 41° olan eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının değerleri

Ay	$\overline{H_T}$ (MJ/m ² .gün)
Ocak	6,53
Şubat	9,45
Mart	12,11
Nisan	16,02
Mayıs	18,49
Haziran	19,73
Temmuz	19,91
Ağustos	19,85
Eylül	17,49
Ekim	13,73
Kasım	9,46
Aralık	6,54

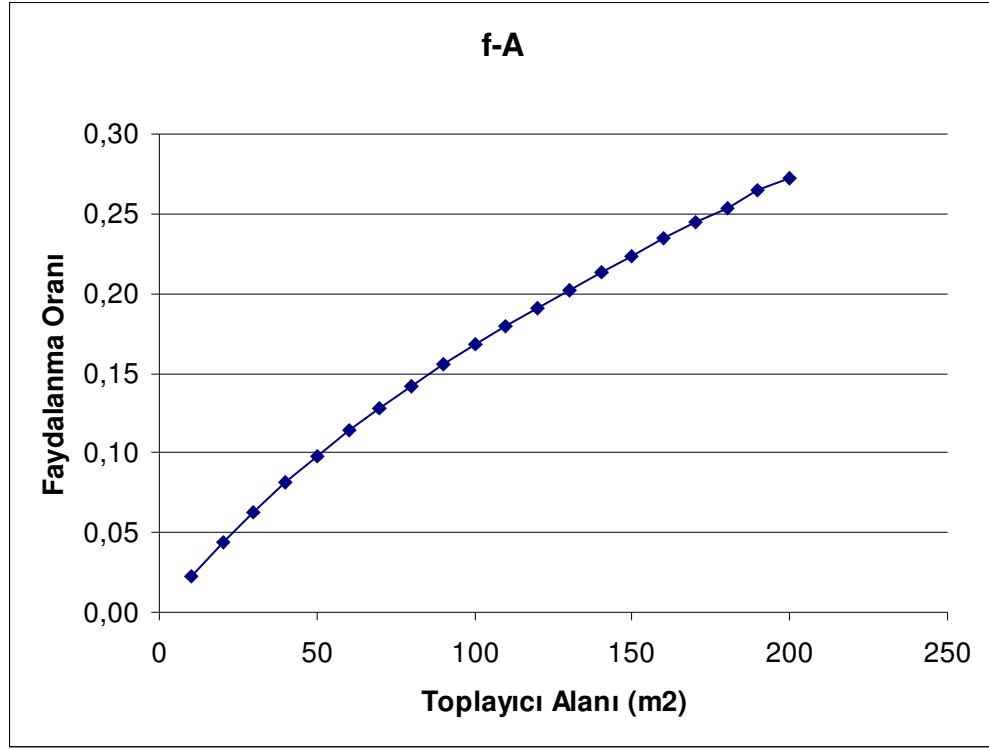


Şekil 4.9: İstanbul'da eğimi 41° olan eğik toplayıcı yüzeyine gelen ışıının aylık ortalamasının aylara göre değişimi

Yapı-2 için toplayıcı alanına bağlı olarak faydalanma oranları (3.69), (3.70) ve (3.71) denklemleri kullanılarak hesaplanmış ve tablo 4.10 de verilmiştir.

Tablo 4.10: Yapı-2 için aylara göre faydalanma oranlarının toplayıcı alanlarına göre değişimi

Toplayıcı Alanı (m ²)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Isıtma dönemi ortalaması
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,0023	0,0090	0,0179	0,0477	0,1825	-	-	-	-	0,1011	0,0175	0,0032	0,0225
20	0,0047	0,0179	0,0354	0,0934	0,3374	-	-	-	-	0,1928	0,0347	0,0065	0,0434
30	0,0071	0,0268	0,0527	0,1373	0,4672	-	-	-	-	0,2756	0,0515	0,0098	0,0629
40	0,0096	0,0355	0,0696	0,1793	0,5743	-	-	-	-	0,3501	0,0681	0,0132	0,0810
50	0,0121	0,0442	0,0862	0,2195	0,6612	-	-	-	-	0,4169	0,0844	0,0166	0,0979
60	0,0146	0,0528	0,1026	0,2579	0,7304	-	-	-	-	0,4766	0,1004	0,0200	0,1137
70	0,0172	0,0613	0,1186	0,2946	0,7843	-	-	-	-	0,5298	0,1161	0,0236	0,1285
80	0,0199	0,0698	0,1343	0,3297	0,8254	-	-	-	-	0,5771	0,1315	0,0272	0,1424
90	0,0225	0,0782	0,1498	0,3632	0,8562	-	-	-	-	0,6191	0,1467	0,0308	0,1555
100	0,0253	0,0865	0,1650	0,3951	0,8792	-	-	-	-	0,6565	0,1617	0,0345	0,1680
110	0,0281	0,0947	0,1799	0,4254	0,8967	-	-	-	-	0,6897	0,1764	0,0382	0,1798
120	0,0309	0,1029	0,1945	0,4543	0,9114	-	-	-	-	0,7195	0,1909	0,0420	0,1912
130	0,0338	0,1110	0,2089	0,4818	0,9257	-	-	-	-	0,7463	0,2051	0,0459	0,2024
140	0,0367	0,1191	0,2230	0,5079	0,9419	-	-	-	-	0,7709	0,2191	0,0498	0,2132
150	0,0396	0,1271	0,2369	0,5326	0,9627	-	-	-	-	0,7938	0,2330	0,0538	0,2240
160	0,0427	0,1350	0,2505	0,5561	1,0000	-	-	-	-	0,8155	0,2466	0,0579	0,2350
170	0,0457	0,1428	0,2638	0,5783	1,0000	-	-	-	-	0,8368	0,2600	0,0620	0,2446
180	0,0489	0,1506	0,2769	0,5993	1,0000	-	-	-	-	0,8581	0,2732	0,0662	0,2541
190	0,0520	0,1584	0,2898	0,6292	1,0000	-	-	-	-	0,8802	0,2863	0,0704	0,2645
200	0,0553	0,1660	0,3024	0,6380	1,0000	-	-	-	-	0,9035	0,2992	0,0747	0,2726

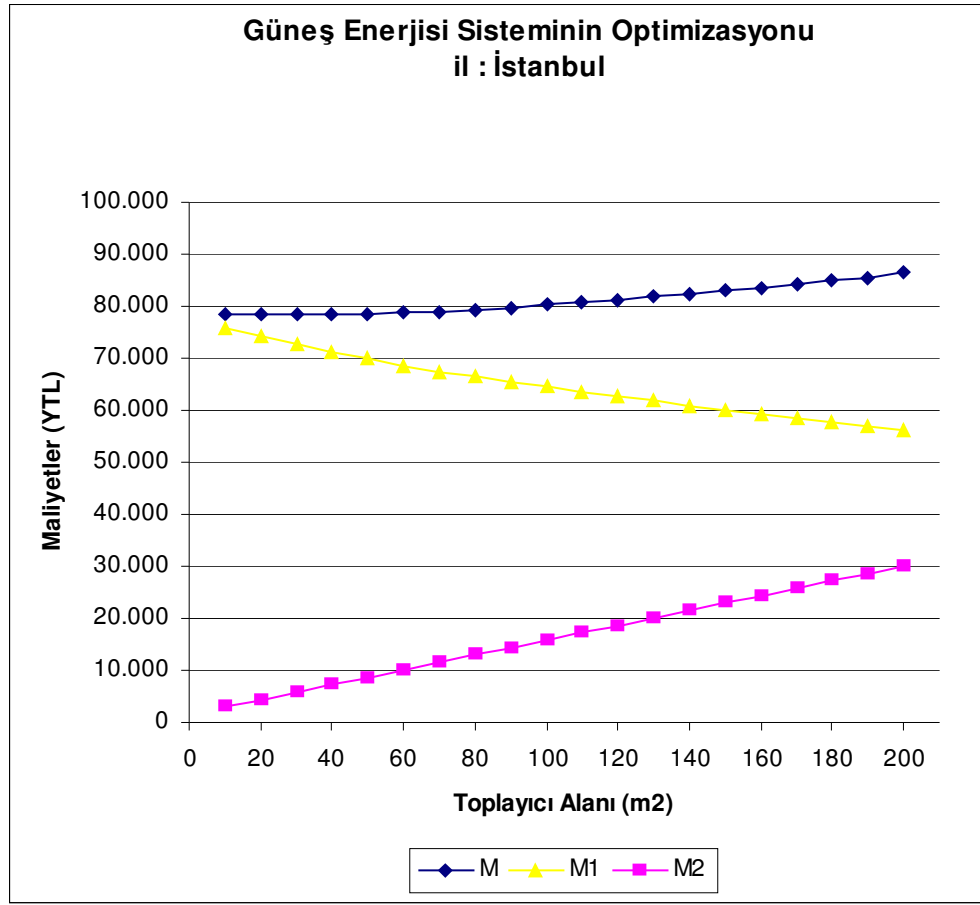


Şekil 4.10: Yapı-2 için ısıtma dönemindeki aylardaki faydalanma oranlarının ortalamalarının toplayıcı alanlarına göre değişimi

Yapı-2 için faydalanma oranına bağlı olarak güneş enerjili sistemin kullanım süresi boyunca toplam maliyetin bugünkü değerleri (3.86), (3.88), (EkA.8) ve (EkA10) denklemleri kullanılarak hesaplanmış ve tablo 4.11 de verilmiştir.

Tablo 4.11: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu

[illegible]



Şekil 4.11: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi

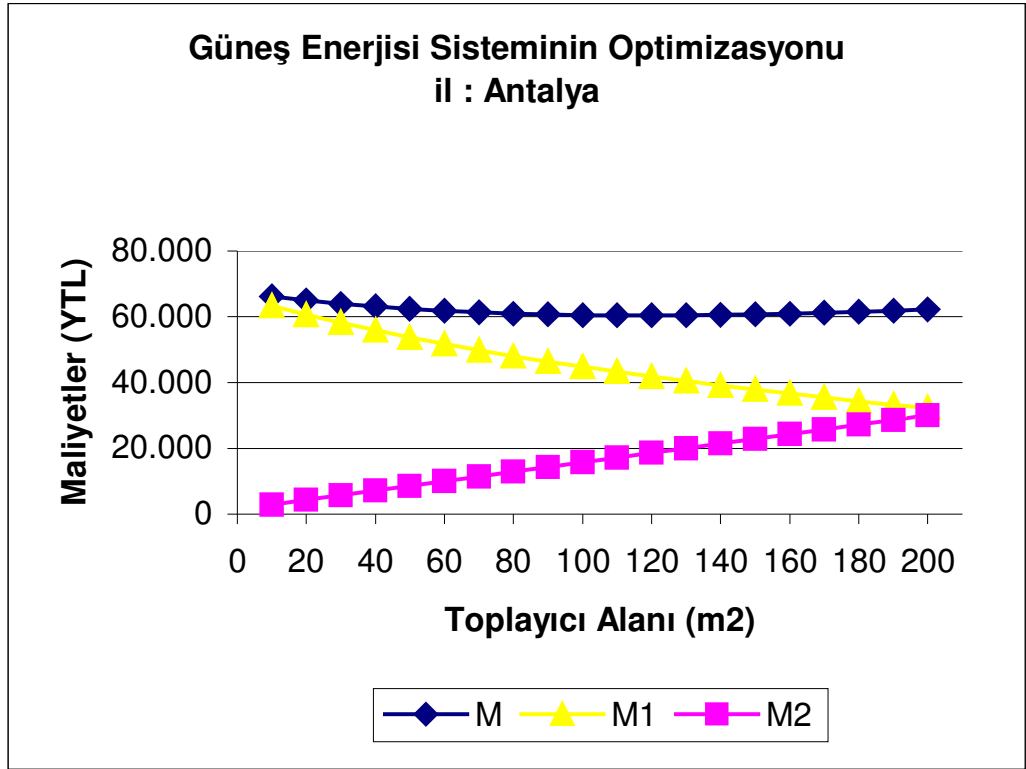
Buna göre Yapı-2 'in özellikleri ele alındığında, toplayıcı birim fiyatının (C1) 124 YTL/m² , sabit maliyetin (C2) 1500 YTL , 15 yıl kullanım süresinde %10 faiz ve %15 enflasyon oranı üzerinden güneş enerjili ısıtma sistemi optimum olmamaktadır, geleneksel sistem daha ekonomik olacaktır.

4.2. İRDELEMELER

4.2.1. Kullanım Süresinin Etkisi

Enflasyon ve faiz oranları sabit kalmak üzere kullanım süresinin 15 yıl yerine 10 ve 20 yıl olması durumunda her iki yapı içinde incelenecektir.

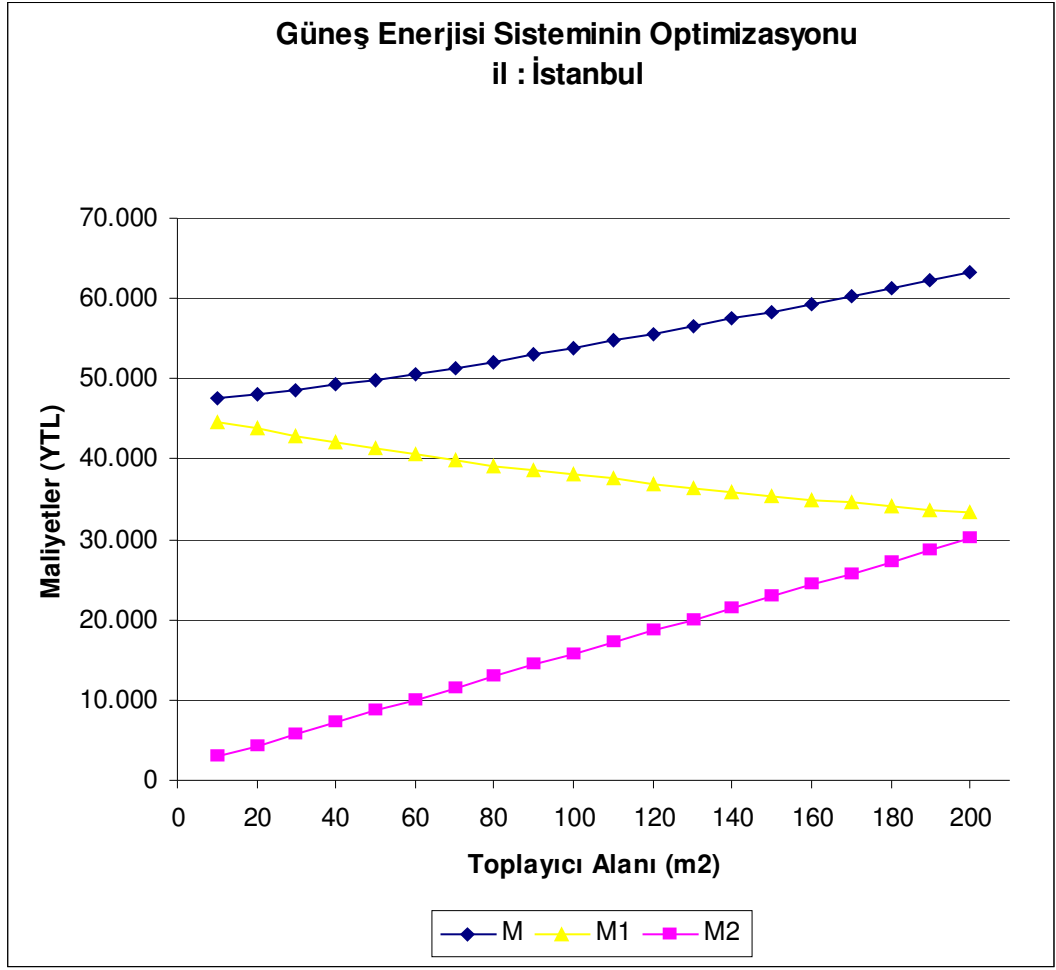
Kullanım süresinin 10 yıl olması durumunda her iki yapı için elde edilen sonuçlar Yapı-1 için tablo 4.12 ve şekil 4.12 de, Yapı-2 için ise tablo 4.13 ve şekil 4.13 de verilmiştir.



Şekil 4.12: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=10 yıl , i=%10 , e=%15)

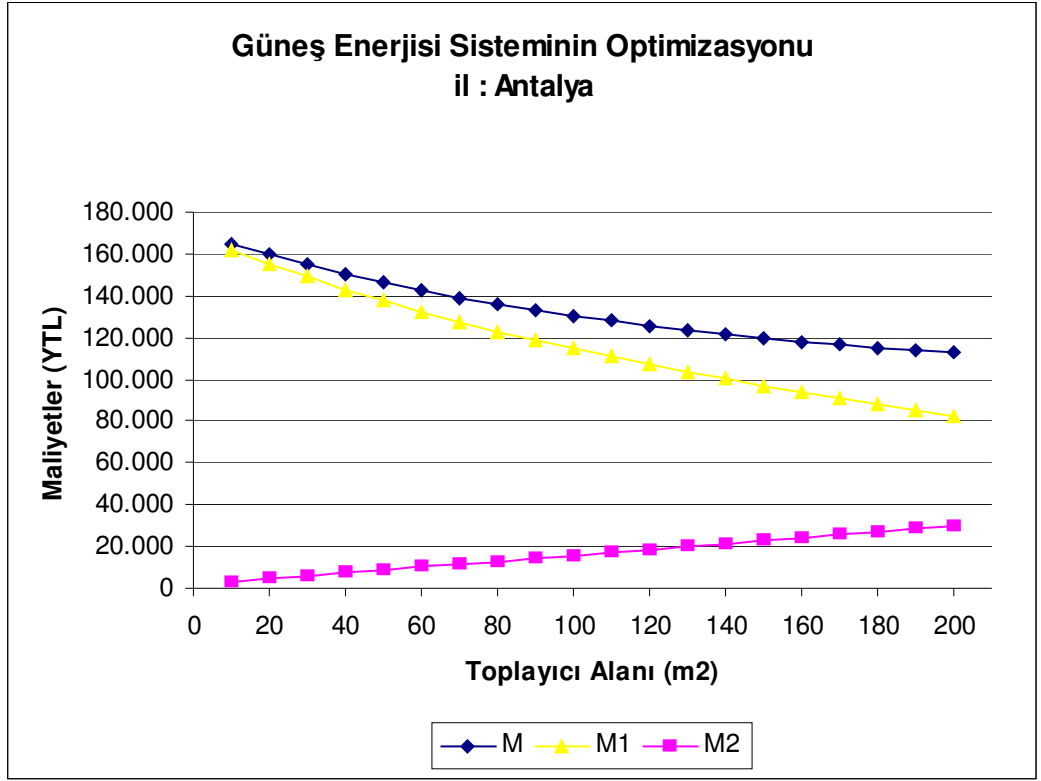
Tablo 4.13: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu (n=10 yıl , i=%10 , e=%15)

Toplayıcı	Faydalanma Alanı (m²)	Yapının Geleneksel Sistem Tarafından Karşılanan Yıllık Isı İhtiyacı (GJ/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıt Miktarı (kg/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıtın Maliyeti (YTL/yıl)	M1 - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Yakıtın Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M2 - Güneş Enerjisi Sisteminin Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Toplam Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)
0	0	220,4	6.860,8	3.552,1	45.730,1	0,0	45.730,12
10	0,0225	215,4	6.706,6	3.472,3	44.702,3	2.926,0	47.628,33
20	0,0434	210,8	6.563,1	3.398,0	43.745,8	4.352,0	48.097,81
30	0,0629	206,5	6.429,4	3.328,8	42.854,6	5.778,0	48.632,65
40	0,0810	202,5	6.305,0	3.264,4	42.025,3	7.204,0	49.229,34
50	0,0979	198,8	6.189,0	3.204,3	41.252,3	8.630,0	49.882,26
60	0,1137	195,3	6.080,7	3.148,3	40.530,6	10.056,0	50.586,64
70	0,1285	192,1	5.979,3	3.095,8	39.854,6	11.482,0	51.336,60
80	0,1424	189,0	5.883,9	3.046,4	39.218,7	12.908,0	52.126,71
90	0,1555	186,1	5.794,0	2.999,8	38.619,5	14.334,0	52.953,48
100	0,1680	183,4	5.708,4	2.955,5	38.049,3	15.760,0	53.809,33
110	0,1798	180,8	5.627,1	2.913,4	37.507,1	17.186,0	54.693,14
120	0,1912	178,2	5.548,7	2.872,8	36.984,4	18.612,0	55.596,42
130	0,2024	175,8	5.472,5	2.833,4	36.476,5	20.038,0	56.514,53
140	0,2132	173,4	5.397,9	2.794,8	35.979,7	21.464,0	57.443,71
150	0,2240	171,0	5.324,2	2.756,6	35.487,8	22.890,0	58.377,83
160	0,2350	168,6	5.248,2	2.717,2	34.981,3	24.316,0	59.297,32
170	0,2446	166,5	5.182,3	2.683,1	34.542,5	25.742,0	60.284,47
180	0,2541	164,4	5.117,3	2.649,5	34.109,4	27.168,0	61.277,35
190	0,2645	162,1	5.046,3	2.612,7	33.636,0	28.594,0	62.229,99
200	0,2726	160,3	4.990,2	2.583,7	33.262,2	30.020,0	63.282,21
Optimum Toplayıcı Alanı (m2):							0,00
Optimum Faydalanma Oranı :							0
En Düşük Maliyet (YTL):							45.730,12



