

**T.C.
MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKTİF GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ ENTEGRE EDİLMİŞ ÇOK AÇILI
CEPHELERDE, CEPHE EĞİM AÇILARININ OPTİMİZASYONU ÜZERİNE
BİR ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba CEBECİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği ve Malzemesi Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Cüneyt DİRİ

ŞUBAT 2022

Tuğba CEBECİ tarafından hazırlanan “AKTİF GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ ENTEGRE EDİLMİŞ ÇOK AÇILI CEPHELERDE, CEPHE EĞİM AÇILARININ OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA” adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi A. Cüneyt DİRİ

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi A. Cüneyt DİRİ

Üye : Prof. Dr. Mustafa ÖZGÜNLER

Üye : Doç. Dr. Gülten MANİOĞLU

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ücret karşılığı başka kişilere yazdırmadığımı (dikte etme dışında), uygulamalarımı yaptırmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.



ÖNSÖZ

Mevcuttaki yaşam standartlarımızın korunması için ekolojik dengeyi bozan yöntemlerle enerji elde edilmektedir. Enerji tüketiminin önemli bir kısmına sahip olan yapılarda, enerji verimliliği için tekrar güneşe yönelerek güneşten elde edilebilecek enerji miktarı ve ulaşılabilirliğinin ötesinde insan faaliyetlerinde verimli kullanımı konusunda çözümler üretilmelidir. Güneş mimarisi temelinde tamamladığım bu çalışmanın yeni ve mevcut yapılardaki dönüşümde güneş mimarisine olan ilgiye katkısı olmasını umuyorum.

Tez sürecindeki yönlendirmeleri ile beni daha fazla öğrenmeye sevk eden ve sistematik bir düşünce yapısı ile tez sürecinde rotamda kalmamı sağlayan değerli tez hocam Dr. A. Cüneyt Diri'ye,

Fiziksel çevre kontrolü hakkındaki bilgileri anlaşılır hale getiren ve tatlı dille aktaran, bölümümüzdeki öğrenme ortamını güçlendiren ve tezime önemli katkıları olan Prof. Dr. Mustafa Özgünler'e,

Düzenlediği workshoplar, etkinlikler ve bursiyer olarak yer aldığım Tubitak projesi ile yüksek lisans sürecini verimli geçirmemde katkısı olan Doç. Dr. Ümit Arpacıoğlu'na,

Güneş enerjisi panelleri konusunda güncel bilgilere ulaşmamı ve bu alanda yeni bilgiler edinmemi sağlayan Viessmann firmasından Ekim Utkan Gerek'e,

Cam türleriyle ilgili verdiği bilgiler ve sorularıma verdiği nazik cevaplar için Şişe Cam firmasından Yudum Demirkol'a,

Akademik alandaki bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, destekleriyle yanımda olan, güvenlerini her an hissettiren ve gelişim yolunda birbirimize katkıda bulunduğumuz sevgili arkadaşlarım Müberra Zeyrek, Miyase Ezgi Güner ve Gizem Büyükgüner'e,

Çocukluğumdan beri güvenini her an hissettiren, beni her koşulda dinleyen ve anlayan sevgili aileme, en çok da canım annem Aysel Camcı'ya,

Ve yeni bilgiler öğrendiğimdeki heyecanımı paylaşan, merakımı, bilgimi her zaman destekleyen sevgili eşim Hakan Cebeci'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2022

Tuğba CEBECİ

Mimar



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	4
1.2 Çalışmanın Kapsamı	4
1.3 Çalışmanın Yöntemi	5
2. GÜNEŞ GEOMETRİSİ, GÜNEŞ ENERJİSİ VE ETKİLERİ	9
2.1 Güneş Açıları	9
2.1.1 Deklinasyon açısı (δ)	9
2.1.2 Enlem açısı (ϕ)	10
2.1.3 Saat açısı (ω)	11
2.1.4 Zenit açısı (ψ)	12
2.1.5 Güneş Yükseklik Açısı (α)	12
2.1.6 Azimut açısı	12
2.1.6.1 Güneş azimut açısı (γ_s)	13
2.1.6.2 Yüzey azimut açısı (γ)	13
2.1.7 Geliş açısı (θ)	14
2.1.8 Profil açısı (Ω)	14
2.2 Güneş Geometrisinin Kullanım Alanları	15
2.3 Güneş Işınımı	18
2.3.1 Güneş ışıınımı türleri	18
2.3.2 Işınımın soğurulması, yansıtılması ve geçirilmesi	19
2.4 İklimlerin Oluşumunda Güneş Enerjisinin Etkisi ve Türkiye’deki İklim Tipleri	20
2.4.1 Türkiye’deki İklim Tipleri	21
2.4.2 Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneşlenme Süresi	26
3. GÜNEŞ MİMARİSİ TASARIM DEĞİŞKENLERİ	28
3.1 Yerleşim Ölçeğindeki Tasarım Değişkenleri	28
3.1.1 Yer seçimi	29
3.1.2 Bina aralıkları	31
3.2 Yapı Ölçeğindeki Tasarım Değişkenleri	32
3.2.1 Yapının yönlendirilmesi	32

3.2.2	Yapı formu	34
3.2.2.1	Biçim faktörü ve yapı yüksekliği	34
3.2.2.2	Çatı türü ve eğimi	38
3.2.2.3	Cephe eğimi	40
3.2.3	Mekan organizasyonu	43
3.2.4	Yapı kabuğu	45
3.2.4.1	Opak bileşenler	47
3.2.4.2	Saydam bileşenler	49
3.2.4.3	Saydamlık oranı	54
3.2.4.4	Gölgeleme (Güneş kontrol) Metotları	55
3.2.5	Güneş Enerjisi Sistemleri	58
3.2.5.1	Pasif güneş enerjisi sistemleri	58
3.2.5.2	Aktif güneş enerjisi sistemleri	61
4.	İKLİM BÖLGELERİNE VE YÖNLERE GÖRE CEPHE EĞİMLERİNİN OPTİMİZASYONU İÇİN MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	68
4.1	Pilot İllerin Belirlenmesi	68
4.2	Yapının Güneş Mimarisi Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi	69
4.2.1	Yerleşme ölçeğindeki değişkenlerin belirlenmesi	69
4.2.2	Yapı ölçeğindeki tasarım değişkenlerinin belirlenmesi	72
4.2.2.1	Yapının yönlendirilmesi	72
4.2.2.2	Yapı formunun belirlenmesi	73
4.2.2.3	Yapı kabuğu opak ve saydam bileşenlerin tanımlanması	74
4.2.2.4	Güneş enerjisi sistemi kullanımı	81
4.3	Çalışma modeli verilerinin programa aktarılması	81
4.3.1	Malzeme termofiziksel özelliklerinin tanımlanması ve modele aktarımı	82
4.3.2	Enerji analizi parametreleri	85
4.4	Çok Açılı Eğimlerle Oluşturulan Alternatif Yapı Kabuklarının Enerji Yüğü ve Solar Kazanım Analizlerinin Yapılması	89
4.4.1	Alternatif yapı kabuklarının ısıtma ve soğutma enerji yüklerinin hesaplanması	90
4.4.1.1	Antalya ili için ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesabı	91
4.4.1.2	Diyarbakır ili için ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesabı	94
4.4.1.3	İstanbul ili için ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesabı	97
4.4.1.4	Ankara ili için ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesabı	99
4.4.1.5	Erzurum ili için ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesabı	102
4.4.2	Alternatif yapı kabuklarında solar kazanım analizlerinin yapılması	105
4.4.2.1	Antalya ili için solar kazanım analizlerinin yapılması	107
4.4.2.2	Diyarbakır ili için solar kazanım analizlerinin yapılması	110
4.4.2.3	İstanbul ili için solar kazanım analizlerinin yapılması	112
4.4.2.4	Ankara ili için solar kazanım analizlerinin yapılması	114
4.4.2.5	Erzurum ili için solar kazanım analizlerinin yapılması	116
4.4.3	Pilot iller için optimum modellerin belirlenmesi	119
4.4.3.1	Antalya ili için optimum modelin belirlenmesi	119
4.4.3.2	Diyarbakır ili için optimum modelin belirlenmesi	124
4.4.3.3	İstanbul ili için optimum modelin belirlenmesi	128
4.4.3.4	Ankara ili için optimum modelin belirlenmesi	133
4.4.3.5	Erzurum ili için optimum modelin belirlenmesi	137
4.5	Bölüm değerlendirmesi	143
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	151
	KAYNAKLAR	159

SEMBOL LİSTESİ

(δ)	Deklinasyon açısı
(ψ)	Zenit açısı
(ϕ)	Enlem açısı
(ω)	Saat açısı
(α)	Güneş yükseklik açısı
(γ_s)	Güneş azimut açısı
(α)	Güneş yükseklik açısı
(γ)	Yüzey azimut açısı
(θ)	Geliş açısı
(β)	Eğim açısı
(Ω)	Profil açısı
(V/S)	Hacim / Yüzey
(U)	Isıl iletkenlik katsayısı
(λ)	Isıl iletkenlik hesap değeri
(d)	Kalınlık
(T)	Işık geçirgenliği
(c)	Özgül ısı
(R)	Isıl iletkenlik direnci
(h)	Saat

Birimler

(μm)	Nanometre, dalga boyu birimi
(W)	Watt, güç birimi
(kW)	Kilowatt (1 kW=1000 watt)
(kWh)	Kilowatt-saat, enerji birimi
(W/m ²)	Metrekareye düşen watt cinsinden enerji
(MJ)	Megajoule, enerji birimi (1 MJ=0,278 kWh)
(W/m.K)	Isıl iletkenlik hesap değeri birimi
[J/(g°C)]	Özgül ısı
(kg/m ³)	Özgül ağırlık

KISALTMALAR LİSTESİ

Kavramsal Kısaltmalar

(SHGF) Güneş Radyasyon Kazancı (Solar Heat Gain Faktor)

Kuruluş Kısaltmaları

(IPCC)	Hükümetlerarası iklim değişikliği paneli
(IEA)	Uluslararası Enerji Ajansı
(MGM)	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
(GEPA)	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1: IPCC 2013 Raporuna göre doğrudan ve dolaylı olarak küresel ısınmaya yol açan CO2 emisyonu dağılımı (Ölçer B., 2019).....	2
Şekil 1. 2 : Tek açılı ve çok açılı cephe eğimleri.....	3
Şekil 2. 1 : Dünyanın güneşe göre yörüngesi ve deklinasyon açısı (Öztürk, 2012b; Şenpınar, 2006).....	10
Şekil 2. 2 : Enlem açısı (ϕ) (Url-1).....	11
Şekil 2. 3 : Kuzey yarımkürede saat açısı ve yerel güneş zamanı arasındaki ilişki (Abuşka, 2012). ...	11
Şekil 2. 4 : Zenit Açısı (Terzioğlu, Kazan, & Sungur, 2015).	12
Şekil 2. 5 : Güneş Azimut Açısı (Terzioğlu et al., 2015).	13
Şekil 2. 6 : Yüzey azimut açısı.....	13
Şekil 2. 7 : Güneye yönelmiş yüzeyin güneş öğlesinde geliş açısı (θ) ve eğim açısı (β) (Cebeci,2021).	14
Şekil 2. 8 : Profil Açısı (Ω).	15
Şekil 2. 9 : Yeryüzü şekillerinin yerleşim alanı güneş erişimine etkisi.	16
Şekil 2. 10 : Güneş ışıınım türleri.....	18
Şekil 2. 11 : Düzenli ve dağınık yansıma (Mazria, 1979).....	19
Şekil 2. 12 : Camın geçirgenlik özelliği.....	20
Şekil 2. 13 : Türkiye'nin Köppen-Geiger alt iklim tipleri.....	22
Çizelge 2. 3 : Derece gün bölgelerine göre iller (Atmaca, 2016).	24
Şekil 2. 14 : Derece gün bölgelerine göre Türkiye haritası (Atmaca, 2016).....	25
Şekil 2. 15 : Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (F. Ç. Kılıç, 2015).....	26
Şekil 3. 1. Bir tepenin etrafında farklı iklim bölgelerine göre uygun yer seçimleri (Lechner, 2014; Özdemir, 2005).	29
Şekil 3. 2. İklim tiplerine göre teorik arazi kesiti üzerinde yerleşme şekilleri (Erdemir, 2014; Zeren ve diğerleri, 1987).....	30
Şekil 3. 3 Rüzgarın soğutma etkisini arttırmak amacıyla oluşturulmuş bina yerleşim türleri (Watson ve Lab., 1992).	31
Şekil 3. 4 : İklim bölgelerine göre uygun arazi eğimi ve bina yönlendirmesi için optimum ve geçerli açılar (Ovalı, 2009).	33
Şekil 3. 5. İklim bölgelerine göre ısı kazanım ve kayıpları ile optimum yapı biçimleri (Olgyay, 1963).	35
Şekil 3. 6. Yapı formu yüzey/hacim oranına göre yıllık ısıtma yükleri (Gratia, E.; Herde, 2003).	37
Şekil 3. 7. Aynı derinliğe sahip yapılarda yükseklik ve genişlik oranına göre ısı kaybı oranları (Göksal, 1998).....	38
Şekil 3. 8 : Bazı çatı türleri (Url-10).	39
Şekil 3. 9 : Tempe Belediye Binası cephesi (Url-18).....	40
Şekil 3. 10 : Cambridgeshire'de bulunan Avrupa Biyoinformatik Enstitüsü (Url-19).....	41
Şekil 3. 11: Yapının 1969 yılı cephe yenilemesine ait fotoğraf (sol), yapının 2017 cephe yenilemesine ait fotoğraf (sağ) (Url-20).....	41
Şekil 3. 12 : Yapının 2017 yılındaki yenilemesine ait bir dış cephe fotoğrafı (sol) İç mekandan çekilmiş bir şantiye fotoğrafı (sağ) (Url-20).	42
Şekil 3. 13: FKI Kulesi güneyden çekilmiş bir fotoğraf (sol) Güneybatı ve güneydoğu cephelerinin yakından görünüşü (sağ) (Url-21).	42
Şekil 3. 14 : FKI Tower cephe tasarım stratejisini gösteren kesit diyagramı (Url-22).	43
Şekil 3. 15 : Yönlere göre yapay aydınlatma ihtiyacı (Franzetti, Fraisse, & Achard, 2004).	45
Şekil 3. 16: İklim bölgelerine göre tercih edilebilecek yapı kabuğu özellikleri (Koçlar Oral, 2010)... ..	46
Şekil 3. 17. Seramik cephe kaplamasına bir örnek (Url-4).....	48
Şekil 3. 18. Prekast cephe sistemi (Url-6).	49
Şekil 3. 19: Mimari cam türleri.	50
Şekil 3. 20 : Saydamlık oranı ve iç mekandaki gün ışığı aydınlık değeri ilişkisi (Hasting, 2007).	55
Şekil 3. 21 : Rio De Janeiro Modern Sanat Müzesi güney cephesi (Url-12).....	57

Şekil 3. 22 : Farklı tiplerde sabit güneş kontrolü metotlarına örnekler (Url-11).	57
Şekil 3. 23 : Trombe duvarı çalışma prensibi (Url-13).	60
Şekil 3. 24 :Kapalı sistem güneş kollektörü sistem şeması (Url-14).	62
Şekil 3. 25 : Güneş pili oluşum prensibi (Moral Uğur, 2006).	62
Şekil 3. 26 : Modül bileşenleri (Url-15).	63
1 Alüminyum çerçeve, 2 Demir oranı düşük cam kapak, 3 Üst EVA folyo	63
(EVA: Etilen Vinil Asetat), 4 Silisyum hücresi, 5 Alt EVA folyo, 6 Arka folyo	63
Şekil 3. 27 : a: Half-cut monokristal b: Monokristal c: Polikristal silisyum güneş modülleri (Url-15, Url-16).	65
Şekil 3. 28 : Tekil fotovoltaik sistem şeması (Waqas, A.; Haroon & Awais, Q.; Mohsin, 2019).	66
Şekil 3. 29 : Yapı bileşenlerinde fotovoltaik panel entegrasyon seçenekleri .	67
Şekil 4. 1 : Antalya ili yapı konumu.	70
Şekil 4. 2 : Diyarbakır ili yapı konumu.	70
Şekil 4. 3 : İstanbul ili yapı konumu.	71
Şekil 4. 4 : Ankara ili konum bilgisi.	71
Şekil 4. 5 : Erzurum ili konum bilgisi.	72
Şekil 4. 6 : Cephe eğimleri için oluşturulan alternatif model kesitleri.	74
Şekil 4. 7 : Opak duvar bileşeni, prekast cephe detayı (Cebeci, 2022).	76
Şekil 4. 8 : Taban döşemesi detayı (Cebeci, 2022).	77
Şekil 4. 9 : Atmosferle temas eden üst döşeme detayı (Cebeci, 2022).	79
Şekil 4. 10 : Belirlenen ısıcam sistemi: 6+1,52+6 mm akustik lamine cam, 16 mm kuru hava, 6 mm Low-E nötral cam (Cebeci, 2022).	81
Şekil 4. 11: Revit, analiz sekmesi.	82
Şekil 4. 12: Malzeme özellikleri için seçenekler.	84
Şekil 4. 13: Analiz ayarları sekmesi.	85
Şekil 4. 14: İşletim programı 12/5 olan binanın hafta içi kullanım yoğunluğu.	87
Şekil 4. 15: İşletim programı 12/5 olan binanın hafta sonu kullanım yoğunluğu.	87
Şekil 4. 16 : Soğutma için belirlenen sıcaklık değerleri.	88
Şekil 4. 17 : Isıtma için belirlenen sıcaklık değerleri.	88
Şekil 4. 18 : M-01 yapı kabuğu modeli.	89
Şekil 4. 19 : M-04 yapı kabuğu modeli.	89
Şekil 4. 20 : M-07 yapı kabuğu modeli.	90
Şekil 4. 21 : M-01 yapı kabuğunun enerji simülasyonunda oluşan model görünüşü.	90
Şekil 4. 22 : M-07 yapı kabuğunun enerji simülasyonunda oluşan model görünüşü.	91
Şekil 4. 23 : Revit güneş “sun settings” ayarları.	105
Şekil 4. 24 : Mass yüzeyin solar analizinin gerçekleştirilmesi.	105
Şekil 4. 25 : Antalya ili için Model 7 güney yönelimi güneş yörüngesi.	106
Şekil 4. 26 : Antalya ili için Model 7 güneydoğu yönelimi solar kazanım analizi görseli.	106
Şekil 4. 27 : Antalya ili için M-01’in güneybatı yönelimine ait solar kazanım analizi görseli.	107
Şekil 4. 28 : Antalya ili güneş enerjisi potansiyeli (Url-24).	108
Şekil 4. 29: Antalya ilinde yatay düzleme gelen güneş radyasyonu hesabı.	108
Şekil 4. 30 : Diyarbakır ili güneş enerjisi potansiyeli (Url-25).	110
Şekil 4. 31 : Diyarbakır ilinde yatay düzleme gelen güneş radyasyonu hesabı.	110
Şekil 4. 32 : İstanbul ili güneş enerjisi potansiyeli (Url-26).	112
Şekil 4. 33 : İstanbul ilinde yatay düzleme gelen güneş radyasyonu hesabı.	112
Şekil 4. 34 : Ankara ili güneş enerjisi potansiyeli (Url-27).	114
Şekil 4. 35 : Ankara ilinde yatay düzleme gelen güneş radyasyonu hesabı.	115
Şekil 4. 36 : Erzurum ili güneş enerjisi potansiyeli (Url-28).	117
Şekil 4. 37 : Erzurum ilinde yatay düzleme gelen güneş radyasyonu hesabı.	117
Şekil 5. 1 : M-01 modelinin güney yönelimi için, güneş öğlesindeki güneş yükseklik açıları ile ilişkisi.	153
Şekil 5. 2 : M-04 modelinin güney yönelimi için, güneş öğlesindeki güneş yükseklik açıları ile ilişkisi.	155
Şekil 5. 3 : M-04 modelinin güney yönelimi için, güneş öğlesindeki güneş yükseklik açıları ile ilişkisi.	156

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 : Köppen-Geiger iklim sınıflandırması, temel iklim tiplerinin özellikleri.	21
Çizelge 2. 2 : Köppen-Geiger iklim tiplerinde kullanılan harfler ve kriterleri.	23
Çizelge 2. 3 :	24
Çizelge 2. 4 : Bölgelere göre aylık ortalama dış sıcaklık değerleri (TS 825, 2013).	25
Çizelge 2. 5 : Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı (F. Ç. Kılıç, 2015; Varınca & Gönüllü, 2012).	27
Çizelge 2. 6 : Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (F. Ç. Kılıç, 2015; Varınca & Gönüllü, 2012).	27
Çizelge 3. 1. İklim bölgelerine göre yapı form oranları ve özellikleri (Olgyay, 1963; Ovalı, 2009). ...	36
Çizelge 3. 2 : İklim tiplerine göre çatı türü, eğimi ve malzemesi için öneriler (Özdemir, 2005).	39
Çizelge 3. 4. Mekanlar için güneşe göre yönelim önerileri (Kuzey yarımküre).	44
Çizelge 3. 3. Bazı cam sistemlerinin ısı ve optik özellikleri (Url-3).	54
Çizelge 3. 4 : Güneş hücresi türleri, avantaj ve dezavantajları	64
Çizelge 3. 5 : Fotovoltaik sistem türleri ile ilgili bilgiler.	65
Çizelge 4. 1. İklim bölgelerine göre pilot iller ve ısıtma derece gün bölgesi ilişkileri.	69
Çizelge 4. 2 : TS 825'e göre derece gün bölgeleri için yapı bileşenlerinin ısı iletkenlik değerleri (Atmaca, 2016; TS 825, 2013).	75
Çizelge 4. 3 : Yapının duvar bileşenleri ve özellikleri.	76
Çizelge 4. 4 : Zemine oturan temel döşemesi katmanları ve özellikleri.	78
Çizelge 4. 5 : Atmosferle temas eden tavan döşemesi katmanları ve özellikleri.	79
Çizelge 4. 6 : Belirlenen cam tipinin optik ve termal özellikleri (Url-7).	80
Çizelge 4. 7: Malzeme termofiziksel özellik parametreleri, açıklama, sembol ve birimleri (Url-9). ...	83
Çizelge 4. 8. Revit enerji analizinde belirlenen seçenekler (Cebeci, 2022).	86
Çizelge 4. 9 : Antalya ili güney yönelimli modeller için enerji yükleri.	92
Çizelge 4. 10 : Antalya ili güneydoğu yönelimli modeller için enerji yükleri.	92
Çizelge 4. 11 : Antalya ili güneybatı yönelimli modeller için enerji yükleri.	93
Çizelge 4. 12 : Antalya ili, modellerin farklı yönelimler için toplam enerji yükleri.	94
Çizelge 4. 13 : Diyarbakır ili güney yönelimli modellerin enerji yükleri.	95
Çizelge 4. 14 :	95
Çizelge 4. 15 : Diyarbakır ili güneybatı yönelimli modellerin enerji yükleri.	96
Çizelge 4. 16 : Diyarbakır ili, modellerin farklı yönelimler için toplam enerji yükleri.	96
Çizelge 4. 17 : İstanbul ili güney yönelimli modellerin enerji yükleri.	97
Çizelge 4. 18 : İstanbul ili güneydoğu yönelimli modellerin enerji yükleri.	98
Çizelge 4. 19 : İstanbul ili güneybatı yönelimli modellerin enerji yükleri.	98
Çizelge 4. 20 : İstanbul ili, modellerin farklı yönelimler için toplam enerji yükleri.	99
Çizelge 4. 21 : Ankara ili güney yönelimli modellerin enerji yükleri.	100
Çizelge 4. 22 : Ankara ili güneydoğu yönelimli modellerin enerji yükleri.	101
Çizelge 4. 23 : Ankara ili güneybatı yönelimli modellerin enerji yükleri.	101
Çizelge 4. 24 : Ankara ili, modellerin farklı yönelimler için toplam enerji yükleri.	102
Çizelge 4. 25 : Erzurum ili güney yönelimli modellerin enerji yükleri.	103
Çizelge 4. 26 : Erzurum ili güneydoğu yönelimli modellerin enerji yükleri.	103
Çizelge 4. 27 : Erzurum ili güneybatı yönelimli modellerin enerji yükleri.	104
Çizelge 4. 28 : Erzurum ili, modellerin farklı yönelimler için toplam enerji yükleri.	104
Çizelge 4. 29 : Antalya ilinde 7 modelin üç yönelim için fotovoltaik panel ile yıllık elektrik enerjisi üretimi.	109
Çizelge 4. 30 : Antalya ilinde 7 model alternatifinin her biri için üç yöne göre elektrik enerjisi üretim miktarları.	109

Çizelge 4. 31 : Diyarbakır ilinde 7 modelin üç yönelim için fotovoltaik panel ile yıllık elektrik enerjisi üretimi.	111
Çizelge 4. 32 : Diyarbakır ilinde 7 model alternatifinin her biri için üç yönelime göre elektrik enerjisi üretim miktarları.	111
Çizelge 4. 33 : İstanbul ilinde 7 modelin üç yönelim için fotovoltaik panel ile yıllık elektrik enerjisi üretimi.	113
Çizelge 4. 34 : İstanbul ilinde 7 model alternatifinin üç yönelime göre elektrik enerjisi üretim miktarları.	114
Çizelge 4. 35 : Ankara ilinde 7 modelin üç yönelim için fotovoltaik panel ile yıllık elektrik enerjisi üretimi.	115
Çizelge 4. 36 : Ankara ilinde 7 model alternatifinin her biri için üç yönelime göre elektrik enerjisi üretim miktarları.	116
Çizelge 4. 37 : Erzurum ilinde 7 modelin üç yönelim için fotovoltaik panel ile yıllık elektrik enerjisi üretimi.	118
Çizelge 4. 38 : Erzurum ilinde 7 model alternatifinin her biri için üç yönelime göre elektrik enerjisi üretim miktarları.	118
Çizelge 4. 39 : Antalya ilinde, 7 modelin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	120
Çizelge 4. 40 : Antalya ilinde 7 modelin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	120
Çizelge 4. 41 : Antalya ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	121
Çizelge 4. 42 : Antalya ilinde 7 modelin güneydoğu yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	122
Çizelge 4. 43 : Antalya ilinde 7 modelin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	122
Çizelge 4. 44 : Antalya ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	123
Çizelge 4. 45 : Antalya ilinde 7 modelin güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için enerji yükü ve kazanımı farkları.	123
Çizelge 4. 46 : Diyarbakır ilinde, 7 modelin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	124
Çizelge 4. 47 : Diyarbakır ilinde, 7 modelin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	125
Çizelge 4. 48 : Diyarbakır ilinde, 7 modelin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	125
Çizelge 4. 49 : Diyarbakır ilinde 7 modelin güneydoğu yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	126
Çizelge 4. 50 : Diyarbakır ilinde 7 modelin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	126
Çizelge 4. 51 : Diyarbakır ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	127
Çizelge 4. 52 : Diyarbakır ilinde 7 modelin güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için enerji yükü ve kazanımı farkları.	127
Çizelge 4. 53 : İstanbul ilinde, 7 modelin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	129
Çizelge 4. 54 : İstanbul ilinde, 7 modelin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	129
Çizelge 4. 55 : İstanbul ilinde, 7 modelin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	130
Çizelge 4. 56 : İstanbul ilinde 7 modelin güneydoğu yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	130
Çizelge 4. 57 : İstanbul ilinde 7 modelin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	131
Çizelge 4. 58 : İstanbul ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	131

Çizelge 4. 59 : İstanbul ilinde 7 modelin güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için enerji yükü ve kazanımı farkları.....	132
Çizelge 4. 60 : Ankara ilinde, 7 modelin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	133
Çizelge 4. 61 : Ankara ilinde, 7 modelin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	134
Çizelge 4. 62 : Ankara ilinde, 7 modelin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	135
Çizelge 4. 63 : Ankara ilinde 7 modelin güneydoğu yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	135
Çizelge 4. 64 : Ankara ilinde 7 modelin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	136
Çizelge 4. 65 : Ankara ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	136
Çizelge 4. 66 : Ankara ilinde 7 modelin güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için enerji yükü ve kazanımı farkları.	137
Çizelge 4. 67 : Erzurum ilinde, 7 modelin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	138
Çizelge 4. 68 : Erzurum ilinde, 7 modelin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	139
Çizelge 4. 69 : Erzurum ilinde, 7 modelin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.	140
Çizelge 4. 70 : Erzurum ilinde 7 modelin güneydoğu yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	141
Çizelge 4. 71 : Erzurum ilinde 7 modelin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	141
Çizelge 4. 72 : Erzurum ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.	142
Çizelge 4. 73 : Erzurum ilinde 7 modelin güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için enerji yükü ve kazanımı farkları.....	142
Çizelge 4. 74 : Alternatif modellerin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükleri.	144
Çizelge 4. 75 : Beş pilot ilin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükleri.	144
Çizelge 4. 76 : Beş pilot ilin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükleri.	145
Çizelge 4. 77 : Beş pilot ilin güney yönelimi için elektrik enerjisi üretimleri.	146
Çizelge 4. 78 : Beş pilot ilin güneydoğu yönelimi için elektrik enerjisi üretimleri.	147
Çizelge 4. 79 : Beş pilot ilin güneybatı yönelimi için elektrik enerjisi üretimleri.	147
Çizelge 4. 80 : Beş pilot ilin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkı.	148
Çizelge 4. 81 : Beş pilot ilin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkı.	148
Çizelge 4. 82 : Beş pilot ilin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkı.	149



AKTİF GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ ENTEGRE EDİLMİŞ ÇOK AÇILI CEPHELERDE, CEPHE EĞİM AÇILARININ OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

ÖZET

Küresel ölçekte yaşanmakta olan iklim değişikliği nedeniyle gezegenin ve gelecek nesillerin yaşam hakkının elinden alınması tehdidi ile karşı karşıya bulunmaktayız. Bunun temel sebebi, karbon salımı artarken karbonu tutan doğal yapıların azalıyor olmasıdır. 2019 yılında Cenevre, İsviçre Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından 2019 yılında hazırlanan ve kamuoyuna sunulan bilimsel rapora göre arazinin kullanım şekli iklim değişikliğinin ana etkenlerinden biridir. İnsan kaynaklı olarak yapılan arazi kullanımındaki değişiklikler ekosistemler üzerine sürdürülmesi mümkün olmayan bir yük yüklemektedir.

Enerji sistemlerindeki değişimle birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Güneş tarlası adı verilen ve arazi üzerine yerleştirilen güneş enerjisi sistemleri yönetmeliklerdeki sınırlandırmalar gereği kıraç ve verimsiz arazilere kurulabilse de ekosistem ve biyoçeşitlilik açısından detaylı değerlendirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanı sıra güneş tarlası uygulamalarının artmasıyla verimsiz arazilerin kullanımı şartının esnetilmesi riski, enerjinin taşınması sırasındaki kayıplar ve çevresel etkisi göz önünde bulundurulduğunda farklı çözümlerin bulunması elzem olmaktadır. Bu konuda hali hazırda yapılaşmış alanların kullanımı ile arazi kullanımındaki değişiklik sorununun ve enerjinin taşınması sırasındaki kayıpların giderilmesi mümkün olabilmektedir. Mimari ve mühendislik çözümleri ile yapı kabuklarının enerji üretiminde verimli kullanımı sağlanabilmektedir.

Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde problem tanımlanmış, çalışmanın amaç, kapsam ve yöntemine yer verilmiştir. İkinci bölümde güneş açıları, güneş geometrisi ve kullanım alanları, güneş radyasyonu-yüzey ilişkileri, Türkiye'deki iklim tipleri ve Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli konularında bilgilere yer verilmiştir. Üçüncü bölümde güneş mimarisi ile ilgili yerleşim ve yapı ölçeğindeki tasarım değişkenleri ile güneş enerjisi sistemleri ele alınmıştır. 4. Bölümde 3. bölümden elde edilen bilgiler ışığında tasarım değişkenleri belirlenmiştir.

Çalışmanın yönteminde bu değişkenlerin belirlenme metotlarına detaylı olarak yer verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapı cephesine farklı açılarda verilen eğimlerle kullanılabilir yüzey alanı artırılarak fotovoltaik panelin entegrasyonu için alan oluşturulmuştur. Bu alandan elde edilecek enerjinin optimizasyonunun araştırılması için 7 farklı cephe alternatifi oluşturulmuştur. Bir ofis yapısı için tasarlanan yapı kabuğunun kesit düzleminde oluşturulan çok açılı cephe kurgusu sayesinde yapı kendini gölgeleyen bir forma sahip olmaktadır. Oluşturulan 7 alternatif modelin Türkiye'deki iklim tiplerini temsil eden Antalya (sıcak nemli), Diyarbakır (sıcak kuru), İstanbul (ılımlı nemli), Ankara (ılımlı kuru), Erzurum (soğuk iklim) illeri için enerji verimliliği incelenmiştir.

Yapı tasarım parametreleri belirlenmiş 7 alternatif yapı modelinin güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimleri için enerji analizleri ve fotovoltaik panel yerleşimleri için güneş radyasyon kazanımları Revit (2022) programı ile hesaplanmıştır. Elde edilen radyasyon kazanımları üzerinden belirlenen verimlilik değerine göre potansiyel elektrik enerjisi miktarları her bir modelde 3 yönelim için belirlenmiştir. Farklı iklim tipleri için alternatif cepheler enerji yükleri ve potansiyel elektrik enerjisi kazanımlarının farkı üzerinden kıyaslanarak enerji verimliliğini sağlayan optimum model belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar belirlenen pilot iller için grafikler ve tablolar yardımıyla ifade edilmiştir. 4. Bölümün sonunda bu grafikler üzerinden değerlendirme yapılmıştır ve 5. bölümde sonuç ve öneriler güneş açıları ile ilişkilendirilerek sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: güneş mimarisi, akordeon cephe, çok açılı cephe, enerji verimliliği, aktif güneş enerjisi sistemi, fotovoltaik panel, PV panel

A RESEARCH ON OPTIMIZATION OF FACADE INCLINE ANGLES IN MULTI ANGLE FACADES THAT INTEGRATED ACTIVE SOLAR ENERGY SYSTEM

SUMMARY

Due to the global climate change, we are faced with the threat of taking away the right to life of the planet and future generations. The main reason for this is that while carbon emissions increase, the natural structures that hold carbon are decreasing. According to the scientific report prepared by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in Geneva, Switzerland in 2019 and presented to the public in 2019, the use of land is one of the main factors of climate change. And it is imposed on ecosystems an unsustainable burden by human.

With the change in energy systems, the use of renewable energy sources is increasing. Although solar energy systems, called solar fields, placed on the land, be installed on barren and unproductive lands due to the limitations in the regulations, detailed evaluations are needed in terms of ecosystem and biodiversity. In addition, considering the risk of rule bending the use of unproductive lands with the increase in solar field applications, the losses during the transportation of energy and the environmental impact, it is essential to find different solutions. In this regard, it is possible to eliminate the problem of changes in land use and the losses during the transportation of energy with the use of already built areas. With architectural and engineering solutions, efficient use of building envelopes in energy production can be achieved.

This study consists of 5 parts. In the first chapter, the problem is defined and the purpose, scope and method of the study are given. In the second part, information about sun angles, solar geometry and usage areas, solar radiation-surface relations, climate types in Turkey and Turkey's solar energy potential are given. In the third chapter, design variables related to solar architecture at the scale of settlement and building and solar energy systems are discussed. In Chapter 4, design variables were determined in the light of the information obtained from Chapter 3. In the method of the study, the methods of determining these variables are given in detail.

Within the scope of this study, the usable surface area has been increased with the slopes given to the building facade at different angles, and an area for the integration of the photovoltaic panel has been created. In order to investigate the optimization of the energy to be obtained from this area, 7 different facade alternatives were created. Thanks to the multi-angle facade setup created on the cross-sectional plane of the building envelope designed for an office building, the building has a form that shadows itself. The energy efficiency of the 7 alternative models created for the cities of Antalya (hot humid), Diyarbakır (hot dry), İstanbul (moderate humid), Ankara (moderate dry), Erzurum (cold climate) were examined.

Energy analyzes for south, southeast and southwest orientations of 7 alternative building models, whose building design parameters were determined, and solar radiation gains for photovoltaic panel placements were calculated with the Revit (2022) program. According to the efficiency value determined over the obtained radiation gains, the potential electrical energy amounts were determined for 3 orientations in each model. For different climate types, alternative facades are compared over the difference of energy loads and potential electrical energy gains, and the optimum model that provides energy efficiency has been determined. The results obtained are expressed with the help of graphs and tables for the determined pilot provinces. At the end of the 4th chapter, an evaluation was made on these graphs, and in the 5th chapter, the results and suggestions were presented in relation to the sun angles.