Şekil 4.13: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=10 yıl , i=%10 , e=%15)

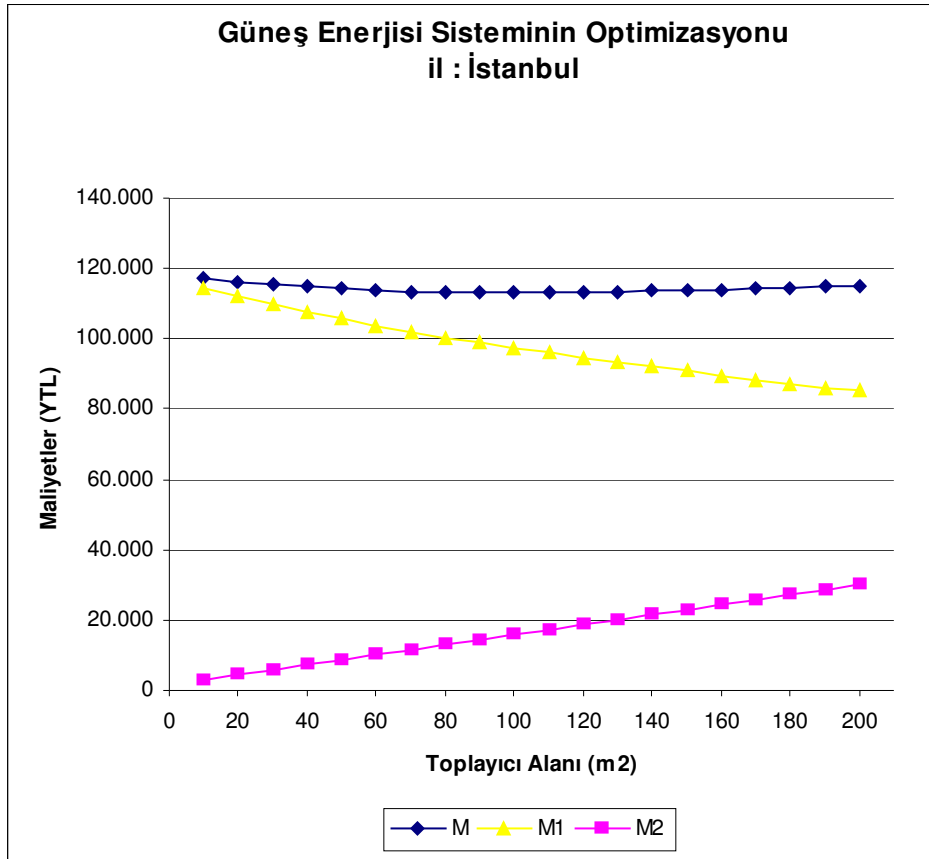
Kullanım süresinin 20 yıl olması durumunda her iki yapı için elde edilen sonuçlar Yapı-1 için tablo 4.14 ve şekil 4.14 de, Yapı-2 için ise tablo 4.15 ve şekil 4.15 de verilmiştir.



Şekil 4.14: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=20 yıl , i=%10 , e=%15)

Tablo 4.15: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu (n=20 yıl , i=%10 , e=%15)

Toplayıcı Alanı (m ²)	Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması	Yapının Geleneksel Sistem Tarafından Karşılanan Yıllık Isı İhtiyacı (GJ/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıt Miktarı (kg/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıtın Maliyeti (YTL/yıl)	M1 - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Yakıtın Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M2 - Güneş Enerjisi Sisteminin Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Toplam Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)
0	0	220,4	6.860,8	3.552,1	117.057,1	0,0	117.057,10
10	0,0225	215,4	6.706,6	3.472,3	114.426,2	2.926,0	117.352,25
20	0,0434	210,8	6.563,1	3.398,0	111.977,8	4.352,0	116.329,79
30	0,0629	206,5	6.429,4	3.328,8	109.696,6	5.778,0	115.474,65
40	0,0810	202,5	6.305,0	3.264,4	107.573,8	7.204,0	114.777,85
50	0,0979	198,8	6.189,0	3.204,3	105.595,0	8.630,0	114.224,96
60	0,1137	195,3	6.080,7	3.148,3	103.747,8	10.056,0	113.803,81
70	0,1285	192,1	5.979,3	3.095,8	102.017,3	11.482,0	113.499,33
80	0,1424	189,0	5.883,9	3.046,4	100.389,6	12.908,0	113.297,61
90	0,1555	186,1	5.794,0	2.999,8	98.855,7	14.334,0	113.189,74
100	0,1680	183,4	5.708,4	2.955,5	97.396,3	15.760,0	113.156,30
110	0,1798	180,8	5.627,1	2.913,4	96.008,4	17.186,0	113.194,43
120	0,1912	178,2	5.548,7	2.872,8	94.670,4	18.612,0	113.282,41
130	0,2024	175,8	5.472,5	2.833,4	93.370,3	20.038,0	113.408,34
140	0,2132	173,4	5.397,9	2.794,8	92.098,6	21.464,0	113.562,61
150	0,2240	171,0	5.324,2	2.756,6	90.839,5	22.890,0	113.729,53
160	0,2350	168,6	5.248,2	2.717,2	89.543,0	24.316,0	113.859,00
170	0,2446	166,5	5.182,3	2.683,1	88.419,7	25.742,0	114.161,67
180	0,2541	164,4	5.117,3	2.649,5	87.311,0	27.168,0	114.478,99
190	0,2645	162,1	5.046,3	2.612,7	86.099,3	28.594,0	114.693,30
200	0,2726	160,3	4.990,2	2.583,7	85.142,5	30.020,0	115.162,54
Optimum Toplayıcı Alanı (m2):							100,00
Optimum Faydalanma Oranı :							0,16795901
En Düşük Maliyet (YTL):							113.156,30



Şekil 4.15: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=20 yıl , i=%10 , e=%15)

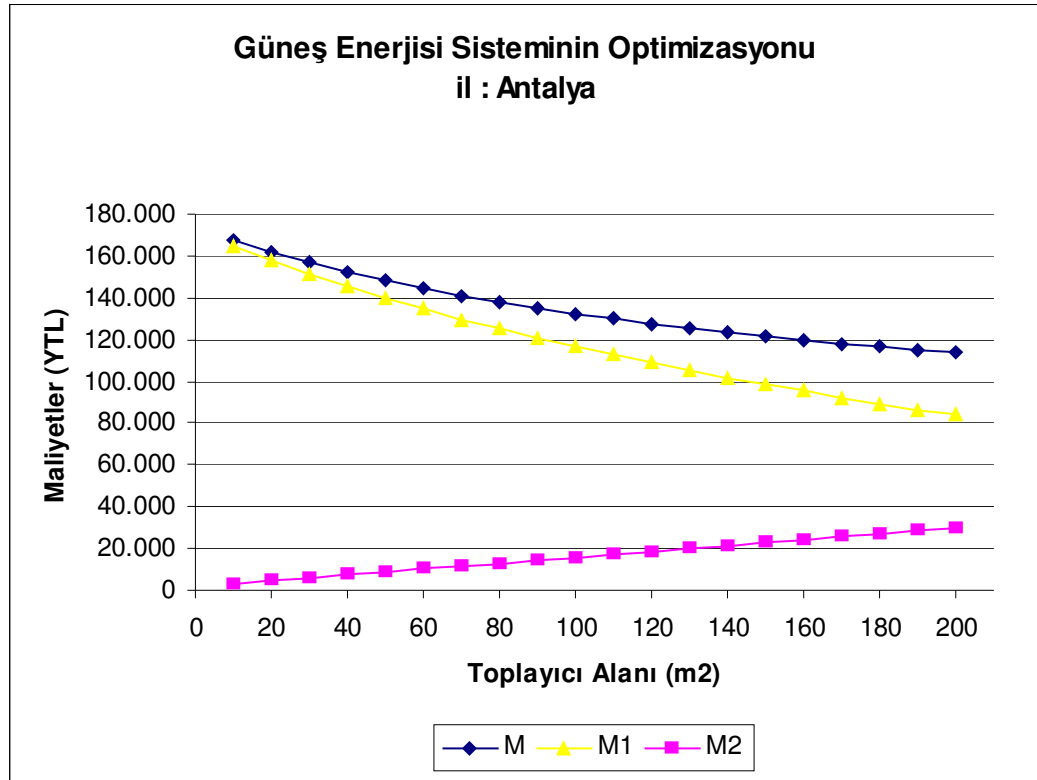
4.2.2. Faiz Oranının Etkisi

Kullanım süresi ve enflasyon oranı sabit kalmak üzere faiz oranı %10 yerine %5 ve %15 olması durumunda her iki yapı içinde incelenecektir.

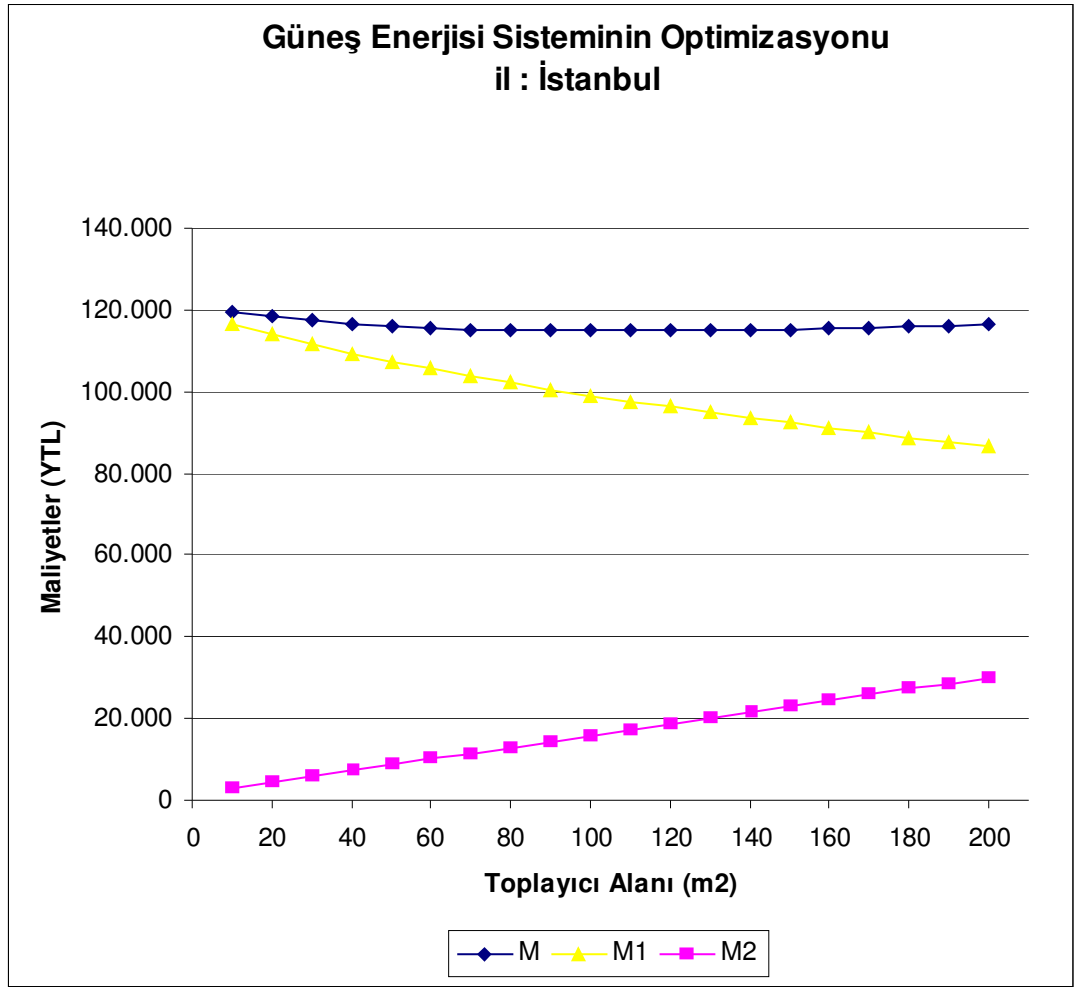
Faiz oranının %5 olması durumunda her iki yapı için elde edilen sonuçlar Yapı-1 için tablo 4.16 ve şekil 4.16 de, Yapı-2 için ise tablo 4.17 ve şekil 4.17 de verilmiştir.

Tablo 4.16: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%5 , e=%15)

Toplayıcı Alanı (m ²)	Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması	Yapının Geleneksel Sistem Tarafından Karşılanan Yıllık Isı İhtiyacı (GJ/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıt Miktarı (kg/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıtın Maliyeti (YTL/yıl)	M1 - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Yakıtın Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M2 - Güneş Enerjisi Sisteminin Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Toplam Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)
0	0	128,9	3.352,6	5.129,5	171.898,8	0,0	171.898,85
10	0,0422	123,5	3.211,3	4.913,2	164.650,8	2.926,0	167.576,77
20	0,0817	118,4	3.078,8	4.710,6	157.859,6	4.352,0	162.211,62
30	0,1188	113,6	2.954,4	4.520,3	151.483,2	5.778,0	157.261,16
40	0,1536	109,1	2.837,8	4.341,8	145.501,5	7.204,0	152.705,52
50	0,1862	104,9	2.728,5	4.174,6	139.896,6	8.630,0	148.526,64
60	0,2168	101,0	2.625,8	4.017,5	134.632,6	10.056,0	144.688,59
70	0,2455	97,3	2.529,5	3.870,1	129.694,1	11.482,0	141.176,06
80	0,2726	93,8	2.438,8	3.731,4	125.046,6	12.908,0	137.954,62
90	0,2980	90,5	2.353,4	3.600,7	120.666,2	14.334,0	135.000,24
100	0,3221	87,4	2.272,7	3.477,3	116.528,8	15.760,0	132.288,82
110	0,3449	84,4	2.196,3	3.360,3	112.609,1	17.186,0	129.795,13
120	0,3666	81,7	2.123,7	3.249,3	108.889,3	18.612,0	127.501,32
130	0,3872	79,0	2.054,3	3.143,1	105.331,3	20.038,0	125.369,34
140	0,4071	76,4	1.987,6	3.041,1	101.911,6	21.464,0	123.375,64
150	0,4263	74,0	1.923,3	2.942,7	98.613,7	22.890,0	121.503,73
160	0,4450	71,5	1.860,8	2.847,0	95.406,4	24.316,0	119.722,37
170	0,4633	69,2	1.799,4	2.753,1	92.262,0	25.742,0	118.003,99
180	0,4806	67,0	1.741,5	2.664,5	89.292,5	27.168,0	116.460,54
190	0,4961	65,0	1.689,3	2.584,6	86.613,2	28.594,0	115.207,21
200	0,5111	63,0	1.639,1	2.507,9	84.043,0	30.020,0	114.062,98
Optimum Toplayıcı Alanı (m2):							0,511090496
Optimum Faydalanma Oranı :							200,00
En Düşük Maliyet (YTL):							114.062,98



Şekil 4.16: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%5 , e=%15)

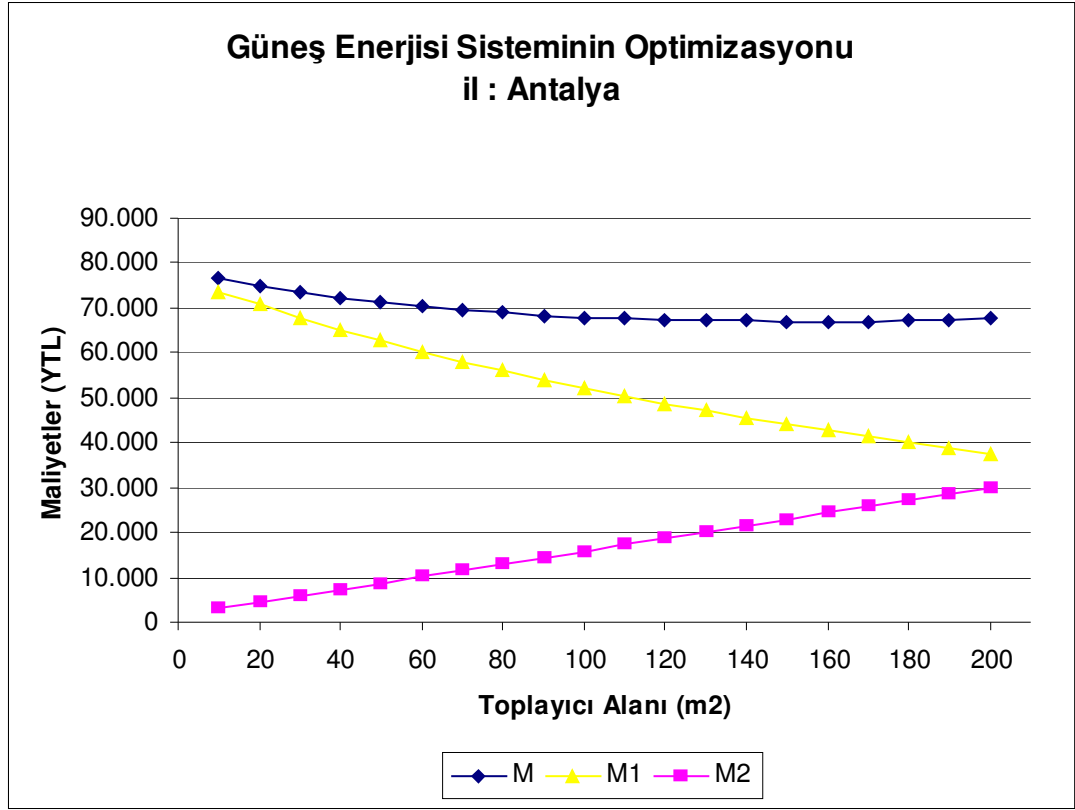


Şekil 4.17: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%5 , e=%15))

Faiz oranının %15 olması durumunda her iki yapı için elde edilen sonuçlar Yapı-1 için tablo 4.18 ve şekil 4.18 de, Yapı-2 için ise tablo 4.19 ve şekil 4.19 de verilmiştir.

Tablo 4.18: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%15 , e=%15)

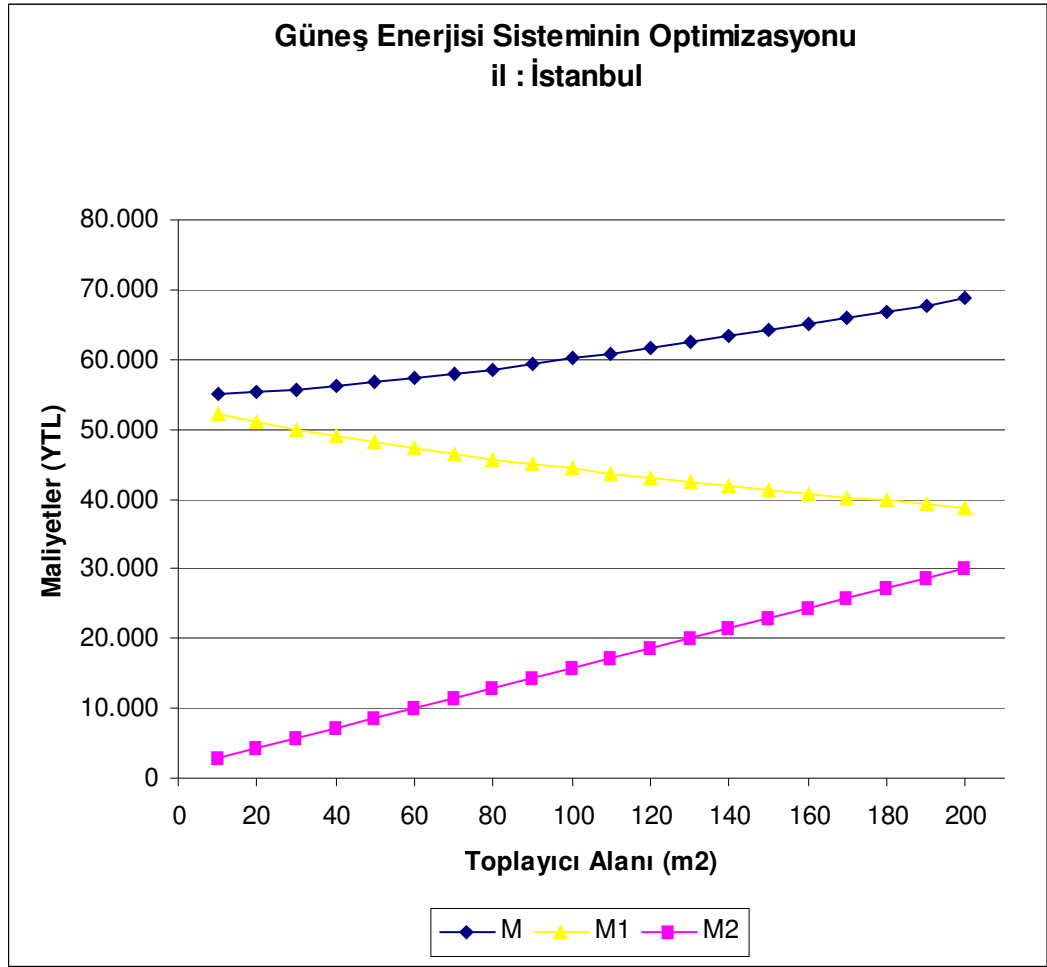
Toplayıcı Alanı (m²)	Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması	Yapının Geleneksel Sistem Tarafından Karşılanan Yıllık Isı İhtiyacı (GJ/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıt Miktarı (kg/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıtın Maliyeti (YTL/yıl)	M1 - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Yakıtın Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M2 - Güneş Enerjisi Sisteminin Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Toplam Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)
0	0	128,9	3.352,6	5.129,5	76.942,6	0,0	76.942,63
10	0,0422	123,5	3.211,3	4.913,2	73.698,4	2.926,0	76.624,36
20	0,0817	118,4	3.078,8	4.710,6	70.658,6	4.352,0	75.010,62
30	0,1188	113,6	2.954,4	4.520,3	67.804,5	5.778,0	73.582,48
40	0,1536	109,1	2.837,8	4.341,8	65.127,1	7.204,0	72.331,08
50	0,1862	104,9	2.728,5	4.174,6	62.618,3	8.630,0	71.248,31
60	0,2168	101,0	2.625,8	4.017,5	60.262,1	10.056,0	70.318,10
70	0,2455	97,3	2.529,5	3.870,1	58.051,6	11.482,0	69.533,59
80	0,2726	93,8	2.438,8	3.731,4	55.971,4	12.908,0	68.879,38
90	0,2980	90,5	2.353,4	3.600,7	54.010,7	14.334,0	68.344,70
100	0,3221	87,4	2.272,7	3.477,3	52.158,8	15.760,0	67.918,78
110	0,3449	84,4	2.196,3	3.360,3	50.404,3	17.186,0	67.590,31
120	0,3666	81,7	2.123,7	3.249,3	48.739,3	18.612,0	67.351,31
130	0,3872	79,0	2.054,3	3.143,1	47.146,7	20.038,0	67.184,74
140	0,4071	76,4	1.987,6	3.041,1	45.616,1	21.464,0	67.080,07
150	0,4263	74,0	1.923,3	2.942,7	44.139,9	22.890,0	67.029,91
160	0,4450	71,5	1.860,8	2.847,0	42.704,3	24.316,0	67.020,28
170	0,4633	69,2	1.799,4	2.753,1	41.296,8	25.742,0	67.038,85
180	0,4806	67,0	1.741,5	2.664,5	39.967,7	27.168,0	67.135,71
190	0,4961	65,0	1.689,3	2.584,6	38.768,4	28.594,0	67.362,43
200	0,5111	63,0	1.639,1	2.507,9	37.618,0	30.020,0	67.637,98
Optimum Toplayıcı Alanı (m2):							0,444985416
Optimum Faydalanma Oranı :							160,00
En Düşük Maliyet (YTL):							67.020,28



Şekil 4.18: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%15 , e=%15)

Tablo 4.19: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%15 , e=%15)

Toplayıcı Alanı (m ²)	Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması	Yapının Geleneksel Sistem Tarafından Karşılanan Yıllık Isı İhtiyacı (GJ/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıt Miktarı (kg/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıtın Maliyeti (YTL/yıl)	M1 - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Yakıtın Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M2 - Güneş Enerjisi Sisteminin Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Toplam Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)
0	0	220,4	6.860,8	3.552,1	53.282,1	0,0	53.282,09
10	0,0225	215,4	6.706,6	3.472,3	52.084,6	2.926,0	55.010,57
20	0,0434	210,8	6.563,1	3.398,0	50.970,1	4.352,0	55.322,08
30	0,0629	206,5	6.429,4	3.328,8	49.931,8	5.778,0	55.709,75
40	0,0810	202,5	6.305,0	3.264,4	48.965,5	7.204,0	56.169,50
50	0,0979	198,8	6.189,0	3.204,3	48.064,7	8.630,0	56.694,75
60	0,1137	195,3	6.080,7	3.148,3	47.224,0	10.056,0	57.279,96
70	0,1285	192,1	5.979,3	3.095,8	46.436,3	11.482,0	57.918,28
80	0,1424	189,0	5.883,9	3.046,4	45.695,4	12.908,0	58.603,37
90	0,1555	186,1	5.794,0	2.999,8	44.997,2	14.334,0	59.331,18
100	0,1680	183,4	5.708,4	2.955,5	44.332,9	15.760,0	60.092,88
110	0,1798	180,8	5.627,1	2.913,4	43.701,1	17.186,0	60.887,14
120	0,1912	178,2	5.548,7	2.872,8	43.092,1	18.612,0	61.704,10
130	0,2024	175,8	5.472,5	2.833,4	42.500,3	20.038,0	62.538,34
140	0,2132	173,4	5.397,9	2.794,8	41.921,5	21.464,0	63.385,47
150	0,2240	171,0	5.324,2	2.756,6	41.348,4	22.890,0	64.238,36
160	0,2350	168,6	5.248,2	2.717,2	40.758,2	24.316,0	65.074,21
170	0,2446	166,5	5.182,3	2.683,1	40.246,9	25.742,0	65.988,89
180	0,2541	164,4	5.117,3	2.649,5	39.742,2	27.168,0	66.910,24
190	0,2645	162,1	5.046,3	2.612,7	39.190,7	28.594,0	67.784,70
200	0,2726	160,3	4.990,2	2.583,7	38.755,2	30.020,0	68.775,21
Optimum Toplayıcı Alanı (m2):							0,00
Optimum Faydalanma Oranı :							0
En Düşük Maliyet (YTL):							53.282,09



Şekil 4.19: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%15 , e=%15)

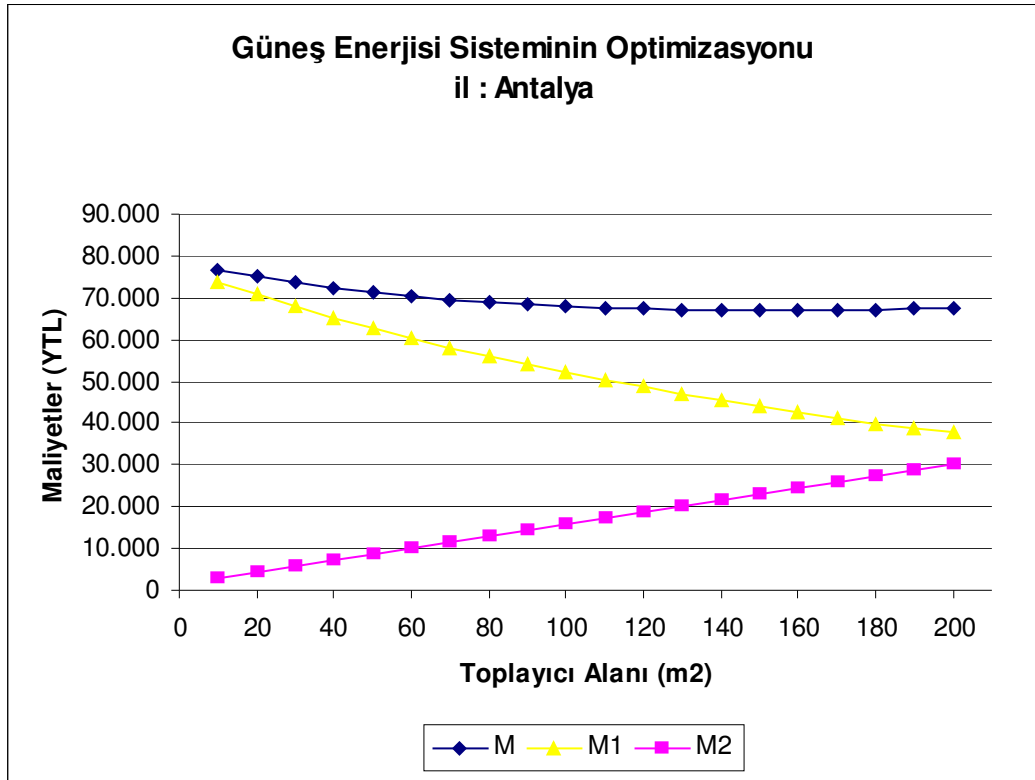
4.2.3. Enflasyon Oranının Etkisi

Kullanım süresi ve faiz oranı sabit kalmak üzere enflasyon oranı %15 yerine %10 ve %20 olması durumunda her iki yapı içinde incelenecektir.

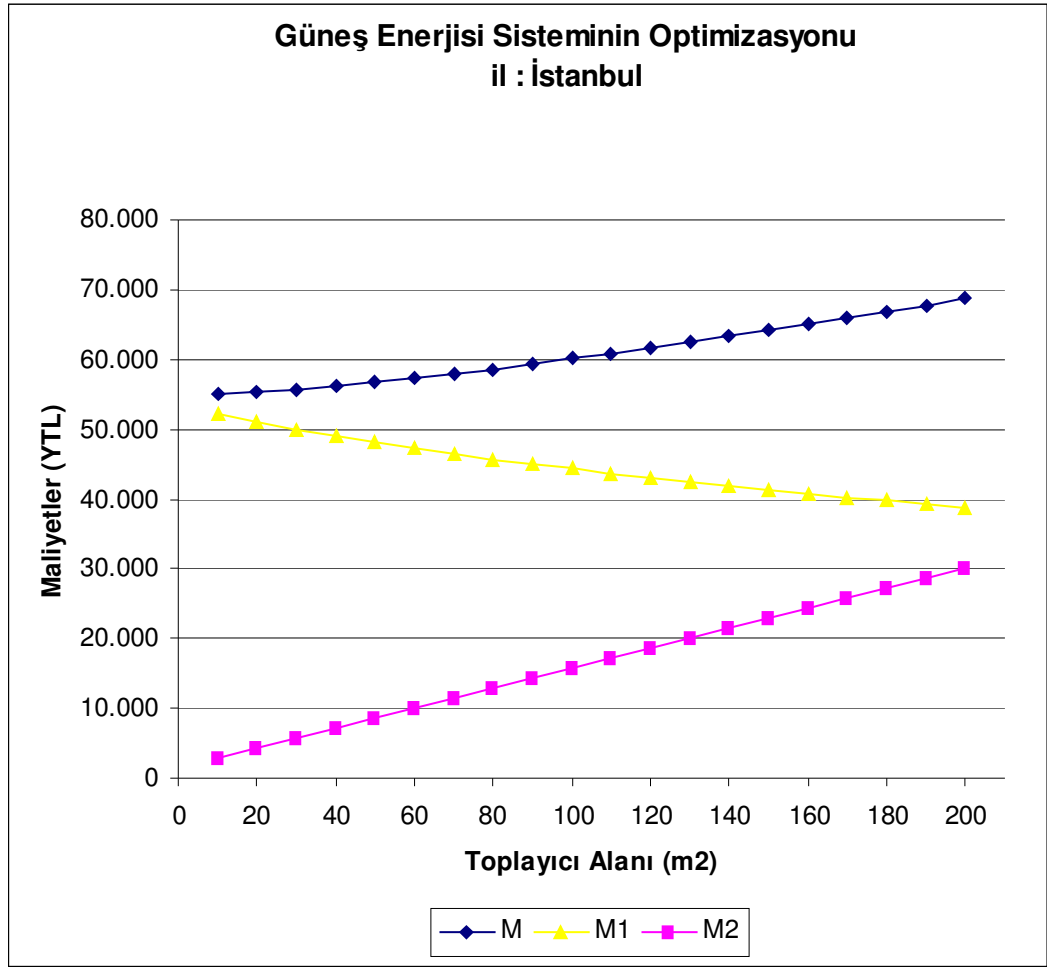
Enflasyon oranının %10 olması durumunda her iki yapı için elde edilen sonuçlar Yapı-1 için tablo 4.20 ve şekil 4.20 de, Yapı-2 için ise tablo 4.21 ve şekil 4.21 de verilmiştir.

Tablo 4.20: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%10 , e=%10)

Toplayıcı Alanı (m ²)	Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması	Yapının Geleneksel Sistem Tarafından Karşılanan Yıllık Isı İhtiyacı (GJ/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıt Miktarı (kg/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıtın Maliyeti (YTL/yıl)	M1 - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Yakıtın Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M2 - Güneş Enerjisi Sisteminin Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Toplam Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)
0	0	128,9	3.352,6	5.129,5	76.942,6	0,0	76.942,63
10	0,0422	123,5	3.211,3	4.913,2	73.698,4	2.926,0	76.624,36
20	0,0817	118,4	3.078,8	4.710,6	70.658,6	4.352,0	75.010,62
30	0,1188	113,6	2.954,4	4.520,3	67.804,5	5.778,0	73.582,48
40	0,1536	109,1	2.837,8	4.341,8	65.127,1	7.204,0	72.331,08
50	0,1862	104,9	2.728,5	4.174,6	62.618,3	8.630,0	71.248,31
60	0,2168	101,0	2.625,8	4.017,5	60.262,1	10.056,0	70.318,10
70	0,2455	97,3	2.529,5	3.870,1	58.051,6	11.482,0	69.533,59
80	0,2726	93,8	2.438,8	3.731,4	55.971,4	12.908,0	68.879,38
90	0,2980	90,5	2.353,4	3.600,7	54.010,7	14.334,0	68.344,70
100	0,3221	87,4	2.272,7	3.477,3	52.158,8	15.760,0	67.918,78
110	0,3449	84,4	2.196,3	3.360,3	50.404,3	17.186,0	67.590,31
120	0,3666	81,7	2.123,7	3.249,3	48.739,3	18.612,0	67.351,31
130	0,3872	79,0	2.054,3	3.143,1	47.146,7	20.038,0	67.184,74
140	0,4071	76,4	1.987,6	3.041,1	45.616,1	21.464,0	67.080,07
150	0,4263	74,0	1.923,3	2.942,7	44.139,9	22.890,0	67.029,91
160	0,4450	71,5	1.860,8	2.847,0	42.704,3	24.316,0	67.020,28
170	0,4633	69,2	1.799,4	2.753,1	41.296,8	25.742,0	67.038,85
180	0,4806	67,0	1.741,5	2.664,5	39.967,7	27.168,0	67.135,71
190	0,4961	65,0	1.689,3	2.584,6	38.768,4	28.594,0	67.362,43
200	0,5111	63,0	1.639,1	2.507,9	37.618,0	30.020,0	67.637,98
Optimum Toplayıcı Alanı (m2):							0,444985416
Optimum Faydalanma Oranı :							160,00
En Düşük Maliyet (YTL):							67.020,28



Şekil 4.20: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%10 , e=%10))

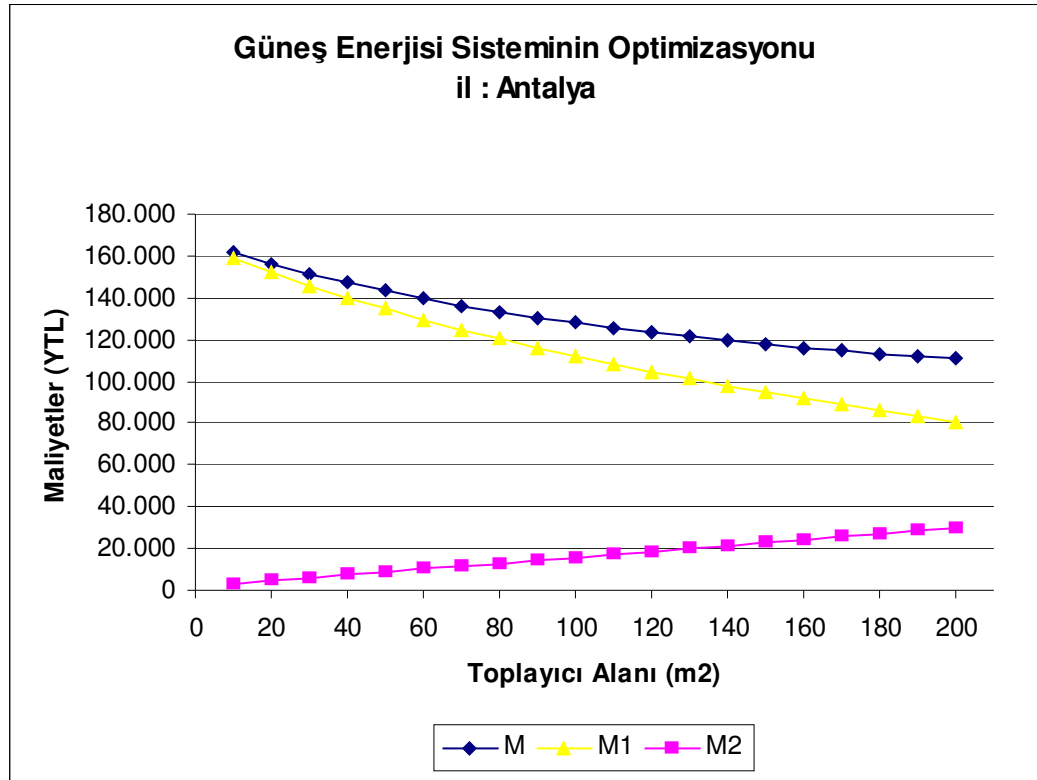


Şekil 4.21: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%10 , e=%10)

Enflasyon oranının %20 olması durumunda her iki yapı için elde edilen sonuçlar Yapı-1 için tablo 4.22 ve şekil 4.22 de, Yapı-2 için ise tablo 4.23 ve şekil 4.23 de verilmiştir.