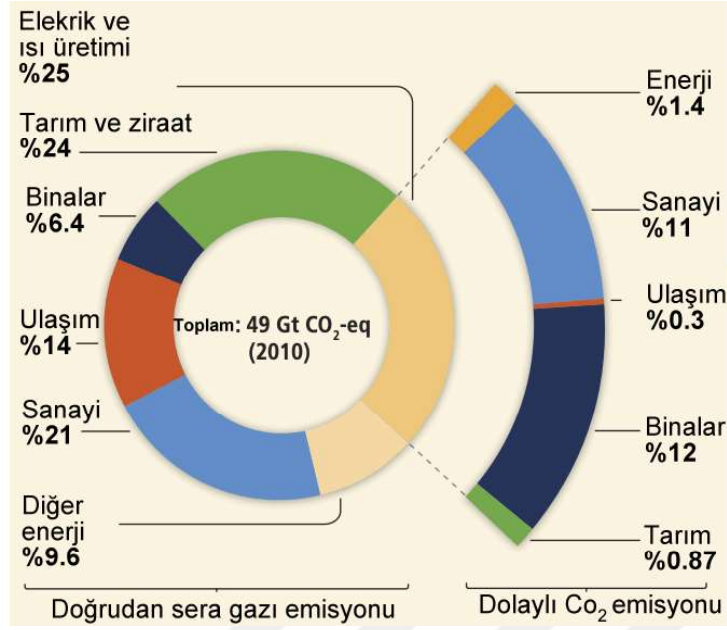
Key words: solar architecture, accordion facade, multi-angle facade, energy efficiency, active solar energy system, photovoltaic panel, PV panel



1. GİRİŞ

Fosil kaynaklı enerji kaynaklarının giderek tükeniyor olması bir sorun olarak gündemimizdedir. Petrol arama çalışmalarında yeni rezervler keşfedilse de keşfedilen her rezerv işlendiğinde yıllarca tutulmuş olan karbon, insan kaynaklı olarak atmosfere bırakılmaktadır. Bu nedenle temel sorununuz, küresel ölçekte yaşanmakta olan iklim değişikliği nedeniyle gezegenin ve gelecek nesillerin yaşam hakkının elinden alınması tehdidi ile karşı karşıya olmamızdır. İklim değişikliğinin temelindeki sera etkisine neden olan gazların atmosferde artış göstermesi ile kara ve denizlerdeki sıcaklık artışı küresel ısınmaya buna bağlı olarak da iklim değişikliği yaşanmasına neden olmaktadır. “İklim değişikliği” bir an önce önlem alınması ve harekete geçilmesi gerektiğini vurgulamak amacıyla son yıllarda “iklim krizi” olarak anılmaya başlanmıştır.

Sanayileşme, nüfus artışı, şehirleşme ve yaşam standartlarının yükselmesi enerji tüketiminin ve CO₂ emisyonunun kayda değer biçimde artmasına neden olmuştur. 1750’li yıllarda başlayan sanayi devrimi ile günümüze kadar gelindiğinde CO₂ oranında %40’lık bir artış görülmüştür. IPCC Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli’ne göre CO₂ artışının öncelikli sebebi petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanımı, diğer bir önemli sebebi ise arazi kullanımındaki değişikliklerdir. CO₂’i tutan yapılar azalırken emisyona sebep olan faaliyetler artış göstermektedir. IPCC 2013 raporuna göre CO₂ emisyonunun sektörel dağılımı Şekil 1.1’de ifade edilmiştir.



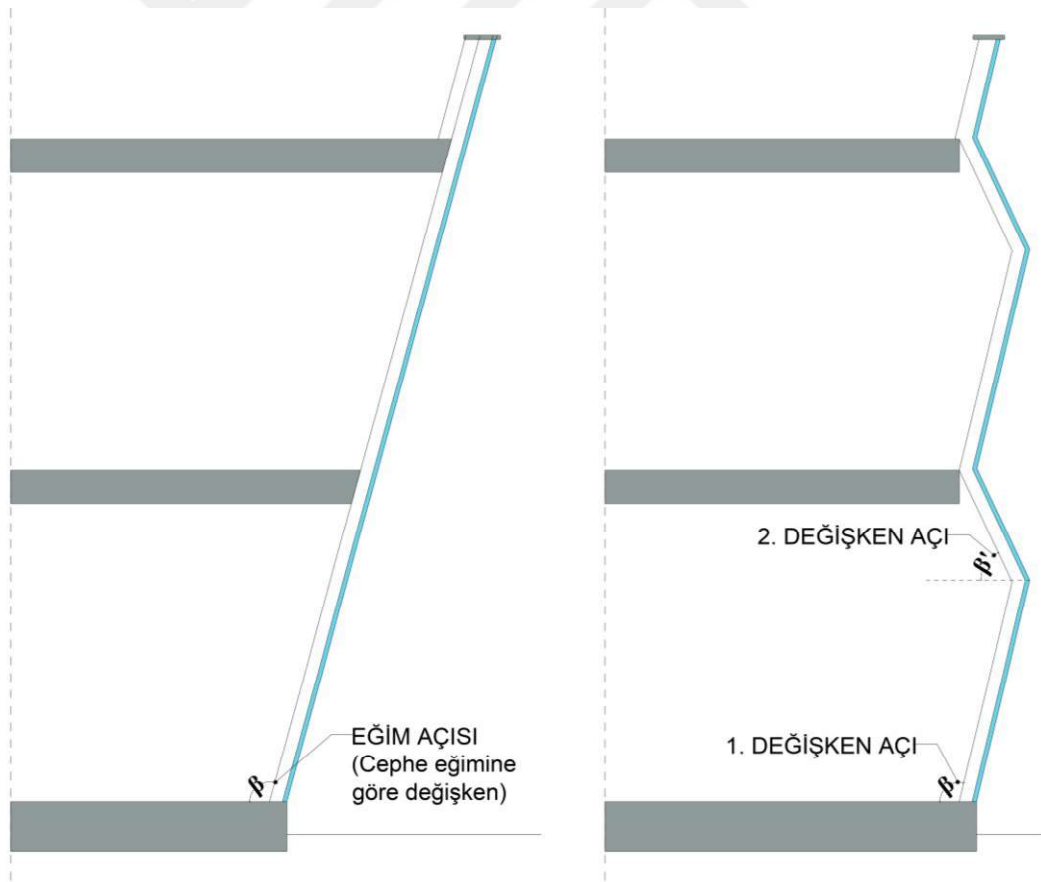
Şekil 1. 1: IPCC 2013 Raporuna göre doğrudan ve dolaylı olarak küresel ısınmaya yol açan CO₂ emisyonu dağılımı (Ölçer B., 2019).

2018 yılında Birleşmiş Milletler'in isteği üzerine Paris Antlaşması sonrası IPCC'nin yayınladığı "1,5 °C'lık Küresel Isınma" başlıklı özel raporda küresel sıcaklık artışının 1,5 °C olarak sınırlandırılabilmesi için 2030 yılına kadar fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonunun yarıya indirilmesinin zorunluluğu ve net CO₂ emisyonunun 2050 yılına kadar sıfır düzeyine getirilmesi gerektiği ele alınmıştır. IPCC 2013 raporuna göre atmosfere CO₂ salınımında %25'lik bir oranla en büyük pay elektrik ve ısı eldesi olup bunun da yarısı binalara aittir. (Şekil 1.1)

Binaların sebep olduğu CO₂ emisyonu oranının azaltılması için güneşe bağlı tasarım kapsamında güneşten yararlanmak ve korunmak için çeşitli mimarlık ve mühendislik çözümleri mevcuttur ve bu çözümler günden güne geliştirilmektedir. Yapının bulunduğu konuma ve iklime bağlı olarak güneşten yararlanma ve korunma ihtiyacının büyük oranda pasif yöntemler ile sağlanması enerji yükünü azaltacaktır. Pasif yöntemlerin bir kısmı kentsel ölçekteki bir kısmı ise yapı ölçeğindeki tasarım aşamalarında yer almaktadır. Kentsel ölçek, başka bir ifadeyle yerleşme ölçeğindeki yer seçimi, bina aralıklarının belirlenmesi ve yönelme ile güneşin yapı üzerindeki etkinliği değişiklik göstermektedir. Yapı yönelmesinin kentsel ölçek ve yapı ölçeği ara kesitinde olduğu ifade edilebilir. Arazi biçimi, arazi çevresindeki yolların ve sokakların konumu yapı yönelmesini etkilemektedir. Yönetmelikler mimarları sınırlandırıyor ve yönlendiriyor olsa da arazi içindeki yapının arazide

konumlandırılması dolayısıyla da yönlendirilmesi mimarların tasarım alanına da girmektedir. Yapı ölçeğinde yer alan yapı formunun oluşturulması, mekan organizasyonu ve kabuk bileşenlerinin seçilmesi gibi tasarım aşamaları mimarların bilgisi ve deneyimi doğrultusunda şekillenmektedir.

Yapı formunun belirlenmesi ve yapı kabuğunun oluşturulmasında güneş ışınlarından faydalanmak veya korunmak amacıyla plan düzleminde çeşitli çözümler üretilebileceği gibi kesit düzleminde cephede eğimler oluşturmak da mümkündür. Cephedeki eğimi tek açılı ve çok açılı eğim olarak sınıflandırabiliriz (Şekil 1.2). Literatürde akordeon ve kırıklı cephe olarak da ifade edilen çok açılı cepheler güneş kontrolünün yanı sıra cephe yüzeyinde aktif sistemler için de alan oluşturulmasını ve aktif sistemlerin eğik açılı yerleşmesi ile verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. Dünyada farklı örneklerine rastlanabilen eğimli cephelerin güneş açılarına bağlı optimize edilmiş tasarımının, enerji verimliliğine olumlu katkısının olacağı görülmüştür.



Şekil 1. 2 : Tek açılı ve çok açılı cephe eğimleri.

1.1 Çalışmanın Amacı

Dünya çapında yaşanan ekolojik sorunların sebeplerinden biri yapıların kullanım aşamasında tükettikleri enerjinin yoğunluğu ve bu enerjinin yenilenemeyen kaynaklardan elde edilmesidir. Enerji üretiminde kullanılan, CO₂ emisyonunu arttıran fosil yakıtlar ve yenilenebilir olarak kabul edilen ancak su döngüsünün bozulmasına sebep olabilen HES sistemleri ekolojik dengeyi olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz etkilerin azaltılması için yenilenebilir kaynaklara yönelme gerekliliği söz konusudur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneşten enerji üretmek için hektarlarca alanı güneş tarlalarına çevirmek yerine yapı kabuklarının kullanılması olumlu sonuçlar doğuracaktır.

Yapılarda enerji tüketimini azaltmak için yapı ölçeğindeki parametrelerden olan yapı formu, mekan organizasyonu ve yapı kabuğu bileşenleri ile pasif güneş enerjisi sistemlerinden yararlanılması öncelikli olmalıdır. Güneşten pasif yararlanma yöntemlerinden yararlanılmasının ardından aktif güneş enerjisi sistemlerini kullanarak da enerji sağlanabilmesi mümkündür. Bu çalışmada yapı formu tasarım değişkenlerinden olan cephe eğimi ve cepheye entegre fotovoltaik panel kullanımı üzerinde durulmuştur.

Ofis yapıları için kesit düzleminde oluşturulan çok açılı cephenin eğim açılarında yapılacak değişikliklerin ısıtma-soğutma yüklerine ve solar enerji kazanımlarına olan etkisi araştırılmıştır. Türkiye'nin iklim tiplerini temsil eden Antalya, Diyarbakır, İstanbul, Ankara ve Erzurum illeri için güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimleri için analizler gerçekleştirilmiştir. Bu beş pilot il için enerji yükü ve aktif güneş enerjisi sisteminden elde edilen enerji kazanımı arasındaki farklar üzerinden optimum sonucu veren yapı kabuğunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bina cepheleri genel olarak zemine dik açılı olacak biçimde tasarlanıyor olsa da son yıllarda tasarım kaygılarının kullanıcı konforu yönünde değişmesi, yapı malzemelerinin geliştirilmesi, cam sistemlerinin hafifletilmesi, inşaat ve mühendislik uygulamalarındaki gelişmeler sayesinde eğimli cepheler yaygınlaşmıştır. Bunun yanı sıra güneşten maksimum fayda sağlayarak verimliliğinin artırılması amacıyla yapı cephelerinde kullanılan fotovoltaik panellerin, cepheye uygun açılarda yerleştirilmesi için çeşitli uygulama çözümleri geliştirilmektedir. Maliyetinin daha yüksek olması

sebebiyle özellikle ofis gibi yapılarda karşılaştığımız eğim uygulaması güneşin cephe üzerindeki etkinliğini değiştirmektedir. Bu nedenle cephe eğim açılarının yapı ısı performansını için optimize edilmesi gerekmektedir.

Aktif sistem entegre edilmiş çok açılı cephelerde daha fazla kullanım alanı ortaya çıkmakta ve güneş ışınları fotovoltaik paneller üzerine daha uygun açılarda gelebilmektedir. Bu çalışmada aktif güneş enerjisi sistemi olan fotovoltaik panellerin güneş radyasyon kazanımları ile elde ettikleri enerji miktarları ve cephe eğim açlarına bağlı olarak yapı ısı performansı irdelenmiştir. Güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimleri için yapının yıllık toplam ısıtma ve soğutma yükü ile fotovoltaik panellerle elde edilen yıllık enerji kazancı arasındaki farklar değerlendirilmiştir ve optimum açı Türkiye’deki beş iklim bölgesinin pilot şehirleri (Antalya, Diyarbakır, İstanbul, Ankara ve Erzurum) için sağlanmaya çalışılmıştır.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Çalışmanın 2. ve 3. bölümünde, literatür taramaları ile konu akışı oluşturulmuş, ulusal ve uluslararası referans kaynaklar ile uygulayıcı firmalardan elde edilen bilgilerin sentezine yer verilmiştir. Bu bölümlerden elde edilen bilgiler ışığında çalışmanın tasarım değişkenleri tanımlanarak tezin özgün bölümü olan 4. Bölüm oluşturulmuştur.

Bu tasarım değişkenlerinin belirlenmesine ait bilgiler aşağıdaki gibidir:

Çalışmanın gerçekleştirileceği pilot illerin belirlenmesi

L. Zeren ve arkadaşları tarafından yapılan sınıflandırmaya göre Türkiye’de 5 ana iklim tipi bulunmaktadır. Bunlar, sıcak nemli, sıcak kuru, ılımlı nemli, ılımlı kuru ve soğuk iklim bölgeleridir (Zeren ve ark., 1987). Çalışmanın tüm adımları, bu iklimleri temsil eden sırasıyla Antalya, Diyarbakır, İstanbul, Ankara ve Erzurum illeri için gerçekleştirilmiştir.

Yapının güneş mimarisi değişkenlerinin belirlenmesi

Yerleşme ölçeğindeki değişkenlerin belirlenmesi

Çalışmada model ve analiz programı olarak kullanılan Revit (2022) programında illere göre konum ayarı yapıldığında ilk seçenek olarak çıkan ve aynı zamanda kent merkezlerini de temsil eden konumlar üzerinden çalışma yürütülmüştür. Yapı çevresinde güneş ışınlarını engelleyici herhangi bir çevresel faktörün bulunmadığı kabul edilmiştir.

Yapı ölçeğindeki değişkenlerin belirlenmesi

➤ Yapının yönlendirilmesi

Yapının arazi ve çevre koşulları nedeniyle her zaman güney yöneliminin mümkün olamayacağı öngörülerek güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimleri olmak üzere üç yönelim için çalışma gerçekleştirilmiştir.

➤ Yapı formunun belirlenmesi

○ Yapı biçim faktörü ve yüksekliğinin belirlenmesi

5 iklim bölgesi için uygun olabilecek ve ofis yapısının plan çözümüne uygun bir biçim faktörü oluşturulması hedeflenmiştir. Bunun için taslak bir plan çizilmiştir. Yapının plan düzlemindeki ölçüleri güney cephesi geniş olacak şekilde 30x20 metrelik bir taban alanı ile kat yüksekliği 4 metre olan bir ofis yapısı tasarlanmıştır. Bu bilgiler için ofis uygulama projeleri incelenmiştir.

○ Cephe eğim alternatiflerinin belirlenmesi

4 metre kat yüksekliğine sahip yapıda taban döşemesi üstünden 2,5 metre yüksekliğinde yatay bir aks oluşturulmuştur. Bu oluşturulan aks üzerinde, dış tarafta 20'şer cm. aralıklarla altı adet nokta belirlenmiş ve bu noktaları kırılma noktası olarak kabul eden, farklı eğimde 6 adet cephe alternatifi oluşturulmuştur. Bu 6 cephe ve bir adet zemine dik cephe olmak üzere 7 farklı cephe üzerinde analizler yapılmıştır.

➤ Kabuk için opak ve saydam bileşenlerin belirlenmesi

Yapı bileşenlerinin belirlenmesinde ofis projeleri incelenmiş, uygulayıcı firmalar ile görüşmeler yapılmıştır. Tüm iklim tiplerinde kullanılmak üzere TS825 (Binalarda Isı Yalıtım Kuralları) standardında (2013) 3. derece gün bölgesi için verilen U değerlerine uygun olacak nitelikte yapı kabuğu katmanları seçilmiştir.

➤ Fotovoltaik panel türü ve verimliliğinin belirlenmesi

Sektördeki firmalar ile görüşmeler yapılmış ve siteleri üzerinden incelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda panel türü ve verimliliğine karar verilmiştir.

Yukarıdaki parametrelerin belirlenmesinin ardından çalışmada deneysel yöntem kullanılmıştır, sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanmıştır.

Enerji yükleri ve solar kazanım hesaplamalarına göre optimum modelin belirlenmesi

- Alternatif yapı modellerinin oluşturulması

Kırıklı (akordean) cephe tasarımına sahip yapı modelleri Revit (2022) programında mass modeli yardımı ile oluşturulmuş ve malzeme değerleri 4.2.2.2 Yapı kabuğu opak ve saydam bileşenlerin tanımlanması bölümünde belirtilen değerlere uygun olarak tanımlanmıştır. Yapı modelleri üç boyutlu görseller ile, yapılan analiz sonuçları ise grafikler ve tablolar ile ifade edilmiştir.

- Modellerin yıllık ısıtma ve soğutma yükünün belirlenmesi

Yapı kabuğundaki eğim değişiklikleri yapının ısıtma ve soğutma enerji yükünde değişikliklere sebep olmaktadır. Bu nedenle diğer enerji yüklerine ait verilere bu çalışmada yer verilmemiştir.

Yıllık ısıtma ve soğutma yüklerinin simülasyonu ‘energy analysis’ sekmesi ile gerçekleştirilmiş ve Green Building Studio online sekmesinden ısıtma ve soğutma yükleri alınmıştır.

- Fotovoltaik panellerde elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi üretimlerinin belirlenmesi

Modellerin spandrel bölümlerinden (2. yüzeyden) elde edilebilecek güneş radyasyon kazanımı simülasyonu için programda ‘solar analysis’ sekmesi kullanılmıştır. Buradan elde edilen radyasyon kazanım miktarları fotovoltaik panel için belirlenen verimlilik yüzdesi ile çarpılarak elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi miktarı belirlenmiştir.

- Pilot iller için optimum enerji verimliliğine sahip alternatif modelin belirlenmesi

Modeller için hesaplanan yıllık ısıtma ve soğutma yükleri ve potansiyel elektrik enerjisi üretim miktarları grafikler ile karşılaştırılmıştır. Enerji yükleri ve üretilen elektrik enerjisi miktarının farkları üzerinden elde edilen verilere göre alternatif yapı modellerinin verimlilikleri grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir.



2. GÜNEŞ GEOMETRİSİ, GÜNEŞ ENERJİSİ VE ETKİLERİ

Güneş, Dünyadaki yaşamın temel enerji kaynağı ve tüm iklimsel olayların ana sebebidir. Dünyanın şekli, eksenindeki eğikliği ve Güneş yörüngesindeki hareketine bağlı olarak Güneş ışınlarının Dünya üzerindeki etkinliği değiştiği için iklim kuşakları oluşmuştur. Oluşan iklim kuşaklarına bağlı olarak insanlar kendi yaşam alanlarını düzenlemek için farklı çözüm arayışlarında bulunmuş ve günümüze kadar bu çözümlerini geliştirerek aktarmıştır. Geleneksel çözümlerde doğa koşulları ile uyum içinde yapılan tasarımlara rastlamak mümkündür. Sıcak bölgelerde güneşten korunaklı mekanların olduğu, soğuk bölgelerde ise güneşlenme süresini arttıracak tasarımlar yapılmıştır. Güneş enerjisinin verimli kullanılabilmesi için güneş açılarının, yapının bulunduğu iklim kuşağının ve kullanılacak materyallerin güneş ışınımından nasıl etkilendiğinin bilinmesi önemlidir.

Güneş enerjisi, aktif ve pasif bina ısıtması ve iklimlendirmesi, elektrik enerjisi üretimi, suyun damıtılması, sıcak su temini, yüzme havuzu ısıtılması, kurutma ve pişirme işlemleri gibi pek çok alanda kullanılabilmektedir (F. Ç. Kılıç, 2015; Öztürk, 2012b; Varınca & Gönüllü, 2012).

2.1 Güneş Açıları

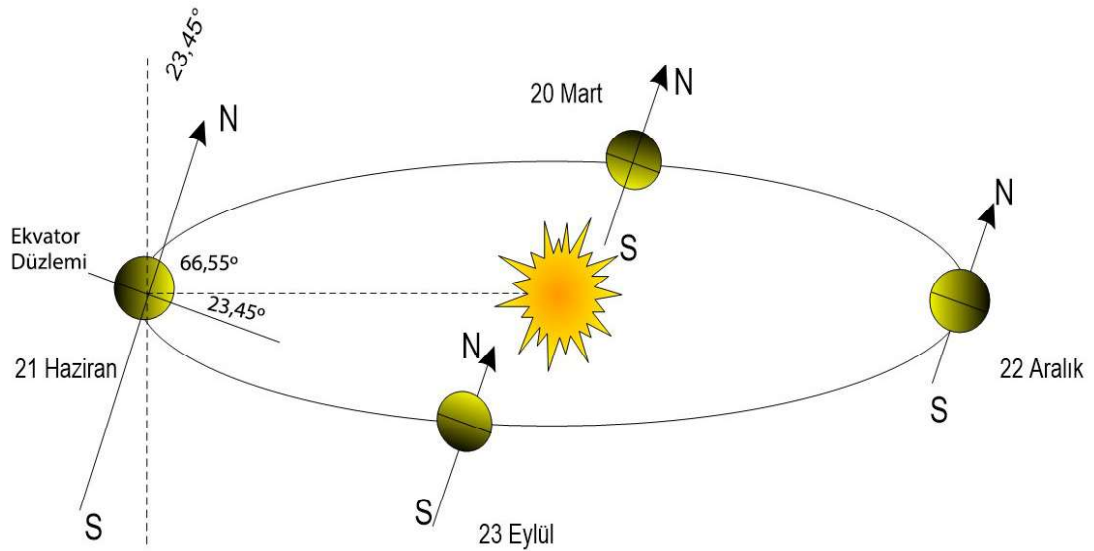
Dünyanın güneş çevresindeki hareketi, yörüngesindeki eğikliği ve formuna bağlı olarak güneşten gelen ışınlar ile dünya üzerindeki yüzeyler arasında farklı açılar oluşmaktadır. Bu açılar dünyanın yıllık ve günlük hareketlerine göre değişiklik göstermektedir. Bu açılara bağlı olarak güneşin dünya üzerindeki etkinliği de değişmektedir (Öztürk, 2012b). Aşağıda bu açılar tanımlanmıştır.

2.1.1 Deklinasyon açısı (δ)

Dünya güneşin çevresindeki dönüşünü bir yörünge düzleminde gerçekleştirir. Dünyanın kendi çevresindeki dönüşünü gerçekleştirdiği kutupsal eksen ile bu yörünge arasında $66,55^\circ$ 'lik bir sabit açı vardır. Dünya $23,45^\circ$ 'lik eksen eğikliğine sahiptir (Öztürk, 2012b). Bu eksen eğikliği nedeniyle mevsimler oluşmakta gece gündüz sürelerinde farklılıklar görülmektedir.

Deklinasyon açısı, güneşin merkezi ile dünyanın merkezini birleştiren doğrunun ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Deklinasyon açısına sapma açısı da denilmektedir. Bu açı dünyanın güneşin çevresindeki dönüşü sırasında devamlı olarak değişir ve $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ açıları arasında bir değer alır.

Güneş ışınlarının dönencelere dik geldiği tarihler, solüst tarihleri olarak tanımlanmaktadır. Işınların yengeç dönencesine dik geldiği 21 Haziran gününde deklinasyon açısı $23,45^\circ$, oğlak dönencesine dik geldiği 21 Aralık gününde ise $-23,45^\circ$ açı değerini alır. Güneş ışınlarının ekvatora dik geldiği 21 Mart ve 23 Eylül ekinoks tarihlerinde deklinasyon açısı 0° 'dir. Güneş açısı hesaplamalarında ve simülasyon programlarında çoğunlukla ekinoks ve solüst tarihleri üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Bu nedenle bu tarihlerdeki deklinasyon açıları yukarıda belirtilmiştir. Şekil 2.1'de Dünya'nın Güneş'e göre yörüngesi ve deklinasyon açısı aktarılmıştır.

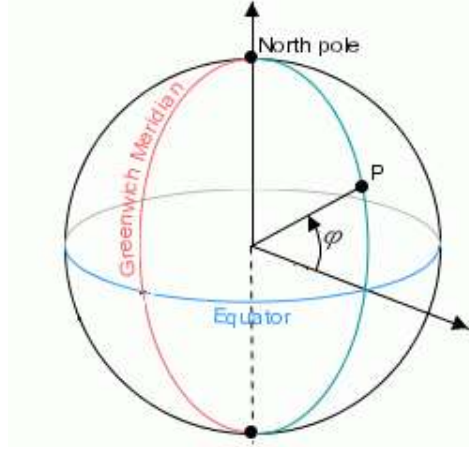


Şekil 2. 1 : Dünyanın güneşe göre yörüngesi ve deklinasyon açısı

(Öztürk, 2012b; Şenpınar, 2006).

2.1.2 Enlem açısı (ϕ)

Enlem açısı; Dünya üzerindeki herhangi bir noktayı dünyanın merkezine birleştiren doğrunun ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır (Şekil 2.2). Enlem dereceleri ekvatorun kuzeyi için pozitif, güneyi için negatif kabul edilir. Enlem açısı, $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ arasında değişmektedir. Türkiye 36° - 42° kuzey enlemleri, 26° - 45° doğu boylamları arasında yer almaktadır.

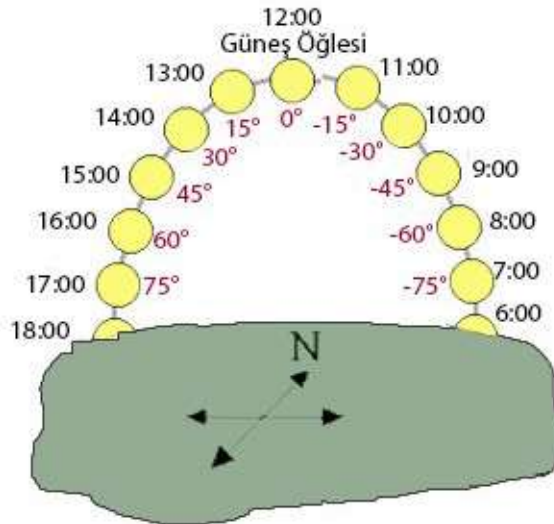


Şekil 2. 2 : Enlem açısı (ϕ) (Url-1).

2.1.3 Saat açısı (ω)

Saat açısı, zamanın açısal ölçüsüdür ve bir saat 15° boylama eşittir. Dünya kendi çevresindeki bir tam turu (360° 'lik dönüşünü) 24 saatte; yani bir saatte 15° 'lik açı tamamlamaktadır.

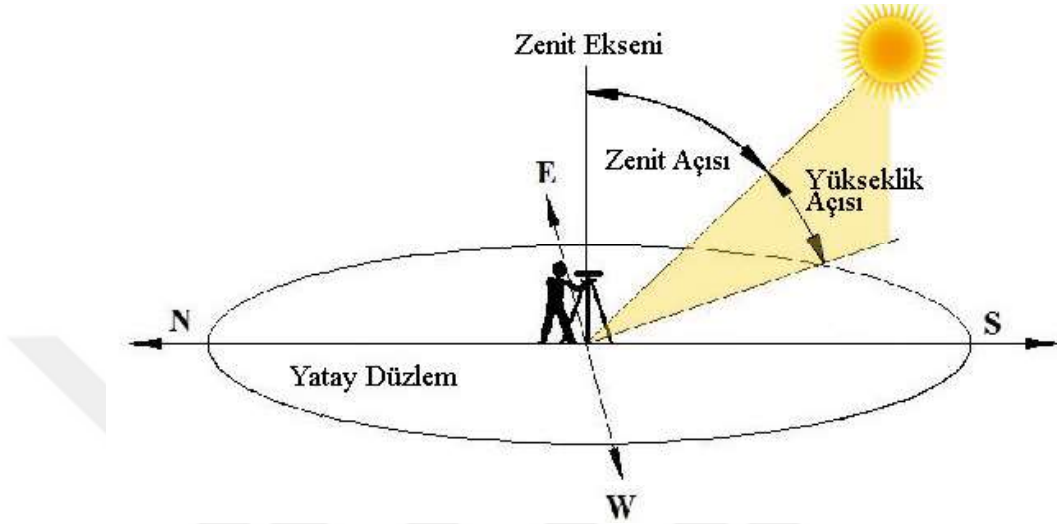
Güneş saati (GS), güneş öğlesinde 12'dir. Saat 12 de yani güneş öğlesinde saat açısı 0° 'dir. Belirlenen bir saatteki güneş açısını bulmak için güneş öğlesi ile olan saat farkı bulunur ve 15 sabit sayısı ile çarpılır. Saat açısı güneş öğlesinden önceki saatlerde (-), sonraki saatlerde ise (+) değerini alır. Saat açıları güneş öğlesine göre simetriklerdir. Saat 10.00'da saat açısı -30° iken 14.00'de 30° 'dir (Şekil 2.3).



Şekil 2. 3 : Kuzey yarımkürede saat açısı ve yerel güneş zamanı arasındaki ilişki (Abuşka, 2012).

2.1.4 Zenit açısı (ψ)

Zenit açısı güneş ışınlarının yatay yüzeyin normali ile yaptığı açıdır (Şekil 2.4). Yatay yüzeyin normaline zenit eksenini de denilmektedir. Güneşin doğuş ve batışı sırasında zenit açısı 90° 'dir. Güneş öğlesinde ışınların dik geldiği durumda 0° 'dir (Öztürk, 2012b; Şenpınar, 2006)



Şekil 2. 4 : Zenit Açısı (Terzioğlu, Kazan, & Sungur, 2015).

Zenit açısı (ψ); deklinasyon açısı (δ), enlem açısı (ϕ) ve saat açısı (ω)'na bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

$$\cos(\psi) = \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \cos(\omega)$$

Zenit açısı ve güneş yükseklik açısı toplamı 90° 'dir.

$$\psi = 90 - \alpha \quad \alpha: \text{Güneş yükseklik açısı}$$

2.1.5 Güneş Yükseklik Açısı (α)

Güneş yükseklik açısı, güneş ışınlarının doğrultusu ile yatay düzlem arasında oluşan açıdır.

$$\alpha = 90 - \psi \quad (\psi: \text{Zenit Açısı})$$

$$\alpha = \sin^{-1} [\cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\phi)]$$

$$\alpha = \text{Yükseklik açısı} \quad \delta = \text{Deklinasyon açısı} \quad \phi = \text{Enlem açısı} \quad \omega = \text{Saat açısı}$$

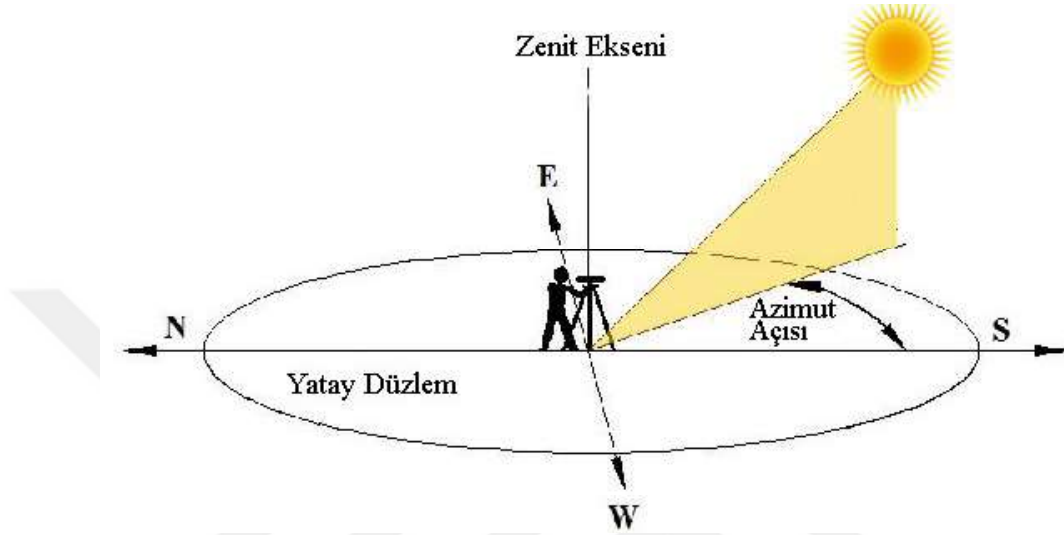
2.1.6 Azimut açısı

Azimut açısı, güneş azimut açısı ve yüzey azimut açısı olarak iki konu başlığı altında incelenmektedir.

2.1.6.1 Güneş azimut açısı (γ_s)

Güneş ışınlarının yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır (Şekil 2.5). Güneş azimut açısı güneş öğlesinde (saat 12’de) 0° ’dir. Güneyden doğuya doğru oluşan açılar (-), güneyden batıya doğru oluşan açılar ise (+) değerini alır.

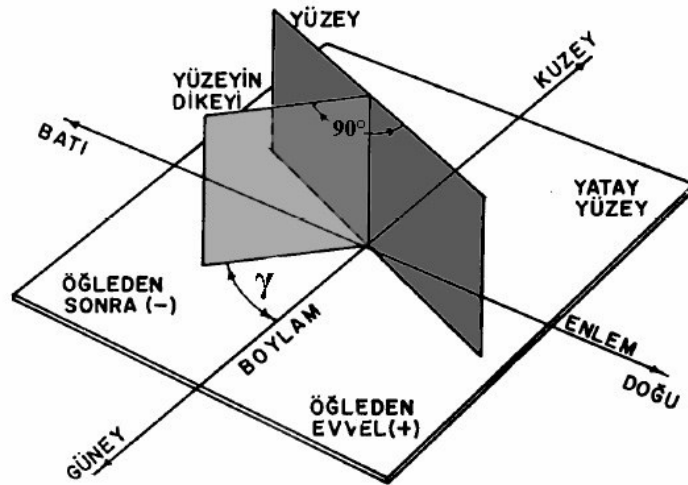
$$\gamma_s = \sin^{-1} [\cos (\delta) \sin (\omega) / \cos (\alpha)]$$



Şekil 2. 5 : Güneş Azimut Açısı (Terzioğlu et al., 2015).

2.1.6.2 Yüzey azimut açısı (γ)

Yüzeyin normali ile kuzey-güney doğrultusu arasındaki açı, yüzey azimut açısını vermektedir. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi yüzey azimut açısı öğleden önce (+), öğleden sonra (-) değerini alır. Güneye dik olan yüzeylerde yüzey azimut açısı $\gamma=0^\circ$ ’dir.



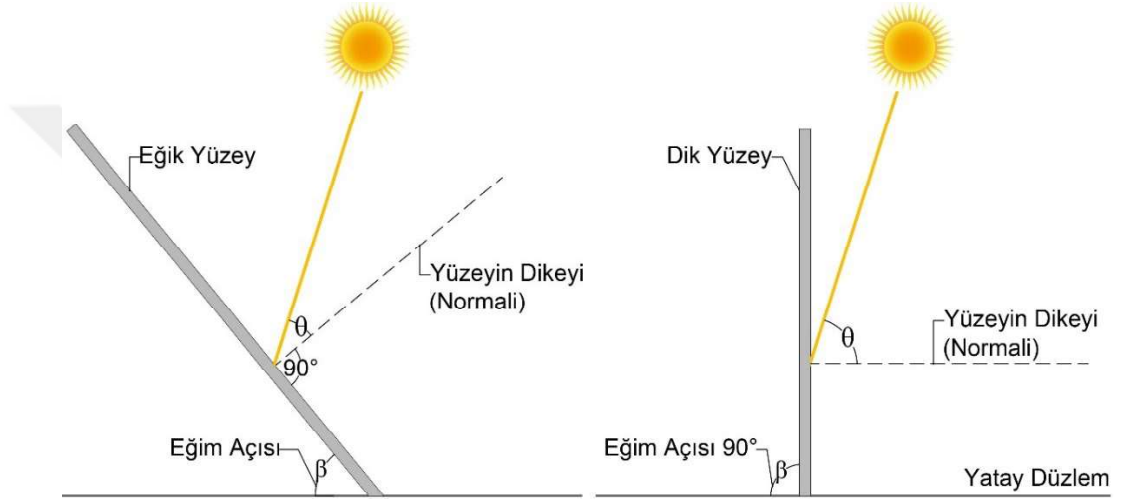
Şekil 2. 6 : Yüzey azimut açısı

2.1.7 Geliş açısı (θ)

Geliş açısı, güneş ışınları ile düşey yüzeyin normali arasındaki açı değeridir. Güneye dik yüzeyde güneş öğlesinde doğrudan güneş ışınlamının geliş açıları Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

Eğim açısı (β)

Yatay düzlem ile dikkate alınan yüzey arasında oluşan açı eğim açısıdır. Eğim açısı $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ arasında değişmektedir (Duffie & Beckman, 2013; Öztürk, 2012b; Şenpınar, 2006).