Tablo 4.22: Yapı-1'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%10 , e=%20)

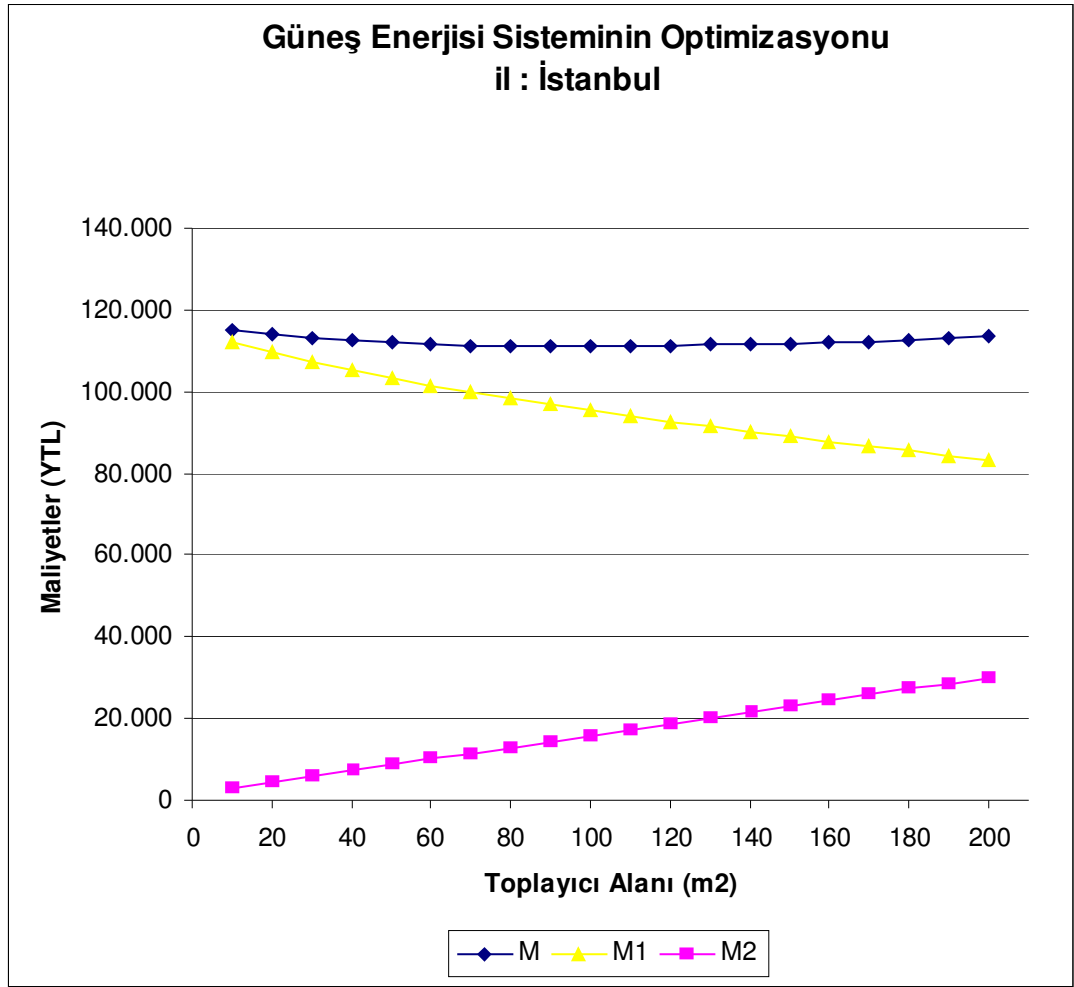
Toplayıcı Alanı (m ²)	Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması	Yapının Geleneksel Sistem Tarafından Karşılanan Yıllık Isı İhtiyacı (GJ/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıt Miktarı (kg/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıtın Maliyeti (YTL/yıl)	M1 - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Yakıtın Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M2 - Güneş Enerjisi Sisteminin Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Toplam Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)
0	0	128,9	3.352,6	5.129,5	165.477,0	0,0	165.477,04
10	0,0422	123,5	3.211,3	4.913,2	158.499,7	2.926,0	161.425,74
20	0,0817	118,4	3.078,8	4.710,6	151.962,3	4.352,0	156.314,29
30	0,1188	113,6	2.954,4	4.520,3	145.824,0	5.778,0	151.602,04
40	0,1536	109,1	2.837,8	4.341,8	140.065,9	7.204,0	147.269,87
50	0,1862	104,9	2.728,5	4.174,6	134.670,4	8.630,0	143.300,38
60	0,2168	101,0	2.625,8	4.017,5	129.603,0	10.056,0	139.658,98
70	0,2455	97,3	2.529,5	3.870,1	124.848,9	11.482,0	136.330,94
80	0,2726	93,8	2.438,8	3.731,4	120.375,1	12.908,0	133.283,12
90	0,2980	90,5	2.353,4	3.600,7	116.158,4	14.334,0	130.492,38
100	0,3221	87,4	2.272,7	3.477,3	112.175,5	15.760,0	127.935,53
110	0,3449	84,4	2.196,3	3.360,3	108.402,3	17.186,0	125.588,27
120	0,3666	81,7	2.123,7	3.249,3	104.821,4	18.612,0	123.433,43
130	0,3872	79,0	2.054,3	3.143,1	101.396,4	20.038,0	121.434,36
140	0,4071	76,4	1.987,6	3.041,1	98.104,4	21.464,0	119.568,41
150	0,4263	74,0	1.923,3	2.942,7	94.929,7	22.890,0	117.819,71
160	0,4450	71,5	1.860,8	2.847,0	91.842,2	24.316,0	116.158,17
170	0,4633	69,2	1.799,4	2.753,1	88.815,3	25.742,0	114.557,26
180	0,4806	67,0	1.741,5	2.664,5	85.956,7	27.168,0	113.124,74
190	0,4961	65,0	1.689,3	2.584,6	83.377,5	28.594,0	111.971,51
200	0,5111	63,0	1.639,1	2.507,9	80.903,3	30.020,0	110.923,30
Optimum Toplayıcı Alanı (m2):							0,511090496
Optimum Faydalanma Oranı :							200,00
En Düşük Maliyet (YTL):							110.923,30



Şekil 4.22: Yapı-1 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%10 , e=%20)

Tablo 4.23: Yapı-2'in ekonomik değerler tablosu (n=15 yıl , i=%10 , e=%20)

Toplayıcı Alanı (m ²)	Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması	Yapının Geleneksel Sistem Tarafından Karşılanan Yıllık Isı İhtiyacı (GJ/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıt Miktarı (kg/yıl)	İhtiyaç Duyulan Yıllık Yakıtın Maliyeti (YTL/yıl)	M1 - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Yakıtın Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M2 - Güneş Enerjisi Sisteminin Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)	M - Güneş Enerjili Sistemin Kullanım Süresi Boyunca Toplam Maliyetinin Bugünkü Değeri (YTL)
0	0	220,4	6.860,8	3.552,1	114.591,4	0,0	114.591,37
10	0,0225	215,4	6.706,6	3.472,3	112.015,9	2.926,0	114.941,94
20	0,0434	210,8	6.563,1	3.398,0	109.619,1	4.352,0	113.971,05
30	0,0629	206,5	6.429,4	3.328,8	107.386,0	5.778,0	113.163,96
40	0,0810	202,5	6.305,0	3.264,4	105.307,9	7.204,0	112.511,88
50	0,0979	198,8	6.189,0	3.204,3	103.370,7	8.630,0	112.000,68
60	0,1137	195,3	6.080,7	3.148,3	101.562,4	10.056,0	111.618,43
70	0,1285	192,1	5.979,3	3.095,8	99.868,4	11.482,0	111.350,41
80	0,1424	189,0	5.883,9	3.046,4	98.275,0	12.908,0	111.182,97
90	0,1555	186,1	5.794,0	2.999,8	96.773,4	14.334,0	111.107,41
100	0,1680	183,4	5.708,4	2.955,5	95.344,7	15.760,0	111.104,72
110	0,1798	180,8	5.627,1	2.913,4	93.986,1	17.186,0	111.172,08
120	0,1912	178,2	5.548,7	2.872,8	92.676,2	18.612,0	111.288,24
130	0,2024	175,8	5.472,5	2.833,4	91.403,6	20.038,0	111.441,56
140	0,2132	173,4	5.397,9	2.794,8	90.158,6	21.464,0	111.622,61
150	0,2240	171,0	5.324,2	2.756,6	88.926,1	22.890,0	111.816,06
160	0,2350	168,6	5.248,2	2.717,2	87.656,8	24.316,0	111.972,84
170	0,2446	166,5	5.182,3	2.683,1	86.557,2	25.742,0	112.299,17
180	0,2541	164,4	5.117,3	2.649,5	85.471,8	27.168,0	112.639,85
190	0,2645	162,1	5.046,3	2.612,7	84.285,7	28.594,0	112.879,67
200	0,2726	160,3	4.990,2	2.583,7	83.349,1	30.020,0	113.369,07
Optimum Toplayıcı Alanı (m2):							100,00
Optimum Faydalanma Oranı :							0,16795901
En Düşük Maliyet (YTL):							111.104,72



Şekil 4.23: Yapı-2 için maliyetlerin toplayıcı alanına göre değişimi (n=15 yıl , i=%10 , e=%20)

4.2.3. Toplayıcı Eğiminin Etkisi

Yapılan hesaplarda düzlemsel güneş toplayıcısının eğimi bulunduğu yerin enlemine eşit alınmıştır. Literatürde toplanacak güneş enerjisi bakımında optimum toplayıcı eğiminin enlem $\pm 15^\circ$ olması gerektiği belirtilmektedir.

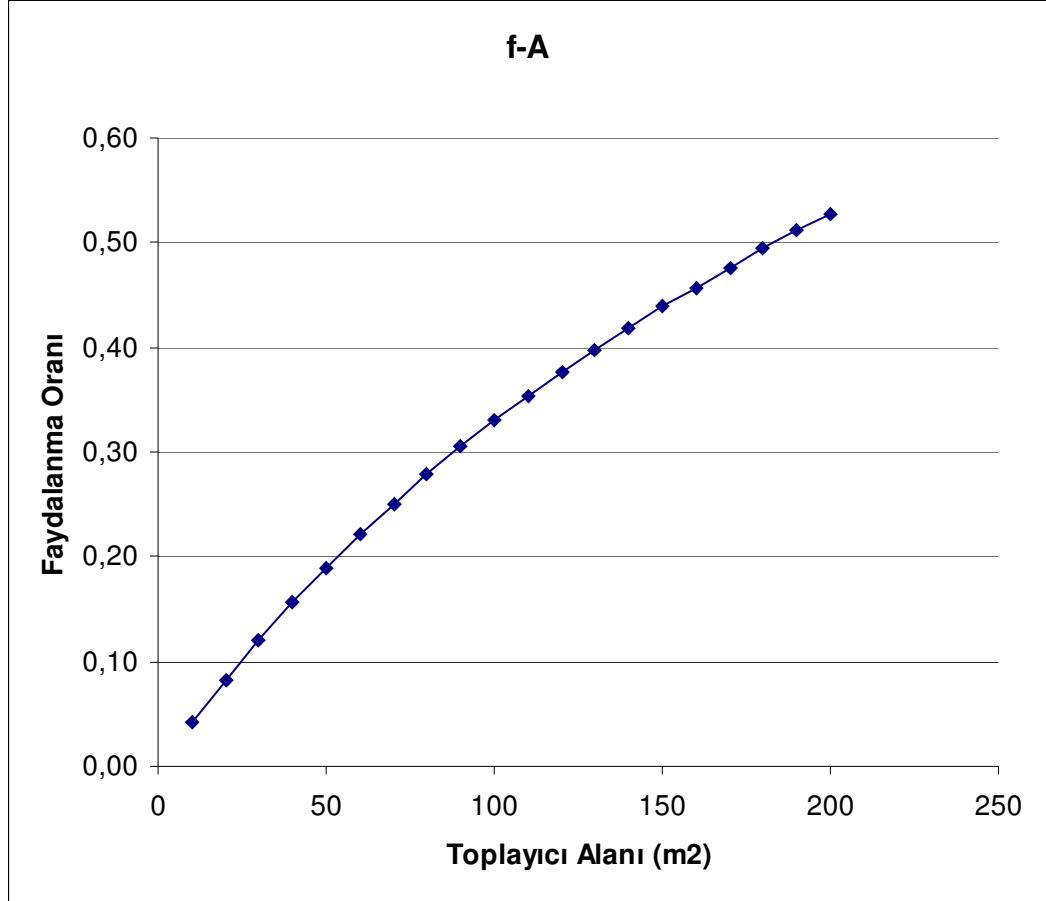
Yapı-1 için toplayıcı eğiminin;

- enlem $+15^\circ$ değerinde olması durumu için tablo 4.24 ve şekil 4.24
- enleme eşit olması durumu için tablo 4.25 ve şekil 4.25
- enlem -15° değerinde olması durumu için tablo 4.26 ve şekil 4.26

verilmiştir.

Tablo 4.24: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin, enlem +15° olması durumunda faydalanma oranları

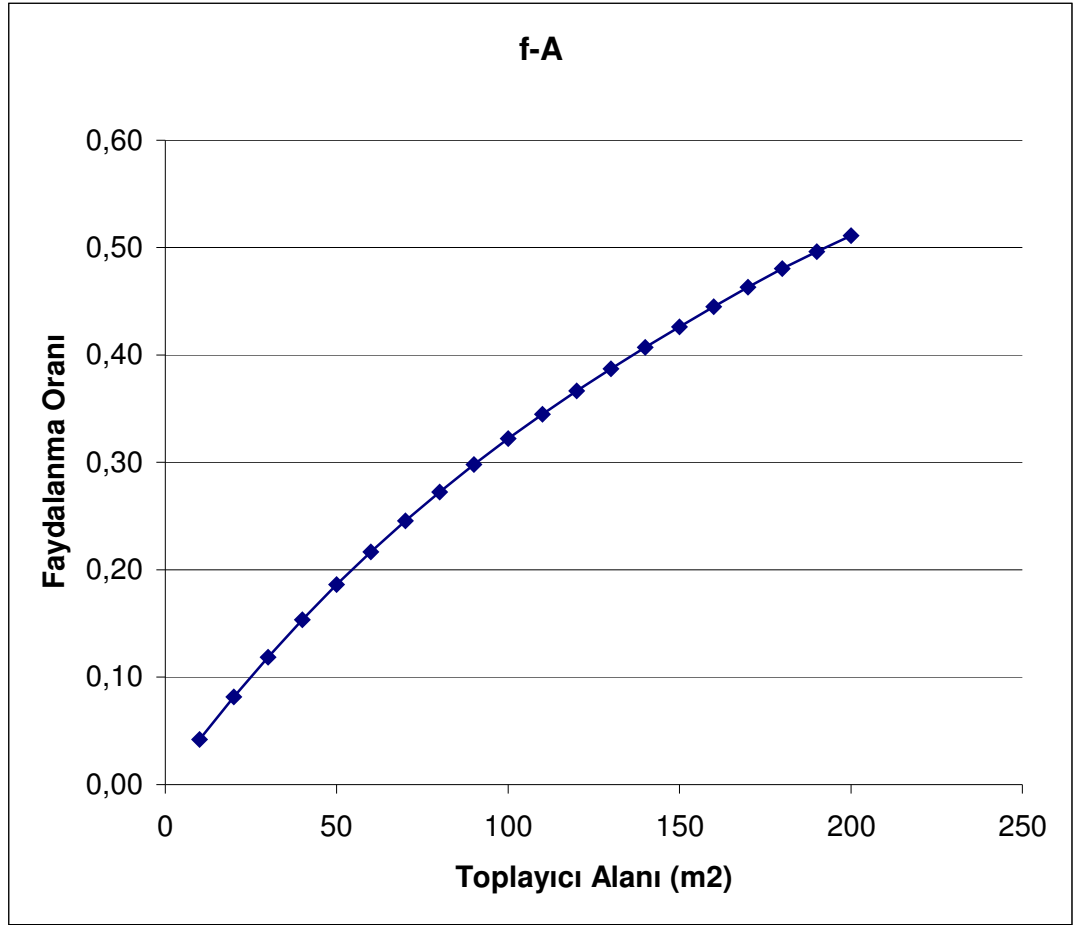
Toplayıcı Alanı (m ²)	Ay												Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,023	0,030	0,049	0,152	-	-	-	-	-	-	0,072	0,026	0,0426
20	0,045	0,058	0,096	0,284	-	-	-	-	-	-	0,140	0,052	0,0826
30	0,066	0,086	0,140	0,399	-	-	-	-	-	-	0,203	0,077	0,1204
40	0,088	0,114	0,183	0,496	-	-	-	-	-	-	0,262	0,102	0,1560
50	0,108	0,140	0,224	0,579	-	-	-	-	-	-	0,317	0,125	0,1895
60	0,129	0,166	0,263	0,648	-	-	-	-	-	-	0,368	0,148	0,2211
70	0,148	0,191	0,300	0,705	-	-	-	-	-	-	0,416	0,171	0,2508
80	0,168	0,215	0,336	0,751	-	-	-	-	-	-	0,460	0,193	0,2789
90	0,186	0,238	0,370	0,789	-	-	-	-	-	-	0,500	0,214	0,3054
100	0,205	0,261	0,402	0,819	-	-	-	-	-	-	0,538	0,235	0,3305
110	0,223	0,283	0,433	0,843	-	-	-	-	-	-	0,573	0,255	0,3542
120	0,240	0,305	0,462	0,863	-	-	-	-	-	-	0,604	0,275	0,3768
130	0,258	0,326	0,489	0,880	-	-	-	-	-	-	0,634	0,294	0,3983
140	0,274	0,346	0,515	0,896	-	-	-	-	-	-	0,660	0,312	0,4188
150	0,291	0,366	0,540	0,911	-	-	-	-	-	-	0,685	0,330	0,4386
160	0,307	0,385	0,564	0,929	-	-	-	-	-	-	0,707	0,348	0,4576
170	0,322	0,403	0,586	0,950	-	-	-	-	-	-	0,728	0,365	0,4761
180	0,338	0,421	0,607	1,000	-	-	-	-	-	-	0,746	0,382	0,4957
190	0,353	0,438	0,627	1,000	-	-	-	-	-	-	0,763	0,398	0,5116
200	0,367	0,455	0,645	1,000	-	-	-	-	-	-	0,779	0,414	0,5268



Şekil 4.24: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin, enlem $+15^{\circ}$ olması durumunda faydalanma oranları grafiği

Tablo 4.25: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin enleme eşit olması durumunda faydalanma oranları

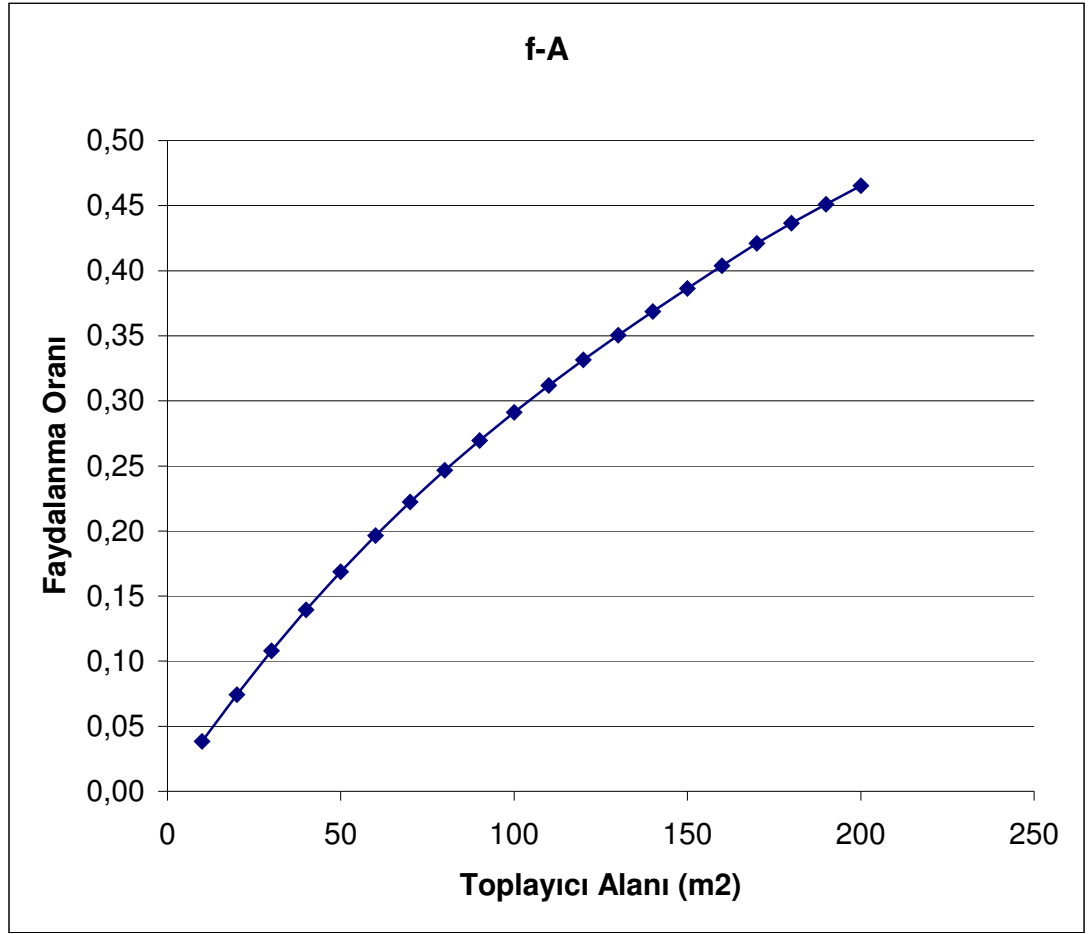
Toplayıcı Alanı (m ²)	Ay												Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,021	0,029	0,051	0,170	-	-	-	-	-	-	0,067	0,024	0,0422
20	0,041	0,057	0,100	0,316	-	-	-	-	-	-	0,129	0,047	0,0817
30	0,061	0,084	0,146	0,440	-	-	-	-	-	-	0,188	0,069	0,1188
40	0,080	0,111	0,191	0,544	-	-	-	-	-	-	0,243	0,091	0,1536
50	0,099	0,136	0,233	0,631	-	-	-	-	-	-	0,295	0,112	0,1862
60	0,118	0,161	0,274	0,701	-	-	-	-	-	-	0,343	0,133	0,2168
70	0,136	0,186	0,312	0,758	-	-	-	-	-	-	0,389	0,154	0,2455
80	0,154	0,209	0,349	0,802	-	-	-	-	-	-	0,431	0,174	0,2726
90	0,171	0,232	0,384	0,836	-	-	-	-	-	-	0,470	0,193	0,2980
100	0,188	0,255	0,417	0,863	-	-	-	-	-	-	0,506	0,212	0,3221
110	0,205	0,276	0,448	0,883	-	-	-	-	-	-	0,540	0,230	0,3449
120	0,221	0,297	0,478	0,898	-	-	-	-	-	-	0,571	0,248	0,3666
130	0,237	0,318	0,507	0,912	-	-	-	-	-	-	0,600	0,266	0,3872
140	0,253	0,338	0,533	0,925	-	-	-	-	-	-	0,626	0,283	0,4071
150	0,268	0,357	0,558	0,940	-	-	-	-	-	-	0,651	0,300	0,4263
160	0,283	0,376	0,582	0,958	-	-	-	-	-	-	0,674	0,316	0,4450
170	0,298	0,394	0,605	0,982	-	-	-	-	-	-	0,695	0,332	0,4633
180	0,313	0,411	0,626	1,000	-	-	-	-	-	-	0,714	0,348	0,4806
190	0,327	0,429	0,646	1,000	-	-	-	-	-	-	0,732	0,363	0,4961
200	0,340	0,445	0,664	1,000	-	-	-	-	-	-	0,749	0,378	0,5111