Şekil 2. 7 : Güneye yönelmiş yüzeyin güneş öğlesinde geliş açısı (θ) ve eğim açısı (β) (Cebeci,2021).

$$\theta = \cos^{-1} [\cos(\delta) \cos(\varphi - \beta) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\varphi - \beta)]$$

β : Dikkate alınan yüzeyin yatay düzlemle yaptığı eğim açısı

δ : Deklinasyon açısı ω : Saat açısı φ : Enlem açısı

2.1.8 Profil açısı (Ω)

Güneş ışınlarının cepheye dik düşey düzlem üzerindeki izdüşümü ile yatay düzlem arasındaki açıdır (Şekil 2.8). Profil açısı, güneş ile bina ilişkisini kuran önemli bir faktördür, 0° ile 90° arasında değişen bir açı değeri alır.

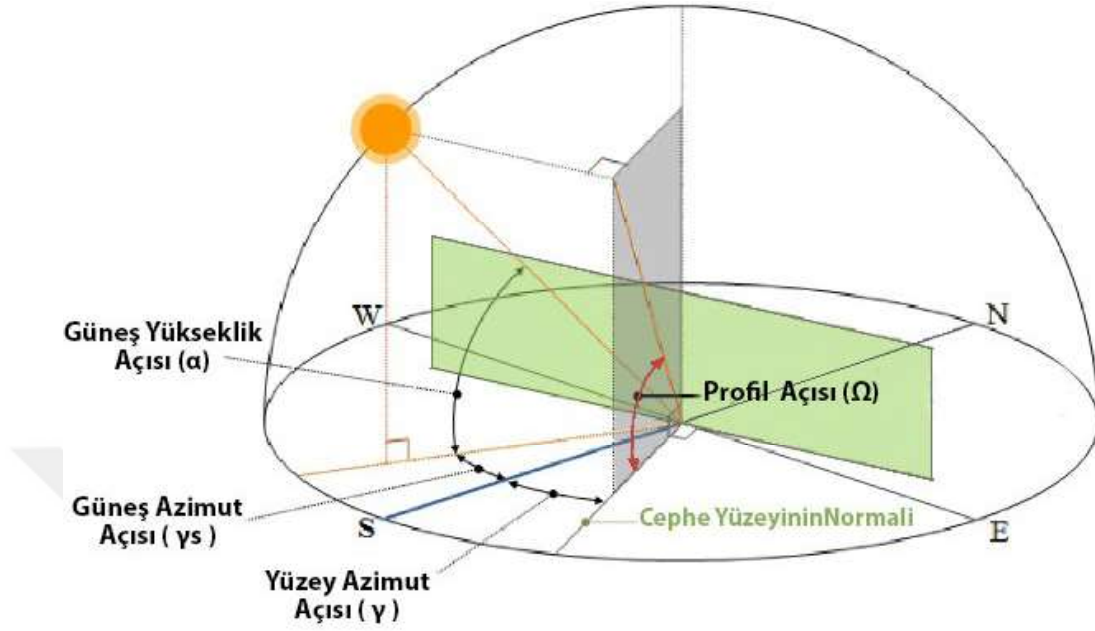
$$\tan \Omega = \tan \alpha / \cos \gamma_s$$

Ω : Profil açısı

α : Güneş yükseklik açısı

γ_s : Güneş azimut açısı

Güneş öğlesinde profil açısı $\cos(0^\circ) = 1$ olduğundan **$\tan\Omega = \tan\alpha$** formülü ile hesaplanabilmektedir. Yani güneş yükseklik açısı profil açısına eşit olmaktadır.



Şekil 2. 8 : Profil Açısı (Ω).

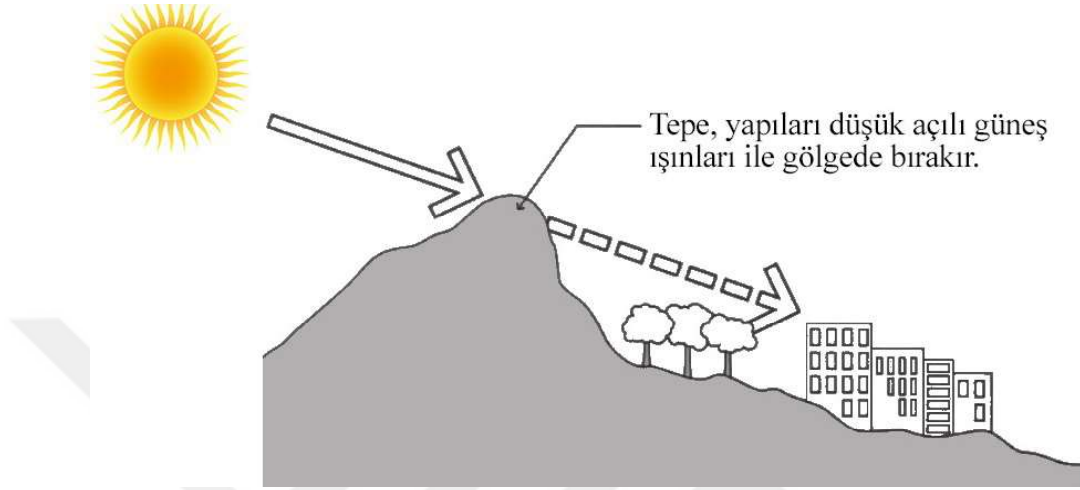
2.2 Güneş Geometrisinin Kullanım Alanları

Güneşten elde edilebilecek enerji miktarı ve ulaşılabilirliğinin ötesinde insan faaliyetlerinde verimli kullanımı konusunda çözümler üretilmesi önem kazanmaktadır. Güneş geometrisi kentsel tasarım, mimarlık, mühendislik ve peyzaj gibi mimari ile ilişkili pek çok alanda kullanılmaktadır. Yapının topoğrafya ile ilişkisi, yapı aralıkları, cadde ve sokak genişliklerinin bina yüksekliklerine göre belirlenmesi, yapıların yönlendirilmesi, aktif ve pasif güneş sistemlerinin veriminin arttırılabilmesi, bitkilerin güneşe göre konumlandırılması gibi pek çok alanda güneşin hareketinden ve güneş açılarından yararlanılması gerekmektedir.

Kentsel tasarım alanında

Kentsel planlama iklim tipine bağlı olarak güneş ışınlamından korunma veya yararlanmanın sağlanmasında önemli role sahiptir. İklim tipine uygun olarak sokak yönelimlerinin, bina aralıklarının belirlenmesi binalarda iklimsel konforun sağlanmasına yardımcı olacaktır. Cadde ve sokak genişliklerinin belirlenmesinde, yeryüzü şekilleri ve arazinin eğimi, yapı kütlelerinin konum ve yönleri, yapıların yükseklikleri önemli etkenlerdendir. Yeryüzü şekillerinin engebeli olması özellikle kış

aylarında güneş ışınlarının eğik açılı olması sebebiyle yapıların güneş erişiminin azalmasına veya engellemesine neden olmaktadır (Şekil 2.9). Yapılar arasında oluşan ve yapı kütlelerinin konumlarını da etkileyen dolaşım düzeni, doğu-batı aksı boyunca sağlandığında güneş erişimi olanağı artar (Egan, D.W; Olgyay, 1983; Gülten, A.; Aksoy, T.; Bektaş, 2007).



Şekil 2. 9 : Yeryüzü şekillerinin yerleşim alanı güneş erişimine etkisi.

Mimarlık alanında

Güneş ışığının mimaride etkin kullanımı için beş adet tasarım stratejisinden yararlanılmaktadır (Egan, D.W; Olgyay, 1983). Bunlar gölgeleme, yönlendirme, kontrol, etkinlik ve entegrasyondur.

Gölgeleme (shade) : Yapı açıklıklarından kaynaklı parlamayı ve direkt güneş ışığı nedeniyle aşırı ısı kazancını önlemek için yararlanılır. Kuzey-güney açıklıklarında yatay gölgeleme elemanları kullanılırken, doğu-batı yönündeki açıklıklarda güneş ışınları eğik açılı geldiği için yatay elemanlar verimli olmadığı için dikey elemanlar ile gölgeleme sağlanması tercih edilir.

Yönlendirme (redirect) : Güneş ışınlarının ihtiyaç duyulan alana veya yüzeye yansıtılarak yönlendirilmesidir. Güneş ışığının uygun dağıtımı ile doğal aydınlatma sağlanırken parlamaya önlenebilmektedir. Pencerenin yanındaki alanların aşırı aydınlık olup odanın geri kalanının az aydınlatılmış olması istenmeyen bir durumdur. Güneşten gelen ışınların doğrultulu olması sebebiyle parlaklık dengesinin optimize edilebilmesi için ışığın geniş bir alana yayılması sağlanmalıdır.

Kontrol (control) : Mekana giren ışık miktarının gölgeleme metotları ile kontrol edilmesi, gerekli olan ve istenen ışık miktarının sağlanmasıdır. Mekanın aşırı aydınlık olması engellenerek görsel konfor sağlanırken güneş radyasyonunun termal gereklilikleri sağlaması istenir.

Etkinlik (efficiency) : İç mekanın şekillendirilmesi, yüksek yansıtıcı yüzeylerin iç mekanda kullanılması ile ışık daha iyi dağıtılarak istenilen ve ihtiyaç duyulan ışık miktarı sağlanabilmektedir.

Entegrasyon (integrate) : Formların genişliği ve mimari ile entegrasyonunun sağlanmasıdır. Mimari tasarımda cephe dolu-boş oranı oluşturulurken açıklıklar genişliğinden fayda sağlayacak ölçü ve formda olmalıdır.

Güneş açılarından mimarlık alanında yapının güneşe göre yönlendirilmesinde, güneş zarfı oluşturulması, cephe açıklık boyutları ve formlarının düzenlenmesi, saçak uzunluğu, yüksekliği ve eğiminin hesaplanarak cephede uygun boyutlarda saçak kullanılması, aktif ve pasif sistemlerin yapıda kullanımında verimliliklerini arttırmak gibi tasarımın farklı evrelerinde yararlanmak mümkündür. Üçüncü bölümde bu konular detaylı olarak ele alınmıştır.

Mühendislik alanında

Güneş enerjisinden ısıtma, soğutma, elektrik üretimi, sıcak su elde edilmesi, suyun damıtılması, ürün kurutma, seracılık gibi pek çok konuda yarar sağlanmaktadır. Alternatif enerji kaynağı olan güneş enerjisinden yararlanmak için geliştirilmiş aktif ve pasif güneş sistemleri bulunmaktadır. 3. Bölümde aktif ve pasif sistemlerle ilgili daha detaylı bilgi verilmiştir.

Peyzaj tasarımında

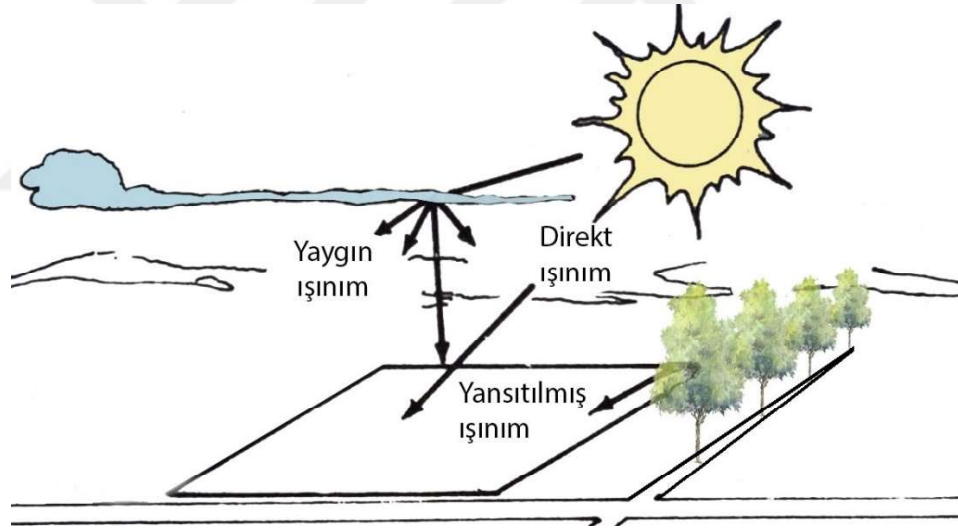
Peyzaj tasarımı kentsel ve kırsal alanlarda, yapı çevrelerinde yapılan bitkisel ve yapısal tasarımları kapsar. Peyzaj tasarım elemanlarını doğal ve yapay peyzaj elemanları olarak ikiye ayırmak mümkündür. Doğal peyzaj elemanları arazi, bitki ve su öğelerini, yapay peyzaj elemanları ise bina ve korunaklar ile kent mobilyalarını kapsamaktadır (Kurdoğlu, Işık, & Bayramoğlu, 2013). Doğal ve yapay peyzaj elemanları ile gölgeli alanlar oluşturmak, yaya yolu ve dinlenme alanlarında bu gölgeden yararlanmak mümkündür. Güneş açılarını kullanarak peyzaj elemanlarının hangi bölgeye ne kadar süre ile gölge sağladığı hesaplanabilmektedir.

2.3 Güneş Işınımı

Güneşin fotosfer tabakasından gelen ışınlar dünyanın atmosfer tabakalarından geçerek yeryüzüne ulaşır. Sabit bir konumdaki güneş ışınımı, mevsimlere, günün saatine, havanın bulut ve nem oranına, bölgenin coğrafi özelliklerine (rakım, bitki örtüsü vb.) göre değişiklik göstermektedir (Durmaz, 2007; Öztürk, 2012b). Toplam güneş ışınımı miktarı çeşitli formüller yardımı ile hesaplanabileceği gibi pyrheliometre, pyranometre gibi güneş ışınımını ölçen araçlar ile de ölçülebilmektedir (Abuşka, 2012; Duffie & Beckman, 2013).

2.3.1 Güneş ışınımı türleri

Güneşten gelen ışınların atmosferdeki ve yeryüzündeki cisimlerden yansımaları nedeniyle tamamı direkt olarak yeryüzüne ulaşmaz. Şekil 2.10'da görüldüğü şekilde bir yüzeye ışınlar doğrudan (direkt), yaygın ve yansyan ışınım olarak gelir (Durmaz, 2007; Uyarel & Öz, 1987).



Şekil 2. 10 : Güneş ışınım türleri.

Doğrudan ışınım, dünya üzerindeki herhangi bir yüzeye güneşten dolaysız olarak, herhangi bir yüzeyden yansımadan gelen ışıdır. Yönlü ve doğrusal olan doğrudan ışınım, bulutsuz günlerde yeryüzüne ulaşan toplam ışınımın büyük bir kısmını kapsar (Öztürk, 2012b).

Yaygın(difüz) ışınım bulutlar, çeşitli hava partikülleri ve su buharından yansıtılması ile yeryüzüne dağınık bir şekilde ulaşan güneş ışınlarından oluşur. Yaygın ışınım her

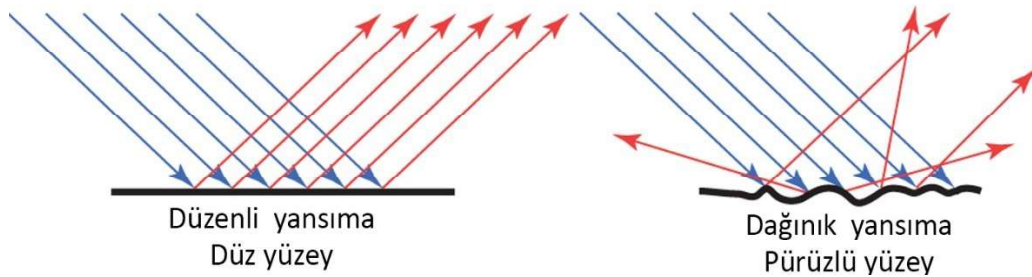
yönden gelir, vektörel bir büyüklük değildir. Bulutsuz bir günde yeryüzüne ulaşan ışınların %15-20'si yaygın ışıdır(Uyarel & Öz, 1987).

Yansıtılmış ışı, yeryüzündeki çeşitli cisim ve yüzeylerden yansıyarak gelen ışıdır türüdür. Yansıtılmış ışı bölgenin çevre koşullarına bağlıdır. Bir alanın kırsalda veya kentte olması, çevrenin ormanlık veya suya yakın konumda olması, mevsime göre kar ile örtülü olması gibi pek çok etkene bağlı olarak yansıtılmış ışı yoğunluğu değışiklik göstermektedir(Durmaz, 2007; Uyarel & Öz, 1987).

2.3.2 Işıının soğurulması, yansıtılması ve geçirilmesi

Maddeler üzerinde etkisi olan güneş ışıını bir yüzeye ulaştığında ışı soğurulur, yansıtılır veya geçirilir. Bu sırada yüzeyde sıcaklık yükselir. Güneş ışıını alan yüzeylerde sıcaklığın artma miktarı, yüzeyin dokusu, rengi, ısıl geçirgenlik katsayısı ve yüzey üzerine düşen ışı şiddetine göre değışiklik gösterir. Isınan yüzeyler, sıcaklık derecelerine bağlı olarak çevrelerine ısı dalgaları gönderirler (Demir, 1986; Öztürk, 2012b).

Malzemenin yüzeyine bağlı olarak ışıının yansıtılması düzenli veya dağılık olarak iki şekilde gerçekleşir (Şekil 2.11). Ayna veya çok parlak alüminyum gibi yüzeyler ışınları paralel ve düzenli yansıtır. Taş gibi yüzeyi pürüzlü olan malzemeler gelen ışınları dağılık yansıtır(Mazria, 1979).



Şekil 2. 11 : Düzenli ve dağılık yansıma (Mazria, 1979)

Cam gibi saydam olan yüzeylerden görünür güneş ışınlarının büyük bir kısmı geçerken bir kısmı da yansıtılır. Kışın bulutsuz bir günde zemine dik bir düz camdan görünür güneş ışınlarının %85'i geçerken, aralarında hava boşluğu olan çift düz camdan % 75'i geçebilir. Şekil 2.12'de camın geçirgenlik özelliği görsel olarak ifade edilmiştir (Mazria, 1979).



Şekil 2. 12 : Camın geçirgenlik özelliği

Opak maddelerin cinsine ve renklerine göre güneş ışınımını soğurma ve yansıtma değerleri değişkenlik göstermektedir. En siyah cisim bile ışınımın bir kısmını yansıtır. Beyaz cisim tüm renk ışık tayflarını yansıttığı için beyaz görünür. Kırmızı tuğla kırmızı ışık tayflarını yansıtırken diğer renkleri soğurur. Aynı şekilde kırmızı saydam bir cisim kırmızı renk ışını geçirirken diğer renkleri soğurur (Mazria, 1979).

2.4 İklimlerin Oluşumunda Güneş Enerjisinin Etkisi ve Türkiye’deki İklim Tipleri

Güneş enerjisi sayesinde dünya üzerinde farklı iklim tipleri, rüzgar, buharlaşma ve yağışlar gibi atmosferik olaylar gerçekleşmektedir. Su, hava ve kara parçalarının özellikleri bu oluşumda role sahiptir. Ancak güneşin dünya üzerine farklı açı ve yoğunluklarda gelişi atmosferik olayların düzeylerine etki ederek iklimlerin farklılaşmasına neden olmaktadır. Atmosferin dışında birim alana düşen güneş enerjisi miktarı sabittir (1370 W/m^2). Ancak dünya eksenindeki $23,45^\circ$ ’lik eğiklik nedeniyle kuzey ve güney yarım kürede birim alana düşen ortalama güneş enerjisi miktarı her mevsim değişmektedir. Dünya üzerinde farklı bölgelerde güneş enerjisi ile oluşan farklı ısınma düzeyleri sonucunda alçak ve yüksek basınç bölgeleri oluşur (Göksu, 2014).

İklim, ‘geniş makro klima bölgelerinde uzun zaman içinde gerçekleşen ortalama hava koşulları’ olarak tanımlanmaktadır (MGM, 2016). İklim faktörleri; sıcaklık, yağış, nem ve rüzgar gibi meteorolojik olaylardır. Dünyada en yaygın kullanılan iklim sınıflandırması Wladimir Köppen tarafından geliştirilmiş olan Köppen-Geiger iklim sınıflandırması yöntemidir. Bitki örtüsü ile uyumlu olan bu sınıflandırmada iklim tipleri 3 harfli bir sistem ile sunulmuştur (Şekil 2.13, Çizelge 2.2). İlk harf bölgenin ana iklim tipini, ikinci harf yağış durumunu, üçüncü harf ise sıcaklığını ifade

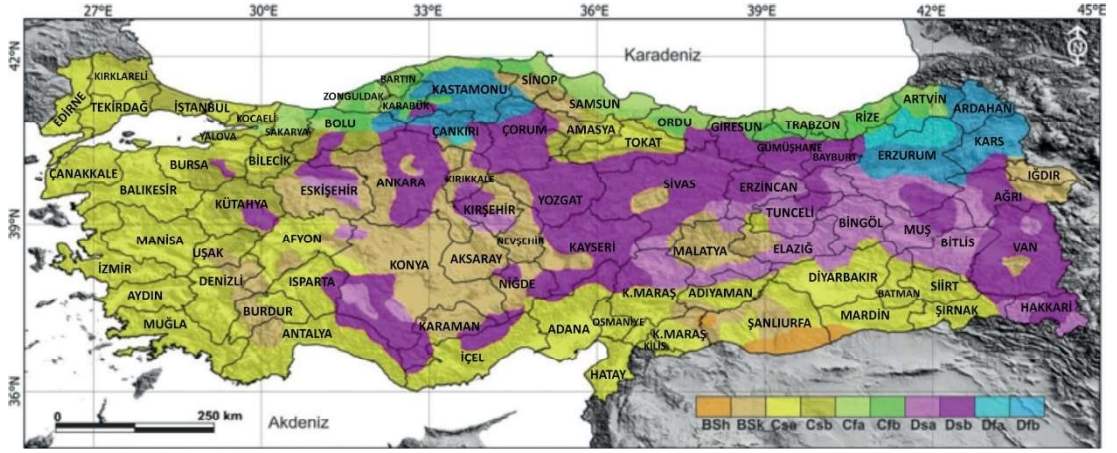
etmektedir. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre ekvatorial, kurak, ılıman, soğuk ve kutup iklimi olmak üzere 5 temel iklim tipi tanımlanmaktadır, Çizelge 2.1’de bu iklim tipinin genel özellikleri verilmiştir (MGM, 2016; Öztürk, M.Z., Çetinkaya, G., Aydın, 2017).

Çizelge 2. 1 : Köppen-Geiger iklim sınıflandırması, temel iklim tiplerinin özellikleri.

TEMEL İKLİM TİPİ	TANIM	TEMEL ÖZELLİĞİ
A	Nemli Tropikal	Kış mevsimi yok ve tüm ayların ortalama sıcaklığı 18°C'nin üzerindedir. $T_{min} \geq +18^{\circ}\text{C}$
B	Kurak	Buharlaşma yağıştan fazladır ve kuraklık hakimdir. $P_{yıllık} < 10 \times P_{peşik}$
C	Kışları ılıman, nemli orta enlem	En soğuk ayın ortalama sıcaklığı 0-18°C aralığındadır ve en sıcak ayın ortalama sıcaklığı 10°C'nin üzerindedir. $T_{max} > 10^{\circ}\text{C}$ ve $0^{\circ} < T_{min} < 18^{\circ}\text{C}$
D	Kışları soğuk nemli orta enlem (Karasal İklim)	En soğuk ayın ortalama sıcaklığı 0°C'ye eşit veya altındadır ve en sıcak ayın ortalama sıcaklığı 10°C'nin üzerindedir. $T_{max} > 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{min} \leq 0^{\circ}$
E	Polar (Kutup) İklimi	Yaz mevsimi yoktur ve en sıcak ayın ortalama sıcaklığı 10°C'nin altındadır. $T_{max} < 10^{\circ}\text{C}$

2.4.1 Türkiye’deki İklim Tipleri

Türkiye orta enlem, ılıman iklim kuşağında yer almaktadır. Topografik özelliklerinin çeşitliliği, üç tarafının denizlerle çevrili olması ve önemli hava kütlelerine yakın olması sebebiyle iklim çeşitliliği fazla olmaktadır. Bu nedenle kış döneminde genel atmosfer koşulları yaşanırken, yaz döneminde yerel koşullar etkili olabilmektedir. Türkiye için son yıllarda geliştirilen çalışmalar ile Köppen-Geiger sınıflandırmasına uygun iklim tipleri haritaları oluşturulmuştur. Buna göre Türkiye’de 512 istasyon verisi kullanılarak 3 ana iklim tipi ve 10 alt iklim tipi saptanmıştır. Şekil 2.13’te bulunan harita üzerinde bu iklim tiplerinin dağılımı görülmektedir (Öztürk, M.Z., Çetinkaya, G., Aydın, 2017).



Şekil 2. 13 : Türkiye'nin Köppen-Geiger alt iklim tipleri

BSh: Yarı Kurak Step İklimi(Sıcak), **BSk:** Yarı Kurak Step İklimi(soğuk),**Csa:** Kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi), **Csb** Kışı ılık, yazı ılık ve kurak iklim **Cfa** Kışı ılık, yazı çok sıcak ve her mevsim yağışlı iklim, **Cfb** Kışı ve yazı ılık, her mevsim yağışlı iklim, **Dsa** Kışı Şiddetli, Yazı Kurak ve sıcak, **Dsb** Kışı Şiddetli, Yazı Kurak ve Serin, **Dfa** Kışı Şiddetli, her mevsim yağışlı, yazı sıcak, **Dfb** Kışı Şiddetli, her mevsim yağışlı, Yazı Serin

Türkiye’de %43 oranıyla en yaygın görülen iklim tipi kışları ılıman orta enlem iklimi olan C tipi iklimdir. Bu iklim tipi, Türkiye’nin kıyı kesimlerini ve Güneydoğu Anadolu bölgesinin büyük bölümünü kapsar. En geniş yayılımı Anadolu’nun batı kesiminde gösterir. Dünyanın genelinde ve Türkiye’de en yaygın ikinci iklim tipi olan karasal D tipi iklim, %39 oranında dağılıma sahiptir. İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinin dağlık alanlarında, Doğu Anadolu’nun da büyük bir kısmında, Karadeniz Bölgesinin iç kesimlerinde görülür. Yağış miktarının en düşük olduğu kurak B tipi iklim ise özellikle İç Anadolu’da etkisini gösterir. Çizelge 2.2’de Türkiye’de bulunan iklim tipleri ve özellikleri detaylı olarak verilmiştir. Türkiye’de nemli tropikal (A tipi iklim) ve polar (E tipi iklim) iklim tiplerinin görülmemesinden dolayı bu iklimlere ait alt iklim tiplerinin özelliklerine yer verilmemiştir.

Çizelge 2. 2 : Köppen-Geiger iklim tiplerinde kullanılan harfler ve kriterleri.

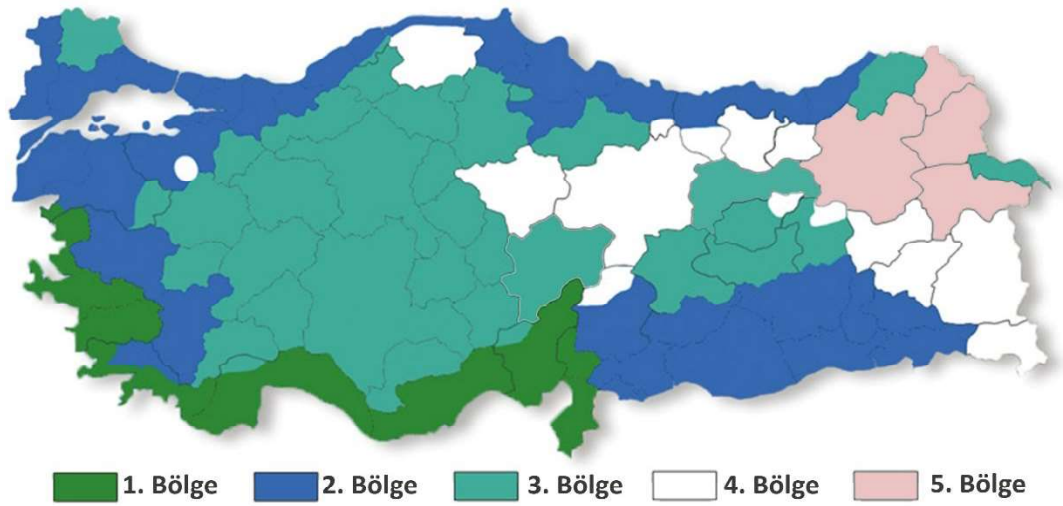
Ana İklim Tipi	Yağış	Sıcaklık	Tanım	Özellik
B			Kurak	$P_{y\text{ıllık}} < 10 \times P_{\text{eşik}}^{***}$
	W		Çöl	$P_{y\text{ıllık}} < 5 \times P_{\text{eşik}}$
	S		Step (Yarı kurak)	$P_{y\text{ıllık}} \geq 5 \times P_{\text{eşik}}$
		h	Sıcak	$T_{y\text{ıllık}} \geq +18^{\circ}\text{C}$
		k	Soğuk	$T_{y\text{ıllık}} < +18^{\circ}\text{C}$
C			Ilıman ya da kışları ılıman nemli	$T_{\text{maks}} > 10^{\circ}\text{C}$ ve $0^{\circ}\text{C} < T_{\text{min}} < +18^{\circ}\text{C}$
	s		Yazları kurak	$P_{\text{yazmin}} < P_{\text{kışmin}}$, $P_{\text{yazmin}} < 40 \text{ mm}$ ve $P_{\text{yazmin}} < P_{\text{kışmaks}}/3$
	w		Kışları kurak	$P_{\text{kışmin}} < P_{\text{yazmin}}$ ve $P_{\text{kışmin}} < P_{\text{yazmaks}}/10$,
	f		Her mevsim yağışlı	Cs ya da Cw değil
		a	Sıcak yaz	$T_{\text{maks}} \geq +22^{\circ}\text{C}$
		b	Ilık yaz	$T_{\text{maks}} < +22^{\circ}\text{C}$, en az 4 ayın ortalaması $T \geq +10^{\circ}\text{C}$
		c	Serin yaz	$T_{\text{maks}} < +22^{\circ}\text{C}$, en az 4 ayın ortalaması $T < +10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{min}} > -38^{\circ}\text{C}$
D			Soğuk ya da kışları soğuk	$T_{\text{maks}} > 10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{min}} \leq 0^{\circ}\text{C}$
	s		Yazları kurak	$P_{\text{yazmin}} < P_{\text{kışmin}}$, $P_{\text{yazmin}} < 40 \text{ mm}$ ve $P_{\text{yazmin}} < P_{\text{kışmaks}}/3$
	w		Kışları kurak	$P_{\text{kışmin}} < P_{\text{yazmin}}$ ve $P_{\text{kışmin}} < P_{\text{yazmaks}}/10$
	f		Her mevsim yağışlı	Ds ya da Dw değil
		a	Sıcak yaz	$T_{\text{maks}} \geq +22^{\circ}\text{C}$
		b	Ilık yaz	$T_{\text{maks}} < +22^{\circ}\text{C}$, en az 4 ayın ortalaması $T \geq +10^{\circ}\text{C}$
		c	Serin yaz	$T_{\text{maks}} < +22^{\circ}\text{C}$, en az 4 ayın ortalaması $T < +10^{\circ}\text{C}$ ve $T_{\text{min}} > -38^{\circ}\text{C}$
		d	Çok soğuk kış	C'nin koşullarından farklı olarak $T_{\text{min}} \leq -38^{\circ}\text{C}$

*T= sıcaklık, P= yağış, min= tüm aylardaki en düşük değer, maks= tüm aylardaki en yüksek değer, yıllık= yıllık ortalama değer, yaz= yaz ayları ortalama değeri, kış= kış ayları ortalama değeri, yazmin= yaz aylarındaki en düşük değer, yazmaks= yaz aylarındaki en büyük değer, kışmin= kış aylarındaki en düşük değer, kışmaks= kış aylarındaki en yüksek değer, eşik= eşik değeri (Kuzey yarımküre için yaz ayları Nisan-Eylül, (kış ayları Ekim-Mart dönemidir) (MGM, 2016; Öztürk, M.Z., Çetinkaya, G., Aydın, 2017).

Ülkemizde binalarda ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplaması ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi kayıp değerlerinin belirlenmesi TS825 standardına göre yapılmaktadır. ‘TS-825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları’ Standardının son güncellemesi 2013 yılında yapılmıştır; ancak resmi gazetede yayınlanmadığı için 2008 yılındaki düzenleme geçerliliğini korumaktadır. 2008 yılında yayınlanmış olan standartta Türkiye 4 derece gün bölgesi olarak ele alınmış, 2013 yılındaki standartta 5 derece gün bölgesi olarak güncellenmiştir; ancak 2013 yılı standardı resmi olarak yayınlanmamıştır (Atmaca, 2016; TS 825, 2013). 5 derece gün bölgesi illeri yazı ile Çizelge 2.3’te, Türkiye haritası üzerindeki dağılımı ise Şekil 2.14’te yer almaktadır.

Çizelge 2. 3 : Derece gün bölgelerine göre iller (Atmaca, 2016).

I. Bölge	Adana, Antalya, Hatay, İzmir, Mersin	İli 2. Bölgede olup da kendisi 1. Bölgede olan belediyeler Bodrum, Dalaman, Fethiye, Marmaris, Gökova, Datça, Köyceğiz, Milas (Muğla)
II. Bölge	Aydın, Adıyaman, Amasya, Balıkesir, Bartın, Batman, Bursa, Çanakkale, Denizli, Diyarbakır, Düzcce, Edirne, Gaziantep, Giresun, İstanbul, Kahramanmaraş, Kilis, Kocaeli, Manisa, Mardin, Muğla, Ordu, Osmaniye, Rize, Samsun, Sakarya, Siirt, Sinop, Şanlıurfa, Şırnak, Tekirdağ, Trabzon, Yalova, Zonguldak	İli 3. Bölgede olup da kendisi 2. Bölgede olan belediyeler : Hopa, Arhavi (Artvin) İli 4. Bölgede olup da kendisi 2. Bölgede olan belediyeler : Abana, Bozkurt, Çatalzeytin, İnebolu, Cide, Doğanyurt (Kastamonu)
III. Bölge	Afyon, Aksaray, Ankara, Artvin, Bilecik, Bingöl, Bolu, Burdur, Çankırı, Çorum, Elazığ, Eskişehir, Iğdır, Isparta, Karabük, Karaman, Kırıkkale, Kırklareli, Kırşehir, Konya, Kütahya, Malatya, Nevşehir, Niğde, Tokat, Tunceli, Uşak	İli 1. Bölgede olup da kendisi 3. Bölgede olan belediyeler : Pozantı (Adana) Korkuteli (Antalya) İli 2. Bölgede olup da kendisi 3. Bölgede olan belediyeler : Merzifon (Amasya) Dursunbey (Balıkesir) Ulus (Bartın) İli 4. Bölgede olup da kendisi 3. Bölgede olan belediyeler : Tosya (Kastamonu)
VI. Bölge	Bayburt, Bitlis, Erzincan, Gümüşhane, Hakkari, Kastamonu, Kayseri, Muş, Sivas, Van, Yozgat	İli 2. Bölgede olup da kendisi 4. Bölgede olan belediyeler : Keles (Bursa) Şebinkarahisar (Giresun) Elbistan (K. Maraş) Mesudiye (Ordu) Uludağ (Bursa) Afşin (K. Maraş) Göksun (K. Maraş) İli 3. Bölgede olup da kendisi 4. Bölgede olan belediyeler : Kığı (Bingöl) Pülümür (Tunceli) Solhan (Bingöl)
V. Bölge	Ağrı, Ardahan, Erzurum, Kars	



Şekil 2. 14 : Derece gün bölgelerine göre Türkiye haritası (Atmaca, 2016)

Çizelge 2. 4 : Bölgelere göre aylık ortalama dış sıcaklık değerleri (TS 825, 2013)

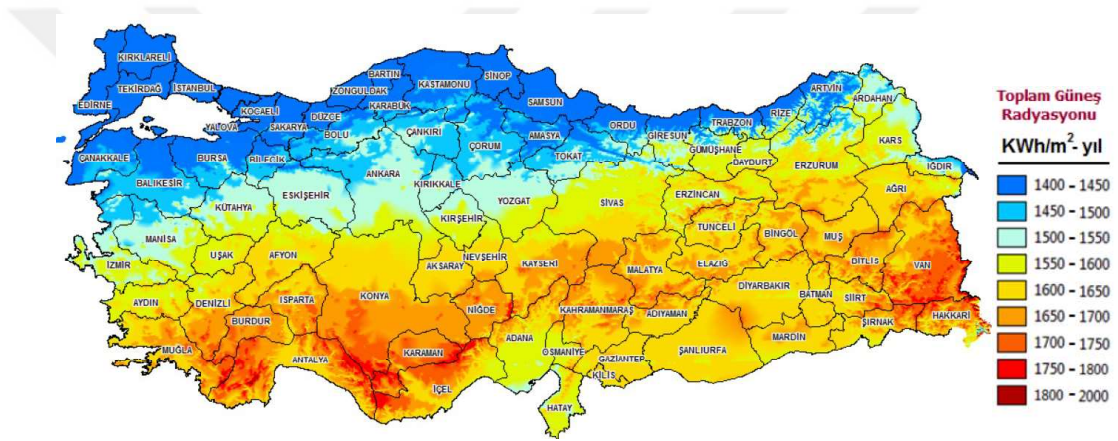
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge
Ocak	8,4	2,9	-0,3	-5,4	-10,5
Şubat	9,0	4,4	0,1	-4,7	-9,1
Mart	11,6	7,3	4,1	0,3	-2,9
Nisan	15,8	12,8	10,1	7,9	5,3
Mayıs	21,2	18,0	14,4	12,8	10,6
Haziran	26,3	22,5	18,5	17,3	14,6
Temmuz	28,7	24,9	21,7	21,4	18,6
Ağustos	27,6	24,3	21,2	21,1	18,6
Eylül	23,5	19,9	17,2	16,5	14,1
Ekim	18,5	14,1	11,6	10,3	7,8
Kasım	13,0	8,5	5,6	3,1	0,6
Aralık	9,3	3,8	1,3	-2,8	-6,7

Sonuç olarak Köppen Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye’de 3 ana iklim tipi altında toplam 10 tip yer almaktadır. TS825 (2008)’e göre 4 tip iken 2013’te güncellenen ancak yayınlanmayan standartta 5 tip olarak yer almaktadır. Binalarda ısı yalıtım kuralları için oluşturulan TS825 standardı tam bir iklim sınıflandırması olarak kabul edilmemektedir. L.Zeren ve arkadaşlarının yaptığı iklim sınıflandırmasında ise 5 ana iklim tipi bulunmaktadır. Bunlar, sıcak nemli, sıcak kuru, ılımlı nemli, ılımlı

kuru ve soğuk iklim bölgeleridir (Zeren ve ark., 1987). İklim odaklı yapılan akademik çalışmalarda L. Zeren ve arkadaşlarının yaptığı sınıflandırma kabul görmektedir.

2.4.2 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneşlenme Süresi

Akdeniz kuşağında yer alan ülkeler diğer ülkeler gibi ülkemiz için de en önemli doğal enerji kaynağı güneş enerjisidir. Güneş kuşağında yer alan ülkemizin coğrafi konumu (36-42° kuzey enlemleri ile 26- 45° doğu boylamları) sayesinde güneş enerjisi potansiyeli yüksektir; ancak güneş enerjisi kullanımı, ülke enerji ihtiyacının ve potansiyelinin çok altındadır (F. Ç. Kılıç, 2015; Varınca & Gönüllü, 2012). Şekil 2.15'te Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan "GEPA Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası" görülmektedir.



Şekil 2.15 : Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (F. Ç. Kılıç, 2015)

Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (110 gün), günlük ortalama 7,2 saattir. Yıllık toplam güneş enerjisi 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²)'dır (F. Ç. Kılıç, 2015; Varınca & Gönüllü, 2012). Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı aşağıdaki Çizelge 2.5'te verilmiştir. Buna göre güneş açılarının dike yakın açıyla geldiği haziran, temmuz ve ağustos aylarında enerji potansiyeli yüksektir. Güneş açılarının yaz mevsimine göre daha eğik açıyla geldiği kış aylarında ise enerji potansiyelinin düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 2. 5 : Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı
(F. Ç. Kılıç, 2015; Varınca & Gönüllü, 2012).

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (saat/ay)
	(kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311,00	2640
Ortalama	308,0 cal/cm²-gün	3,6 kWh/m²-gün	7,2 saat/gün

Çizelge 2.6’da görüldüğü gibi Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin güneş enerjisi potansiyeli diğer bölgelere göre daha yüksek iken güneş enerjisi potansiyeli en düşük olan bölge Karadeniz Bölgesi’dir

Çizelge 2. 6 : Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (F. Ç. Kılıç, 2015; Varınca & Gönüllü, 2012).

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	En çok güneş enerjisi (Haziran)	En Az güneş enerjisi (Aralık)	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	kWh/m ² -yıl	kWh/m ²	kWh/m ²	saat/yıl	saat	saat
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

3. GÜNEŞ MİMARİSİ TASARIM DEĞİŞKENLERİ

Güneş mimarisi, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneşten pasif (edilgen) ve aktif (etken) olarak yararlanmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Yapıların öncelikle günışığı ile doğal aydınlatmasının sağlanması, pasif ısıtma, pasif soğutma ve doğal havalandırma ile enerji ihtiyacının azaltılması prensiplerine dayanmaktadır. Güneş mimarisi prensipleri ısıl konforun ve yeterli günışığının sağlanması ile kullanıcı konforunu da merkeze alır.

Güneş mimarisi tasarım değişkenleri iki ana başlıkta incelenmiştir;

- Yerleşim ölçeğindeki tasarım değişkenleri
- Yapı ölçeğindeki tasarım değişkenleri

Güneşten pasif yararlanma, yerleşim ve yapı ölçeğindeki tasarım değişkenleri ile pasif güneş enerjisi sistemlerinin kullanımıyla mümkün olabilmektedir. Aktif yararlanma ise fotovoltaik panel gibi güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemler aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu tasarım değişkenleri yapının bulunduğu coğrafik konuma ve iklime göre değerlendirilmelidir.

3.1 Yerleşim Ölçeğindeki Tasarım Değişkenleri

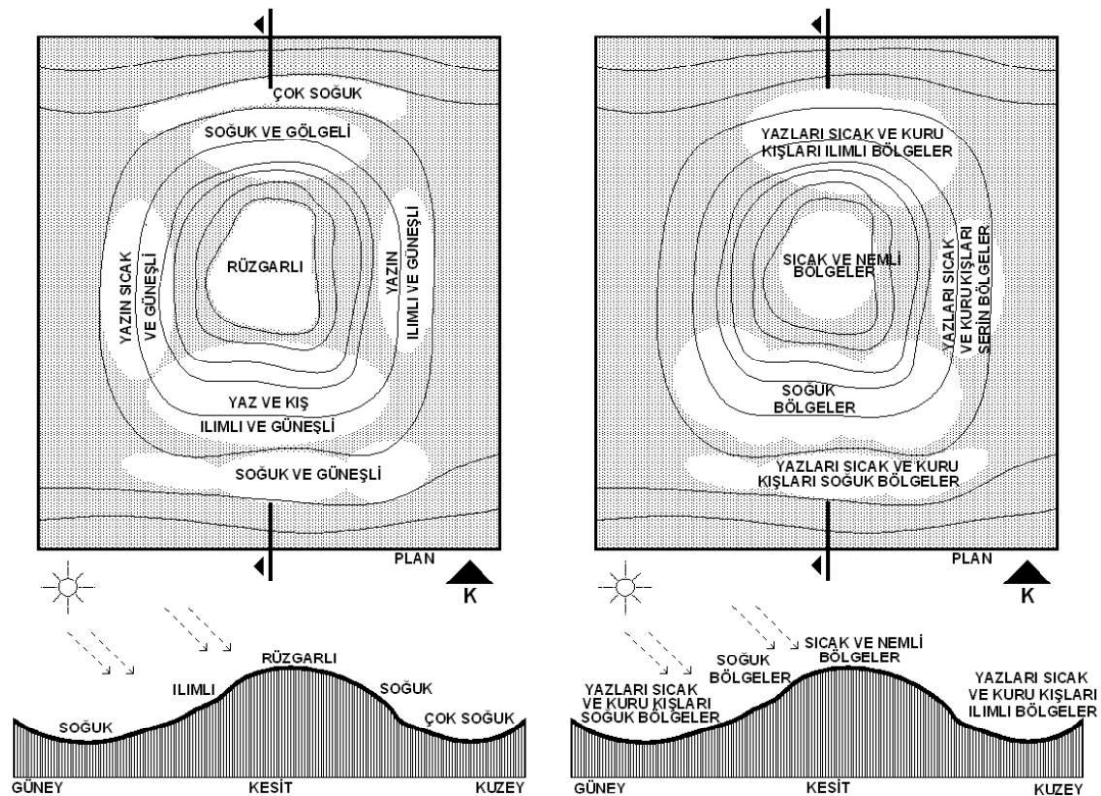
Fiziksel çevre etmenlerinden iklim ve topoğrafya, tasarımı etkileyen önemli parametrelerdir. Yapının konumlanacağı topoğrafya ve iklime ait bilgiler enerji verimliliği ve kullanıcı konforunun sağlanması için en önemli tasarım girdilerini oluşturmaktadır. Yer seçimi ve bina aralıkları kentsel tasarım ölçeğinde olması sebebiyle genellikle mimarın kontrolünde olamayan parametrelerdir. Ancak yapı arazisi çevresindeki doğal ve yapılı çevre ile olan ilişki, yapının tasarımında ve biçim kazanmasında önemli etkenlerdir.

Yerleşme ölçeği verilerinin çoğu yeni yerleşim alanlarında kullanıma uygun, imara açılacak arazilerin belirlenmesinde göz önünde bulundurulacak türdendir. Ancak yapıların çoğu mevcuttaki imar planlarına uygun olarak yapılmaktadır. Bu nedenle mevcut bir arazide yapılacak tasarımlarda bina ölçeğinde alınacak önlemler ön plana çıkmaktadır.

3.1.1 Yer seçimi

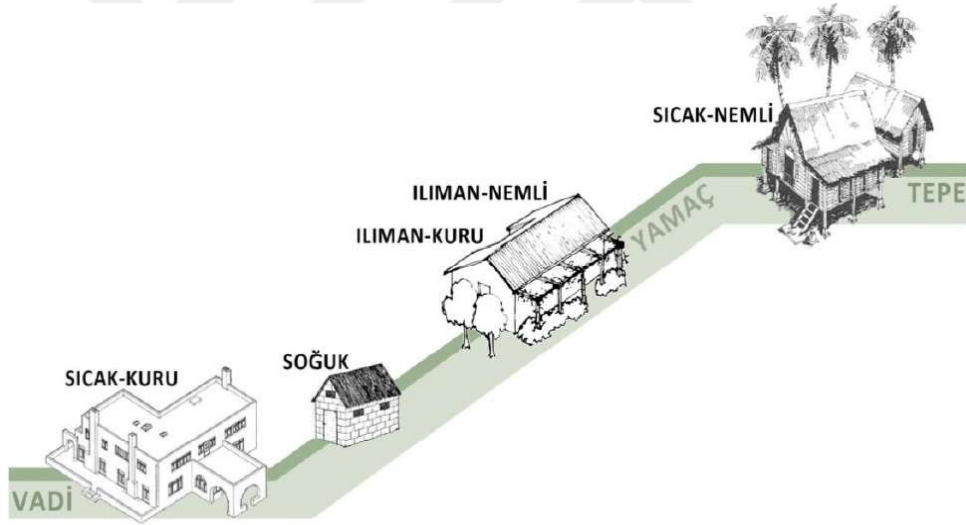
Yapının uygulanacağı arazi parçasının bulunduğu enlem, boylam, deniz seviyesinden yüksekliği gibi coğrafi faktörler yüzeye ulaşan güneş ışınımının şiddetini ve rüzgarın karakterini etkilemektedir. Bunların yanı sıra topoğrafik özellikler, arazi ve çevresindeki bitki örtüsü, yüzey su kaynaklarına yakınlığı, çevredeki yapılaşmış alan yoğunluğu gibi faktörler mikro iklim oluşmasında etkili olmaktadır. Buna bağlı olarak da güneş ışınımının etkisi ve nem oranında değişimler görülmektedir.

Şekil 3.1’de bir tepenin üzerinde, çevresinde sıcaklık ve nem değişiklikleri ve buna bağlı iklim bölgelerine göre yer seçimleri için öneriler bulunmaktadır. Yükseklik arttıkça ısı depolayan atmosfer tabakası ve su buharı azaldığı için sıcaklık azalmaktadır. Bir dağın güney yamacı kuzey yamacına göre daha uzun süreli ve daha dik olarak güneş ışınlarını aldığı için güney yamacı daha fazla ısınmaktadır. Bu nedenle güneşten yararlanılmak istenen bölgelerde güney yamaca veya güney yamacın alt eteklerine yerleşim tercih edilmelidir.



Şekil 3. 1. Bir tepenin etrafında farklı iklim bölgelerine göre uygun yer seçimleri (Lechner, 2014; Özdemir, 2005).

Şekil 3.2’de iklim tiplerine göre araziye yerleşim şekilleri teorik bir arazi kesiti üzerinde gösterilmiştir. Tepede rüzgarın etkisi fazla olduğundan sıcak ve nemli iklim bölgeleri için tepenin üzerinde yerleşim önerilmektedir. Vadilerde güneş ışıının etkisi tepe ve yamaca göre daha az olduğundan ve soğuk havanın vadiye birikmesinden kaynaklı sıcak kuru iklim bölgeleri için bu alanlara yerleşim uygun olmaktadır. Ayrıca sıcak kuru iklim bölgelerinde nem dengesinin sağlanması için yapı çevresinde bitki ve su ögelerinden yararlanılmalıdır. Güney ve güneydoğuya bakan yamacın alt kotlarında ise soğuk iklim bölgeleri için yerleşimler önerilmektedir. Vadilerde soğuk havanın birikmesinden dolayı soğuk iklim bölgelerinde vadiye yerleşimden kaçınılmalıdır. Ilımlı iklim bölgelerinde ısıtma istenilen dönemde vadiye soğuk hava birikmesi ve tepedeki rüzgarın olumsuz etkilerinden korunmak için yamaca yerleşim sağlanmalıdır. Ilımlı nemli iklim bölgesinde yaz aylarında rüzgardan faydalanmak için ılımlı kuru iklim bölgesine göre yamacın daha üst noktaları önerilmektedir (Ovalı, 2009; Özdemir 2005; Zeren ve ark, 1987).



Şekil 3. 2. İklim tiplerine göre teorik arazi kesiti üzerinde yerleşme şekilleri (Erdemir, 2014; Zeren ve diğerleri, 1987).

Yukarıda verilen bilgilerin çoğu yeni yerleşim alanlarında kullanılabilir niteliktedir. Günümüzde imar planında mevcut olan bir arazi parçası üzerine yeni yerleşim veya eski bir yapının yenilenmesi olarak ilerleyen yapı sektöründe mevcut durumdaki arazinin topoğrafik özelliklerine yapının uyum sağlaması önem kazanmaktadır. Doğal ve yapma çevre ile olan ilişkisine göre yapı ölçeğinde çözümler üretilmelidir.

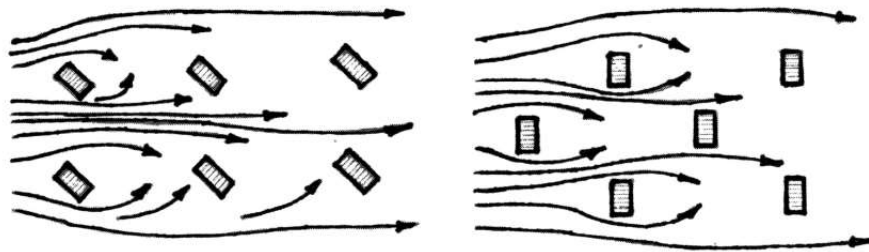
3.1.2 Bina aralıkları

Yapının güneşlenme süresi ve rüzgarın yapı üzerindeki etkisinde, bulunduğu topoğrafya, çevresinde bulunan yapılar ve bitkisel öğeler ile ilişkisi önemli role sahiptir. Yapıların çevresel faktörlere göre güneşlenme düzeyi ve süresinin anlaşılması için gölgeli alan derinliği hesaplamaları yapılmalıdır. 2. bölümde güneş geometrisinin kentsel tasarım alanında kullanımı bölümünde gölgeli alan derinliği hesaplamalarına ve bina aralıklarıyla ilgili bilgilere yer verilmiştir.

Isıtma ihtiyacının olduğu dönemlerde güneş ışınlarından kazanılan ısı enerjisinin %90'ı 09.00-15.00 saatleri arasında sağlanmaktadır. Isıtma gereksinimi öncelikli bölgeler için bu zaman aralığında gelen güneş ışınlarının herhangi bir engelle karşılaşmaması önemlidir (Göksu, 1999). Özellikle soğuk iklim gibi ısıtma ihtiyacının fazla olduğu bölgelerde bina aralıkları en az, komşu binaların oluşturduğu en uzun gölge boyuna eşit veya daha büyük olmalıdır (Ovalı, 2009; Orhon ve ark., 1998).

Sıcak iklim bölgelerindeki yerleşim alanlarında sokakların dar olması yapıların birbiri için gölgeli alanlar oluşturmasını sağlar. Soğuk iklim bölgelerinde ise yapıların güneşlenme süreleri maksimum seviyede olacak biçimde ve rüzgardan korunaklı konumlandırılması tercih edilir.

Rüzgarın soğutma etkisinden yararlanılması istenen alanlarda bina yerleşimleri, negatif basınç altında kalmayacak mesafelerde yapılmalıdır (Şekil 3.3). Hava akımının sürekliliğinin sağlanması için birbirine paralel ardışık yapılar yerine yapıların şaşırtmalı yerleşimleri konfor koşullarının sağlanmasında olumlu sonuçlar doğurmaktadır (Ovalı, 2009; Watson ve Lab., 1992).



Şekil 3. 3 Rüzgarın soğutma etkisini arttırmak amacıyla oluşturulmuş bina yerleşim türleri (Watson ve Lab., 1992).

3.2 Yapı Ölçeğindeki Tasarım Değişkenleri

Doğal çevrenin iklim özelliklerine bağlı olarak kullanıcılar için konforlu bir yapı tasarımı gerçekleştirirken enerji verimliliğinin sağlanması ve karbon emisyonunun azaltılması için mimarın değerlendirmesinde olan bazı tasarım değişkenleri bulunmaktadır.

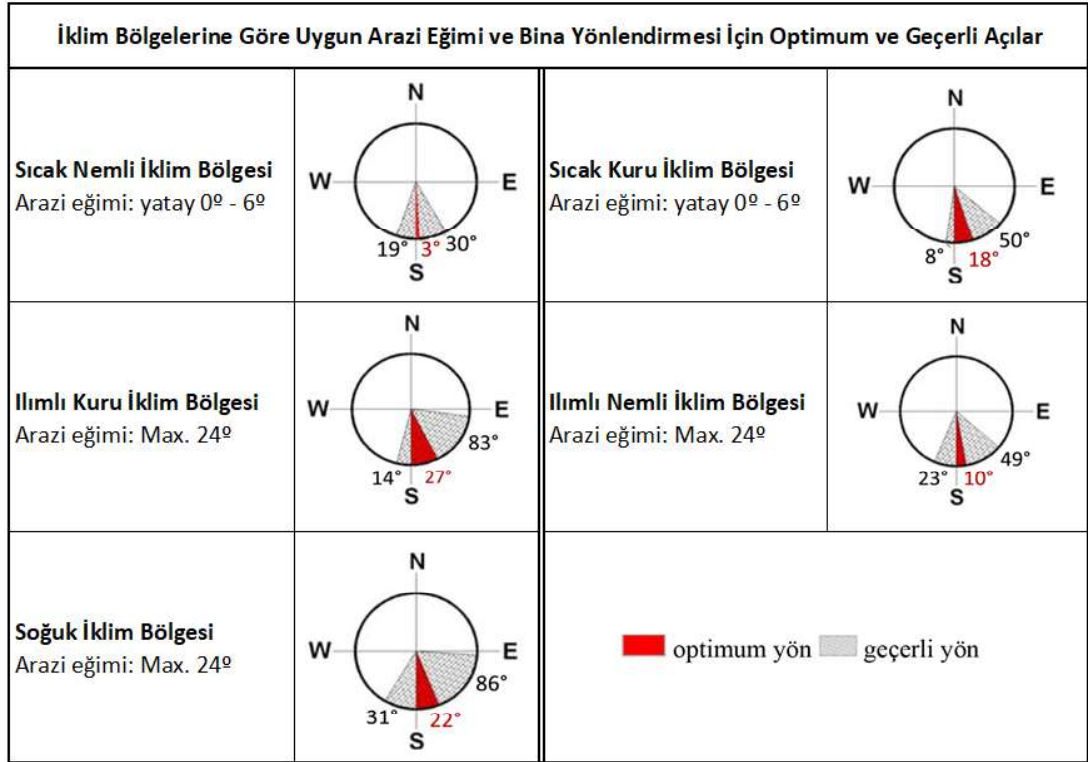
Pasif ısıtma ve soğutma ile enerji korunumunda yapı ölçeğindeki tasarım değişkenleri,

- Yapının yönlendirilmesi
- Yapı formu
 - * Biçim faktörü ve yapı yüksekliği
 - * Çatı türü ve eğimi
 - * Cephe eğimi
- Mekan organizasyonu
- Yapı kabuğu
 - * Opak bileşenler
 - * Saydam bileşenler
- Saydamlık oranı
- Gölgeleme metotları
- Güneş enerjisi sistemleri
 - * Pasif güneş enerjisi sistemleri
 - * Aktif güneş enerjisi sistemleri

Yapının yönlendirilmesi ve biçim faktörü; arazi şekli, yeri ve yönetmeliklerdeki maddelere bağlı olarak tasarımcıları sınırlandırırsa da optimum çözümler üretilmesi için diğer değişkenlerden yararlanılması mümkündür.

3.2.1 Yapının yönlendirilmesi

Başlıca iklim elemanlarından olan güneş ve rüzgarın etkisi yönler göre farklılaştığı için yapı kabuğu üzerindeki güneş ışıınımı düzeyi ve süresi, rüzgarın soğutma etkisi değişiklik göstermektedir (Erdemir, 2014; Kutlu, 1999). Kuzey yarımküre için güneş ışıınımı şiddetinin en yüksek olduğu yön güneydir, güney yarımküre içinse kuzey yönüdür. Şekil 3.4'te ülkemizdeki iklim bölgelerinin hepsinde güneye dik yerleşimlerin optimum sonuçlar doğurduğu ifade edilmiştir.



Şekil 3. 4 : İklim bölgelerine göre uygun arazi eğimi ve bina yönlendirmesi için optimum ve geçerli açılar (Ovalı, 2009).

Güneş ışınlarının yerküreye geliş açısı mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Güneş yükseklik açısı yaz aylarında dike yakın olduğu için yaz aylarında cephedeki güneş kontrolünü sağlamak daha kolaydır. Kış aylarında güneş ışınları eğik açı ile gelir, bu durum yapı iç mekanına alınan direkt ışıınım ile sağlanan ısı kazancını olumlu etkiler. Güneş açılarındaki mevsimsel değişikliklerin yanı sıra güneş ışıınımı günün saatlerine göre de değişmektedir. Güney yönünden doğu ve batı yönlerine doğru yaklaşıldıkça güneş yükseklik açısı azalır ve buna bağlı olarak da güneş ışınlarının yapıdaki kontrolü zorlaşır. Bu nedenle güneş kontrolünün sağlanabilmesi ve kış aylarında güneşten yararlanma oranını arttırmak için dikdörtgen yapıların uzun kenarının doğu-batı doğrultusunda olması tercih edilir(Cebeci, T.; Özçamur, İ.; Arpacıoğlu, 2020).

Yapının yönlendirilmesinde hakim rüzgar yönleri de önemli etkindir. Özellikle nemli iklim bölgelerinde yaz aylarında nem dengesinin sağlanabilmesi için rüzgardan etkin olarak faydalanılması soğutma yüklerinin azaltılmasında etkili olmaktadır. Soğuk iklim bölgelerinde ise rüzgarın soğutucu etkisinden korunmak için topografya ve mevcut yapılı çevre bağlı yönelim sağlanmalı ve bitkisel öğelerden yararlanılmalıdır.

3.2.2 Yapı formu

Yapının formu; biçim faktörü, bina yüksekliği, çatı türü (düz, beşik, kırma çatı), çatı eğimi ve cephe eğimi gibi geometrik değişkenler yardımıyla tanımlanmaktadır (Berköz, 1983). Taban alanları aynı olsa da farklı formlara sahip yapıların dış cephe yüzey alanları farklılık göstereceğinden bu yapıların toplam ısı kayıpları ve kazançları farklı olmaktadır (Kutlu, 1999).

Yapı konumuna bağlı olarak güneş açıları ve güneş ışıınımı, rüzgar verileri farklılık gösterdiğinden çevresel etmenlere karşı yapıların formları, yapı kabuklarında alınan önlemler de farklı olmaktadır. Yapı formu; biçim faktörü ve yapı yüksekliği, çatı türü ve eğimi, cephe eğimi olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir.

3.2.2.1 Biçim faktörü ve yapı yüksekliği

Yapı formunun belirlenmesinde öncelikle biçim faktörü ve yapının yüksekliği rol almaktadır. Biçim faktörü plan düzleminde bina genişliğinin derinliğine oranı olarak tanımlanabilmektedir (Ovalı, 2009). Bu orana ve yapının yüksekliğine bağlı olarak cephe yüzey alanı yönlere göre değişiklik göstermektedir. Buna bağlı olarak da güneş ve rüzgarın yapı üzerindeki etkisi ile ısı kazanç ve kayıplarında değişiklikler görülmektedir.

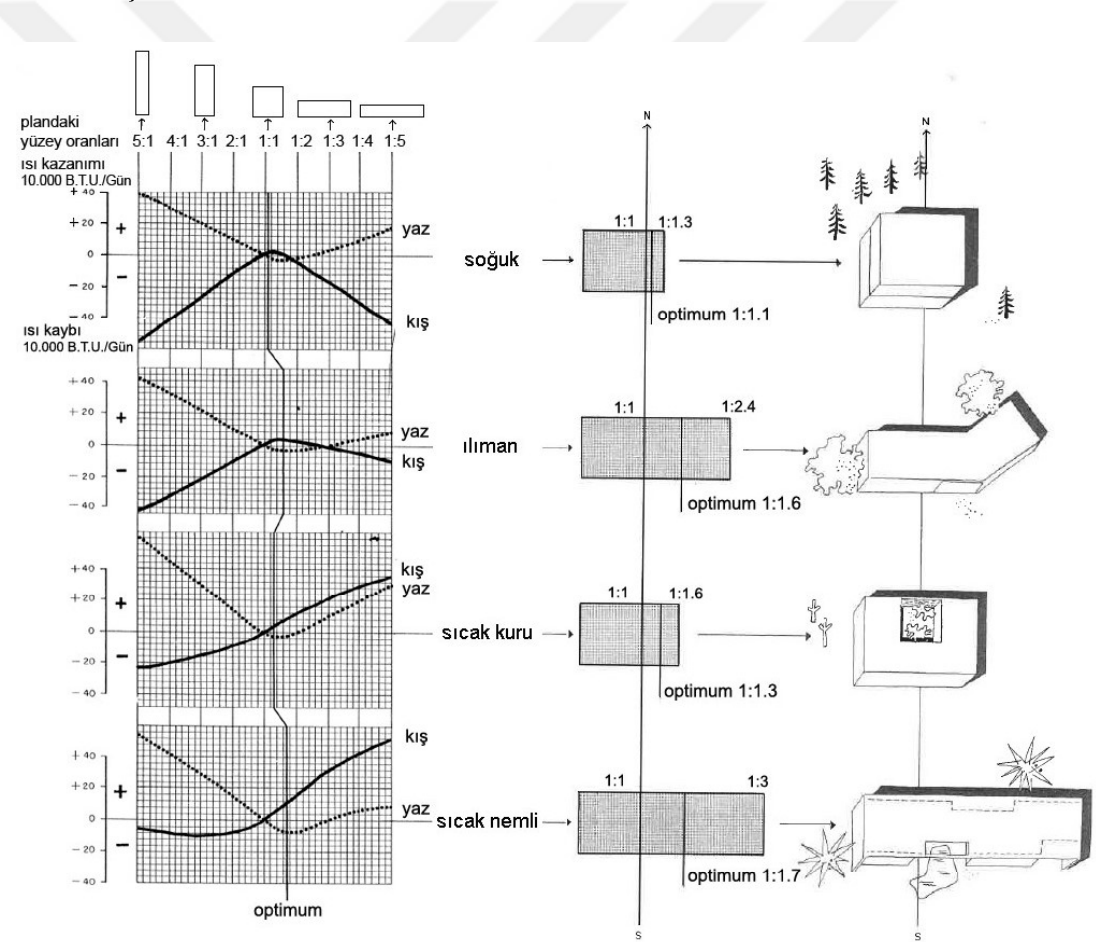
Binanın formu bulunduğu iklimin koşullarına göre belirlenmelidir (Şekil 3.1 ve Çizelge 3.1).

- * Soğuk iklimlerde kompakt formların tercih edilmesi, arazi bir dağ yamacına yakın ise güneş ışıınımından yararlanılamayan cephesinin (Kuzey Yarımkürede kuzey yönü, Güney Yarımkürede güney yönü) yamaca doğru gömülerek konumlandırılması ısı kayıplarının azaltılmasında yararlı olmaktadır.
- * Ilımlı kuru iklim bölgelerinde ısı kayıp ve kazançlarının dengede olması için kareye yakın formlar,
- * Ilımlı nemli iklim bölgelerinde ise rüzgar ile nem etkisinin azaltılacağı açık cepheli serbest formlar,
- * Sıcak kuru iklimlerde güneş ışıınımının aktif olmadığı yöne bakan veya iç avlulu formlar,

* Sıcak nemli iklimlerde ise rüzgarın nemi dağıtıcı faktör olarak kullanılabileceği hakim rüzgar yönünde geniş cephesi olan dikdörtgen formlar tercih edilmelidir (Erdemir, 2014; Olgay, 1963).

Yapının yönlendirilmesi ile biçim faktörünün birlikte irdelenmesi gerekmektedir. Güneşin hareketi ve güneş ışınları göz önünde bulundurulduğunda yapının uzun kenarının kuzey-güney doğrultusunda yönlendirilmesi, ısıtma istenen dönemde maksimum fayda sağlanırken soğutma ihtiyacı olan dönemde ise güneş ışınlarının doğu ve batı cephelerine oranla daha dik ve kontrol edilebilir olmasını sağlamaktadır.

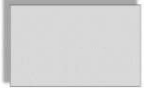
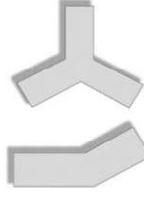
Şekil 3.1’de biçim faktörüne bağlı olarak yapıların ısı kazanım ve kayıpları arasındaki ilişki gösterilmiştir. İklim tiplerine göre yapıların optimum genişlik ve derinlik oranları belirtilmiştir.



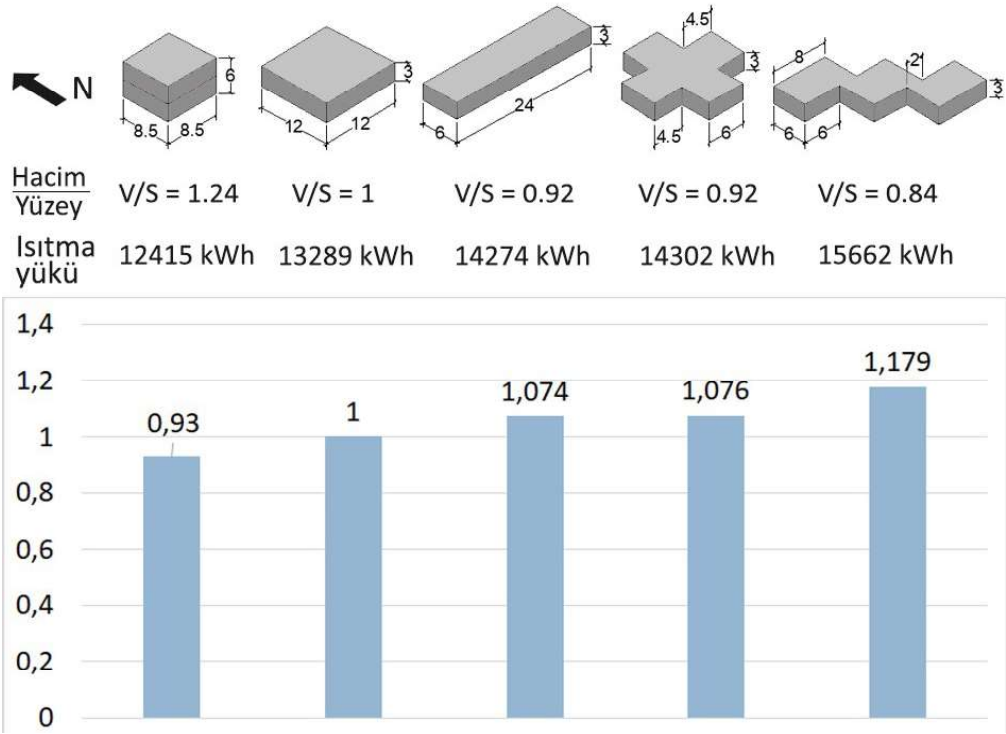
Şekil 3. 5. İklim bölgelerine göre ısı kazanım ve kayıpları ile optimum yapı biçimleri (Olgay, 1963).

Çizelge 3.1’de Türkiye’deki iklim bölgelerine göre yapı formu optimum oranları, önerilen en fazla oranlar ve yapı formu örnekleri açıklamalarıyla birlikte verilmiştir.

Çizelge 3. 1. İklim bölgelerine göre yapı form oranları ve özellikleri (Olgyay, 1963; Ovalı, 2009).

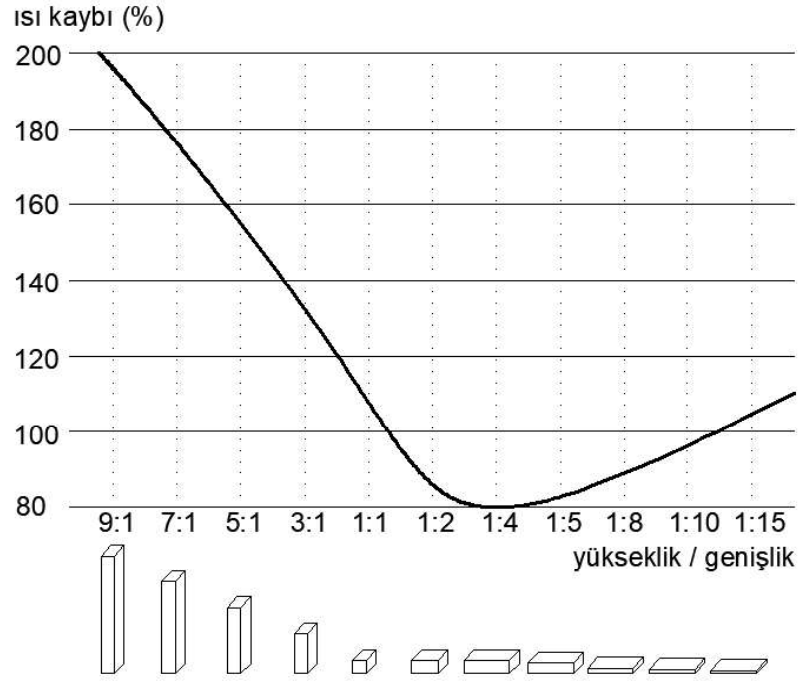
İklim bölgesi	$\frac{b}{a}$  Bina formu			
	Optimum oran (b/a)	En fazla oran (b/a)	Örnek Formlar	Açıklamalar
Soğuk Pilot Şehir: Erzurum	1:1,1	1:1,3		Kompakt formlar Minimum yüzey alanlı cepheler
Ilıman-kuru Pilot Şehir: Ankara	1:1,3	1:1,6		Kareye yakın formlar Soğuk dönemde rüzgara kapalı cepheler
Ilıman-nemli Pilot Şehir: İstanbul	1:1,6	1:2,4		Serbest formlar Sıcak dönemde rüzgara açık cepheler
Sıcak-kuru Pilot Şehir: Diyarbakır	1:1,3	1:1,6		Dışa kapalı kompakt formlar Avluya bakan cepheler
Sıcak-nemli Pilot Şehir: Antalya	1:1,7	1:3		Uzun formlar, Rüzgara açık cepheler

Yapı formunun ısıtma ve soğutma yükü üzerindeki etkisi önemlidir, yapının toplam kapalı hacmi ile yüzey alanı arasındaki orana bağlı olarak ısı kazanç ve kayıpları değişiklik göstermektedir. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi hacim/yüzey oranı arttıkça ısı kaybı azalmaktadır. Hacim/yüzey oranı 0.92 olan üçüncü ve dördüncü yapıda ısı kayıplarında farklılık olduğu görülmektedir. Formundaki girinti-çıkıntıları fazla olan yapının ısı kaybı daha yüksek olmaktadır (Gratia, E.; Herde, 2003).