Şekil 4.25: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin enleme eşit olması durumunda faydalanma oranları grafiği

Tablo 4.26: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin, enlem -15° olması durumunda faydalanma oranları

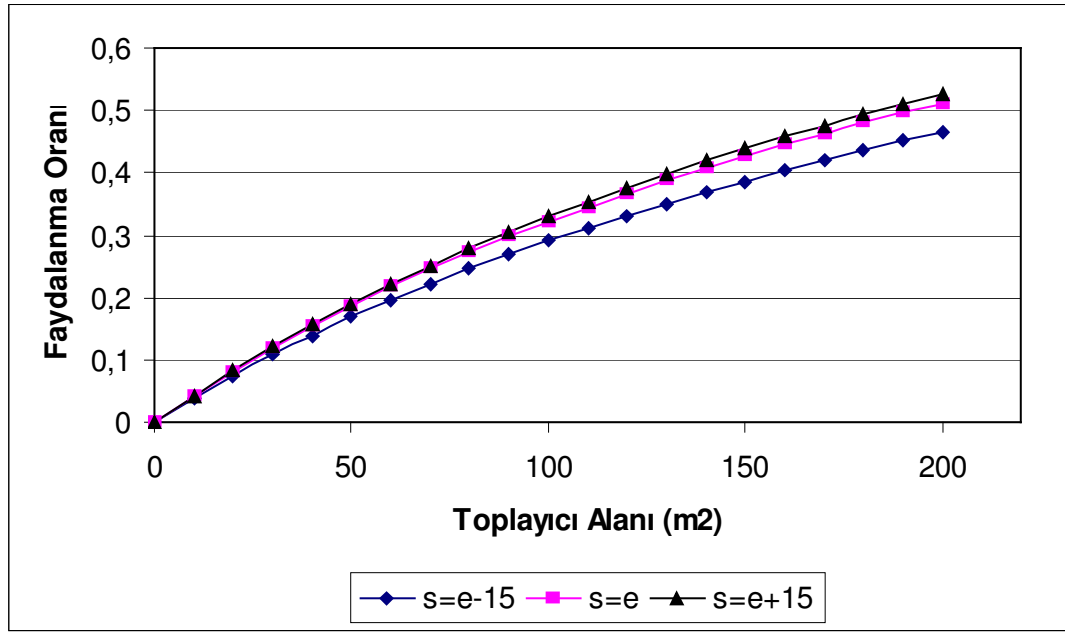
Toplayıcı Alanı (m ²)	Ay												Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,017	0,026	0,050	0,177	-	-	-	-	-	-	0,056	0,018	0,0384
20	0,033	0,051	0,097	0,329	-	-	-	-	-	-	0,108	0,036	0,0743
30	0,049	0,075	0,142	0,457	-	-	-	-	-	-	0,158	0,054	0,1079
40	0,065	0,099	0,185	0,564	-	-	-	-	-	-	0,206	0,071	0,1394
50	0,080	0,122	0,227	0,651	-	-	-	-	-	-	0,250	0,088	0,1688
60	0,096	0,144	0,266	0,722	-	-	-	-	-	-	0,292	0,105	0,1964
70	0,111	0,166	0,304	0,778	-	-	-	-	-	-	0,332	0,122	0,2223
80	0,125	0,187	0,340	0,821	-	-	-	-	-	-	0,370	0,138	0,2466
90	0,140	0,208	0,374	0,854	-	-	-	-	-	-	0,405	0,153	0,2696
100	0,154	0,229	0,407	0,879	-	-	-	-	-	-	0,438	0,169	0,2913
110	0,168	0,248	0,437	0,897	-	-	-	-	-	-	0,469	0,184	0,3119
120	0,182	0,268	0,467	0,911	-	-	-	-	-	-	0,499	0,199	0,3315
130	0,196	0,286	0,495	0,923	-	-	-	-	-	-	0,526	0,214	0,3504
140	0,209	0,305	0,521	0,936	-	-	-	-	-	-	0,552	0,228	0,3687
150	0,222	0,323	0,546	0,951	-	-	-	-	-	-	0,577	0,242	0,3864
160	0,235	0,340	0,570	0,970	-	-	-	-	-	-	0,600	0,256	0,4039
170	0,248	0,357	0,592	0,997	-	-	-	-	-	-	0,622	0,270	0,4211
180	0,260	0,373	0,613	1,000	-	-	-	-	-	-	0,642	0,284	0,4365
190	0,273	0,389	0,633	1,000	-	-	-	-	-	-	0,661	0,297	0,4512
200	0,285	0,405	0,651	1,000	-	-	-	-	-	-	0,679	0,310	0,4653



Şekil 4.26: Yapı-1 için toplayıcı eğiminin, enlem -15° olması durumunda faydalanma oranları grafiği

Tablo 4.27: Değişik toplayıcı eğimlerinde Yapı-1 için faydalanma oranları

Toplayıcı Alanı (m ²)	Faydalanma oranının ısıtma dönemi ortalaması			Faydalanma oranının s=e durumuna göre oranı (%)	
	s = e-15	s = e	s = e +15	s = e-15	s = e +15
0	0	0	0	0	0
10	0,0384	0,0422	0,0426	-9,00474	0,938967
20	0,0743	0,0817	0,0826	-9,05753	1,089588
30	0,1079	0,1188	0,1204	-9,17508	1,328904
40	0,1394	0,1536	0,1560	-9,24479	1,538462
50	0,1688	0,1862	0,1895	-9,34479	1,741425
60	0,1964	0,2168	0,2211	-9,40959	1,944821
70	0,2223	0,2455	0,2508	-9,4501	2,113238
80	0,2466	0,2726	0,2789	-9,53778	2,258874
90	0,2696	0,2980	0,3054	-9,5302	2,423052
100	0,2913	0,3221	0,3305	-9,56225	2,541604
110	0,3119	0,3449	0,3542	-9,56799	2,625635
120	0,3315	0,3666	0,3768	-9,57447	2,707006
130	0,3504	0,3872	0,3983	-9,50413	2,786844
140	0,3687	0,4071	0,4188	-9,43257	2,793696
150	0,3864	0,4263	0,4386	-9,35961	2,804378
160	0,4039	0,4450	0,4576	-9,23596	2,753497
170	0,4211	0,4633	0,4761	-9,10857	2,688511
180	0,4365	0,4806	0,4957	-9,17603	3,046197
190	0,4512	0,4961	0,5116	-9,05059	3,029711
200	0,4653	0,5111	0,5268	-8,96106	2,980258



Şekil 4.27: Değişik toplayıcı eğimlerinde Yapı-1 için faydalanma oranları grafiği

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Değişik ekonomik şartlarda elde edilen sonuçlardan da görüleceği üzere optimum toplayıcı alanı ekonomik parametrelere karşı çok duyarlıdır. Ekonomik analiz 15 yıl kullanım ömrüne üzerinden ve gelecekteki faiz ve enflasyon oranları tahmin edilerek yapılmıştır. Bu kadar uzun süreyi kapsayacak tahminler Türkiye gibi ekonomik dalgalanmaların olduğu bir ülkede sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Değişik faiz ve enflasyon oranı tahminleri için optimum sistem alanları hesaplanmalı ve yatırım kararı alınırken bu sonuçların geneline bakılarak karar verilmelidir.

Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin optimum boyutlandırılması sırasında bulunan optimum sayıdaki toplayıcıyı yerleştirmek için her zaman yapının çatısında yada yakınlarında yeterli alan bulunmamaktadır, yapıda toplayıcı yerleştirilebilecek en büyük alan ve bu alana yerleştirilebilecek toplayıcı sayısı bulunduktan sonra yapılacak hesaplamalar daha kısa süreceği için sistemin tasarım maliyeti düşecektir.

Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin ekonomik analizinin yapıldığı çalışmalarda güneş enerjisi sistemi maliyeti; sabit bir değer ile toplayıcı alanı ve toplayıcı birim fiyatının çarpımının toplamı şeklinde bulunmaktadır, bu yaklaşımla elde edilen değerlerden çizilen toplayıcı alanı-güneş enerjisi sistemi maliyeti grafiklerinin doğrusal olduğu görülür. Gerçek maliyetler de ise toplayıcı alanı arttıkça sabit değer toplayıcı alanına bağlı olarak azalan bir eğimle yükselecek ve toplayıcı birim fiyatı düşecektir. Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin ekonomik analizi için güneş enerjisi sisteminin maliyetini kesin olarak verebilen bir hesap yönteminin geliştirilmesi ile daha gerçekçi sonuçlar alınabilir.

Optimizasyon işlemi için gerekli olan yararlanma oranlarını yapının ısı özellikleri ve güneş ışıınımı değerlerinin yanı sıra sistemde kullanılan parçaların özellikleri de etkilemektedir. Bu nedenle güneş toplayıcısı, fan-coil ünitesi ve toplayıcı alanı başına ısı depo hacmi değerlerindeki değişimlerin faydalanma oranına etkisi incelenmelidir.

Yapılan hesaplarda Tablo 4.6 , 4.14, 4.16 ve 4.22'den alınan sonuçlarda optimum toplayıcı alanı 200 m² çıkmaktadır. Fakat grafiklere (Şekil 4.8, 4.14, 4.16, 4.22) bakıldığında bu değerde eğrinin tepe noktası yapmadığı görülmektedir. Bu durumun nedeni faydalanma oranı hesaplarının 0 -200 m² aralığında yapılmış olmasıdır, eğer hesaplama daha büyük toplayıcı alanları içinde yapılmış olsaydı maliyet eğrisinin tepe noktası, buradan da optimum toplayıcı alanı bulunabilir.

Yapılan hesaplarda Tablo 4.12 , 4.15, 4.17, 4.18, 4.20 ve 4.23'den alınan sonuçlarda değişik değerlerde optimum toplayıcı alanları bulunmuştur. Durum grafikler üzerinden incelendiğinde (Şekil 4.12, 4.15, 4.17, 4.18, 4.20 ve 4.23) güneş enerjili sistemin toplam maliyetinin bugünkü değeri (M) eğrisinin eğrilik yarıçapı çok büyük olduğu görülmektedir. Durum tablo 4.12 (Şekil 4.12) üzerinde incelenirse eğrinin tepe noktasının (optimum alan) yaklaşık %33 sağında ve solunda M'in değerinde ihmal edilecek kadar küçük değişiklik (%) olmaktadır. Dolayısıyla toplayıcı alanı seçimi optimum alana yakın yapılmış uygulamalar da optimum sonucu verecektir.

Yapılan hesaplarda değişik toplayıcı eğiminin enlemden 15° fazla (Tablo 4.24, Şekil4.24) enleme eşit (Tablo 4.25, Şekil 4.25) ve enlemden 15° az (Tablo 4.26, Şekil4.26) olduğu durumlar için güneş enerjili konut ısıtma sisteminin aylık ve ısıtma sezonu boyunca olan faydalanma oranları hesaplanmıştır. Üç durum içinde elde edilen sonuçlar Tablo 4.27 ve Şekil 4.27 bir arada gösterilmiştir. Sonuçlara göre toplayıcı eğiminin enleme eşit ve 15° fazla olduğu durumlar arasında toplayıcı alanına göre değişmekle birlikte faydalanma oranı %0,93-%3,04 aralığında değişmektedir ve bu ihmal edilebilecek büyüklüktedir. Toplayıcı eğiminin enlemden 15° az olduğu durum ile enleme eşit olduğu durum arasında ise %8,96-%9,57 aralığında değişen büyük farklar çıkmıştır. Uygulamalarda toplayıcı eğiminin enleme eşit yada enlemeden 15° fazla olacak değer aralığında seçilmesi faydalanma oranı bakımında fark yaratmayacaktır, fakat seçim enlemin değerinde küçük yapılmamalıdır.

KAYNAKLAR

1. KILIÇ, A. ve ÖZTÜRK, A., 1984, *Güneş Işınımı ve Düz Toplayıcılar*, SEGEM, Ankara .
2. WONG, L.T. ve CHOW, W.K., 2001, Solar Radiation Model, *Applied Energy*, 69 (2001), 191-224.
3. IQBAL, M., 1983, *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press, Toronto.
4. MUNEER, T., YOUNES, S. ve MUNAWWAR, S., 2005, Discourses on Solar Radiation Modeling, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 1-55.
5. PERSONS, R.A., 1999, *1999 ASHRAE HVAC Applications Handbook*, ASHRAE, Atlanta, 1883413710.
6. SUEHRCKE, H., 1999, On the Relationship Between Duration of Sunshine and Solar Radiation on the Earth's Surface: Ångström's Equation Revisited, *Solar Energy*, 68 (2000), 417-425.
7. KAPLANIS, S. H., 2006, New Methodologies to Estimate the Hourly global Solar Radiation; Comparisons With Existing Models, *Renewable Energy*, 31 (2006), 781-790.
8. CLOSE, D.J., 1967, A Design Approach for Solar Processes, *Solar Energy*, 11 (2), 112-122.
9. SHERIDAN, N.R., BULLOCK, K.J. ve DUFFIE, J.A., 1967, Study of Solar Processes by Analog Computer, *Solar Energy*, 11 (2), 69-77.
10. BUTZ, L.W., BECKMAN, W.A. ve DUFFIE, J.A., 1974, Simulation of a Solar Heating and Cooling System, *Solar Energy*, 16, 129-136.
11. LOF, G.O.G., TYBOUT, R.A., 1972, A Model for Optimizing Solar Heating Design, *ASME Paper*, 72-Wa/Sol-8.
12. BUCHERG, H. ve ROULET, J.R., 1968, Simulation and Optimization of Solar Collection and Storage, *Solar Energy*, 12, 31-50.
13. BRINKWORTH, B.J., 1978, Asymptotic Behaviors as a Guide to the Longterm Performance of Solar Water Heating Systems, *Solar Energy*, 21, 171-175.
14. KLEIN, S.A., 1973, TRASYS-A Transient Simulation Program, *Solar Energy Laboratory*, University of Wisconsin, Madison, Rep. 38, 29-37.

15. KLEIN, S.A., BECKMAN, W.A. ve DUFFIE, J.A., 1975, A Method of Simulation of Solar Processes and its Applications, *Solar Energy*, 17, 29-37.
16. KLEIN, S.A., 1976, A Design Procedure for Solar Heating Systems, Ph.D dissertation, University of Wisconsin, Madison.
17. KLEIN, S.A., BECKMAN, W.A. ve DUFFIE, J.A., 1976, TRASYS-A Transient Simulation Program, *ASHRAE Trans.* 82 , Part 1.
18. BECKMAN, W.A., KLEIN, J.A. ve DUFFIE, J.A., 1977, *Solar Heating Design by the f-Chart Method*, Wiley Interscience, New York.
19. KLEIN, S.A., BECKMAN, W.A. ve DUFFIE, J.A., 1976, A Design Procedure for Solar Heating Systems, *Solar Energy*, 18, 113-127.
20. KLEIN, S.A. ve BECKMAN, W.A., 1979, A General Design Method for Closed-Loop Solar Energy Systems, *Solar Energy*, 22, 269-282.
21. CONNOLLY, M., GLELLIS, C., JENSON, C. ve MCMORDIE, R., 1976, Solar Heating and Cooling Computer Analysis – A Simplified Sizing Design Method for Non Thermal Specialists, *Proc. Of Joint Conf. Of the Am. Soc. Of ISES and Solar Energy Society of Canada*, 15-20 Aug. 1976 Winnipeg, Vol. 4, 220-234.
22. LIMA, J.B.A., PRADO, R.T.A. ve TBORIANSKI, V.M., 2006, Optimization of Tank and Flat-Plate Collector of Solar Water Heating System for Single-Family Households to Assure Economic Efficiency Through the TRNSYS Program, *Renewable Energy*, 31 (2006), 1581-1595.
23. BALCOMB, J.D. ve HEDSTON, J.C., 1976, A Simplified Method for Calculating Required Solar Collector Array Size for Space Heating, *Proc. Of Joint Conf. Of the Am. Soc. Of ISES and Solar Energy Society of Canada*, 15-20 Aug. 1976 Winnipeg, Vol. 4, 220-234.
24. KREITH, F. ve KREIDES J.F., 1978, *Principles of Solar Engineering*, McGraw Hill Book Co., New York.
25. PERSONS, R.A, 1985, *1985 ASHRAE Fundamentals Handbook*, ASHRAE, Atlanta.
26. LAMEIRO, G.F. ve BENDT, P., 1978, The GFL method for designing Solar Energy Space Heating and Domestic Hot Water Systems, *Proc. 1978 Meeting Of Am. Soc. Of ISES*, 2, 113-119.
27. SUKHATME, S.P., 1984, *Solar Energy Principles of Thermal Collection and Storage*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
28. AL-MOHAMAD, A., 2004, Global, Direct and Diffuse Solar-Radiation in Syria, *Applied Energy*, 79, 191-200.

29. KUEHN, T.H. ve RAMSEY, J.W., 1998 , *Thermal Environmental Engineering*, Prentice Hall, New Jersey.
30. THUR, A., FURBO, S. ve SHAH L.J., 2006, Energy Savings for Solar Heating Systems, *Solar Energy*, (Article in Press).
31. BAYRAKTAR, K.G., 2002, Türkiye İçin Dış Hesap Sıcaklıklarının ve Derece Gün Sayılarının Değerlendirilmesi, Doktora, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
32. BECKMAN, W.A., KLEIN, J.A. ve DUFFIE, J.A., 1977, *Solar Heating Design by the f-Chart Method*, Wiley Interscience, New York.
33. REDDY, T.A., 2001, Handbook of Heating Ventilation and Air Conditioning, CRC Press LLC, Florida, 0-8493-9584-4.
34. HAZAMİ, M., KOOLİ, S., LAZAAR, M., FARHAT, A., BELGHITH, A., 2005, Performance of a Solar Storage Collector, *Desalination*, 183, 167-172.
35. KLEIN S.A., 1979, Calculation of the Monthly-Average Transmittance-Absorbance Product, *Solar Energy*, 23 (1979), 547-551.
36. INCROPERA F.P. ve DEWITT D.P., 2001, *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 975-8431-11-0.
37. MARTÍNEZ, P.J., VELAZQUEZ, A., VİEDMAN, A., 2004, Performance Analysis of a Solar Energy Driven Heating Systems, *Energy and Buildings*, 37, 1028-1034.
38. TÜRKDOĞAN, T., 1985, *Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi*, Devlet Yatırım Bankası, Ankara.
39. THUMANN, A., 2002, *Plant Engineers and Managers Guide to Energy Conversation*, The Fairmont Press Inc., Georgia.

EKLER

EK-A : EKONOMİK ANALİZ

Mühendislik, bilimi hayattaki gerçek problemlerin çözümünde kullanır. Mühendislik sistemleri özel bir görevi yapmak üzere tasarlanmışlardır ve birçok alternatif tasarım aynı görevi yapabilir. Soru bu alternatifler içinde en iyisinin hangisi olacağıdır. Sosyal, estetik, ekonomik ve psikolojik etkenler gibi bir çok sebep son tercihi etkileyebilir. Mühendis bir sistemin tasarımında karar vericidir zaten mühendislik tasarımı temel olarak verilen kararlar dizisinden oluşur. Gerçek hayat bağlamında göz ardı edilemeyecek bir unsur ise ekonominin karar verme sürecinde tasarımın teknik önemi kadar yada daha fazla rol oynadığıdır. Mühendislik kararlarının bir çoğunun temeli ekonomiktir. Düzgün çalışan bir cihazın yada sistemin tasarımı ve imalı ise mühendisliğin sadece bir görevidir. Ekonomi problemleri mühendisliğin önemli parçalarından biridir çünkü mühendisler yapılan tasarımın maliyetine duyarlı olmak zorundadırlar ve bakım-işletme maliyetlerini önceden belirlenmelidir. Aynı zamanda gelecekteki ekonomik şartlarda karar vermede hesaba katabilmelidirler.