Şekil 3. 6. Yapı formu yüzey/hacim oranına göre yıllık ısıtma yükleri (Gratia, E.; Herde, 2003).

Rüzgarın soğutma etkisi yükseklik arttıkça ısı kaybının artmasına neden olmaktadır. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi genişliği ve derinliği sabit olan binalarda yükseklik arttıkça ısı kaybı artmaktadır. Yüksekliği ve bina derinliği sabit olup yükseklik/genişlik oranı $\frac{1}{4}$ ’ten küçük olan binalarda ise genişlik attıkça ısı kaybının arttığı görülmektedir.



Şekil 3. 7. Aynı derinliğe sahip yapılarda yükseklik ve genişlik oranına göre ısı kaybı oranları (Göksal, 1998).

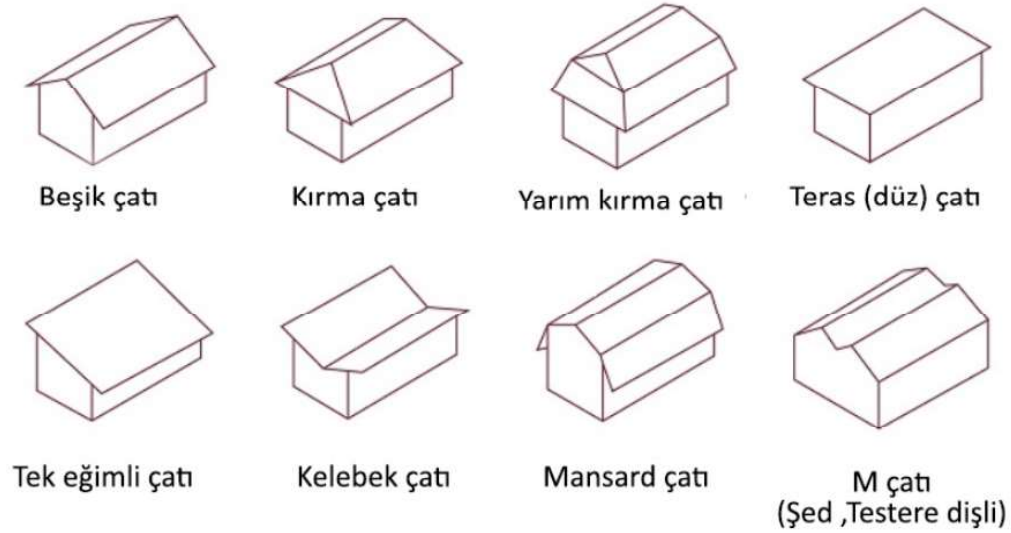
3.2.2.2 Çatı türü ve eğimi

Yapı formunu etkileyen önemli unsurlardan biri de çatı türü ve eğimidir. Yıllık yağış miktarı ve türü, karın yerde kalış süresi, yıllık sıcaklık farkı ve rüzgar, çatı türü ve eğiminin belirlenmesinde etkilidir (Kasapo, 2014). Yapı kabuğunun bir parçası olan çatı, yapıyı atmosfer etkilerinden koruyan yapı bileşenlerinden biridir. Özellikle yağış ve güneş ışıınımı ile direkt etkileşim içinde olan çatıların formu ve malzemesi iklim tipine uygun olarak belirlenmelidir. Çizelge 3.2’de iklim tipine göre çatı türü ve eğimi, çatı malzemesi önerilerine yer verilmiştir.

Çizelge 3. 2 : İklim tiplerine göre çatı türü, eğimi ve malzemesi için öneriler (Özdemir, 2005).

İklim'e göre çatı formu		
İklim Tipi	Çatı türü ve eğimi	Çatı malzemesi
Sıcak Nemli İklim Bölgesi	Hava akışlarına izin veren, yükseltilmiş veya eğimli çatı	Açık renkli güneş ışınlarını yansıtan malzemeler veya toprak ve kamış gibi doğal yalıtkan malzemeler
Sıcak Kuru İklim Bölgesi	Güneş ışınlamalarının etkisini minimize eden düz çatılar	
Ilımlı Kuru İklim Bölgesi	İyi izole edilmiş, eğimli çatı	Sıcak iklime göre daha koyu renklerde malzemeler
Ilımlı Nemli İklim Bölgesi		
Soğuk İklim Bölgesi	İyi izole edilmiş, kar yüküne uygun eğimli çatı	Koyu renkli ve ısı tutan malzemeler

Beşik, kırma, yarım kırma, teras, tek eğimli, kelebek, mansard, M (Şed, Testere dişli), tonoz, kubbe ve külah çatı gibi çatı türleri bulunmaktadır. Mimari tasarım kararlarının yanı sıra iklimsel veriler gözetilerek çatı türü ve eğimine karar verilmelidir (Çizelge 3.2). Şekil 3.8’de bazı çatı türleri görsel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3. 8 : Bazı çatı türleri (Url-10).

3.2.2.3 Cephe eğimi

Yapılarda eğimli cephe uygulamaları ile güneşten korunma ve/veya yararlanma dereceleri değiştirilebilmektedir. Cephede tek açılı veya çok açılı oluşturulan eğimlerle yapının doğal aydınlatmasına katkı sağlanırken, yapının ısıtma ve soğutma yüklerinin de kontrolünde cephedeki eğimlerden yararlanılması mümkün olmaktadır.

Eğimli cephe uygulaması örneklerine çoğunlukla ofis yapılarında rastlanmaktadır. Bu bölümde Avrupa Biyoinformatik Enstitüsü, Tempe Belediye Binası, Five Manhattan West Binası, Kore Sanayiciler Federasyonu Binası (FKI Tower) yapı örnekleri üzerinden cephe eğimi konusu incelenmiştir.

ABD’de bulunan ters piramit olarak adlandırılan Tempe Belediye Binası’nın cepheleri, zeminle 45°’lik açı yapan sağlam bir çelik çerçeve ile desteklenmiş temperli cam panellerden oluşmaktadır (Şekil 3.9). Camlar esnek olacak ve sıcaklığa, soğuğa ve yerçekimi kuvvetlerine dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Yapı cephesinin eğimi sayesinde yaz aylarında istenmeyen ısı kazanımları önlenabilmektedir.



Şekil 3. 9 : Tempe Belediye Binası cephesi (Url-18).

İngiltere, Cambridgeshire kırsalında üç katlı olarak uygulanan Avrupa Biyoinformatik Enstitüsü (Şekil 3.10) yapısının açık ofis alanının bulunduğu güneybatı cephesinde plan ve kesit düzleminde cephe yüzey alanı arttırılmıştır. Bunun için plan düzleminde akordeon cephe uygulanmış ve aynı cephe kesit düzleminde dışa doğru eğilmiştir. Bu sayede yapıda gün ışığından maksimum fayda ve direkt ışınımın azaltılması ile de ofis yapısı için gerekli olan yararlı günışığı sağlanmıştır.



Şekil 3. 10 : Cambridgeshire’de bulunan Avrupa Biyoinformatik Enstitüsü (Url-19).

1969 yılında yapımı tamamlanan ABD’de bulunan eğimli bir cepheye sahip Five Manhattan West Binası’nın cephe kaplaması kahverengi metal kaplama ile değiştirilmiştir (Şekil 3.11 sol). Yapı cephesi 2017 yılında tekrar bir yenilemeye giderek yapının görünümünü ve enerji verimliliğini etkileyen çok açılı bir tasarımla cam giydirme cephe olarak uygulanmıştır (Şekil 3.11 sağ).



Şekil 3. 11: Yapının 1969 yılı cephe yenilemesine ait fotoğraf (sol), yapının 2017 cephe yenilemesine ait fotoğraf (sağ) (Url-20).

2017 yılında yapılan değişiklik ile yapı kabuğundaki saydam yüzey alanı arttırılmıştır. Bu sayede ofis alanları için yeterli gün ışığı sağlanırken yapının kullanılan hacmi de arttırılmıştır. Yapının yenilenmiş cephesine ait yakın çekim fotoğraflara Şekil 3.12’de yer verilmiştir.



Şekil 3. 12 : Yapının 2017 yılındaki yenilemesine ait bir dış cephe fotoğrafı (sol) İç mekandan çekilmiş bir şantiye fotoğrafı (sağ) (Url-20).

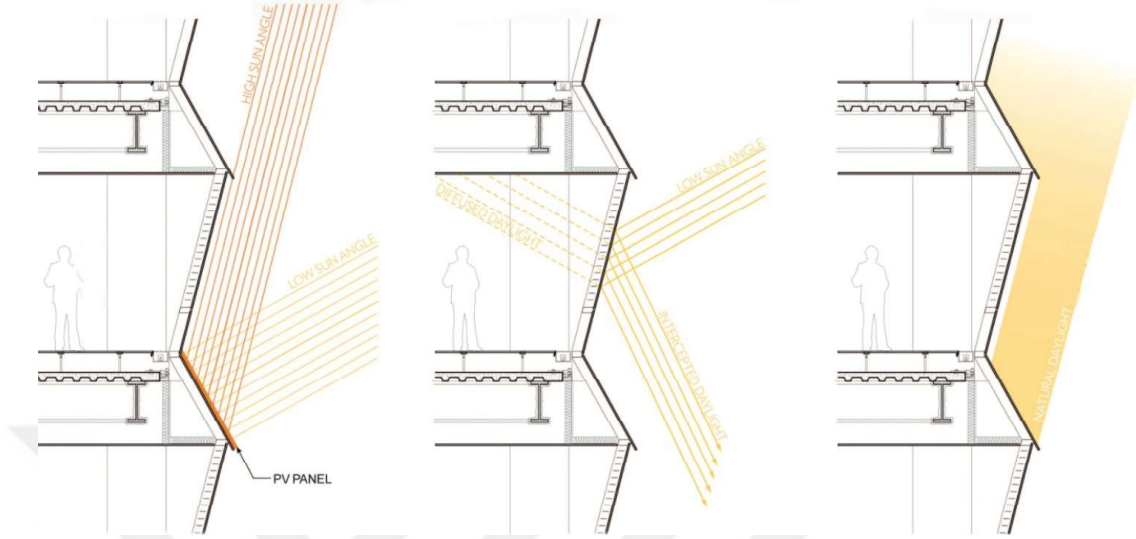
Kore Sanayiciler Federasyonu Binası (FKI Tower), Güney Kore, Seul'da yer almaktadır. Seul'un iklimi, Köppen iklim sınıflandırmasında "Dwa" olarak adlandırılan, kışları kurak geçen nemli bir karasal iklime sahiptir. Dört ayrı mevsimi olan ılıman bir iklime sahip olan Seul'da bulunan yapı 50 katlı ve 240 metre yüksekliğindedir. Çatısında fotovoltaik paneller ile enerji üretimi desteklenmektedir. Ancak yüksek katlı olması nedeniyle bu panellerin yapının tüm enerji ihtiyacını karşılaması beklenmediğinden cephe yüzeylerinde de fotovoltaik paneller kullanılmıştır.



Şekil 3. 13: FKI Kulesi güneyden çekilmiş bir fotoğraf (sol) Güneybatı ve güneydoğu cephelerinin yakından görünüşü (sağ) (Url-21).

Yapı cephesi ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmak ve enerji ihtiyacını desteklemek amacıyla çok açılı bir tasarımla ele alınmıştır. Yapının akordeon formu sayesinde, yaygın ışıınımdan faydalanarak günışığı içeri alınırken kendi kendini gölgeleyen (self

shading) bir forma bürünmüştür (Şekil 3.12). Güneş ışınlarını maksimum düzeyde toplamak üzere tasarlanmış spandrel yüzeylerde fotovoltaik panel kullanılmıştır. Bu sayede yapının kendi enerji ihtiyacının desteklenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3. 14 : FKI Tower cephe tasarım stratejisini gösteren kesit diyagramı (Url-22).

3.2.3 Mekan organizasyonu

Yapı kabuğu içerisinde mekanların organizasyonunda önemli olan etmenler;

- İklim koşulları
- Yapının işlevi (Mekanların kullanım sürelerini ve yoğunluğunu etkilemektedir.)
- Kullanıcı gereksinimleri ve istekleridir (Ovalı, 2009).

Mekanın plan düzlemindeki yönü ve boyutları iklimsel ve görsel konforu etkileyen önemli değişkenlerdir. Mekanın bulunduğu cephenin yönü ve cephedeki yüzey alanı ısı kayıp ve kazançlarını, güneşiğindan yararlanma oranını etkilemektedir (Dörter, 1994). Yapıdaki mekanlar için önerilen yönler ve ilgili bilgilere Çizelge 3.4’te yer verilmiştir. Önerilen yönlerin yanı sıra kullanıcıların beklenti ve talepleri gözetilerek mekan organizasyonunun yapılması kullanıcı memnuniyetini olumlu etkileyecektir.

Çizelge 3. 4. Mekanlar için güneşe göre yönelim önerileri (Kuzey yarımküre)¹

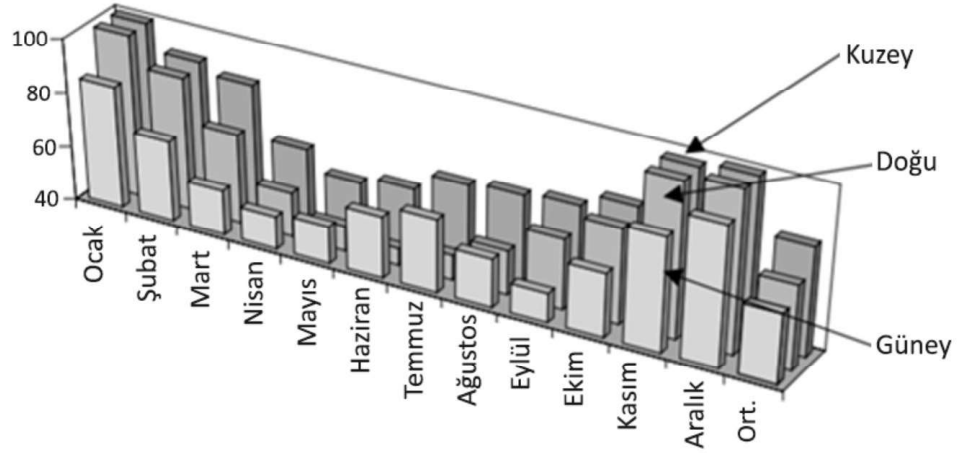
Mekanlar / Yönler	K	KD	D	GD	G	GB	B	KB	Açıklama
Yatak odası	■	■	■	■	■	■			Sıcak iklim bölgelerinde akşam saatlerindeki ısı kazanımı nedeniyle batı yönünde, soğuk iklimlerde ise ısı kayıpları nedeniyle kuzey yönünde konumlandırılmamalıdır.
Yaşam alanı				■	■	■	■		Kullanım yoğunluğu fazla olduğu için güneş ışıını kazanımdan ve günışığından yararlanmak amacıyla GB, G,GB,B yönlerinde konumlandırmak mümkündür. Ilımlı ve sıcak iklimlerde yaz aylarında güneşten korunmak için önlemler alınmalıdır.
Yemek odası			■	■	■	■	■		Gün içinde kullan bu mekanlar yaşam alanı kadar yoğun kullanılsa da kullanım yoğunluğu yüksektir ve günün her saati kullanılabilir. İklim'e göre yönüne karar verilmelidir.
Mutfak			■	■	■	■	■		
Teras			■	■	■	■	■		Sıcak iklimlerde kuzeyde konumlandırılması da tercih edilebilmektedir.
Çalışma alanı/ kütüphane	■	■		■	■	■		■	Kuzey yönündeki günışığı dengelidir ancak yapay aydınlatma ihtiyacı ve ısı kaybı güney ve batı yönüne kıyasla daha fazladır. Kullanım süresi fazla ise mekanın güneyde konumlandırılması ve güneş kırıcılar ile günışığı kontrolünün sağlanması ısı konforu sağlanması açısından olumlu olacaktır.
Islak hacimler	■	■	■	■	■	■	■	■	Islak hacim ve garaj gibi kullanım süresi az olan mekanların tampon bölge olarak kuzeyde konumlandırılması daha uygundur.
Garaj	■	■	■	■	■	■	■	■	
Dikey sirkülasyon alanları	■	■	■				■	■	Genellikle yapıların merkezinde konumlandırılrsa da dış çeperde konumlandırılacaksa güney cephe'deki faydalı günışığı kullanımını engellemeyecek şekilde konumlandırılmalıdır.
■ (Olgay, 1963) ■ Önerilen eklemeler									

Yapının işlevine bağlı olarak mekanların kullanım süreleri ve yoğunlukları farklılık göstermektedir. Konutlar için yaşam alanları, ofis yapıları için çalışma alanları birinci derece önemli mekanlardır. Gün içerisinde yoğun kullanılan bu mekanların güneş ışıını ve günışığından maksimum fayda sağlamak üzere güney ve güneye yakın yönlerde konumlandırılmaları önerilmektedir.

Kuzey yarımkürede güneyden alınan güneş ışıını doğu ve batı yönüne göre daha kolay kontrol edilebilmektedir ve Şekil 3.15'te görüldüğü gibi doğu ve kuzey yönlerinde yapay aydınlatma ihtiyacı fazladır. Bu nedenle yapıda gündüz saatlerinde

¹ (Olgay, 1963) kaynağından alınan bilgilerle çizelge hazırlanmıştır ve günümüzdeki mimari gelişmelere uygun eklemeler ve açıklamalar yapılmıştır.

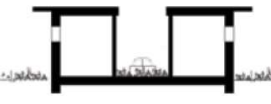
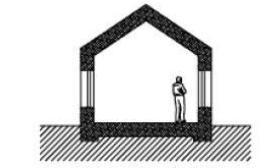
yoğun kullanım gerektiren hacimlerin -iklim tipine göre cephede önlemlerin alınması koşulu ile- güney ve güneye yakın yönlerde konumlandırılması yararlı olacaktır.



Şekil 3. 15 : Yönlere göre yapay aydınlatma ihtiyacı (Franzetti, Fraisse, & Achard, 2004).

3.2.4 Yapı kabuğu

Yapı kabuğu, dış iklimsel koşulların iç mekandaki etkisini kontrol altında tutarak iç konfor şartlarının sağlanması için tasarlanan zemin döşemesi, çatı ve cephe bileşenlerinden oluşmaktadır. Yapı kabuğunun görsel, işitsel ve termal konfor koşullarını sağlaması için yapının bulunduğu iklim, bölge ve yapı alanının incelenmesi, mevcut durumun anlaşılması ve buna uygun çözümlerin üretilmesi önemlidir. Kabukta alınan önlemler yapının ısı kazanım ve kayıplarını etkilemesi sebebiyle ısıtma ve soğutma yüklerini değiştirmektedir. Yapının enerji yükünün belirlenmesinde saydam ve opak bileşenlerin malzeme özellikleri, yapının saydamlık oranı ve güneş kontrol elemanlarının kullanımı büyük öneme sahiptir. Şekil 3.16'da yapı kabuğu için iklim bölgelerine göre tercih edilebilecek bazı özelliklere yer verilmiştir.

Sıcak Nemli iklim Bölgesi		Duvarlar: ısı depolama kapasitesi düşük açık renkli Güneş ışınlamı yansıtıcılığı yüksek duvarlar, hafif konstrüksiyon Pencereler: iç ve dış mekan arasında hava hareketlerine izin veren, direk güneş ışınlarından korunma amacı ile gölgelendirilen geniş açıklıklar Çatılar: hareketine izin veren yükseltilmiş eğimli çatı
Sıcak Kuru İklim Bölgesi		Duvarlar: günlük dış hava sıcaklıkları değişiminin büyük olması nedeniyle ısı depolama depolama kapasitesi yüksek masif duvarlar Pencereler: avlu yönünde büyük, dış cephede küçük açıklıklar Çatılar: güneş ışınlarının etkisini azaltan dış Çatallar
Ilımlı İklim Bölgesi		Duvarlar: iç mekanda konfor koşullarını sağlayacak yalıtım değerine sahip duvarlar Pencereler: gerekli ısı kontrolünü sağlayacak büyüklükte açıklıklar Çatılar: uygun izole edilmiş eğimli çatı
Soğuk İklim Bölgesi		Duvarlar: ısı depolama kapasitesi yüksek iyi izole edilmiş masif duvarlar Pencereler: iyi izole edilmiş gerektiğinde çok katlı camlı açıklıklar Çatılar: iyi izole edilmiş eğimli çatı

Şekil 3. 16: İklim bölgelerine göre tercih edilebilecek yapı kabuğu özellikleri (Koçlar Oral, 2010).

Yapı kabuğu çözümünde enerji yükünün azaltılması ve yenilenebilir enerjilerden maksimum faydalanılması amaç olmalıdır. Bunun için kullanıcı konforu gözetilerek pasif sistemler ve malzeme özelliklerinden yararlanılmalıdır. İklim tiplerine göre yapı kabuğu tasarımı yapılırken ısıtma ve soğutma istenilen dönemlerdeki enerji tüketim miktarı ve maliyetleri göz önünde bulundurularak tasarım stratejisi geliştirmek mümkündür. Isıtma istenen dönemin daha uzun olması durumunda en az ısı kaybına sebep olacak nitelikte tasarım yapılması ve soğutma istenilen dönemlerdeki enerji kullanımını düşürmek için güneş kontrol elemanlarından yararlanılması önerilmektedir. Soğutma istenilen dönemin daha uzun olması durumunda yapının güneşten korunması önemsenmektedir. Günümüzde yapılarda ısı yalıtım malzemeleri ile opak bileşenlerde, farklı cam türlerinin kullanımı ve çeşitli doğrama sistemleri ile de saydam bileşenlerde ısı kayıp ve kazançlarının kontrolü sağlanabilmektedir. Bunun yanında soğutma istenilen dönemde saydam bileşenlere gelen direkt güneş ışınlamından yapının korunmasında güneş kontrol elemanlarının kullanımı önemli bir role sahiptir.

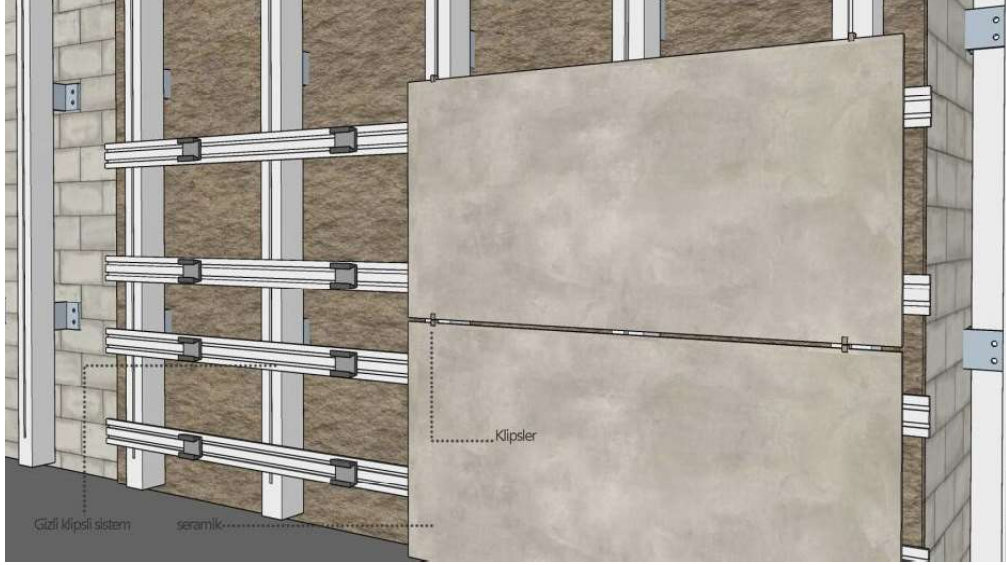
Yapı kabuğu yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık gibi güneş ışınlamına ilişkin optik özelliklere sahiptir. Bunun yanında yapı kabuğu katmanlarının ısı geçirgenlik katsayısı, genlik küçültme faktörü ve faz kaydırma gibi termofiziksel özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler dış hava sıcaklığı ve güneş ışınlamının etkileriyle ısı kayıp ve kazançlarının belirlenmesinde buna bağlı olarak da iç iklimsel konfor üzerinde etkin rol oynamaktadır. Yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık optik özelliklerine 2.3.2 bölümünde detaylı yer verilmiştir.

Opak ve saydam bileşenlerin her ikisi için de geçerli olan ısı geçirgenlik katsayısı (U), farklı malzeme katmanlarından oluşan yapı elemanının 1 m²'sinden birim zamanda geçen ısı miktarıdır. U değeri azaldıkça ısı transferi miktarı da azalır ve ısı korunum düzeyi artar.

Opak bileşenlerde genlik küçültme faktörü ve zaman geciktirmesi (faz kayması) gibi termofiziksel özellikler ısı depolayabilen malzemeler için geçerlidir. Saydam bileşenlerde bu değerler göz ardı edilebilecek düzeyde olduğu için bu bileşenler için geçerli değildir (Yılmaz, 2006). Yapı kabuğunun, dış atmosferdeki ısı değişikliklerini içeriye iletmede gösterdiği eylemsizliği genlik küçültme faktörü olarak tanımlanmaktadır (Toydemir ve ark., 2011). “Zaman geciktirmesi, bileşenin dış yüzeyindeki maksimum sıcaklığın olduğu saat ile iç yüzeyinde maksimum sıcaklığın olduğu saat arasındaki zaman farkı olarak tanımlanmaktadır.”(Yılmaz, 2006).

3.2.4.1 Opak bileşenler

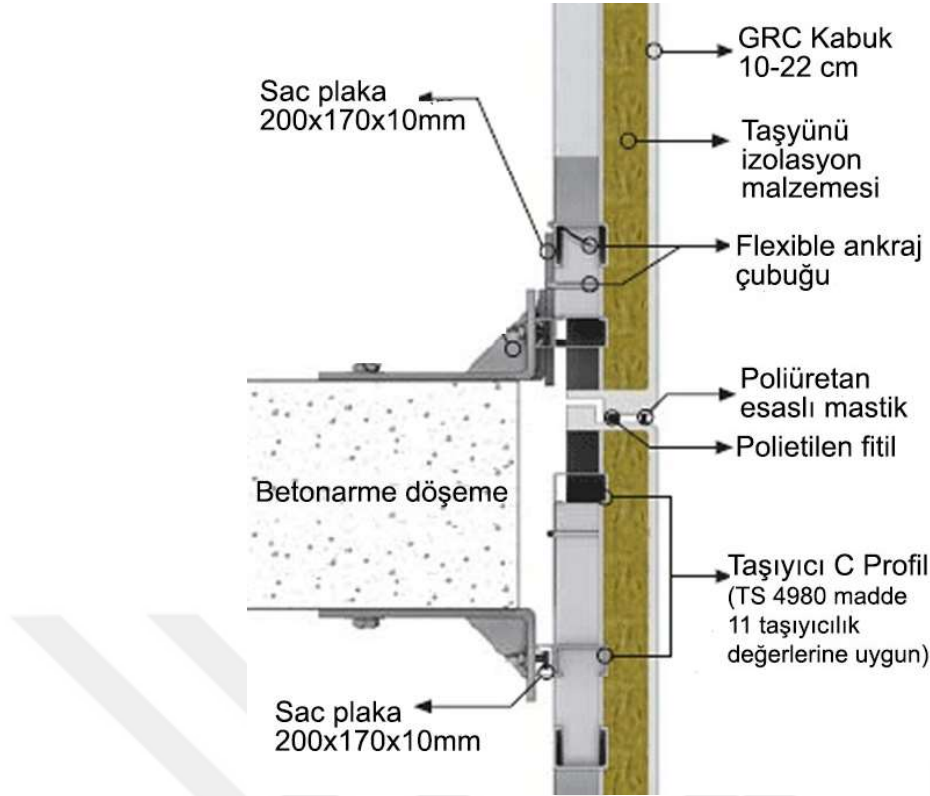
Yapının işlevine bağlı olarak kabuğun büyük bir oranına sahip olabilen opak bileşenler temel döşemesi, çatı, duvarlar, cephenin spandrel bölümleri, parapet ve doğramalardan oluşmaktadır. Geleneksel yapılarda opak bölümlerde tuğla, kerpiç blokları, taş ve ahşap gibi masif yapı malzemeleri uygulanırken günümüzde yapı teknolojilerinin gelişmesi, malzeme çeşitliliğinin sağlanması ve artan nüfusla birlikte hammadde ihtiyacının da artması nedeniyle hammaddenin verimli kullanımı için malzemeler, boşluklu yapıda üretilmekte veya ince kesitlerde ve çok katmanlı olarak kullanılmaktadır. Bu katmanlar iç ve dış cephe malzemeleri, taşıyıcı sistem ve yalıtım malzemelerinden oluşmaktadır. Yapıda görsel, işitsel ve ısısal konfor tercihlerine göre bu katmanların türleri, kalınlıkları ve bir araya geliş biçimleri değişkenlik göstermektedir. Şekil 3.17’de modern yapılarda kullanılan detaylardan biri olan mekanik montaj sistemli seramik kaplama detayına yer verilmiştir.



Şekil 3. 17. Seramik cephe kaplamasına bir örnek (Url-4)

Dış cephe malzemesinin sıcak ve soğuk hava koşulları, yağışlar, güneş ve rüzgar gibi iklimsel faktörlere karşı dayanımı ve uzun ömürlü olması önemsenmektedir. Bu nedenle de endüstriyel devrimle birlikte pek çok malzeme türü üretilmeye başlanmıştır. Ahşap kompakt panel, doğal taş, tuğla ve seramik kaplamalar, çimento esaslı yonga levha, cam elyafı ile takviye edilmiş beton panel gibi farklı özellikte kaplama malzemeleri uygulanmaktadır (Metin, 2010). Bunun yanında prekast cephe sistemleri ve prefabrike panel sistemleri gibi yapı uygulamasında zaman kazandıran duvar sistemleri de bulunmaktadır.

Farklı malzemelerin olumlu özelliklerini güçlendirmek, maliyetini azaltmak, uygulama kolaylığı ve esnekliği sağlamak, hafifletmek ve dayanımını arttırmak gibi amaçlarla en az iki malzemenin makro boyutlarda bir araya getirilmesi ile kompozit malzemeler elde edilmektedir. Form esnekliği sağlaması, uygulama kolaylığı ve hızı, bakım ihtiyacının az olması gibi sebeplerle kompozit malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Özellikle ticari yapılarda kullanımı yaygın olan kompozit malzemenin örneklerinden biri de prekast dış cephe kaplamasıdır. Cam elyaf takviyeli beton olarak tanımlanan prekast cephe kaplamasının içerisinde bulunan alkali dayanımlı cam elyaf, beyaz çimento, polimer ve silis kumu gibi bileşenler ile daha hafif, pürüzsüz ve daha sağlam bir beton elde edilmesi sağlanmaktadır (Url-5). Prekast cephe kaplaması GRC kabuk, ısı yalıtım malzemesi veya dolgusu (taşıyıcı, köpük beton vb.) ve taşıyıcı sisteminden oluşmaktadır (Şekil 3.18).



Şekil 3. 18. Prekast cephe sistemi (Url-6).

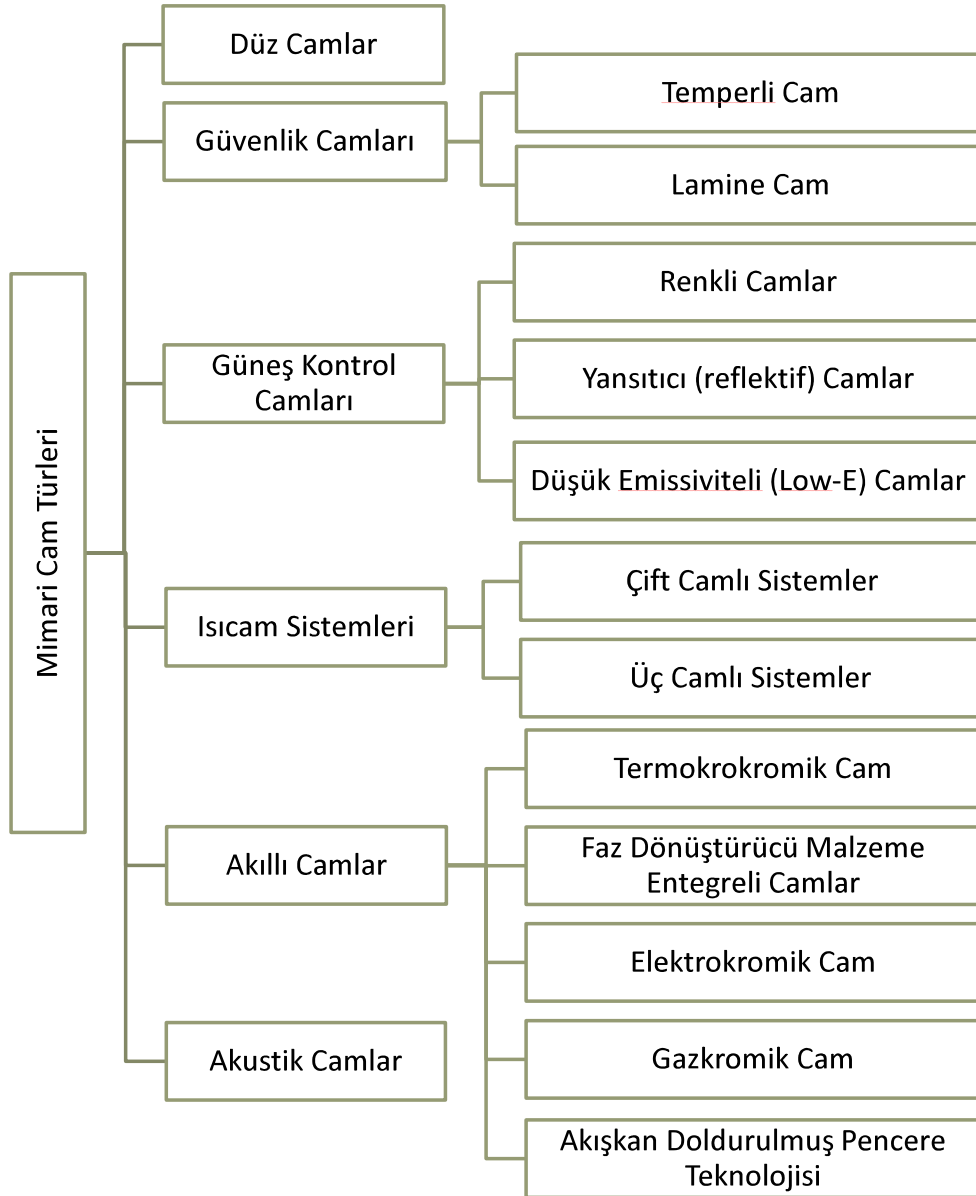
3.2.4.2 Saydam bileşenler

Yapı kabuğundaki açıklıklar iç ve dış mekan arasında görsel, işitsel bağ kurulmasını ve yapı yüksekliğine bağlı olarak yapının havalandırılmasını sağlayan yapı bileşenleridir. Yapının saydam bileşenleri güneşten yararlanma ve korunmayı sağlarken aydınlatma, ısıtma ve soğutma için gereken enerji miktarının belirlenmesinde önemli bir etkindir. Bunun yanı sıra statik ve güvenlik gereklilikleri ve akustik gibi farklı etmenler de mevcuttur. Bu nedenle cephe açıklıklarında camın türü seçilirken dikkat edilmesi gereken bazı parametreler vardır (F. Ç. Kılıç, 2015; Lechner, 2014; Soyyiğit,S., Bostancıoğlu, 2012). Bunlar;

- Yapının işlevi, yüksekliği ve cephe yapım sistemine uygun statik dayanım ve güvenlik ihtiyacı,
- Yapının bulunduğu iklim bölgesi,
- Yapının çevresi ve konumuna bağlı güneşlenme durumu,
- Yapının işlevine uygun görsel, işitsel ve ısısal konfor koşullarıdır.

Mimari cam türleri ve özellikleri

Günümüzde mimari cam tipleri güvenlik camları, güneş kontrol camları ve ısı yalıtım camları ve akıllı camlar olarak sınıflandırılabilir. Şekil.3.19’da mimari cam türleri ana hatlarıyla ifade edilmiştir.



Şekil 3. 19: Mimari cam türleri².

Yukarıdaki şekilde yer alan cam türlerinin özellikleri farklı kombinasyonlarla bir araya getirilerek yapı kabuğu için optimum sonuçlar elde edilebilmektedir.

² Şekil 3.19’da bulunan sınıflandırma (Cüce, P. M.; Güçlü & Besir, A. B; Cüce, 2019; Soyyiğit,S., Bostancıoğlu, 2012) kaynaklarından yararlanılarak yapılmıştır.

Güneş kontrol camları günümüzde özellikle yüksek katlı ve saydamlık oranı fazla olan binalarda soğutma yüklerinin azaltılması için kullanılmaktadır. Özellikle ofis binalarında güneş ışınlarının kontrollü olarak iç mekana alınması veya engellenmesi için tercih edilen yöntemlerdir. Bunun için cam üretim aşamasında veya üretim sonrası kaplama şeklinde uygulamalar yapılmaktadır. Güneş kontrol camı olarak, renkli camlar, yansıtıcı camlar ve düşük emissiviteli (Low-E) camlar kullanılmaktadır.

Renkli camlar üç yöntemle elde edilmektedir. Bu yöntemler camın hamuruna çeşitli metal oksitlerin karıştırılması, camın yüzeyine boya püskürtülmesi ve cam yüzeyinin renkli film tabakası ile kaplanmasıdır (Alpur, 2009). Yansıtıcı camlar, renkli camlara oranla güneş ışınımından kaynaklı ısı kazancının önlenmesinde daha etkili olmaktadır (A. Kılıç, 2018).

Yansıtıcı camlar üretim sırasında veya sonrasında camın metal oksitlerden üretilmiş film tabakalarının kaplanmasıyla elde edilir (Koca, 2020). Bu camlar sayesinde güneş ışınının belli dalga boyları yansıtılarak iç mekanda güneş kontrolü sağlanmaktadır; ancak dış mekanda çevre binalar ve kentsel alanlar için bu ışınların yansması ısı adaları oluşmasını tetiklemektedir.

Spektral seçici (Low-E) camlar, ofis ve konut gibi yapılarda enerji tasarrufu için en çok tercih edilen cam türlerinden biridir. Mekan içerisindeki sıcak yüzeylerden dışarıya doğru yönelen ısı dalgalarını geri yansıtarak ısı kaybını önlerler. (Farahbakhsh, 2014).

Isıcam sistemleri, ortam basıncına uygun kuru hava veya gazları arasında barındıran iki veya daha çok sayıda cam plakanın fabrika şartlarında bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Çoğunlukla ikili cam sistemi kullanılsa da soğuk iklim bölgelerinde üçlü cam sisteminin kullanıldığı örnekler de mevcuttur. Camların türü, camlar arasındaki mesafe ve boşlukta kullanılan gaz cam sisteminin ısı geçirgenliğini değiştirir. Camlar arasında daha çok kuru hava tercih edilse de argon, kripton gibi havadan ağır bazı soy gazlarla cam sisteminin ısı geçirgenliği daha da azaltılabilmektedir (Koca, 2020).

Akıllı camlar, yapılarda güneş enerjisinden istenilen seviyede doğal aydınlatma ve enerji kazanımı elde etmek için geçirgenlik özellikleri manuel olarak değiştirilen veya

dış şartlara bağılı olarak kendi kendine değıştirebilen camlardır. Şekil 3.19'da bazı örneklerine yer verilmiştir. Cüce ve arkadaşları (2019), yazdıkları makalede bu konuya detaylı olarak yer vermişlerdir.

Camın ısısal özellikleri

Yapı kabuğunu oluşturan saydam ve opak tüm yüzeylerden ısı kayıp ve kazançları oluşur. Sıydam yüzeyler, ısı kayıp ve kazancında yapının kontrolü en zor olan bileşenleri olabilmektedir. Camın dış yüzeyinde ve iki cam arasında çeşitli gölgeleme elemanları kullanılarak ısı kazançlarından korunmak mümkün olabilmekte veya ısı kayıplarının önlenmesi için panjur kullanımı bir çözüm olabilmektedir. Bununla beraber camın yapısal özellikleri ile de ısı kayıp ve kazançlarının kontrolü mümkün olabilmektedir. Camın ısısal özellikleri ile ilgili faktörler;

- Isıl geçirgenlik katsayısı (U değeri),
- Güneş enerjisi toplam geçirgenliği (g-faktörü veya SHGC: Solar Heat Gain Coefficient),
- Gölgeleme katsayısıdır (Soyyigit,S., Bostancıoğlu, 2012).

Güneş ışınlarının; %44'ü görünür ışın (380-780 nanometre dalga boyları arası), %53'ü kızılötesi ışınlar, %3'ü ultraviyole ışınlardır (Sezer, 2005). Güneş enerjisi toplam geçirgenliği tüm dalga boylarındaki güneş ışınlarından cam üzerine gelen ve iç ortama giren ışınların yüzdesini ifade etmektedir. Buna kısaca g faktörü veya SHGC de denilmektedir. (Alpur, 2009). Güneş kontrolü yüksek olan camların g-faktörü düşüktür ve sıcak iklimlerde bu tür camlar tercih edilmelidir. Soğuk iklimlerde ısı kazancına ihtiyaç duyulduğu için güneş enerjisi toplam geçirgenliği yüksek camlar tercih edilmelidir.

Gölgeleme katsayısı (SC: Shading Coefficient), bir cam ünitesinden doğrudan geçen güneş ışınımından kaynaklı güneş enerjisi kazancının, 3mm şeffaf düz camdan geçen güneş enerjisine oranıdır. Gölgeleme katsayısı camın rengine ve yansıtıcılığına bağılı olarak değışiklik göstermektedir. SC değeri 0,87 ile çarpıldığında yaklaşık olarak SHGC değeri bulunmaktadır (A. Kılıç, 2018). Literatürde ve firmaların ürün teknik belgelerinde SC değeri, SHGC olarak ifade edilmektedir.

Camın Optik Özellikleri

Güneş ışınları cam yüzeyine geldiğinde camın optik özelliklerine bağlı olarak ışınları yansıtma, iletme ve soğurulma oranı değişiklik göstermektedir. Cam malzemenin optik özellikleri tanımlanırken ışık geçirgenliği (T) ve yansıtıcılık özelliği üzerinde durulmaktadır.

Işık geçirgenliği (T), insan gözünün algıladığı 380-780 nanometre dalga boyları arasında olan güneş ışığının camdan geçiş yüzdesini ifade etmektedir (Sev, Gür, & Özgen, 2003). Cam hamurunun renklendirilmesi veya cam yüzeyinin renkli ya da yansıtıcı tabakalar ile kaplanmasıyla %9'dan %66'ya kadar ışık geçirme özelliği değiştirilebilmektedir (Alpur, 2009). Camın ışık geçirgenliği iç mekandaki doğal ışık kalitesini ve buna bağlı olarak kullanıcı görsel konforunu etkilemektedir.

Işık yansımaları %5'ten küçük olan camlar mat, %55'ten yüksek olanlar ise yüksek yansımali olarak kabul edilmektedir. Camın ışık geçirgenliği, yapının güneşlenme oranına, işlevine, cephelerin yönlerine ve mekanların derinliklerine bağlı olarak seçilmelidir. Ofis yapılarında ışık geçiriminin %30-35'ten az olmamasına özen gösterilmelidir (Alpur, 2009).

Cam sistemlerinin ısı özellikleri; camın cinsine, sistemin cam kombinasyonuna, camlar arası boşlukta kullanılan gazın cinsine göre değişmektedir. Çizelge 3.3'te Türkiye'de cam üretimi yapan bir firmanın cam sistemlerine ait teknik bilgiler bulunmaktadır. Çizelgede bulunan standart çift camlarda cam türü aynı, cam kombinasyonu ve camlar arasında kullanılan gazlar farklıdır. Bu farklılığın yalnızca U değerinde değişikliğe neden olduğu görülmektedir. Low-E cam kullanımı cam türünde bir değişiklik olması sebebiyle standart çift cama göre gün ışığı geçirgenliği, toplam geçirgenlik, gölgeleme katsayısı özellikleri ve ısı geçirgenlik katsayısı büyük oranda farklılık gösterirken yansıtma oranında farklılık azdır.

Çizelge 3. 3. Bazı cam sistemlerinin ısı ve optik özellikleri (Url-3).

Isıcam Sistemleri		Gün Işığı (EN410)		Güneş Enerjisi (EN 410)		Isı Geçirgenlik Katsayısı (U değeri) W/m ² K	
Cam Sistemleri	Cam Kombinasyonu	Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	Toplam Geçirgenlik %	Gölgeleme Katsayısı	Hava	Argon
Standart çift cam	4+12+4	80	14	75	0,86	2,9	2,7
Standart çift cam	4+16+4					2,7	2,6
6 mm Temperlenebilir Solar Low-E Cam Nötral 60/28 +16 mm AB+ 6 mm Renksiz Düzcam	6+16+6	60	15	28	0,33	1,3	1,1

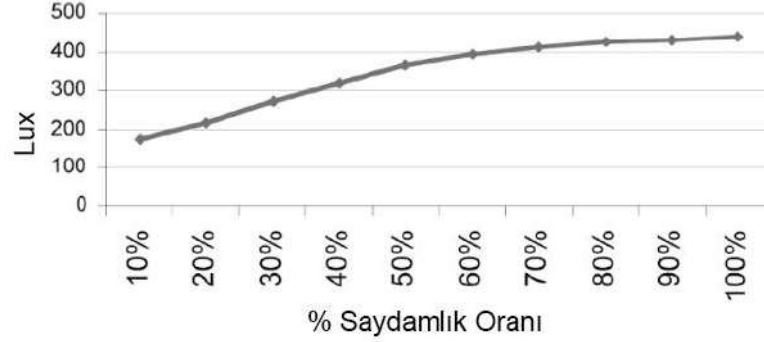
3.2.4.3 Saydamlık oranı

Yapı kabuğunda oluşturulan saydam yüzeyler yapının iç ve dış mekanlar arasında ilişki kurmasını sağlayan öğelerdir. Yapı için gerekli gün ışığı ve doğal havalandırma cephedeki veya çatıdaki açıklıklar aracılığıyla sağlanabilmektedir. Kullanıcıların fiziksel ihtiyaçlarının karşılanmasının yanı sıra psikolojik açıdan da yapıda yeterli doğal aydınlatma ve havalandırmanın sağlanması önemlidir (Cebeci, T. ; Özçamur, İ. ; Arpacıoğlu, 2020; Z. A. Kılıç, 2018).

Binanın saydam bileşen alanının toplam cephe alanına oranı, saydamlık oranını ifade etmektedir. Yapı kabuğundaki saydamlık oranına, açıklıkların uygulandığı cephenin yönüne bağlı olarak yapının ısı kazanç ve kayıpları değişiklik göstermektedir. Yapının bulunduğu iklim koşulları göz önünde bulundurularak günışığı gereksinimi sağlanırken ısıtma ve soğutma için oluşabilecek enerji kayıplarını azaltmaya yönelik tasarımlar yapılmalıdır. Açıklıkların formu, boyutları, bulunduğu cephe yönü ve kullanılan malzemelerin niteliğine göre yapının enerji yükü değişiklik göstermektedir (Cebeci, T. ; Özçamur, İ. ; Arpacıoğlu, 2020; Z. A. Kılıç, 2018).

Şekil 3.16'da iklim bölgelerine göre tercih edilebilecek yapı kabuğu özelliklerinde cephe açıklıkları için de bilgilere yer verilmiştir. Bu bilgiler daha çok geleneksel yapılar için geçerlidir, günümüzde çeşitli cam tipi ve gölgeleme elemanı çözümleri ile geniş açıklıklar pek çok iklimde mümkün olabilmektedir. Ancak bu açıklıklar için de optimum değerler bulunmaktadır.

Yapılardaki saydamlık oranı arttıkça yapıdaki aydınlık düzeyinin de arttığı bilinmektedir. Ancak Şekil 3.20’de de ifade edildiği gibi ofis yapılarında önerilen ışık seviyesi aralığına, %40-50 saydamlık oranında ulaşılmaktadır. %50 saydamlık oranından sonraki saydam alan artışlarının ışık seviyesine olan etkisinin azaldığı grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 3. 20 : Saydamlık oranı ve iç mekandaki gün ışığı aydınlık değeri ilişkisi (Hasting, 2007).

3.2.4.4 Gölgeleme (Güneş kontrol) Metotları

Güneşten ısıtma ihtiyacı olan dönemde yararlanılması, soğutma ihtiyacının olduğu dönemlerde ise yapı kabuğu saydam yüzeylerinin güneşten korunması enerji verimliliğinin sağlanmasında önemlidir. Pencerelede yapılan güneş kontrolü uygulamalarında doğramanın iç tarafında, kendisinde ve dış tarafında olmak üzere üç tip yöntem uygulanmaktadır (Demir, 1986).

Doğramanın iç tarafındaki önlemler perde, stor perde ve jaluzi gibi seçeneklere sahiptir. İç güneş kontrol elemanları çok yüksek yansıtıcılık özelliğine sahip değilse güneş ışınlarının yapı içine alınmasını engelleyemediği için termal konforda etkili değildir.

Doğramanın kendisinde renkli veya yansıtıcı camların kullanımı, cam dış yüzeyinde veya iki cam arasında kullanılan çeşitli kaplamalar veya dinamik cam sistemleri (Erdemli, 2018) gibi güneş kontrol metotları uygulanabilmektedir. Doğramanın içinde Venedik panjuru uygulaması günümüzde çok yaygın olmasa da doğramanın kendisinde alınan önlemler arasındadır. Doğramanın iç tarafındaki önlemlere kıyasla güneş ışınlarının bir kısmını dışarı yansıttığı için termal konfora olumlu etkisi vardır.

Doğramanın dış tarafındaki güneş kontrol yöntemleri diğer iki yönteme göre direkt güneş ışınlarının büyük bir kısmının iç mekana geçişini engelleyerek enerji kazancını

azalttığı için soğutma yükünü de azaltmaktadır. Ancak yapının estetik karakterini etkileyen, imalat giderlerini arttıran ve bakım zorluğu olabilen sistemlerdir(Cirit, 2012). Doğramanın dışındaki güneş kontrol yöntemlerinden bazıları;

- Yapının kendi formuyla sağlanan güneş kontrolü (self shading)
 - * Yapı taşıyıcı sistem elemanları ile,
 - * Çatı saçağı ile,
 - * Balkonlar vb. çıkmlar ile,
 - * Cephe eğimi ile güneş kontrolü
- Yapı çevresindeki doğal peyzaj elemanları ile güneş kontrolü
 - * Yaprak döken bitkiler ile (Kış aylarında doğramadan enerji kazanımını engellemez)
 - * Yaprak dökmeyen bitkiler ile (sıcak iklim bölgelerinde tercih edilebilir)
- Güneş kontrol elemanlarının kullanımı
 - * Yatay elemanlar ile (Sabit ve ayarlanabilir),
 - * Düşey elemanlar ile (Sabit ve ayarlanabilir),
 - * Kafes tipi -yatay ve düşey elemanların birlikte kullanımı- (Sabit ve ayarlanabilir)
 - * Panjur ve jaluzi sistemleri ile
 - * Mesh panel veya farklı form ve malzemelerden levhalar ile dış cephe kaplaması yoluyla
 - * Uyarlanabilir (adaptive) güneş kontrol elemanları

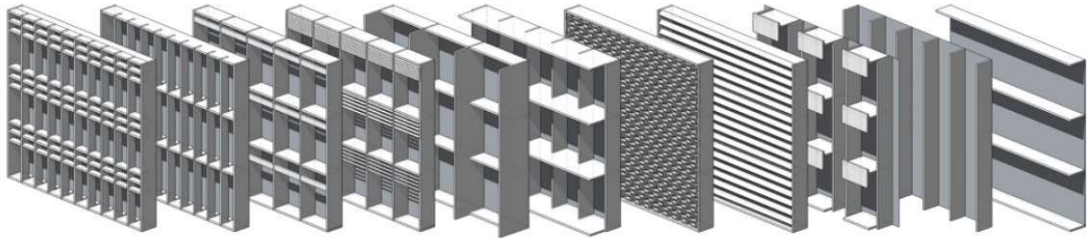
Şekil 3.21’de Mimar Alfonso Eduardo Reidy tarafından tasarlanan, Brezilya’da bulunan Rio De Janeiro Modern Sanat Müzesi’nin yapının güney cephesine ait bir fotoğrafa yer verilmiştir. Saçağı ve düşey taşıyıcı sistemi ile yapının formuna yapılan etkili müdahale aynı zamanda güneş kontrolüne de katkı sağlamaktadır.



Şekil 3. 21 : Rio De Janeiro Modern Sanat Müzesi güney cephesi (Url-12).

Konut yapılarında genellikle kış güneşinden yararlanılması yaz güneşinden de korunulması tercih edilmektedir. Ofis, kütüphane gibi yapılarda yapı içinde kamaşma (yoğun ve kontrolsüz gelen ışığın sebep olduğu durum) olması istenmediğinden kış aylarında da güneş kontrolü ihtiyacı olabilmektedir. Bu gibi durumlarda perde gibi doğramanın iç tarafında olan güneş kontrol elemanları kış aylarında yapının güneş sayesinde ısınmasına engel olmazken ışık kontrolü yapılmasına yardımcı olmaktadır.

Güneşin yapı üzerindeki etkisi yönler göre değişmektedir. Bu nedenle de güneş kontrol elemanları yönler göre farklı uygulanmalıdır. Güneye yöneltilmiş bir yapıda güney cephede yatay gölgeleme elemanları, doğu ve batı cephelerde ise düşey gölgeleme elemanları uygun aralıklarla ve açılarla yerleştirildiğinde olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Şekil 3.22’de düşey ve yatay sabit güneş kontrol elemanlarının farklı aralıklarda ve tiplerde kullanımına örnekler bulunmaktadır.



Şekil 3. 22 : Farklı tiplerde sabit güneş kontrolü metotlarına örnekler (Url-11).

3.2.5 Güneş Enerjisi Sistemleri

Yapı kullanım sürecinde güneş enerjisinden yararlanarak enerji kullanımını azaltan sistemler pasif ve aktif güneş enerjisi sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Yapı tasarımında öncelikli hedef pasif sistemler ile enerji verimliliğinin sağlanması olmalıdır. Tasarımcı ekibin, pasif sistemler ile yapının enerji ihtiyacını azaltmasının ardından kalan enerji ihtiyacı için aktif sistemlere yönelmesi yapının karbon ayak izinin azaltılmasında önemli bir yere sahiptir. Aktif sistemlerdeki fotovoltaik paneller ve enerjinin depolanması için kullanılan şarj üniteleri yapı üretim maliyetinin ve yapının karbon ayak izinin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle öncelikle pasif sistemlerden yararlanılan karma sistemlerin tercih edilmesi önemlidir.

3.2.5.1 Pasif güneş enerjisi sistemleri

Pasif güneş enerjisi sistemleri, güneşten optimum yarar sağlamak amacıyla iç ortam konfor koşullarının oluşturulması için elektrik veya yenilenemeyen diğer enerji kaynaklarından yararlanmadan ısı transferi ve depolama işlevini yerine getiren yapıya entegre edilebilen yöntem veya sistemlerdir.

Pasif sistemlerin çalışma prensibi üç temel başlıkta incelenebilir;

- Toplama: Direkt güneş ışınımına maruz kalan yapı kabuğunda oluşturulan açıklıklar ve saydam yüzeyler ile güneş enerjisinin toplanarak ısı enerjisine dönüştürülmesidir.
- Depolama: Güneş enerjisi taş, tuğla ve su gibi ısı tutma kapasitesi yüksek malzemelerde depolanabilmektedir. Termal kütle olarak adlandırılan malzemeler zemin ve duvarda kullanılabilir. Gündüz ısınan yüzeyler geceleri ısı yaymaktadır.
- Dağıtım: Zemin ve duvarlarda bulunan termal kütlede depolanan ısının, ısıtım ve taşıma yoluyla mekana dağıtılmasıdır. Taşıma için fan ve vantilatör gibi aktif sistemlerin kullanımı sistemin verimliliğin artmasını sağlar(Uslusoy, 2012).

Pasif sistemler doğrudan, dolaylı ve izole edilmiş kazanım sistemleri ve termosifon sistemler olarak dört farklı türde incelenebilmektedir (Dumlupınar, 2008; Efe, 2009).

- Doğrudan kazanım sistemleri
 - * Cephe ve çatıdaki pencereler, cam çıkmalar

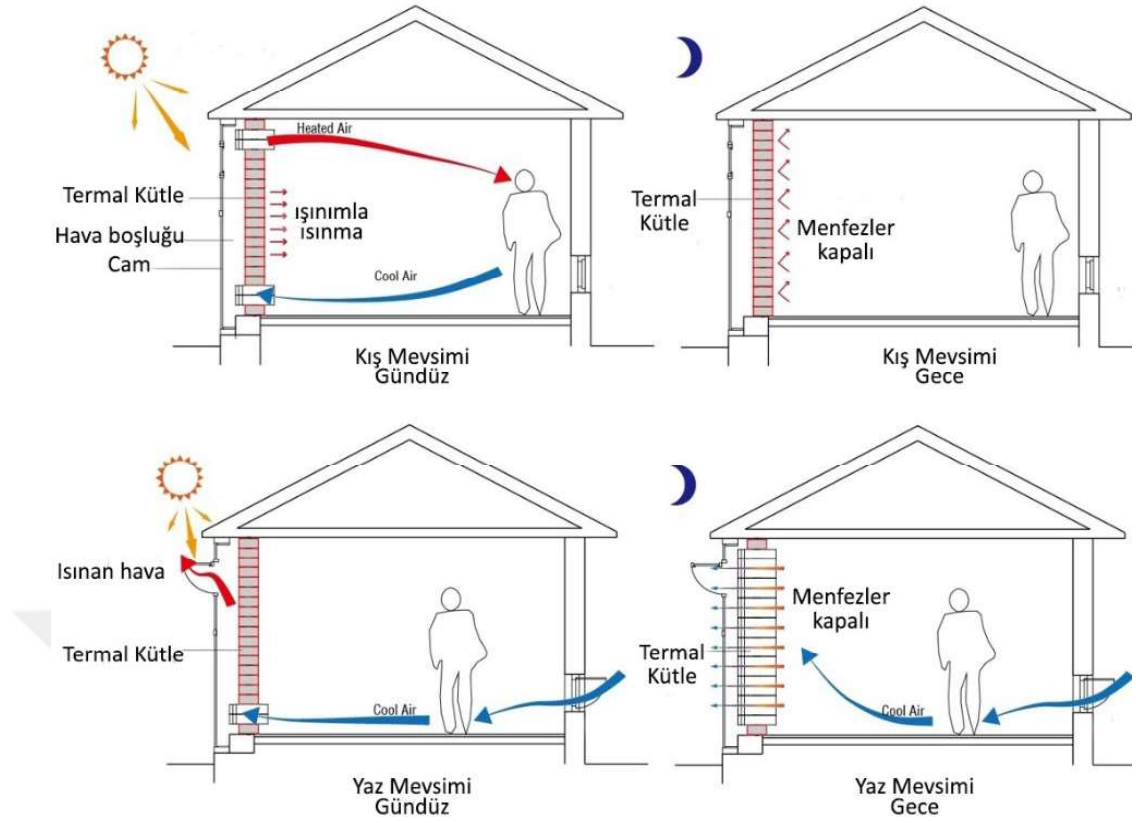
- Dolaylı kazanım sistemleri
 - * Trombe duvarı (Masif depolayıcı duvar sistemi)
 - * Su (bidon) duvarı
 - * Çatı havuzu
 - * Isı depolayıcı döşemeler
- İzole edilmiş kazanım sistemleri
 - * Güneş odaları, kış bahçesi
- Termosifon (sürekli dolaşım sistemleri) sistemleri
 - * Düşey panel sistemi
 - * U tipi panel sistemi

Efe (2009)'un tamamladığı, yüksek lisans tezinde bu sistemlerle ilgili detaylı bilgi ve çizimlere yer vermiştir.

Doğrudan kazanım sistemleri: Doğrudan kazanç yapı kabuğunda güneş ışınlarına direkt maruz kalabilen saydam yüzeylerden güneş enerjisinin yapı içine alınmasıdır. Çatı ve cephede bulunan açıklıklar yapının doğrudan kazanç sistemlerini oluşturmaktadır. Isıtma istenilen dönemde bu sistemlerden yararlanılması yapı enerji yükünü düşürmektedir; ancak soğutma istenilen dönemler için bu yüzeylerde güneş kontrol önlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Dolaylı kazanım sistemleri: Isı depolayan bir kütlenin güneş ışınlarından doğrudan kazandığı ısıyı depolaması ve bulunduğu ortama dağıtması prensibine dayanır. Dolaylı kazanım sistemlerinde genellikle saydam bir yüzey arkasında bulunan ısı kütlesi, gün içinde ısıyı depolar ve geceleri ortama bu ısıyı dağıtarak ısıtma için gerekli enerji miktarını düşürür.

Bu konuda literatürde yaygın olarak çalışılan trombe duvarının katmanları sırasıyla; saydam yüzey, hava boşluğu ve üzerinde menfezlerin bulunduğu termal kütledir. Şekil 3.23'te görüldüğü gibi kış aylarında gündüzleri menfezler açık olur; cam ile ısı kütlesi arasında ısınan hava ile yapı içindeki serin hava menfezler aracılığıyla yer değiştirir. Geceleri menfezler kapalı olur ve ısı kütlesi ortama ışıyım yoluyla ısı yaymaya devam eder. Yaz aylarında gündüzleri alt menfez ve trombe duvarın saydam yüzeyindeki pencere açık tutulur ve yapının farklı bir cephesinden pencerenin de açılmasıyla oluşan hava hareketi ile pasif soğutma desteklenir.



Şekil 3. 23 : Trombe duvarı çalışma prensibi (Url-13).

İzole edilmiş kazanım sistemleri: Yapıya ek olarak, cephesi ve çatısı saydam yüzeylerle tasarlanan, kullanılabilir bir hacme sahip olan sistemlerdir. Kış bahçesi, güneş odası olarak da ifade edilirler. Bu hacim genellikle güney cephesinde konumlandırılır ve yapının yaşam alanları ile bağlantılı olur. Yaşam alanındaki bölücü doğrama kapalıyken sera etkisi ile güneş odasındaki ısı artar ve doğrama açıldığında bu ısınan hava yaşam alanının ısınmasını destekler. Soğuk ve ılımlı iklimlerde tercih edilen bu sistemin, soğutma yükünün artmaması için yaz aylarında güneşten korunması önemlidir.

Termosifon sistemleri: Güneş ışınlarını toplayan ve yutan paneller yardımıyla dolaşım kanalları içindeki havanın ısınarak yükselmesi prensibiyle çalışır. Sistemde ısınan havanın iç ortamdaki serin hava ile yer değiştirmesine bağlı olarak içerideki ısı miktarının artması sağlanır. Düşey tip ve U tipi panel sistemi olarak iki tip sistem bulunmaktadır.

Günümüzde güneş kolektörleri termosifon sistemlerinin çalışma prensibinden geliştirilmiştir. Aktif sistemler ile yapının ısıtılmasında, sıcak su ihtiyacının

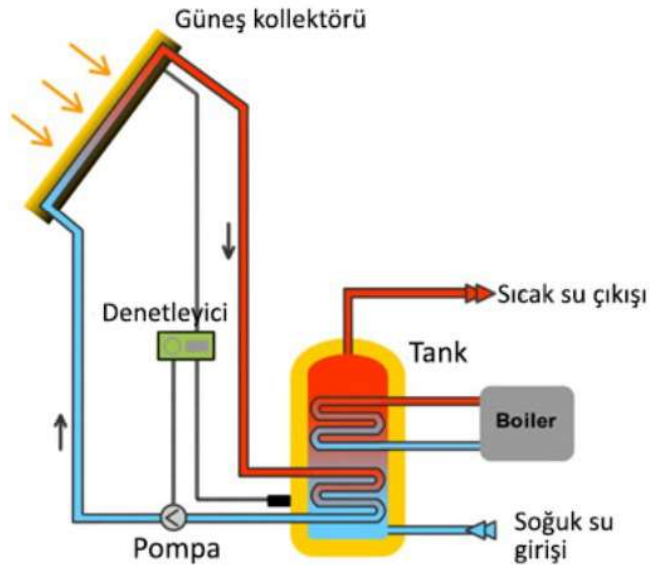
sağlanmasında açık ve kapalı dolaşım sistemli olarak kullanılmaktadır. Kapalı sistem kolektörleri boyler kazanları ile entegre edilerek enerji verimliliği sağlanmaktadır.

3.2.5.2 Aktif güneş enerjisi sistemleri

Aktif güneş enerjisi sistemleri, güneş ışınlarını elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren çeşitli mekanik ve elektronik sistemlerin bütününden oluşmaktadır. Pasif sistemlerden farklı olarak aktif sistemin kullanımı sırasında da bir miktar enerji kullanılır ve bu sistemdeki enerjinin depolanması mümkündür.

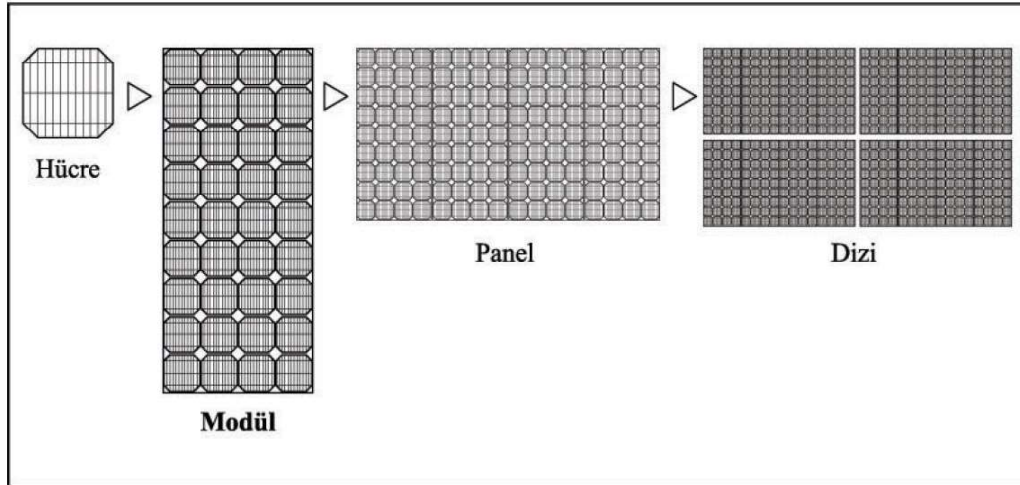
Güneş kolektörleri, fotovoltaiik panel sistemleri en yaygın kullanılan aktif güneş enerjisi sistemlerindendir. Bu sistemler yapı cephelerinde ve çatılarında kullanılabilmektedir. Fotovoltaiik paneller güneş tarlası olarak isimlendirilen arazilerde konumlandırılabilse de yapıya entegre olan güneş enerjisi sistemlerinde enerjinin iletimi sırasındaki kayıplar azaltıldığı gibi arazi kullanımında bir değişiklik olmadan arazinin mevcut hali ile korunması sağlanabilmektedir.

Güneş kolektörleri, güneş ışıınıından sağlanan ısı enerjisini yapının ısıtma ve sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanan sistemlerdir. Güneş kolektörü kapalı ve açık sistem olarak ikiye ayrılır. Açık sistemde tanktaki su, kolektör sisteminin içerisinde dolaşımını tamamlayarak ısınır. Kapalı sistemde ise kolektör ve tank arasındaki boru hattı içerisinde bulunan sıvı konveksiyon yoluyla tankın içindeki suyu ısıtır. Hijyenik olması ve kış aylarında don olaylarının yaşanması sebebiyle kapalı sistem güneş kolektörleri tercih edilmektedir. Kapalı sistem olduğu için boru hattında yüksek ısı transferli sıvılar kullanılabilmektedir. Şekil 3.24'teki kapalı sistem çalışan güneş kolektörünün sistem şemasında görüldüğü gibi sisteme bir boyler kazanı da dahil edilerek yapının ısınma ve sıcak su ihtiyacı karşılanabilmektedir.

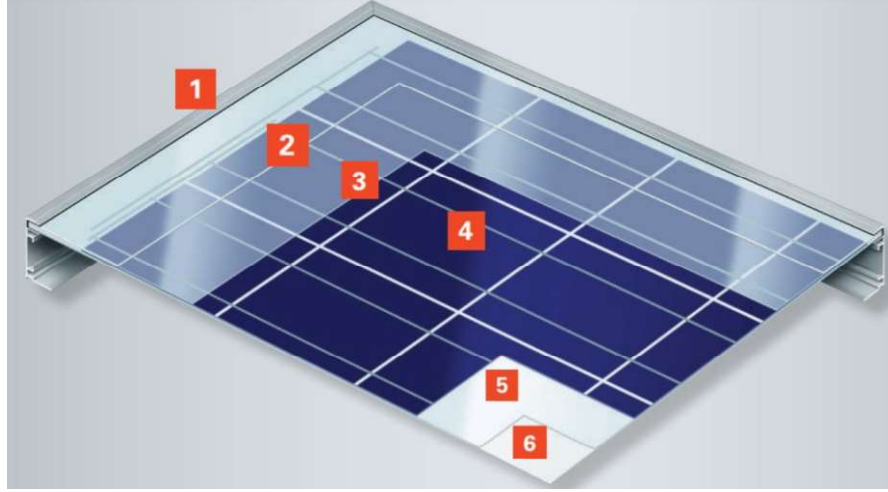


Şekil 3. 24 :Kapalı sistem güneş kollektörü sistem şeması (Url-14).

Fotovoltaik panel, üzerine gelen güneş ışınlarının bir kısmını yansıtır, bir kısmını da soğurur. Soğurulan ışınlar fotovoltaik hücreler tarafından doğrudan elektrik akımına çevrilir. Bu akımın şebekelerdeki akıma uygun hale getirilmesi için doğru akımı alternatif akıma çeviren invertör (güç çevirici) kullanılır. Fotovoltaik paneller modüllerden, modüller ise hücrelerden oluşmaktadır (Şekil 3.25). Bir modülün bileşenleri Şekil 3.26’da aktarılmıştır.



Şekil 3. 25 : Güneş pili oluşum prensibi (Moral Uğur, 2006).



Şekil 3. 26 : Modül bileşenleri (Url-15).

1 Alüminyum çerçeve, 2 Demir oranı düşük cam kapak, 3 Üst EVA folyo
(EVA: Etilen Vinil Asetat), 4 Silisyum hücresi, 5 Alt EVA folyo, 6 Arka folyo

Güneş pili olarak da ifade edilen fotovoltaiik hücreler üzerinde enerji verimliliğinin artırılması için arge çalışmaları sürekliliğini korumaktadır. Güneş hücreleri kristal yapılı silisyum, ince film ve yeni nesil güneş hücreleri olarak sınıflandırılabilir. Çizelge 3.4’te kristal yapılı silisyum ve ince film güneş hücrelerinin türlerine, bu hücrelerin avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiştir. Kristal yapılı silisyum hücreler panel olarak uygulanırken ince film güneş hücreleri bir yapı yüzeyine kaplanarak uygulanmaktadır. Kaplanan yüzeyin altında hava akımının olması ve hücrelerin soğutulması önemlidir. Bu nedenle saçak gibi alanlarda uygulanması olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Ancak yine de verimliliği kristal yapılı silisyum hücrelere göre düşüktür.

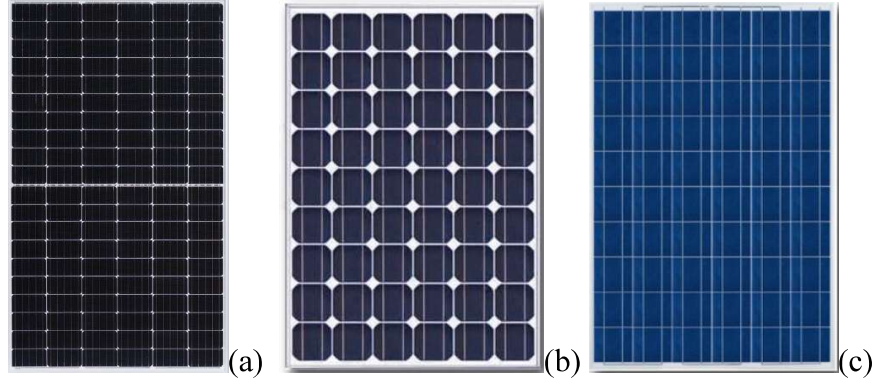
Çizelge 3. 4 : Güneş hücresi türleri, avantaj ve dezavantajları ³.