Para ve mal şeklindeki sermayeyi bir iş sahasında değerlendirerek kar yada bankada değerlendirerek faiz elde edilebilir. Her iki yolla da bugün elimizde bulunan paranın miktarı değerlendirme süresinin sonunda artacaktır, örnek vermek gerekirse elimizdeki 100 YTL , %10 faiz oranı üzerinden bir yıl sonunda 110 YTL olacaktır yada 1 yıl sonra elde edilecek 110 YTL , %10 iskonto oranı üzerinden bugünkü değeri 100 YTL olacaktır. Bu örnek bize paranın bir zaman süreci içinde elde edildiği yıllara veya dönemlere göre değişik değerlerde incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Genel bir tarif yapmak gerekirse

“ Belli faiz veya iskonto oranı göz önünde bulundurulmak kaydıyla paranın, bir zaman süreci içinde elde edildiği veya harcandığı devrelere göre değişik değerlerde incelenmesine paranın zaman değeri denir” [38]

Paranın zaman değerinin ekonomik analizlerde kullanılmasının önemi, bir zaman süreci içindeki farklı devrelerde yapılan harcamalar ve gelirlerin zaman farkı nedeniyle değerlerinin anlamlı ve mantıklı bir analiz yapılabilmesi için aynı zaman düzeyine getirilmesinin gerekliliğinden gelir, bu da paranın zaman değeri kullanılarak yapılır.

Basit (adi) faiz bir dönem sonunda elde edilen faize takip eden dönemde faiz verilmediği, sadece ana paraya takip eden dönemdeki faiz oranında işlem yapıldığı faiz sistemidir. Basit faiz bir örnek ile açıklanırsa 100 YTL'nin , %40 basit faizle 5 yıl sonraki değeri şöyle hesaplanır. Her yıl sonunda 100 YTL'lik ana paraya %40 faiz oranıyla 40 YTL faiz verilecektir, 5 yıl sonunda faiz tutarı 200 YTL toplam para ise 300 YTL olacaktır. Formüle edilirse

$$F = P (1 + i n) \quad (\text{EkA.1})$$

Denklem EkA.1 örnekte uygulanırsa

$$300 = 100 (1 + 0,4 \cdot 5)$$

Bileşik faizde ise ilgili döneme ait faiz hesabı ana para ve o döneme kadar elde edilen faiz tutarının toplamı üzerinden yapılır. Bir önceki örnekteki faiz hesabı bileşik faiz üzerinden yapılır ise

$$1. \text{ dönem sonunda} \quad 140 = 100 (1 + 0,4)$$

$$2. \text{ dönem sonunda} \quad 196 = 140 (1 + 0,4)$$

...

$$5. \text{ dönem sonunda} \quad 537,824 = 384,16 (1 + 0,4)$$

yada

$$1. \text{ dönem sonunda} \quad F = P (1 + i)$$

$$2. \text{ dönem sonunda} \quad F = P (1 + i) (1 + i)$$

...

$$5. \text{ dönem sonunda} \quad F = P (1 + i)^5$$

.....

$$\text{n. dönem sonunda} \quad F = P (1 + i)^n \quad (\text{EkA.2})$$

olacaktır.

Eğer n yıl sonraki bir miktar paranın değerinin bugünkü karşılığı istenirse denklem (EkA.2) den P yi çekilerek hesaplanabilir.

$$P = \frac{F}{(1 + i)^n} \quad (\text{EkA.3})$$

olarak ifade edilebilir.

Her yıl sonunda, n dönem boyunca yapılacak, A miktarındaki sabit ödemelerin, yıllık i faiz oranı üzerinden, n.yıl sonunda bileşen faizleri ile miktarının ne olacağını hesaplama için her yıl için bileşik faiz yazılırsa

1. dönem sonunda yatırılan A miktar para (n-1) yılda	$F_1 = A (1 + i)^{n-1}$
2. dönem sonunda yatırılan A miktar para (n-2) yılda	$F_2 = A (1 + i)^{n-2}$
...	
5. dönem sonunda yatırılan A miktar para (n-5) yılda	$F_5 = A (1 + i)^{n-5}$
.....	
n. dönem sonunda yatırılan A miktar para (n-n) yılda	$F_n = A$

Buradaki F değerlerinin toplamı ($F = F_1 + F_2 + \dots + F_{n-1} + F_n$) düzenli serinin gelecekteki değerini verir. Genel formülü ise

$$F = A \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right] \quad (\text{EkA.4})$$

olarak elde edilir. Gelecekteki para miktarının bilinmesi durumunda düzenli ödemeler ise denklem (EkA.4) da A çözülmesiyle bulunur.

$$A = F \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (\text{EkA.5})$$

Şimdiki değeri bilinen paranın düzenli olarak ödenecek eş değerinin hesaplanması için A düzenli serisinin gelecek değerini veren formülden (EkA.4) A eşdeğeri (EkA.5) çekilir, bu formüldeki F yerine, F' nin P cinsinden eşiti olan (EkA.2) konursa

$$A = P (1+i)^n \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (\text{EkA.6})$$

denklem (EkA.6) düzenlenirse

$$A = P \left[\frac{i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (\text{EkA.7})$$

elde edilir. Denklem (EkA.7) den P çözülür ise sabit A değerindeki, i faiz oranı üzerinde n dönem yapılacak ödemenin bugünkü değeri elde edilir. [39]

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i (1+i)^n} \right] \quad (\text{EkA.8})$$

$$P = A (P/A, \% i, n) \quad (\text{EkA.9})$$

köşeli parantez içindeki ifade ekonomik değerleri dönüştürmekte kullanılan bir katsayıdır ve burada “ düzenli serilerin şimdiki değerini hesaplama kat sayısı” olarak adlandırılır.

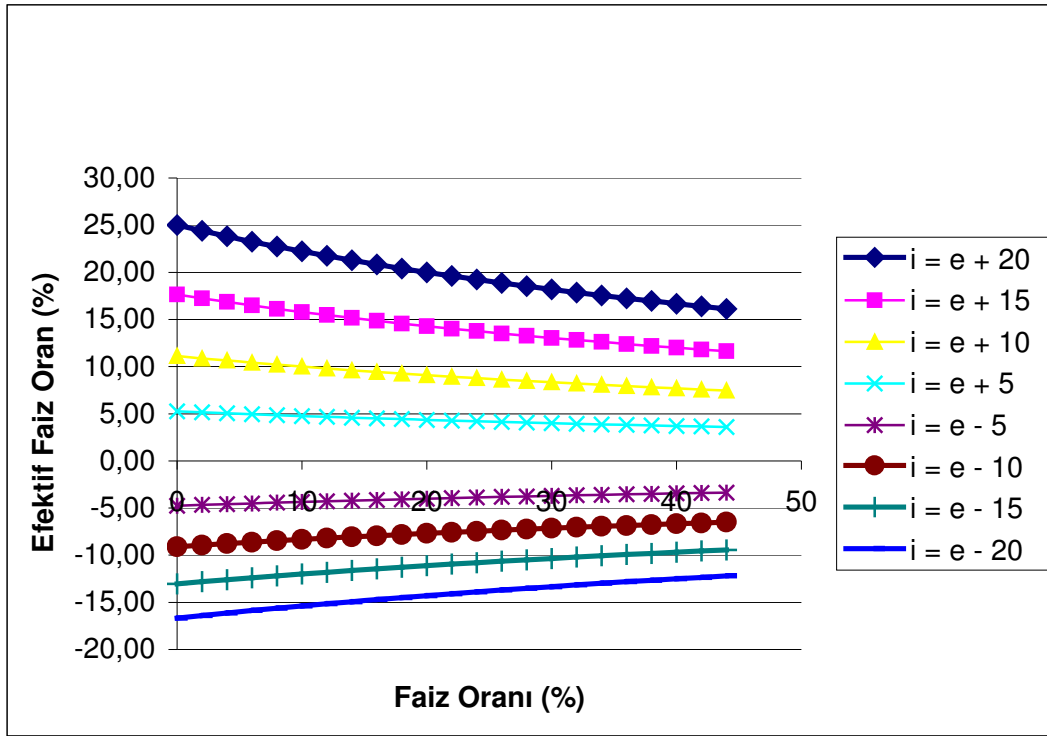
Farklı mallarında enflasyon farklı değerlerde olabilir, enflasyon dönem içinde malın değerindeki gerçek artışı göstermektedir, paranın zaman ilişkisinden farklıdır, bu nedenle enflasyonun etkisinin ekonomik analizde göz önüne alınması gerekmektedir. Enflasyonun etkisinin hesaba alınmasının bir yolu piyasa faiz oranları yerine enflasyonun etkisindeki efektif faiz oranlarını kullanılmasıdır. Efektif faiz oranı olarak

adlandırılır. Enflasyon oranını faiz oranından farklı olduğu durumlar için efektif faiz oranı denklem (EkA10) ile bulunur.

$$j = \frac{1+i}{1+e} - 1 = \frac{i-e}{1+e} \quad (\text{EkA10})$$

Tablo Ek-A.1: Değişik enflasyon ve faiz farklarında efektif faizin alacağı değerler

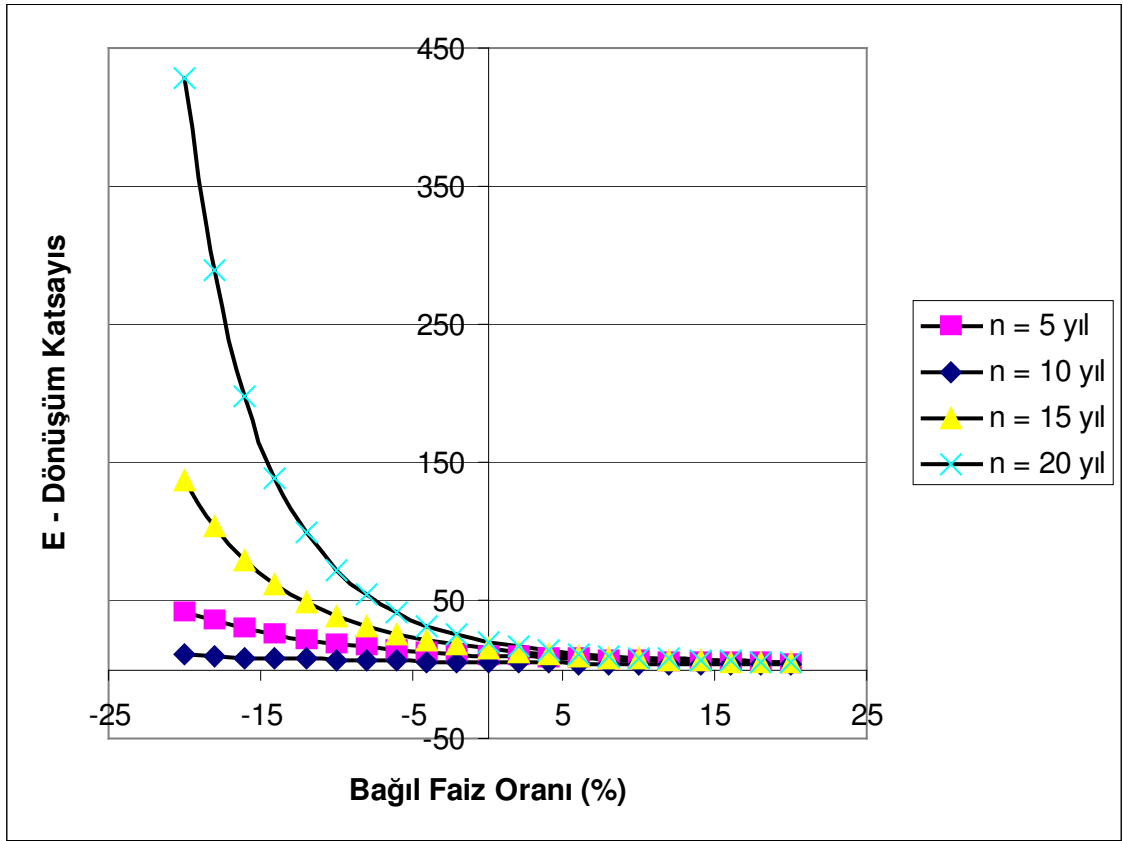
i (%)	i=e+20		i=e+15		i=e+10		i=e+5		i=e-5		i=e-10		i=e-15		i=e-20	
	e (%)	j (%)	e (%)	j (%)	e (%)	j (%)	e (%)	j (%)	e (%)	j (%)	e (%)	j (%)	e (%)	j (%)	e (%)	j (%)
0	-20	25,00	-15	17,65	-10	11,11	-5	5,26	5	-4,76	10	-9,09	15	-13,04	20	-16,67
2	-18	24,39	-13	17,24	-8	10,87	-3	5,15	7	-4,67	12	-8,93	17	-12,82	22	-16,39
4	-16	23,81	-11	16,85	-6	10,64	-1	5,05	9	-4,59	14	-8,77	19	-12,61	24	-16,13
6	-14	23,26	-9	16,48	-4	10,42	1	4,95	11	-4,50	16	-8,62	21	-12,40	26	-15,87
8	-12	22,73	-7	16,13	-2	10,20	3	4,85	13	-4,42	18	-8,47	23	-12,20	28	-15,63
10	-10	22,22	-5	15,79	0	10,00	5	4,76	15	-4,35	20	-8,33	25	-12,00	30	-15,38
12	-8	21,74	-3	15,46	2	9,80	7	4,67	17	-4,27	22	-8,20	27	-11,81	32	-15,15
14	-6	21,28	-1	15,15	4	9,62	9	4,59	19	-4,20	24	-8,06	29	-11,63	34	-14,93
16	-4	20,83	1	14,85	6	9,43	11	4,50	21	-4,13	26	-7,94	31	-11,45	36	-14,71
18	-2	20,41	3	14,56	8	9,26	13	4,42	23	-4,07	28	-7,81	33	-11,28	38	-14,49
20	0	20,00	5	14,29	10	9,09	15	4,35	25	-4,00	30	-7,69	35	-11,11	40	-14,29
22	2	19,61	7	14,02	12	8,93	17	4,27	27	-3,94	32	-7,58	37	-10,95	42	-14,08
24	4	19,23	9	13,76	14	8,77	19	4,20	29	-3,88	34	-7,46	39	-10,79	44	-13,89
26	6	18,87	11	13,51	16	8,62	21	4,13	31	-3,82	36	-7,35	41	-10,64	46	-13,70
28	8	18,52	13	13,27	18	8,47	23	4,07	33	-3,76	38	-7,25	43	-10,49	48	-13,51
30	10	18,18	15	13,04	20	8,33	25	4,00	35	-3,70	40	-7,14	45	-10,34	50	-13,33
32	12	17,86	17	12,82	22	8,20	27	3,94	37	-3,65	42	-7,04	47	-10,20	52	-13,16
34	14	17,54	19	12,61	24	8,06	29	3,88	39	-3,60	44	-6,94	49	-10,07	54	-12,99
36	16	17,24	21	12,40	26	7,94	31	3,82	41	-3,55	46	-6,85	51	-9,93	56	-12,82
38	18	16,95	23	12,20	28	7,81	33	3,76	43	-3,50	48	-6,76	53	-9,80	58	-12,66
40	20	16,67	25	12,00	30	7,69	35	3,70	45	-3,45	50	-6,67	55	-9,68	60	-12,50
42	22	16,39	27	11,81	32	7,58	37	3,65	47	-3,40	52	-6,58	57	-9,55	62	-12,35
44	24	16,13	29	11,63	34	7,46	39	3,60	49	-3,36	54	-6,49	59	-9,43	64	-12,20



Şekil Ek-A.1: Değişik enflasyon faiz farklarında efektif faiz değerleri

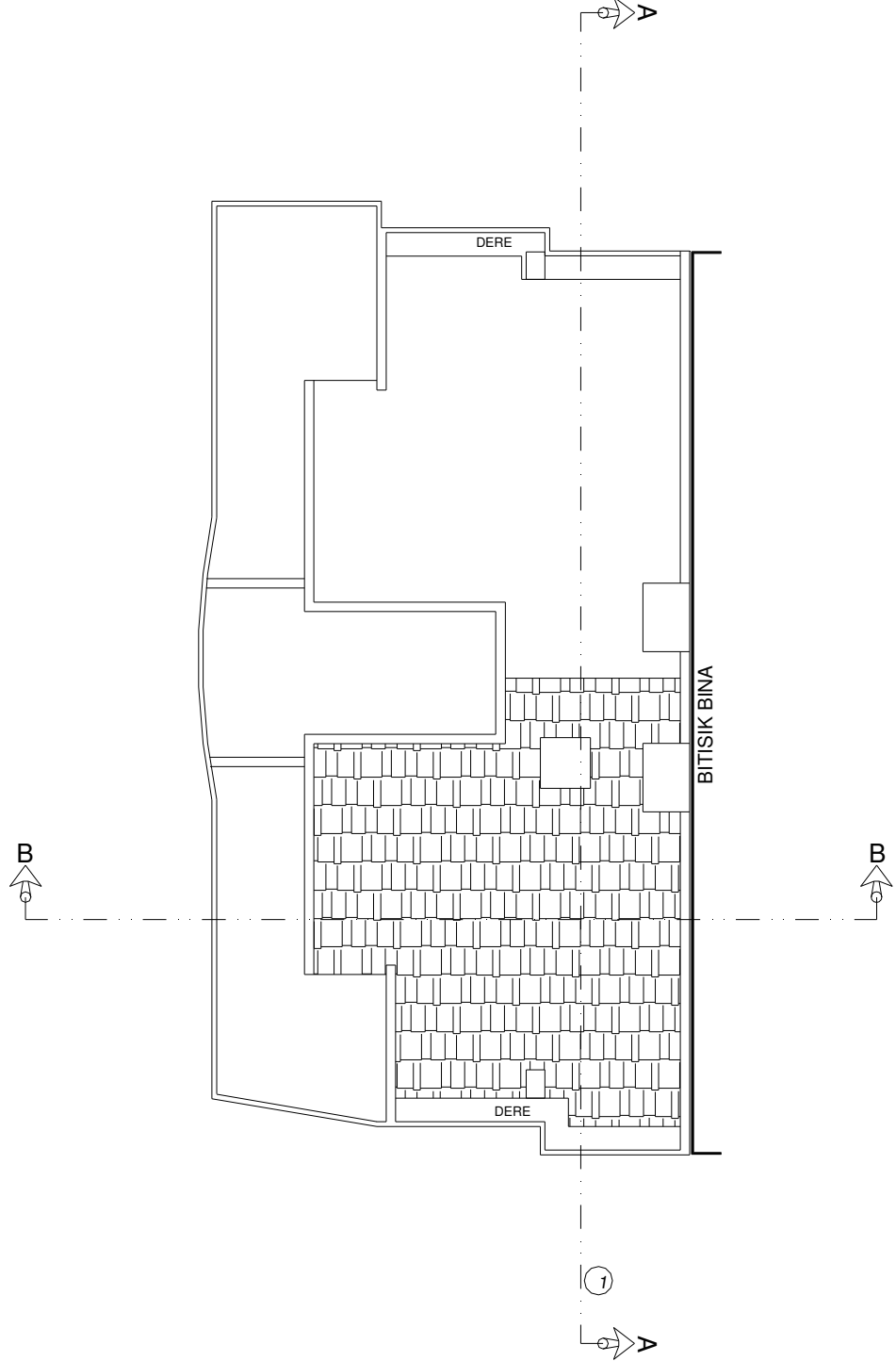
Tablo Ek-A.2: Ekonomik dönüşüm katsayısının efektif faiz ve kullanım süresine göre değişimi

j (%)	E			
	n=5 yıl	n=10 yıl	n=15 yıl	n=20 yıl
-20	10,26	41,57	137,11	428,68
-18	9,43	34,86	103,47	288,51
-16	8,69	29,48	79,20	198,06
-14	8,04	25,13	61,47	138,71
-12	7,46	21,59	48,37	99,11
-10	6,94	18,68	38,57	72,25
-8	6,47	16,28	31,16	53,75
-6	6,04	14,28	25,50	40,78
-4	5,66	12,60	21,12	31,56
-2	5,31	11,19	17,70	24,89
0	5,00	10,00	15,00	20,00
2	4,71	8,98	12,85	16,35
4	4,45	8,11	11,12	13,59
6	4,21	7,36	9,71	11,47
8	3,99	6,71	8,56	9,82
10	3,79	6,14	7,61	8,51
12	3,60	5,65	6,81	7,47
14	3,43	5,22	6,14	6,62
16	3,27	4,83	5,58	5,93
18	3,13	4,49	5,09	5,35
20	2,99	4,19	4,68	4,87