Güneş Hücreleri		Avantajları	Dezavantajları
Kristal Yapılı Silisyum Hücreler	Half-cut monokristal (Yarım Kesim Hücre Teknolojisi)	Verimi %20,5' a kadar - hafif - düşük ışıktaki kW başına en çok enerji üretimi - minimum yer ihtiyacı - hammaddenin verimli kullanımı - diğer panellere göre gölgeleme etkilerinden daha az etkilenmesi - sektörde yaygın olması	Polikristal hücrelere göre üretim maliyeti daha yüksek
	Monokristal	Verimi %19' a kadar - hafif - polikristal ve amorf silisyuma göre daha az yer ihtiyacı - uzun üretim süreci - yüksek kaliteli (uzun ömürlü)	Üretimi polikristal ve amorf modüllere göre daha masraflı
	Polikristal	Verimi %17' ye kadar - yüksek kaliteli (uzun ömürlü) - hammadde kaynaklarını korur.	Daha fazla alan ihtiyacı
İnce Film Güneş Hücreleri	Amorf silisyum	Verimi %10' a kadar - üretim süreci daha az masraflı - düşük maliyetli - difüz ısıtım ve kısmi gölgelenme için oldukça elverişli	-Çok fazla yer ihtiyacı -Yüzeylere direkt uygulandığından ısınma problemi nedeniyle uygulama alanının dar olması
	Bakır indiyum diselenid CIS	Verimi %14' e kadar	
	Kadmiyum tellür CdTe	Verimi %10' a kadar	

Yeni nesil güneş hücreleri nano kristal, mikro kristal, hibrit ve organik güneş hücreleri olarak sınıflandırılabilir. Kullanımları henüz yaygınlaşmadığı için yeni nesil güneş hücreleri üzerinde durulmamıştır.

Şekil 3.27'de kristal yapı silisyum güneş hücrelerinin günümüzde kullanılan türlerine ait örnekler verilmiştir. Half cut (yarım kesim) hücre teknolojisi monokristal hücrelerin verimliliğini arttırmak amacıyla üretilmiştir. Aynı alandaki hücre sayısı arttığı için direnç monokristal modüllere göre düşük olmaktadır. Bu sayede enerji kayıpları azalarak panellerin enerji verimliliği artmaktadır. Günümüzde half-cut monokristal teknolojisi ışıının yoğun olmadığı dönemlerde dahi minimum alanda kW başına en çok enerji üreten sistem olmaktadır.

³ Çizelge 3.3; (İnanç, 2020), (Url-15), (Url-17) kaynaklarından yararlanılarak düzenlenmiştir.



Şekil 3. 27 : a: Half-cut monokristal b: Monokristal c: Polikristal silisyum güneş modülleri (Url-15, Url-16).

Fotovoltaik sistemler,

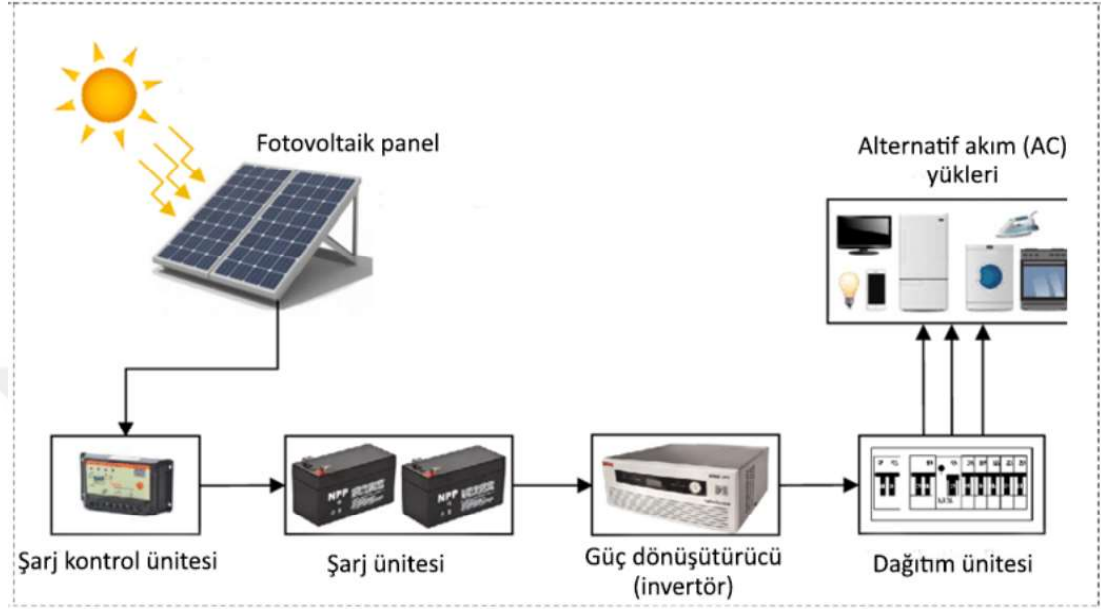
- Tekil sistemler
- Şebeke bağlantılı sistemler
- Hibrit sistemler olarak üç grupta incelenebilir.

Çizelge 3.5’te fotovoltaik sistem türleri ile ilgili bilgiler ve sistem bileşenleri aktarılmıştır.

Çizelge 3. 5 : Fotovoltaik sistem türleri ile ilgili bilgiler.

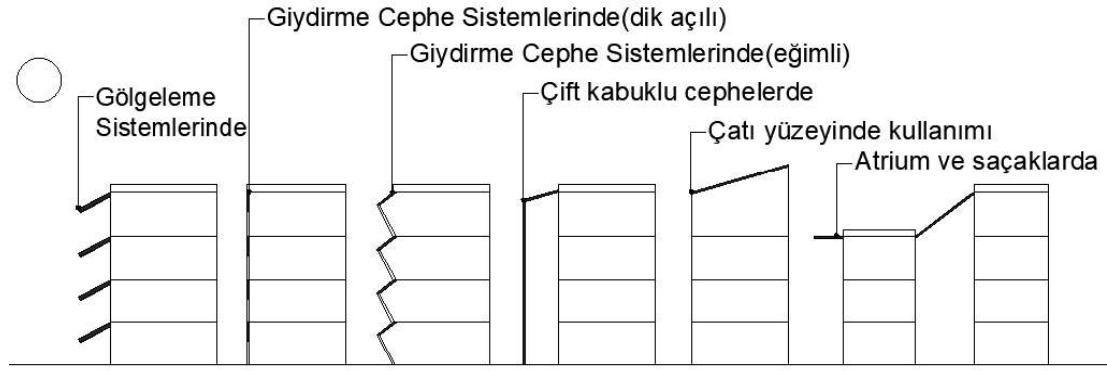
Fotovoltaik Sistem Türleri	Açıklama	Sistem Bileşenleri
Tekil sistemler	*Şebeke bağlantısı olmayan kendi kendine yeten sistemlerdir. *Güneş ışınlarının yetersiz olduğu durumlarda ve geceleri enerji kullanımı için enerjinin depolanması gereklidir. Bunun için akü grubuna ihtiyaç duyulur.	*Fotovoltaik panel *Şarj kontrol ünitesi *Şarj ünitesi *Güç dönüştürücü (invertör) *Dağıtım ünitesi
Şebeke bağlantılı sistemler	*Güneşten elde edilen enerji yetersiz olduğunda şebekeden besleme yapılır. *Sistemde yapının ihtiyacından fazla enerji üretilmesi durumunda şebekeye geri besleme yapılır. Bu sayede enerji kayıpları ile sistemin ihtiyacı olan panel sayısı azalır.	*Fotovoltaik panel *Güç dönüştürücü (invertör) *Dağıtım ünitesi *Sayaç *Şebeke bağlantısı
Hibrit (karma) sistemler	*Farklı bir enerji kaynağı ile desteklenen sistemlerdir. *Tekil sistemlerdeki riski azaltmak için rüzgar enerjisi veya jeneratörden yararlanılabilir.	*Fotovoltaik panel *Güç dönüştürücü (invertör) *Dağıtım ünitesi *Sayaç *Şarj ünitesi *Şarj kontrol ünitesi *Diğer enerji kaynağı bağlantısı

Kentsel yerleşim alanlarında şebeke bağlantılı sistemlerin kullanımıyla panel gereksiniminin az olması ve şarj ünitelerine ihtiyaç duyulmaması nedeniyle sistem maliyeti düşmektedir. Kırsal alanlarda şebeke bağlantısının olmadığı yerleşimlerde tekil sistemlere (Şekil 3.28) ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 3. 28 : Tekil fotovoltaik sistem şeması (Waqas, A.; Haroon & Awais, Q.; Mohsin, 2019).

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler, yapıya entegre uygulandığında enerjinin iletim ve dağıtım sürecindeki kayıplarını azaltarak enerji verimliliğini arttırmaktadır. Enerjinin yerinde üretimi ile dağıtım maliyetleri de azaltılmış olmaktadır. Bunun için yapıya entegre fotovoltaik sistem çözümleri geliştirilmektedir. Şekil 3.29’da fotovoltaik panellerin yapı bileşenlerine entegrasyonu için bazı alternatifler aktarılmıştır. Yüksek katlı yapılarda, yapının enerji ihtiyacını yalnızca çatı yüzeyi ile karşılamak mümkün olamamaktadır. Ancak cephede kullanımı da zemine dik yerleşimlerde (eğim açısının 90° olduğu durumlarda) yeterli verimliliğe sahip olamamaktadır. Verimliliğin artırılması için fotovoltaik panellerin gölgeleme elemanlarında veya cephede eğimli olarak kullanımı tercih edilmelidir.



Şekil 3. 29 : Yapı bileşenlerinde fotovoltaik panel entegrasyon seçenekleri ⁴.

Güneş enerjisi sistemlerinden elde edilen enerjinin verimini arttırabilmek için bu sistemlerin yerleştirildikleri yön ve eğim açısı dikkate alınmalıdır. Kuzey yarım kürede güneş enerjisi sistemlerinin güneşe bakacak şekilde yönelim sağlaması tercih edilmektedir. Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan aktif ve pasif sistemler sabit açı ile yerleştirileceklerinde bölgenin enlemine bağlı olarak uygun eğim açıları belirlenebilmektedir. Tüm yıl için eğim açısı=enlem derecesi, yaz mevsimi için eğim açısı=enlem derecesi - 10° , kış mevsimi için eğim açısı=enlem derecesi + 10° olarak hesaplanabilmektedir (Öztürk, 2012).

⁴ Roberts & Guariento (2009) kaynağındaki görsel iyileştirilerek üzerine eklemeler yapılmıştır.

4. İKLİM BÖLGELERİNE VE YÖNLERE GÖRE CEPHE EĞİMLERİNİN OPTİMİZASYONU İÇİN MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

CO₂ artışının öncelikli sebebi olan fosil yakıtların kullanımı ve doğal karbon tutucu görevine sahip olan arazilerin kullanımındaki değişiklikler (doğal arazilerin çeşitli sebepler için bozulması) önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna çözüm olarak yapı alanlarında ve yapıya entegre çözümler ile yenilenebilir enerjilerden yararlanılması önerilmektedir. Bunun en yaygın kullanımı yapıya entegre güneş enerjisi sistemlerinin kullanımıdır. Bu konuda verimliliğin artırılması için yapı kabuğu yüzey alanının artırılması ile aktif güneş enerjisi sistemlerinin kullanımı için alan oluşturulabilmekte ve güneş ışınlarının verimli açılarda toplanabilmesi sağlanmaktadır.

Bu bölümde, 3. bölümde literatürden elde edilmiş bilgiler üzerinden yapı tasarım değişkenleri belirlenmiş ve 7 alternatif yapı modeli oluşturulmuştur. Elde edilen modellerin güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimleri için enerji analizleri ve güneş radyasyon kazanımları Revit (2022) programı ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar belirlenen pilot iller için grafikler ve çizelgeler yardımıyla ifade edilmiştir.

4.1 Pilot İllerin Belirlenmesi

Yapı kabuğu için oluşturulan tüm alternatifler Zeren ve arkadaşlarının (1987) yaptığı iklim sınıflandırmasına uygun olarak Türkiye’deki iklim tiplerini temsil eden Antalya, Diyarbakır, İstanbul, Ankara ve Erzurum illeri için yapılmıştır. Bu pilot illerin bulundukları iklim bölgeleri ve TS825 standardının son versiyonuna göre derece gün bölgeleri Çizelge 4.1’de ifade edilmiştir. Çizelgede TS825’e göre Diyarbakır ve İstanbul ilinin aynı derece gün bölgesinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. 1. İklim bölgelerine göre pilot iller ve ısıtma derece gün bölgesi ilişkileri.

İklim Tipi / Pilot İl (Zeren ve ark., 1987)		TS-825 (2013)'e Göre
İklim Tipi	Pilot Şehir	Pilot Şehrin Derece Gün Bölgesi
Sıcak Nemli İklim	Antalya	I. Derece Gün Bölgesi
Sıcak Kuru İklim	Diyarbakır	II. Derece Gün Bölgesi
Ilımlı Nemli İklim	İstanbul	II. Derece Gün Bölgesi
Ilımlı Kuru İklim	Ankara	III. Derece Gün Bölgesi
Soğuk İklim	Erzurum	V. Derece Gün Bölgesi

4.2 Yapının Güneş Mimarisi Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi

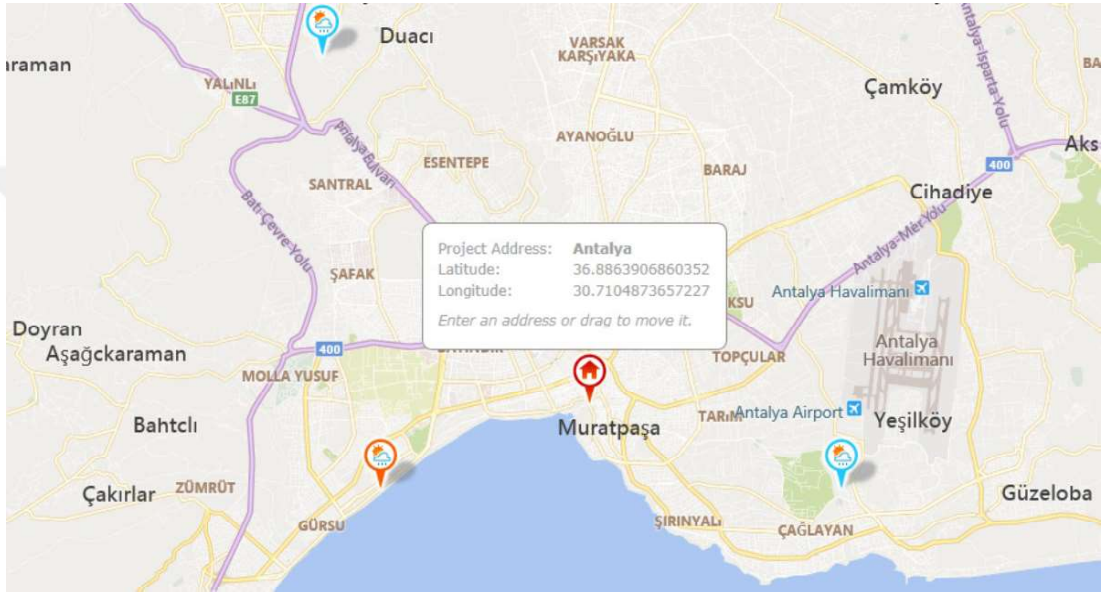
Türkiye’deki beş iklim bölgesinde analizleri yapılacak yapıların taban alanları ve yüksekleri bütün modellerde aynı olarak belirlenmiştir. Dikdörtgen formu yapılarının geniş olan cephelerinden biri giydirme cephe, diğer cepheleri opak yüzey olarak tasarlanmıştır. Analizler sırasında güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimli olan cephenin eğim açılarının değişimi incelenmiştir. Bu nedenle diğer yapı kabuğu değişkenleri tüm iklim bölgeleri için aynı olacak biçimde literatürden elde edilen bilgilere ve TS825 (Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları) standardına göre belirlenmiştir. Tek katın enerji yüklerini hesaplamak üzere tasarlanan modelde opak malzeme seçimlerinde TS825 (2013) standardındaki 3. derece gün bölgesine uygun olacak değerler baz alınmıştır. Saydam malzemede ısıtma yükünün azaltılması için beş iklim bölgesinde de Low-E kaplamalı cam kullanılmıştır. Aşağıdaki başlıklar altında daha detaylı bilgiler verilmiştir.

4.2.1 Yerleşme ölçeğindeki değişkenlerin belirlenmesi

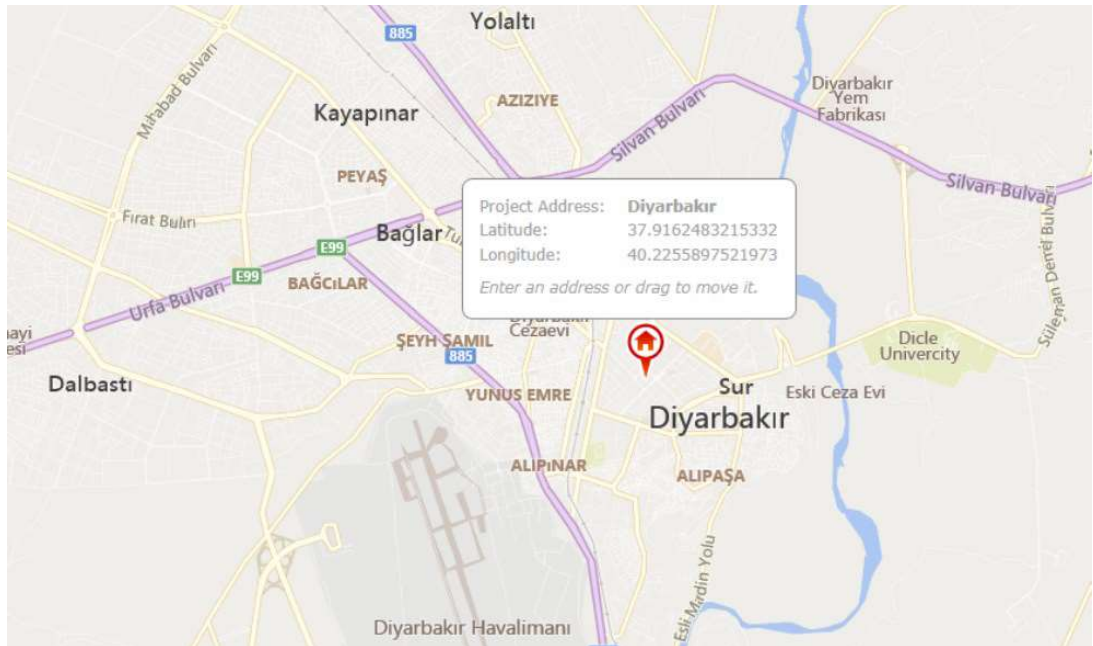
Farklı iklim bölgelerinde bir çalışma gerçekleştirildiği için model çalışmasında özel bir konum seçimi yapılmamıştır. Model programının konum ayarlarında seçilen iller için ilk sırada olan meteoroloji istasyonu seçimi yapılmıştır. Bu hava istasyonları kent merkezinde yer almaktadır. Beş il için hava istasyonu konumları aşağıdaki şekillerde aktarılmıştır. Yapının bulunduğu çevredeki yapı ve bitkilere bağlı güneş ışınlarını engelleyici herhangi bir faktörün bulunmadığı varsayılmıştır.

Meteoroloji istasyonları;

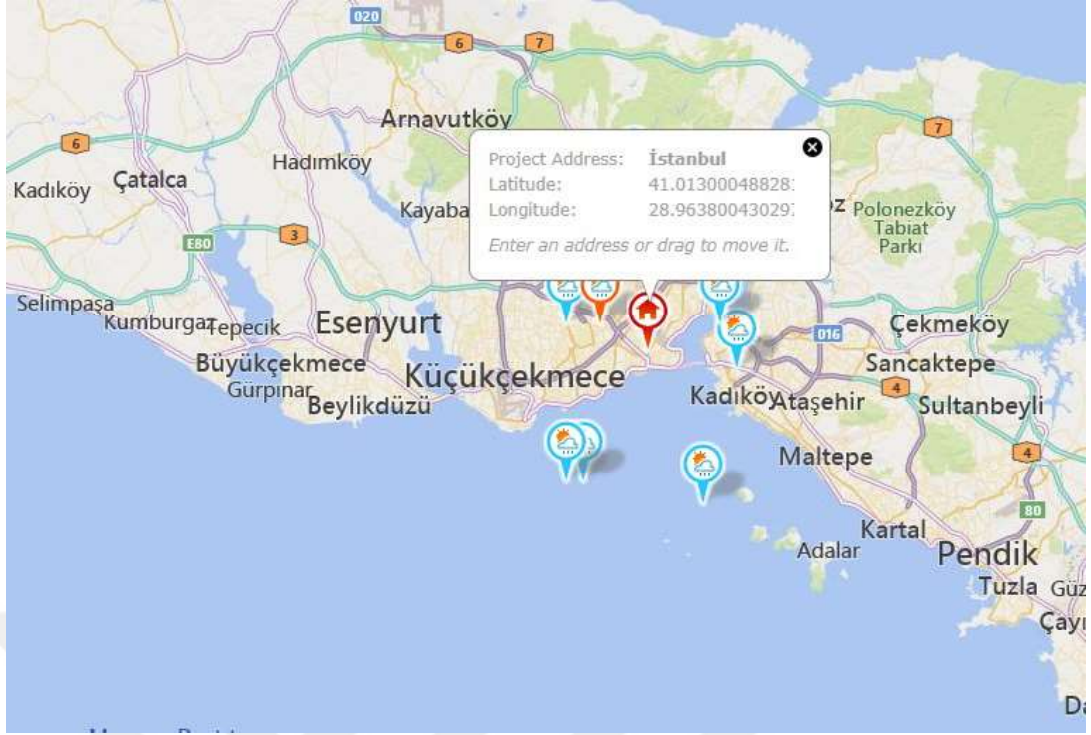
- Antalya ilinde 36.88 Kuzey enlemi, 30.71 Doğu boylamında,
- Diyarbakır ilinde 37.91 Kuzey enlemi, 40.22 Doğu boylamında,
- İstanbul ilinde 41.01 Kuzey enlemi, 28.96 Doğu boylamında,
- Ankara ilinde 39.89 Kuzey enlemi, 32.86 Doğu boylamında,
- Erzurum ili 39.90 Kuzey enlemi, 41.26 Doğu boylamında konumlarında yer almaktadır.



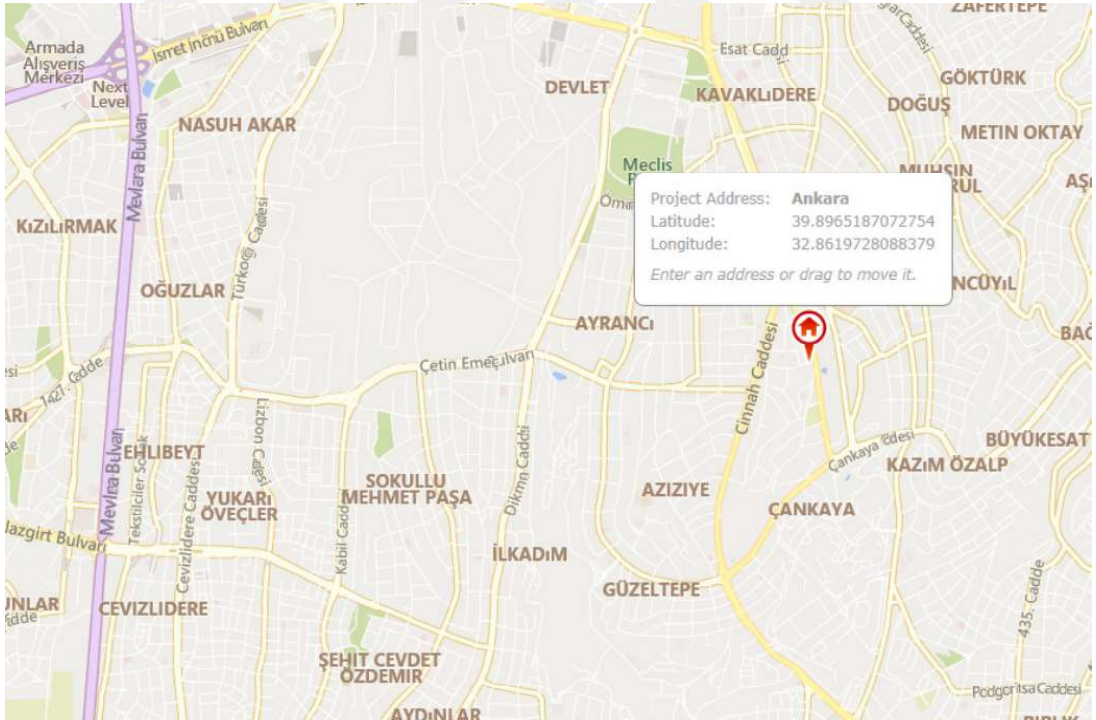
Şekil 4. 1 : Antalya ili yapı konumu.



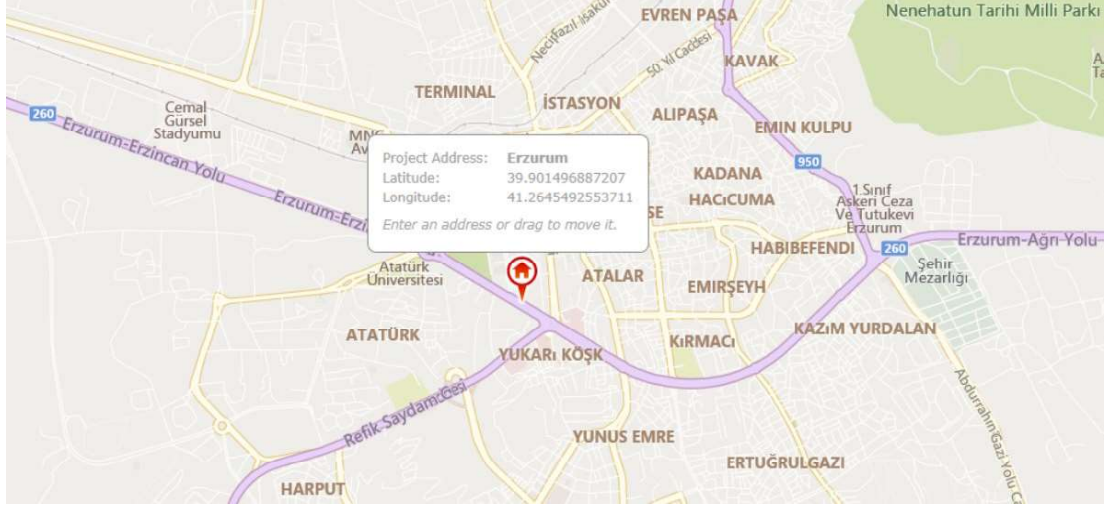
Şekil 4. 2 : Diyarbakır ili yapı konumu.



Şekil 4. 3 : İstanbul ili yapı konumu.



Şekil 4. 4 : Ankara ili konum bilgisi.



Şekil 4. 5 : Erzurum ili konum bilgisi.

4.2.2 Yapı ölçeğindeki tasarım değişkenlerinin belirlenmesi

İklim özelliklerine bağlı olarak enerji verimliliğinin sağlanması ve kullanıcılar için konforlu bir yapı tasarımı için mimarın değerlendirmesinde olan değişkenlerden;

- Yapı formu kapsamında biçim faktörü ve yapı yüksekliği, çatı türü ve eğimi,
- Yapı kabuğunun opak ve saydam bileşenleri

literatürdeki bilgiler, TS825 standardı ve yapı sektöründeki firmalar ile yapılan görüşmelere göre tüm iklim tiplerinde aynı olacak şekilde belirlenmiştir.

Yapının yönlendirilmesi ve yapı formu kapsamında bulunan cephe eğimi, modelde değişken olarak incelenmiştir. Alt başlıklarda bu değişkenler hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

4.2.2.1 Yapının yönlendirilmesi

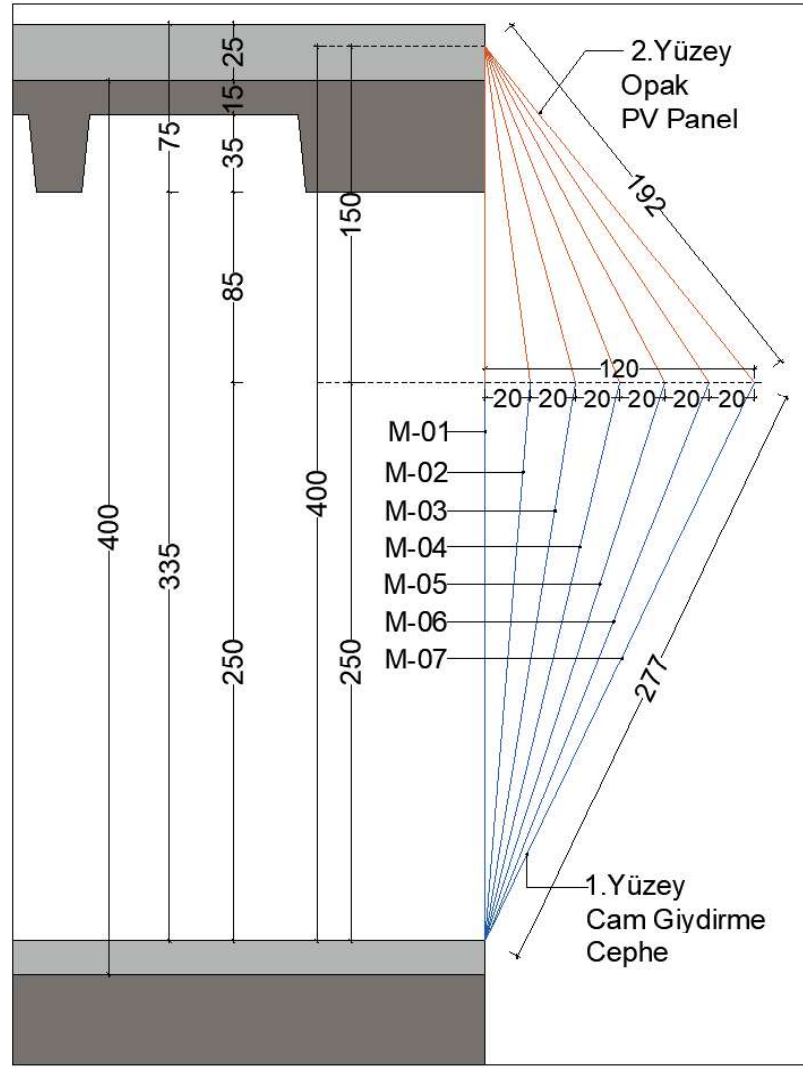
Tüm iklim tiplerinde yapının güneye yöneliminin olumlu sonuçlar doğurduğu bilinmektedir. Ancak yapı uygulamalarında arazi koşulları gereği her zaman güneye yönelim mümkün olamayacağından farklı yönelimler için de inceleme yapılmıştır. Yapı konumlandırılmasında giydirme cephenin bulunduğu geniş cephenin güney, güneydoğu ve güneybatı cephelerine yönelimli olduğu alternatifler için modeller oluşturulmuştur.

4.2.2.2 Yapı formunun belirlenmesi

Türkiye’deki beş iklim bölgesi için tek biçim faktörü üzerinden yapı modeli gerçekleştirilmiştir. Tüm iklim bölgelerine uyum sağlayabilecek ve ofis plan çözümü için yeterli bir derinliğe sahip olabilmesi amacıyla güney cephesi geniş olacak şekilde 30x20 metrelik taban alanına sahip bir yapı tasarlanmıştır. Ofis yapısı olması sebebiyle kat yüksekliği döşemeden döşemeye 4 metre olarak kabul edilmiştir. Yapı bir test odası modülü şeklinde oluşturulduğu için tek katlı olarak modellenmiştir. Çatısı gezilemeyen teras çatı olarak belirlenmiştir.

Cephe eğimi alternatiflerinin oluşturulması

Çalışmada biri zemine dik düz cephe olacak şekilde 7 farklı cephe alternatifi oluşturulmuştur. Bunun için toplamda 4 metre kat yüksekliğine sahip model yapının çalışılan cephesinde bitmiş döşemeden 2,5 metre yükseklikteki yatay aks üzerinde kırılma noktaları belirlenmiştir. Bu yüksekliğin belirlenmesinde ofis yapısında yeterli günışığının sağlanabilmesi ve görüş alanının engellenmemesi göz önünde tutulmuştur. 2,5 metre yükseklikte 20 cm aralıklarla belirlenen kırılma noktaları ile biri zemine dik, 6’sı çok açılı olan cephe alternatifleri oluşturulmuştur. Kırılma noktasının alt tarafı cephenin şeffaf bölümü, üstü ise fotovoltaik panelin yerleştirileceği yüzey olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4. 6 : Cephe eğimleri için oluşturulan alternatif model kesitleri.

4.2.2.3 Yapı kabuğu opak ve saydam bileşenlerin tanımlanması

Optimizasyon çalışmalarının yapılacağı 5 iklim tipi için de saydam ve opak bileşenlerin ısıl geçirgenlik katsayısı (U) değerlerinde sınır değer kabulleri için TS825'ten yararlanılmıştır. Bunun yanında sektördeki firmalardan destek alınarak kabuk malzemelerine karar verilmiştir.

2013 yılında en son güncellenmiş halindeki TS825'e göre derece gün bölgelerine ait duvar, tavan, zemine oturan taban ve pencereler için ısıl iletkenlik değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 : TS 825'e göre derece gün bölgeleri için yapı bileşenlerinin ısı iletkenlik değ erleri (Atmaca, 2016; TS 825, 2013).

Derece Gün Bölgesi	U _D (W/m ² K)	U _T (W/m ² K)	U _t (W/m ² K)	U _p * (W/m ² K)
I. Derece Gün Bölgesi	0,66	0,43	0,66	1,8
II. Derece Gün Bölgesi	0,57	0,38	0,57	1,8
III. Derece Gün Bölgesi	0,48	0,28	0,43	1,8
IV. Derece Gün Bölgesi	0,38	0,23	0,38	1,8
V. Derece Gün Bölgesi	0,36	0,21	0,36	1,8

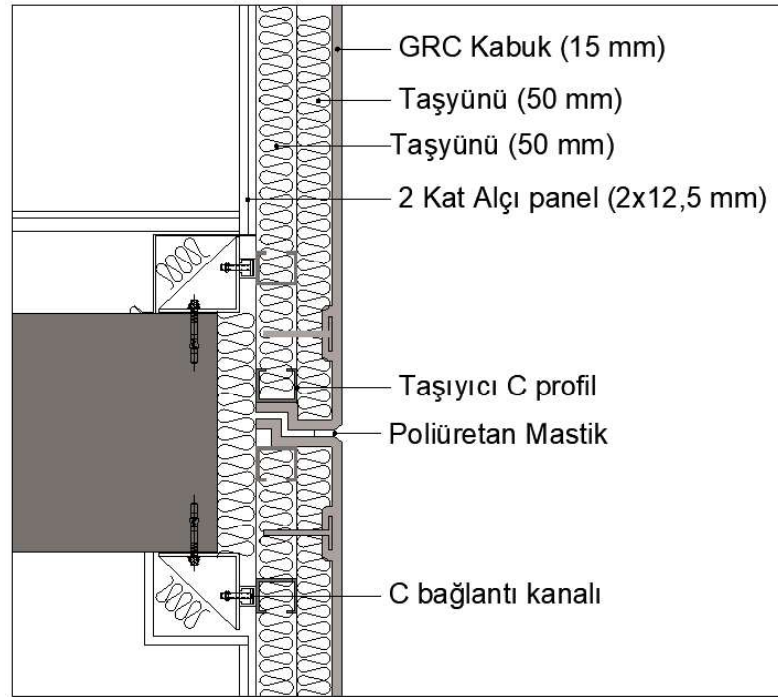
U_D: Dış duvarın, U_T: Atmosferle temas eden tavanın (çatı, çatı döşemesi), U_t: Zemine oturan tabanın/döşemenin, U_p: Pencerenin ısı ı geçirgenlik katsayısı W/m².K

Opak bileşenlerin tanımlanması

Çalışma kapsamında tasarlanan yapı kabuğunun opak bileşenleri taban döşemesi, atmosferle temas eden tavan döşemesi, duvarlar ve fotovoltaik panelin yerleştirildiği spandrel bölümden oluşmaktadır. Yapı betonarme taşıyıcı sistemli olarak ele alınmıştır.