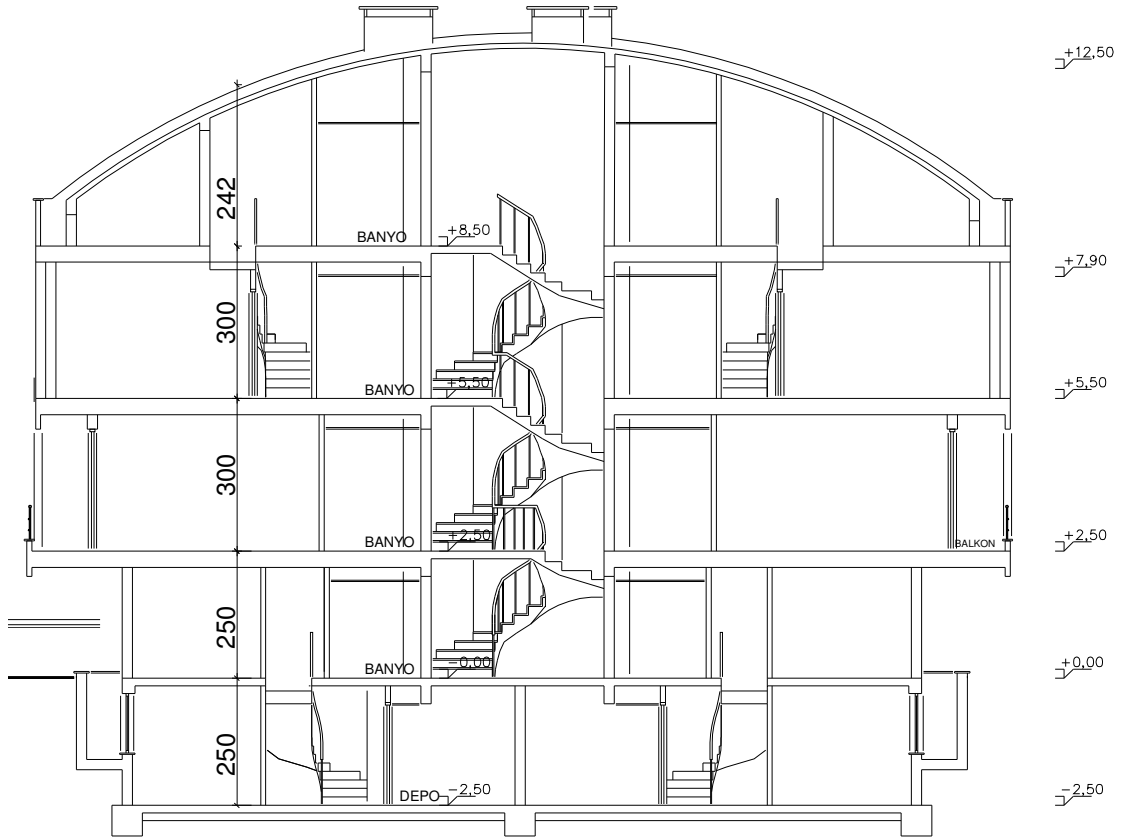


Şekil Ek-A.2: Ekonomik dönüşüm katsayısının efektif faiz ve kullanım süresine göre değişimi

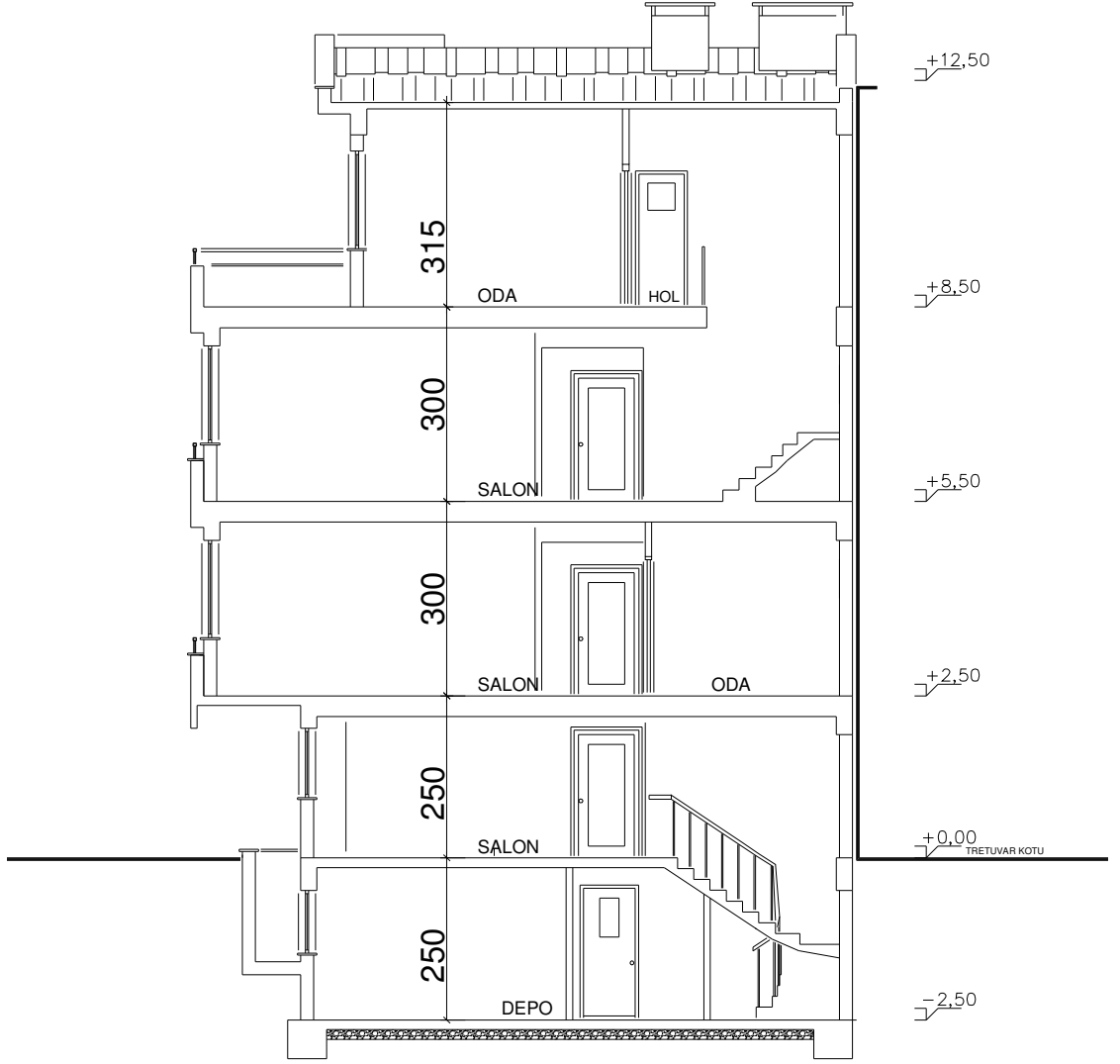
EK-B : YAPI-1 MİMARİ ÇİZİMLERİ



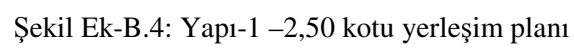
Şekil Ek-B.1: Yapı-1 Yerleşim planı

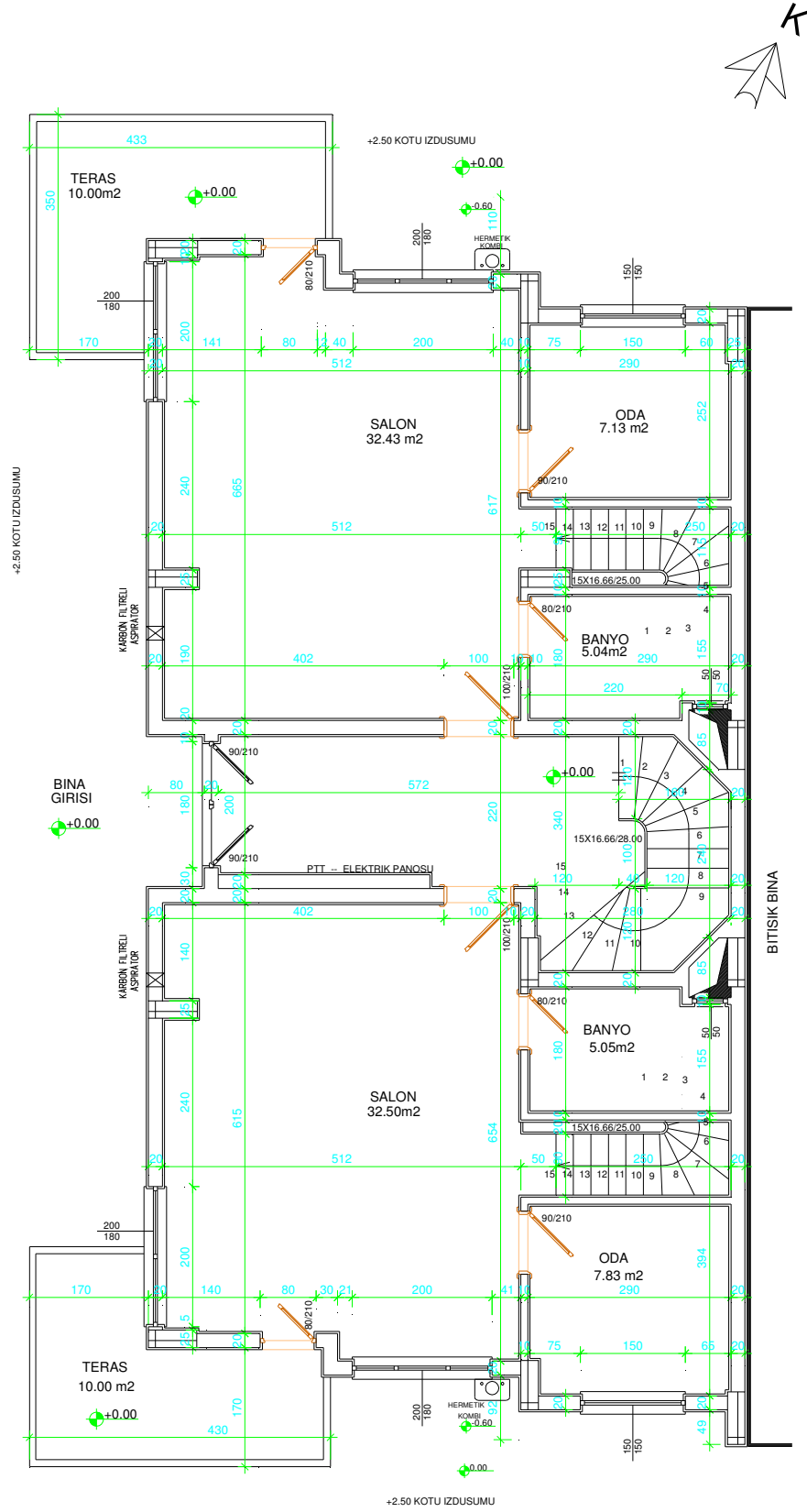


Şekil Ek-B.2: Yapı-1 A-A kesit görünümü

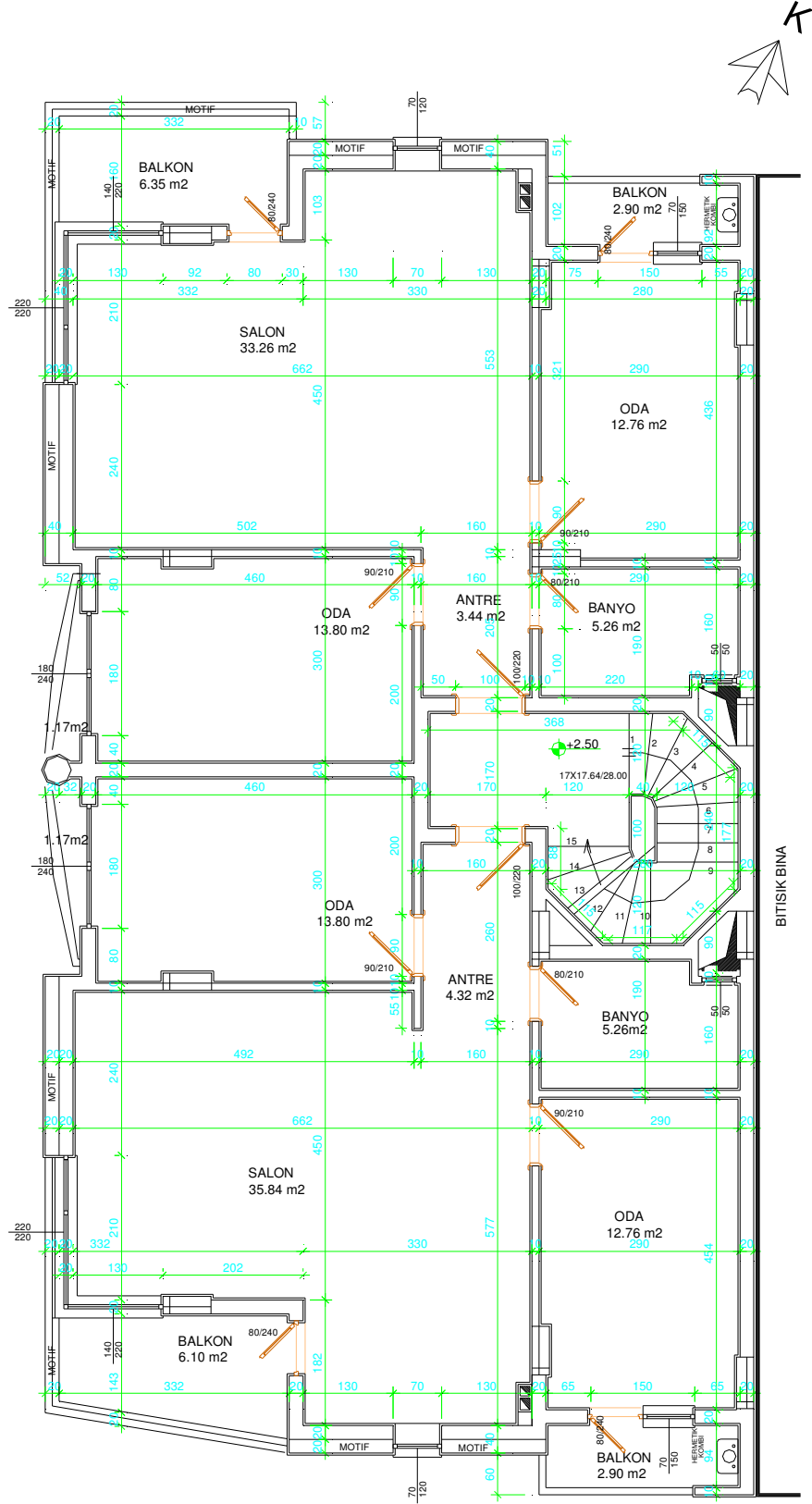


Şekil Ek-B.3: Yapı-1 B-B kesit görünümü

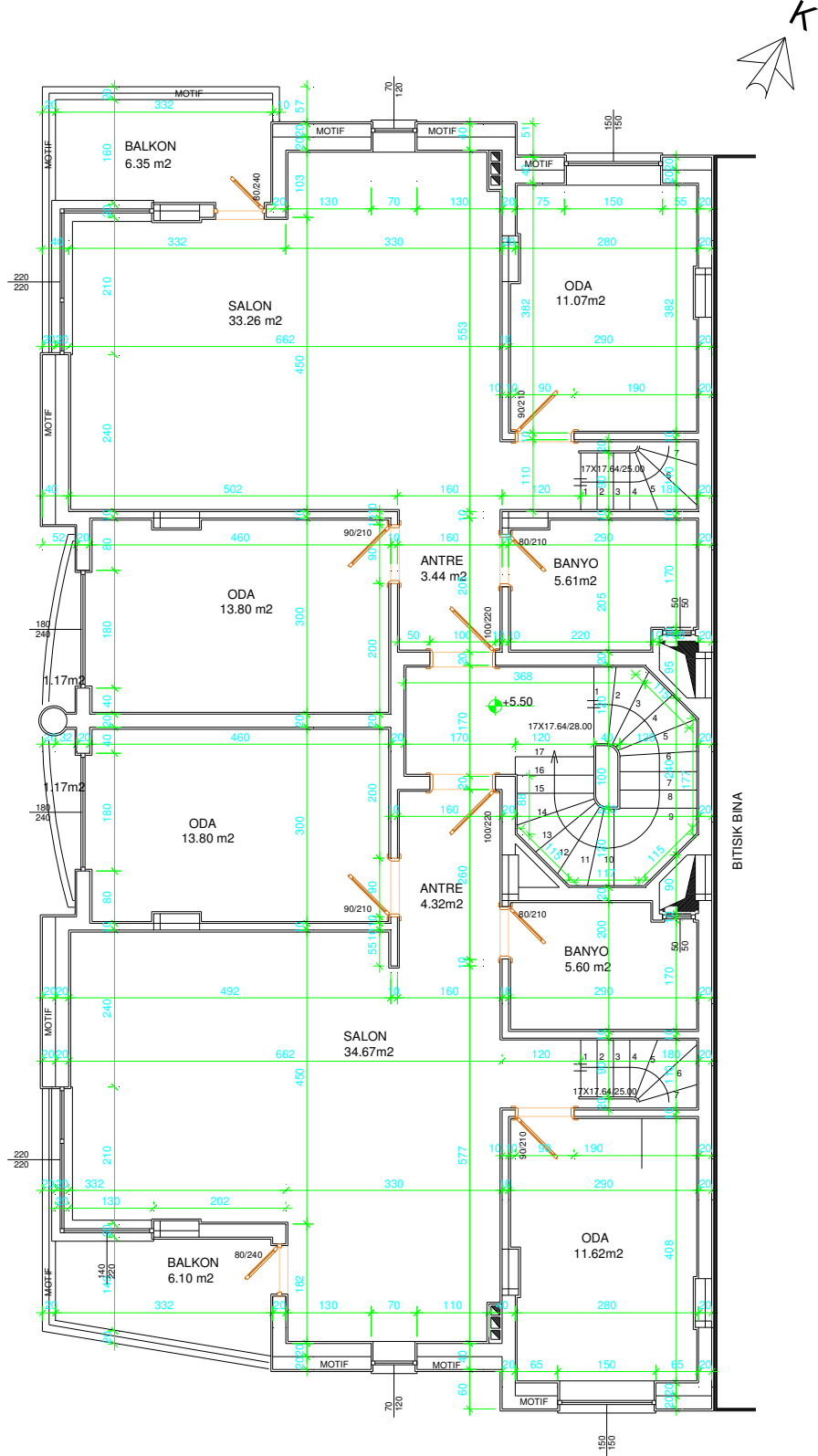




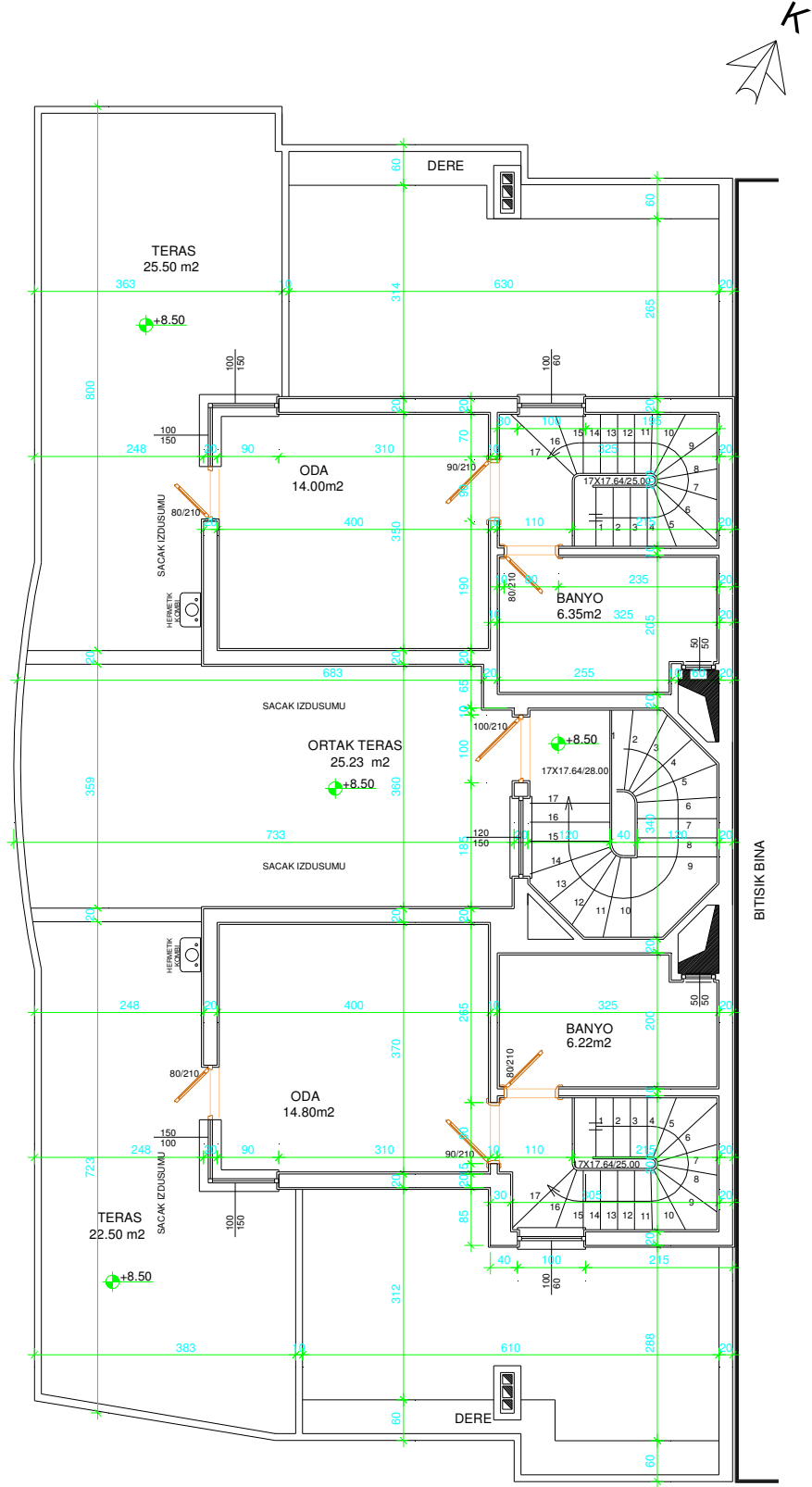
Şekil Ek-B.5: Yapı-1 +0,00 kotu yerleşim planı



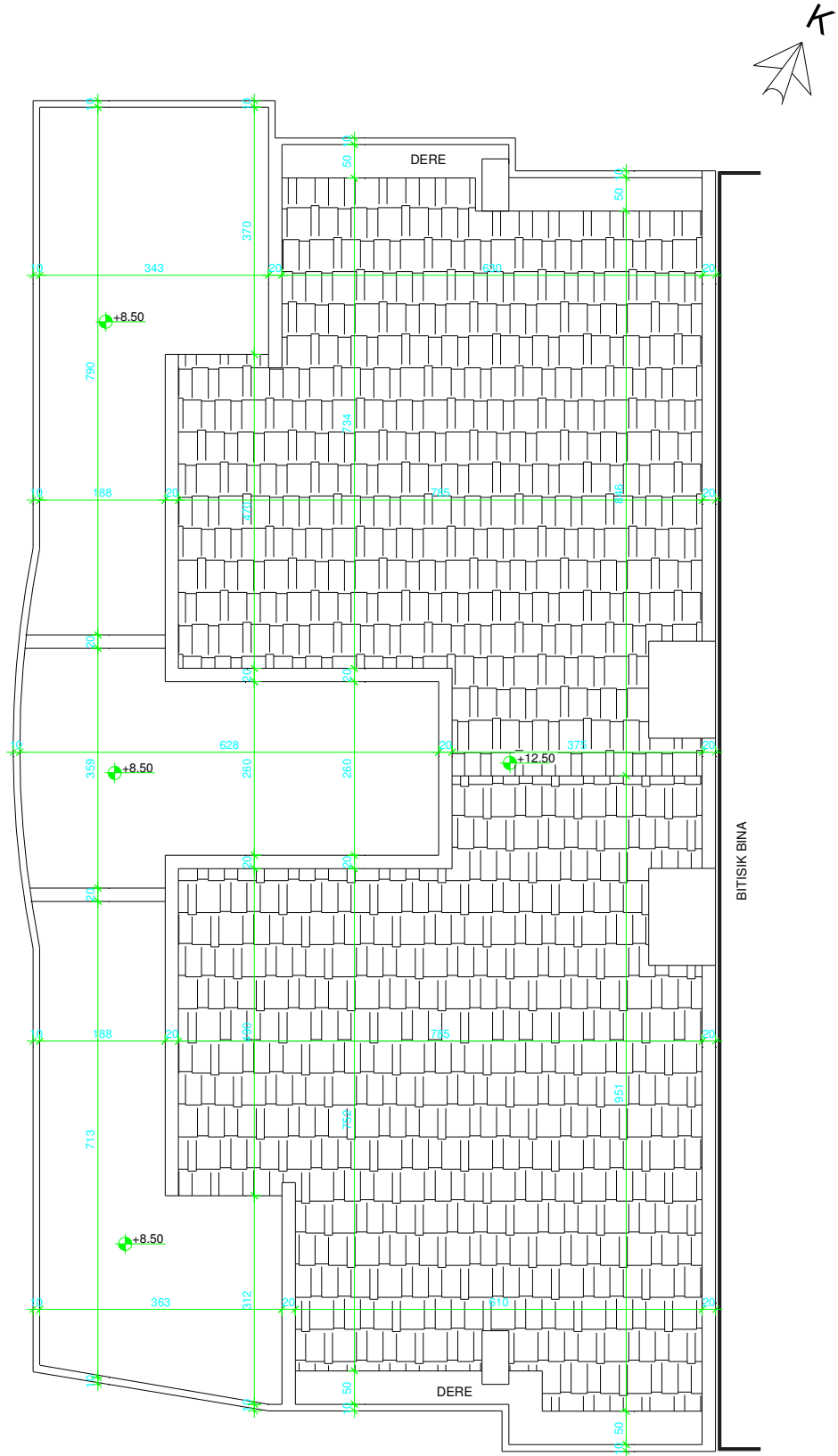
Şekil Ek-B.6: Yapı-1 +2,50 kotu yerleşim planı



Şekil Ek-B.7: Yapı-1 +5,50 kotu yerleşim planı



Şekil Ek-B.8: Yapı-1 +8,50 kotu yerleşim planı

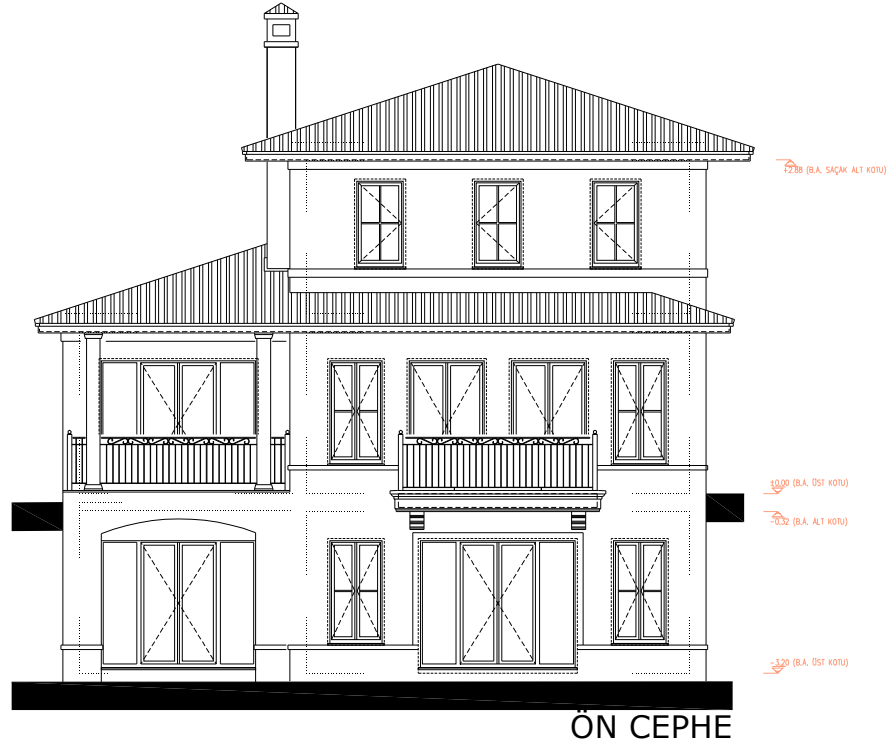


Şekil Ek-B.9: Yapı-1 +12,50 kotu yerleşim planı

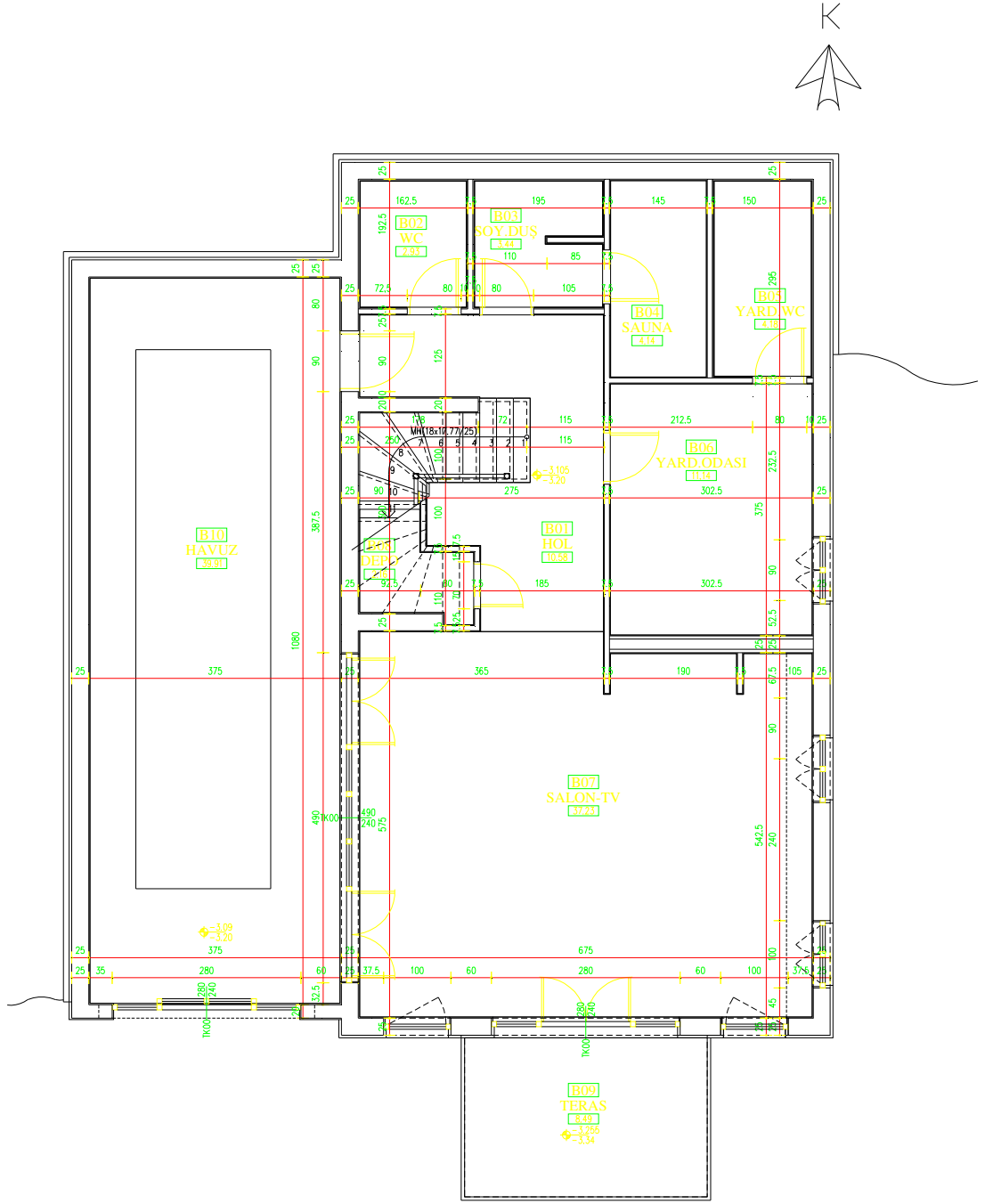
EK-C : YAPI-2 MİMARİ ÇİZİMLERİ



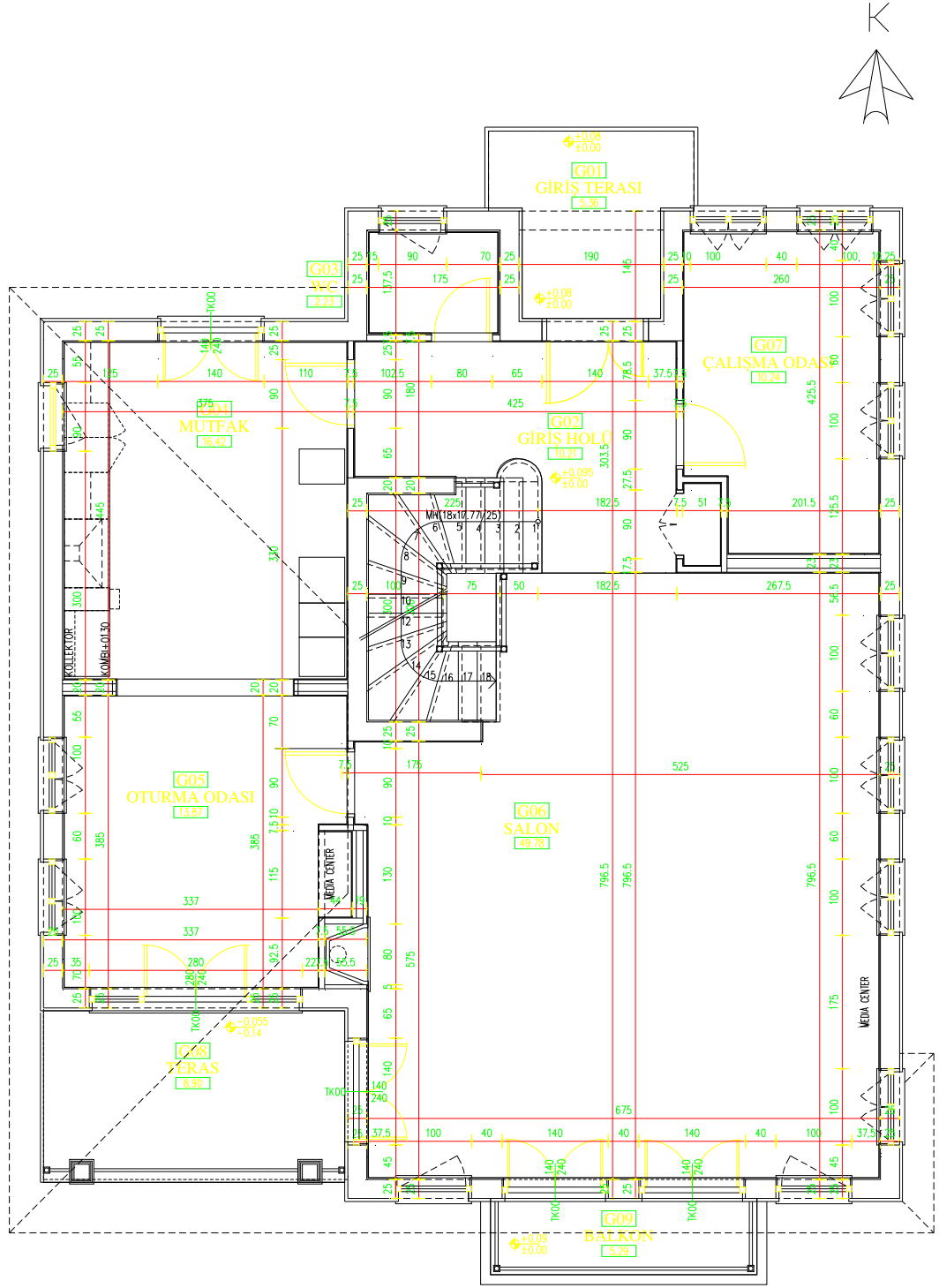
Şekil Ek-C.1: Yapı-2 sağ yan ve sol yan cephe görünüşleri



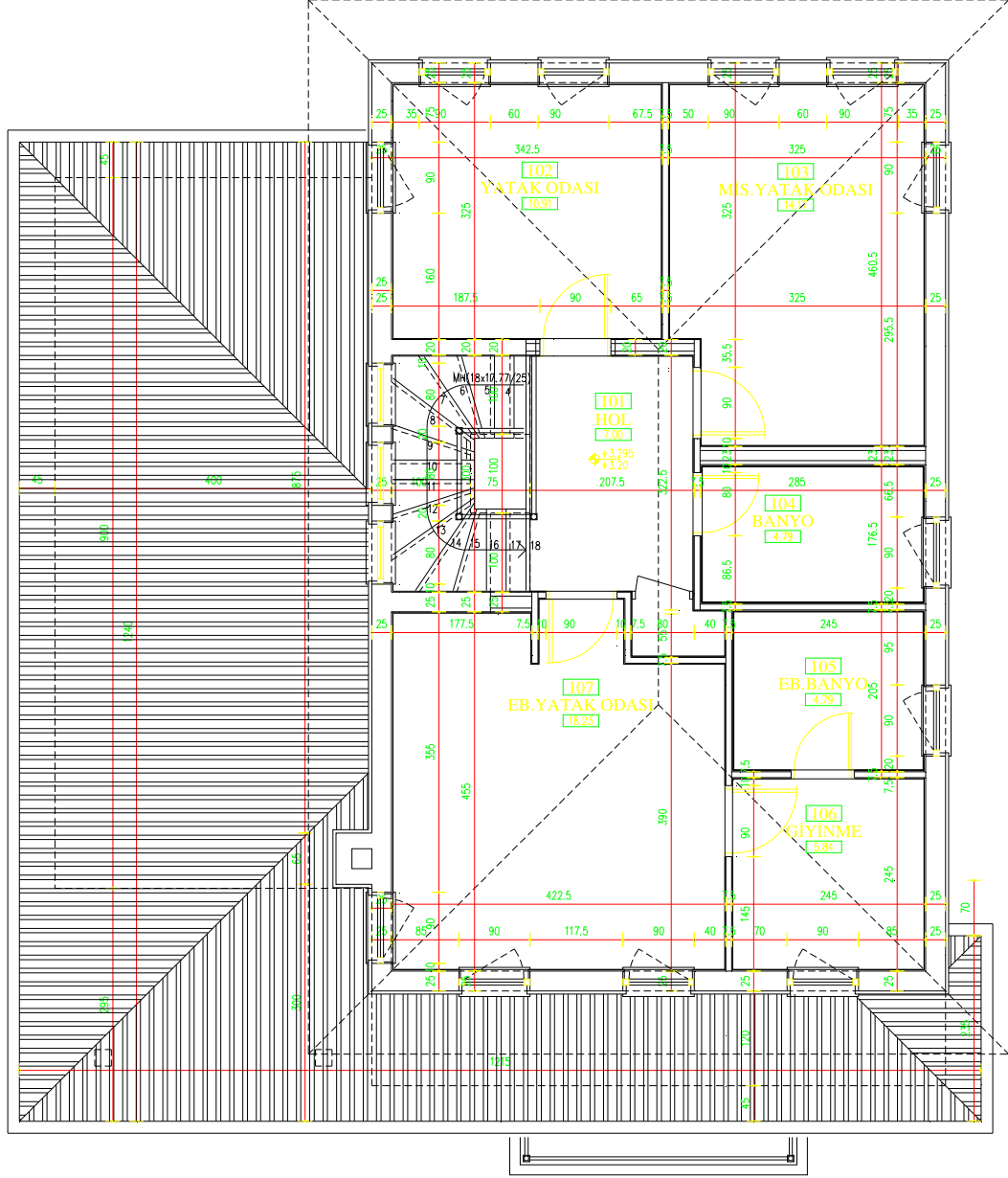
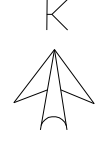
Şekil Ek-C.2: Yapı-2 ön ve giriş cephesi görünüşleri



Şekil Ek-C.3: Yapı-2 -3,20 kotu yerleşim planı



Şekil Ek-C.4: Yapı-2 +0,00 kotu yerleşim planı



Şekil Ek-C.5: Yapı-2 +3,20 kotu yerleşim planı

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Kaman’da doğan Barış SANDAL, orta okulu Antalya Akdeniz Koleji’nde liseyi ise Antalya Lisesi’nde bitirerek 1998 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü kazanmıştır. 2003 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda lisansüstü öğrenime başlamış aynı yılın Aralık ayından itibaren İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Anabilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.