Duvar tipi olarak uygulama ve bakım kolaylığı, uzun ömürlü olması sebebiyle ticari yapılarda kullanımı yaygınlaşan prekast cephe tercih edilmiştir. Cephenin kesit detayı Şekil 4.7’de ve malzeme özellikleri Çizelge 4.3 de verilmiştir. Cephenin 0.32 W/m²K olan ısı ı geçirgenlik değ eri tüm derece gün bölgeleri için TS825 sınır değ erlerine uygundur. U değ erinin derece gün bölgesi sınır değ erinden düşük olması sıcak iklim bölgelerinde soğutma yüklerinin artmasına, ısıtma yüklerinin de azalmasına neden olmaktadır. Bu durum her modelde aynı derecede artma ve azalmaya sebep olacağından tüm iklim tiplerinde aynı değ erler üzerinden ilerlenmiştir.

Çizelge 4.3, 4.4 ve 4.5’teki ısı ı iletkenlik ve yoğunluk değ erleri TS 825 standardından alınmıştır. U değ erleri hesaplama formüllerine uygun olarak hesaplanmıştır. Tablolarda koyu yazı karakteri ile ifade edilen değ erler analiz programına aktarılabilir değ erlerdir.



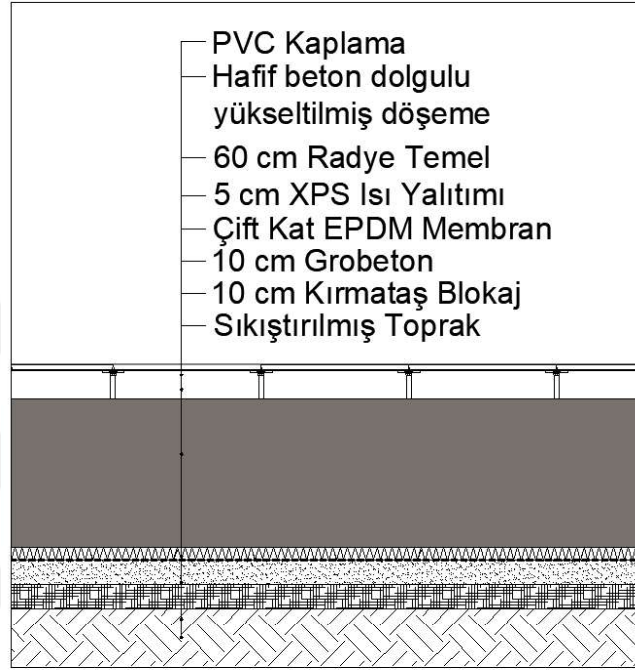
Şekil 4. 7 : Opak duvar bileşeni, prekast cephe detayı⁵ (Cebeci, 2022).

Çizelge 4. 3 : Yapının duvar bileşenleri ve özellikleri.

Malzeme	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/m.K)	Birim Hacim Ağırlığı ρ (kg/m ³)	Özgül Isı C [J/(g·°C)]	Kalınlık d(m)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)
GRC Kabuk (Cam elyaf takviyeli beton)	1,20	2200,00	0,83	0,015	0,013
Taş Yünü	0,035	150,00	0,71	0,05	1,429
Taş Yünü (Taşıyıcı Profil Boşluğu)	0,035	150,00	0,71	0,05	1,429
Alçıpanel	0,25	600,00	1,09	0,025	0,100
Alçı Sıva	0,51	1200,000	1,00	0,002	0,004
Bileşenlerin toplam ısı iletkenlik direnci				R	2,974
TS825 (2008) Çizelge 1, Sıra no 1				Ri	0,13
				Re	0,04
Ri : İç yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci (m ² .K/W), Re : Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci (m ² .K/W)				Ri+R+Re	3,14
Isı Geçirgenlik Katsayısı : $U = 1 / Ri+R+Re$				U (W/m ² K)	0,32

⁵ Prestak cephe firmalarının detayları incelenerek çizilmiş bir detaydır.

Toprak zemine oturan betonarme döşeme için Şekil 4.8’ deki detaya uygun olarak model programında katmanlar tanımlanmıştır. Katmanlar belirlenirken sektörde yaygın olarak uygulanan detaylardan yola çıkılmıştır. Temel kalınlığı ve türü kat yüksekliğine göre değişiklik gösterebilmektedir. Ofis yapısı olması sebebiyle yükseltilmiş döşeme üzeri PVC malzeme ile döşeme bitişi sağlanmıştır.



Şekil 4. 8 : Taban döşemesi detayı (Cebeci, 2022).

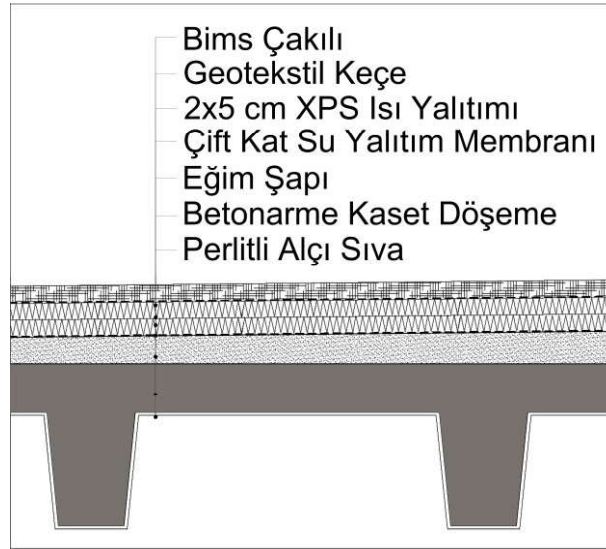
Döşeme katmanlarının malzeme değerleri Çizelge 4.4’te verilmiştir. 0.43 W/m²K olan ısııl geçirgenlik değeri ile TS825 1., 2. ve 3. Derece gün bölgeleri sınır değerlerine uygundur. 4. ve 5. Derece gün bölgeleri için yalıtım değerinin arttırılması ısıtma yüklerinin azaltılmasında önemlidir. Çalışma kapsamında modellerin fiziksel değişimleri incelendiğinden yapı kabuğu malzemeleri tüm iklimlerde aynı kabul edilmiştir.

Çizelge 4. 4 : Zemine oturan temel döşemesi katmanları ve özellikleri.

Malzeme	Isıl iletkenlik Hesap Değeri λ (W/m.K)	Birim Hacim Ağırlığı ρ (kg/m ³)	Özgül Isı C [J/(g.°C)]	Kalınlık d(m)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)
PVC Zemin Kaplaması	0,10	1470	0,84	0,004	0,04
Hafif beton dolgulu yükseltilmiş döşeme plakası	1,10	1200	0,84	0,025	0,02
Hava boşluğu (yük. d. taşıyıcı ayaklar)	-	-	1,01	-	0,18
B.A. Döşeme	2,50	2400	0,75	0,60	0,24
XPS	0,04	52	1,60	0,05	1,43
2 Kat Bitümlü Su Yalıtım Membranı	0,30	1200	-	0,01	0,03
Grobeton	1,10	2000	0,88	0,10	0,09
Kırma Taş Blok	0,70	1800	0,84	0,10	0,14
Bileşenlerin toplam ısı iletkenlik direnci				R	2,18
TS825 (2008) Çizelge 1				Ri	0,13
				Re	0,04
Ri : İç yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci (m ² .K/W), Re : Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci (m ² .K/W)				Ri+R+Re	2,35
Isı Geçirgenlik Katsayısı : $U = 1 / Ri+R+Re$				U (W/m ² K)	0,43

Yapının atmosferle temas eden üst döşemesine ait kesit detayı Şekil 4.9’da verilmiştir. Yapı modelindeki değişkenin cephe eğimi olması nedeniyle yapı üst döşemesi tüm iklim bölgeleri için gezilemeyen teras çatı olarak ele alınmıştır. Ancak iklim tipine göre çatı tipinin değiştirilmesi enerji yüklerinde farklılıklara neden olacaktır. Özellikle soğuk iklim bölgesinde olan Erzurum ili için eğimli çatı uygulamalarının yapılması ve çatı arasının ısı yalıtımı için tampon bölge olarak kullanılması uygun olacaktır.

Çatı katmanlarının malzeme değerleri Çizelge 4.5’te yer almaktadır. Çatı, 0.28 W/m²K olan ısı geçirgenlik değeri ile TS825 3. derece gün bölgesi sınır değerlerine uygundur. 1. ve 2. derece gün bölgeleri için çatının yalıtım değeri yüksektir. Bu nedenle bu bölgelerde ısıtma yüklerinin düşük, soğutma yüklerinin yüksek olması beklenmektedir; ancak toplam yüke göre değerlendirme yapılmalıdır. 4. ve 5. derece gün bölgelerinde ise yalıtım değerinin artırılması ısıtma yüklerinin azaltılmasında önemlidir.



Şekil 4. 9 : Atmosferle temas eden üst döşeme detayı (Cebeci, 2022).

Çizelge 4. 5 : Atmosferle temas eden tavan döşemesi katmanları ve özellikleri.

Malzeme	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/m.K)	Birim Hacim Ağırlığı ρ (kg/m ³)	Özgül Isı C [J/(g.°C)]	Kalınlık d(m)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)
Bims Çakılı	0,15	500	0,84	0,050	0,333
Geotekstil keçe	0,19	150	1,00	0,002	0,011
XPS	0,035	52,00	1,60	0,10	2,857
Su Yalıtım Membranı	0,300	2000	-	0,01	0,033
Eğim Şapı	1,40	1200	0,84	0,10	0,071
Betonarme Döşeme	2,50	2400	0,75	0,15	0,020
Perlitli Alçı Sıva	0,22	720	1,34	0,015	0,068
Bileşenlerin toplam ısı iletkenlik direnci				R	3,39
TS825 (2008) Çizelge 1, Sıra no 5				Ri	0,13
				Re	0,04
Ri : İç yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci (m ² .K/W), Re : Dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci (m ² .K/W)				Ri+R+Re	3,56
Isı Geçirgenlik Katsayısı : $U = 1 / Ri+R+Re$				U (W/m ² K)	0,28

Saydam bileşenlerin tanımlanması

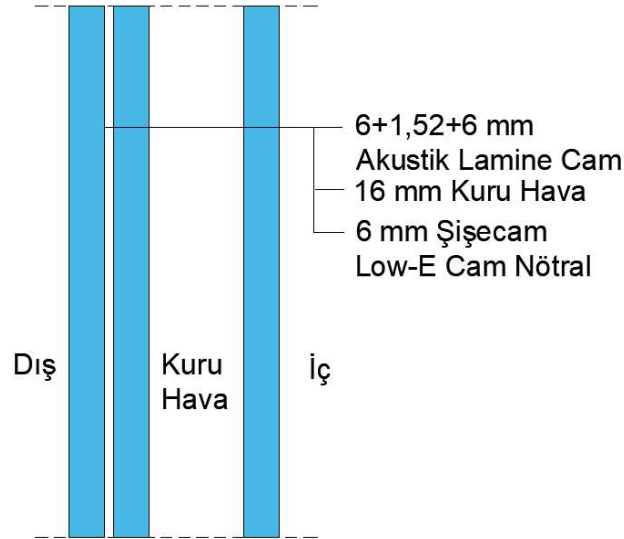
TS825'te pencereler için verilen sınır U (ısıl geçirgenlik) değerleri 5 iklim bölgesinde de aynıdır (Çizelge 4.2) ancak 3.2.4.2 saydam bileşenler bölümünde üzerinde durulduğu gibi cam için güneş enerjisi toplam geçirgenliği, günışığı geçirgenliği, gölgeleme katsayısı, güneş enerjisi yansıtma değerleri gibi yapının enerji yükünü ve doğal aydınlatma düzeyini etkileyen önemli değerler bulunmaktadır. Çalışma kapsamında ofis yapısı incelendiği için ışık geçiriminin %30-35'ten az olmamasına (Alpur, 2009) özen gösterilmiştir. Ofis yapısı olması sebebiyle yapı kabuğunda akustik değerlerin sağlanması önemlidir; bu nedenle cam sisteminde akustik lamine cam tercih edilmiştir.

Model kapsamında kullanılan cam sistemi; dış camda 6+1,52+6 mm akustik lamine cam, 16 mm ara boşlukta kuru hava, iç camda 6 mm Low-E nötral camdan oluşan bir ısıcam sistemidir (Şekil 4.10). Bu cam sistemi Çizelge 4.6'da ifade edilen güneş enerjisi toplam geçirgenliği değerinin yüksek olması ve güneş enerjisi dışa yansıtma oranının düşük olması nedeniyle yapı kabuğu saydam bileşeni olarak tercih edilmiştir.

Çizelge 4. 6 : Belirlenen cam tipinin optik ve termal özellikleri⁶ (Url-7).

Cam Tipi	Gün Işığı (EN 410)		Güneş Enerjisi (EN 410)			Isı Geçirgenlik Katsayısı (U) W/m ² K (EN 673)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)	Yayma katsayısı ε _l (emissivity)
	Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	Direkt Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	Toplam Geçirgenlik %	Hava		
Nötral Low_E Cam	76	12	47	16	56	1.3	0,769	0,03

⁶ Tabloda koyu yazı karakteri ile ifade edilen değerler Revit'e aktarılabılır değerlerdir.



Şekil 4. 10 : Belirlenen ısıcam sistemi: 6+1,52+6 mm akustik lamine cam, 16 mm kuru hava, 6 mm Low-E nötral cam (Cebeci, 2022).

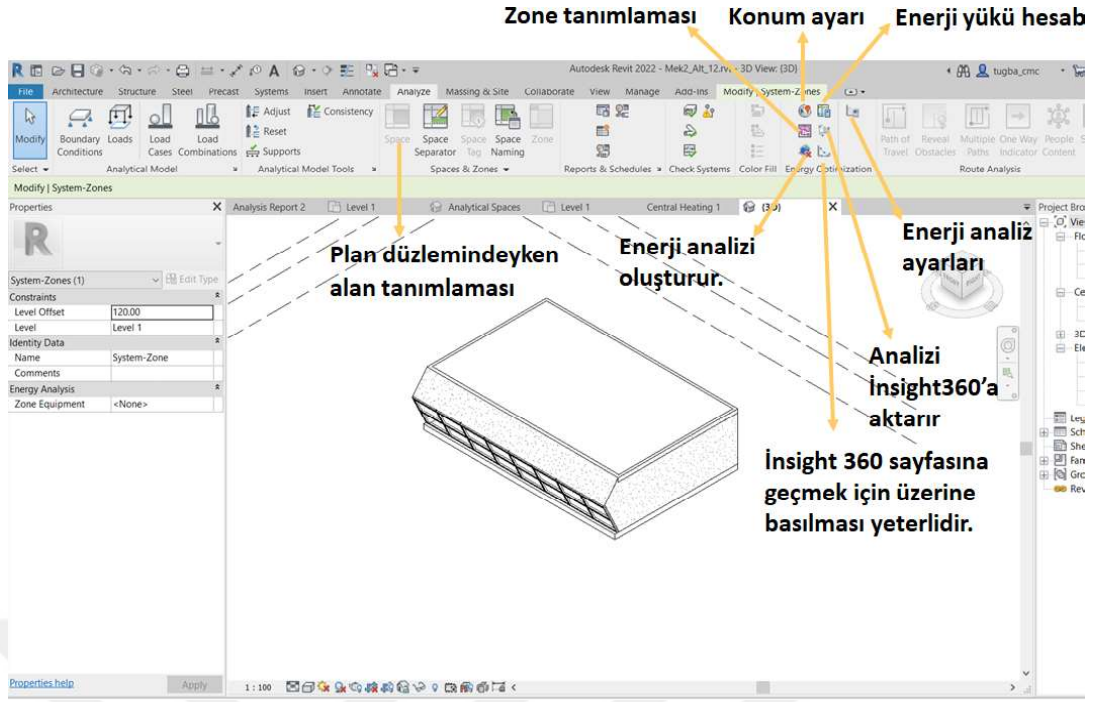
4.2.2.4 Güneş enerjisi sistemi kullanımı

Çalışma kapsamında modellerin spandrel yüzeylerinde fotovoltaiik panel kullanımından elde edilecek elektrik enerjisi hesaplamaları da yapılmıştır. Günümüzde kullanımı yaygın olan yarım kesim hücre teknolojisi ile üretilmiş, monokristal PERC silisyum hücre tipine sahip, %20'ye kadar modül verimi olan bir sistem tercih edilmiştir.

Gölgeleme, kirlenme, aşırı ısınma, kullanım süresi gibi nedenlerden dolayı çalışma kapsamında panel verimliliği %15 olarak kabul edilmiş ve hesaplamalar buna göre yapılmıştır (detaylı açıklama için bkz böl. 4.4.2). Enerji depolama maliyeti olmaması sebebiyle yapı modellerinin tamamında güneş enerjisi sistemi şebeke bağlantılı sistem olarak belirlenmiştir.

4.3 Çalışma modeli verilerinin programa aktarılması

Yapının solar kazanım, ısıtma ve soğutma yükü hesapları Revit (2022) programı üzerinden yapılmıştır. Bu bölümde yapının enerji analizleri için gerekli olan program ayarlarına yer verilmiştir. Şekil 4.11' de analiz için düzenlemelerin yapıldığı butonlar ifade edilmiştir.



Şekil 4. 11: Revit, analiz sekmesi.

Model tek bir hacim olarak oluşturulmuş ve alan (space) tanımlaması açık ofis planı olarak belirlenmiştir.

4.3.1 Malzeme termofiziksel özelliklerinin tanımlanması ve modele aktarımı

Revit programında kullanılan bir model türü olan “mass” ile eğimli kütlenin oluşturulmasının ardından duvar, tavan ve döşeme katmanlarına ait malzeme tanımları 4.2.2.2. bölümünde bahsedilen opak ve saydam yapı kabuğu bileşenlerinin katmanlarına ve değerlerine göre tanımlanmıştır. Kullanılan model ve analiz programında malzeme termofiziksel özellikleri için Çizelge 4.7’deki yer almaktadır.

Programda bulunan termofiziksel özellik parametreleri: davranış (isotropic / orthotropic), ısıl iletkenlik katsayısı, öz ısı, özgül ağırlık (birim hacim ağırlığı), emisivite değeri, ısıl direnç katsayısı ve geçirgenlik, yansıtıcılık ve elektriksel dirençtir. Çizelge 4.7’ de bu parametrelerin açıklamaları, birim ve sembollerine yer verilmiştir.

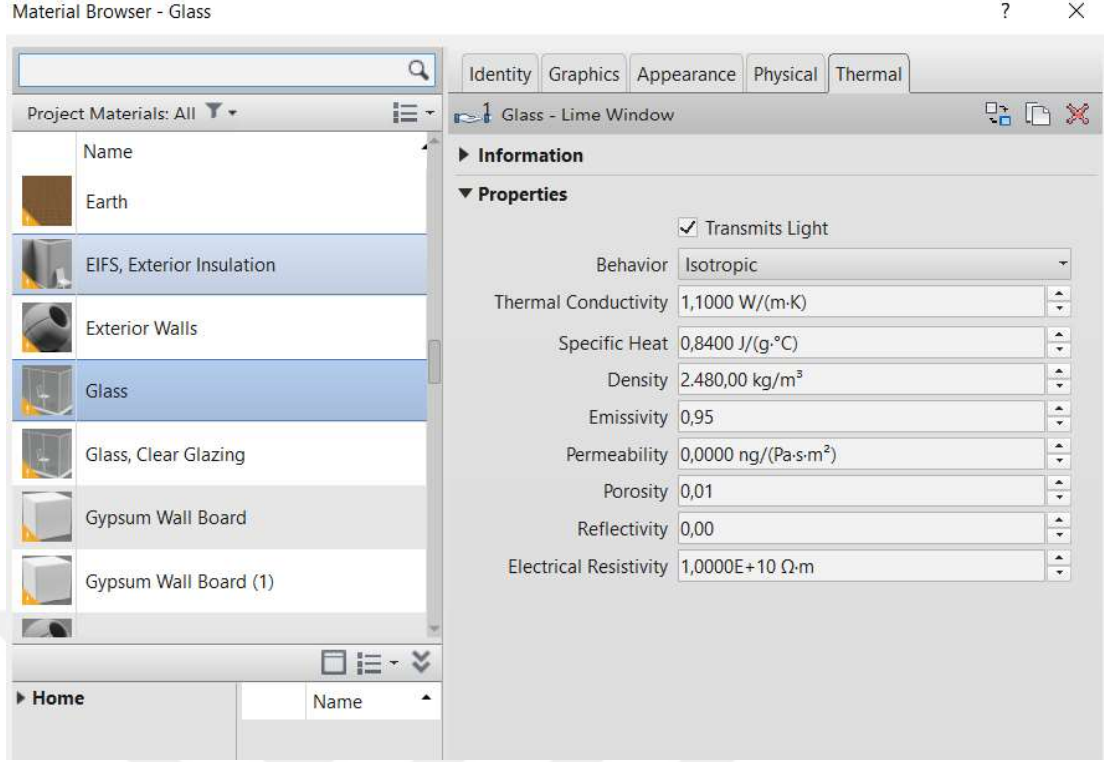
Çizelge 4. 7: Malzeme termofiziksel özellik parametreleri, açıklama, sembol ve birimleri (Url-9).

Özellik	Sembolü	Birimi	Açıklama
İzotropik Davranış			Bir malzemenin tüm yönlerde aynı optik özelliği göstermesi.
Ortotropik Davranış			Bir malzemenin her yönde aynı mekanik ve termal özelliklere sahip olmaması.
Isı İletkenlik Hesap Değeri	λ	W/(m·K)	Birim alan ve birim sıcaklık farkı başına bir malzemenin bir birim mesafedeki iki yüzeyi arasındaki ısı transfer hızı.
Öz ısı	C	J/(g·°C)	Bir nesnenin veya malzemenin sıcaklığını, kütle birimi başına bir birim sıcaklık artırmak için gereken ısı miktarı.
Özgül Ağırlık		kg/m ³	Maddenin birim hacim ağırlığı.
Emisivite			Malzemenin enerji yayma karakteristiği.
Geçirgenlik			Birim alan ve birim basınç başına iki nesne veya malzeme arasındaki nem aktarım hızı.
Yansıtıcılık			Bir malzemenin güneş ışınlarını yansıtma oranı. 0-1 arasında bir değer girilir.
Elektriksel Direnç		$\Omega \cdot m$	Bir malzemeden geçen elektrik akımına karşı iletkenin gösterdiği direnç.

4.2.2.2. bölümde ifade edilen, model yapıda kullanılacak malzemeler için programda en uygun olan malzemeler seçilmiştir. Opak malzeme için TS 825'ten ve malzeme firmalarının sitelerinden elde edilen,

- ısı iletkenlik hesap değeri [λ (W/m.K)],
- özgül ısı [J/(g°C)],
- birim hacim ağırlığı /özgül ağırlık [ρ (kg/m³)],
- kalınlık [d(m)]

değerleri programda malzeme termal özellikleri alanına aktararak duvar, döşeme ve tavan tipleri tanımlanmıştır. Programda var olan diğer malzeme özellikleri için programın verileri kabul edilmiştir, yeni veri girişi yapılmamıştır. Şekil 4.12'de programda bulunan malzeme özellikleri için seçenekler görülmektedir.



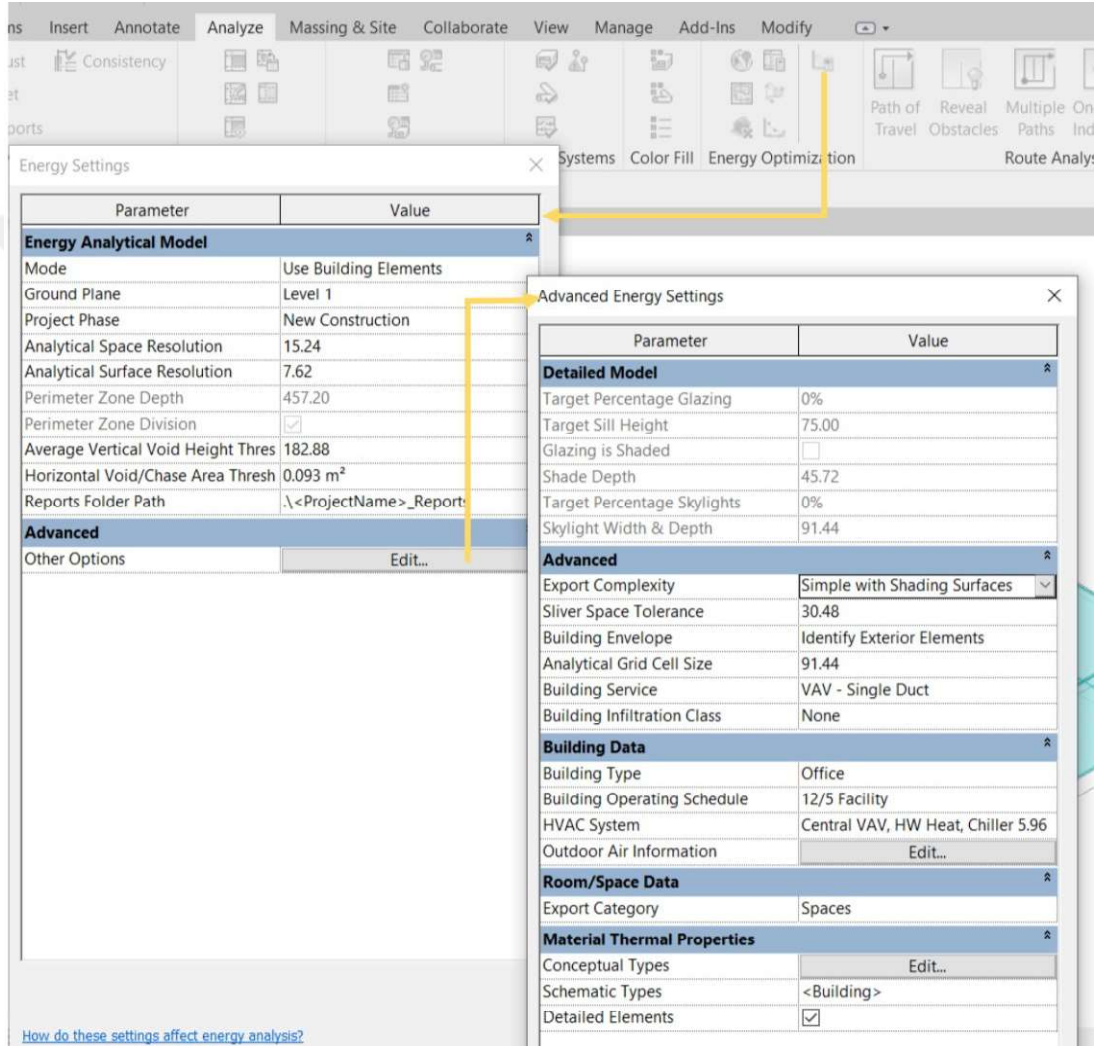
Şekil 4. 12: Malzeme özellikleri için seçenekler.

Cam sistemi için Çizelge 4.6'da bulunan optik ve termofiziksel değerlerden

- gün ışığı geçirgenliği,
- güneş enerjisi dışı yansıtma değeri,
- toplam güneş enerjisi geçirgenliği,
- ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri),
- yayma katsayısı (emissivite) değerleri programa veri olarak aktarılabilmektedir.

4.3.2 Enerji analizi parametreleri

Modelin malzeme özellikleri, alan tanımlaması ve konum ayarı yapıldıktan sonra enerji yüklerinin hesabı için gerekli olan ayarlarının da yapılması gerekmektedir. Şekil 4.13’de analiz ayarları sekmesindeki parametreleri gösteren bir görsel ve Çizelge 4.8’de de bu parametreler ve model için yapılan seçimlere yer verilmiştir.



Şekil 4. 13: Analiz ayarları sekmesi.

Çizelge 4. 8. Revit enerji analizinde belirlenen seçenekler (Cebeci, 2022).

	Parametre	Seçenek / Değer	Açıklama Kodu
Enerji Analitik Modeli Ayarları	Analiz modu	Bina elementlerini kullan	A.1
	Yer düzlemi	Seviye 1	
	Proje türü	Yeni bina	
	Analitik uzay özünürlüğü	15,24	A.2
	Analitik düzlem özünürlüğü	7,62	
İleri Seviye Ayarlar	Dışa aktarma karmaşıklığı (export complexity)	Basit gölgeleme yüzeyleri ile (simple with shading surfaces)	
	Yapı kabuğu	Dış elemanları tanımlayın (Identify exterior elements)	A.3
	Analitik Izgara Hücre Boyutu	30,48	A.4
	Bina hizmeti (ısıtma ve soğutma)	VAV -Single Duct	A.5
	Bina Sızdırma Sınıfı	None	
Bina Verileri	Bina tipi	Ofis	
	Bina İşletim Takvimi	12/5	A.6
	HVAC Sistemi	Central VAV, HW Heat, Chiller 5,96 COP, Boilers 84,5 eff	A.7
	Dış Hava Bilgileri		
	-Kişi başına düşen dış hava	2,5 L/s	A.8
	-m² başına düşen dış hava	0,3 L/sn · m ²	
	-Saatteki hava değişimi	-	
	Oda/alan verileri	Alan (Space)	A.9
	Malzeme Termal Özellikleri	Detaylı elemanlar	A.10

Yukarıdaki tabloda bulunan kodlara ait açıklamalar aşağıdaki gibidir:

A.1 : Model türü ile bu seçenek uyumlu olmadığında analiz sonucu alınamamaktadır. Modelde yapı elemanları tanımlandığı için bu seçenek üzerinden ilerlenmiştir.

A.2 : Analiz görsellerindeki sorunları önlemek için sistemin izin verdiği en küçük değerler tercih edilmiştir.

A.3 : Cephe elemanları tanımlandığı için bu seçenek seçilmiştir.

A.4 : “Dış elemanları tanımlayın” seçeneği seçildiğinde bu alan işlevsel olabilmektedir. En küçük değer olan 30.48 değer olarak girilmiştir.

A.5 : Ofis binası için programın standart seçimi kullanıldı.

A.6 : Haftada 5 gün / Günde 12 saat

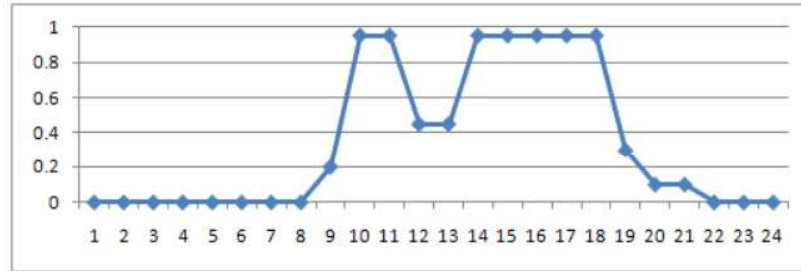
A.7 : Ofis binası için programın standart seçimi kullanıldı.

A.8 : ASHRAE Standardı 62.1 (2013)'e göre, personel başına dış hava besleme hızı, ofiste 2,5 L/s + 0,3 L/sn.m² olmalıdır (Jianlin, Junjie, Xiaodong, & Yuefei, 2017).

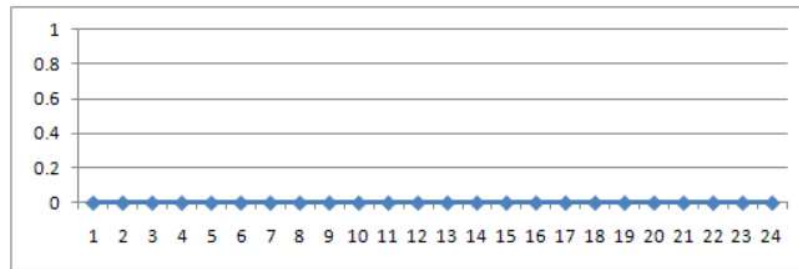
A.9 : Modelde mahallerin hacimsel ayrımı yapıldıysa, oda seçeneği; yapılmadıysa alan seçeneği seçilir.

A.10 : Modelde tüm yapı elemanları tanımlandığı için detaylı elemanlar seçeneği seçilerek çalışma yürütülmüştür.

Ofis yapısı çalışma gün ve saatlerine uygun olarak, oluşturulan modelin bina işletim takvimi haftada 5 gün ve günde 12 saat, 12/5 olarak belirlenmiştir. Bina işletim sistemi 12/5 olan yapıların haftaiçi kullanım yoğunluğu grafiği Şekil 4.14'te, haftasonu için ise Şekil 4.15'te yer almaktadır. Mekanik sistemlerin çalışma aralıkları bu işletim programı takvimine bağlı olarak belirlenmektedir.

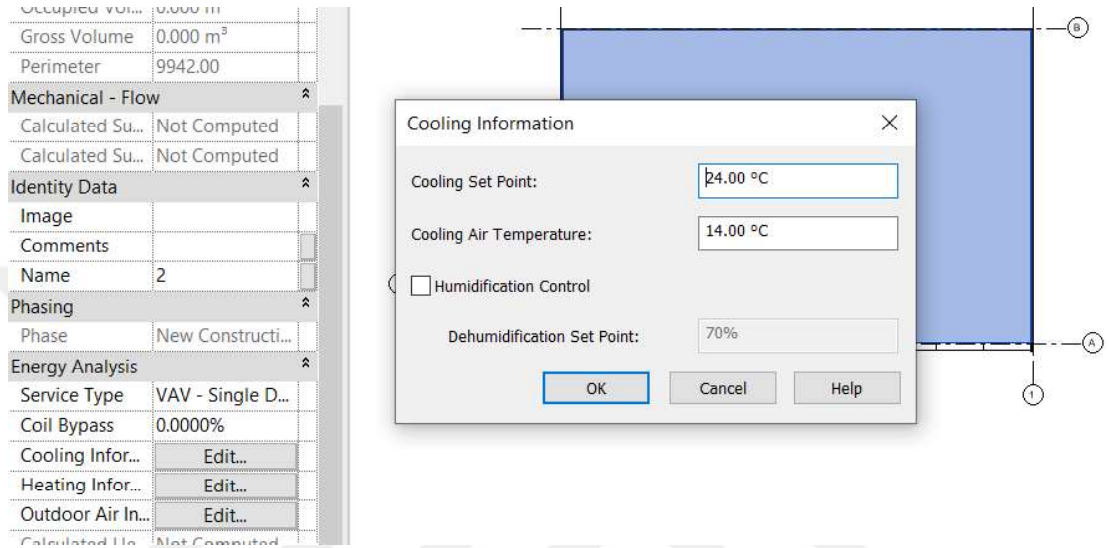


Şekil 4. 14: İşletim programı 12/5 olan binanın hafta içi kullanım yoğunluğu.

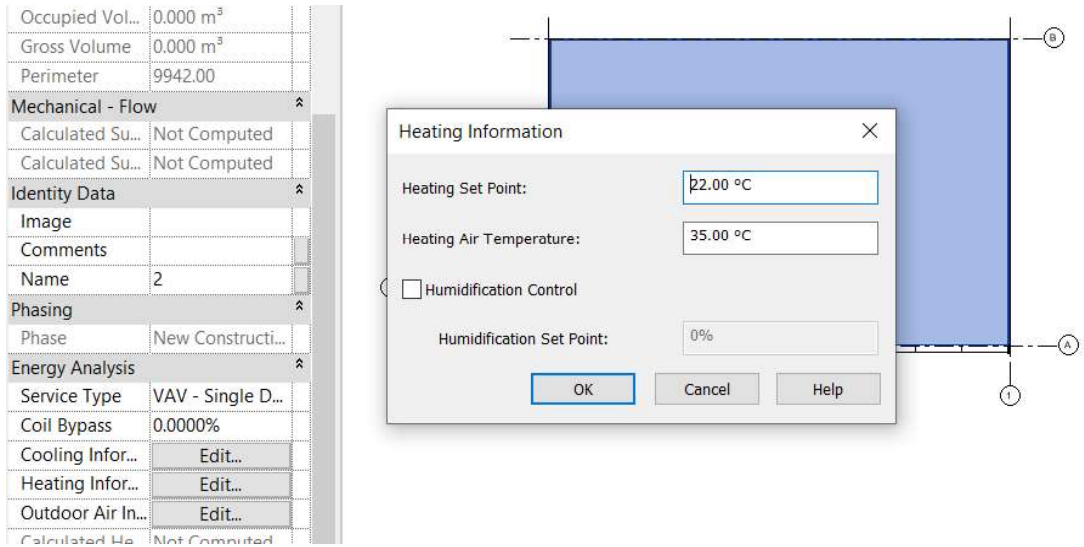


Şekil 4. 15: İşletim programı 12/5 olan binanın hafta sonu kullanım yoğunluğu.

Isıtma ve soğutma sistemi için belirlenmesi gereken ayar noktaları (set point) ve ısıtma soğutma hava sıcaklık değerleri bulunmaktadır. “set point” değeri yapı iç ortam sıcaklığının belirlenen değere geldiğinde ısıtma ve soğutma sisteminin aktifleşeceği sıcaklık değerini ifade etmektedir. Isıtma-soğutma hava sıcaklığı ise ısıtma ve soğutma için belirlenen sıcaklık değerlerinde sistemin çalışacağını belirtmektedir (Şekil 4.16, Şekil 4.17).



Şekil 4. 16 : Soğutma için belirlenen sıcaklık değerleri.

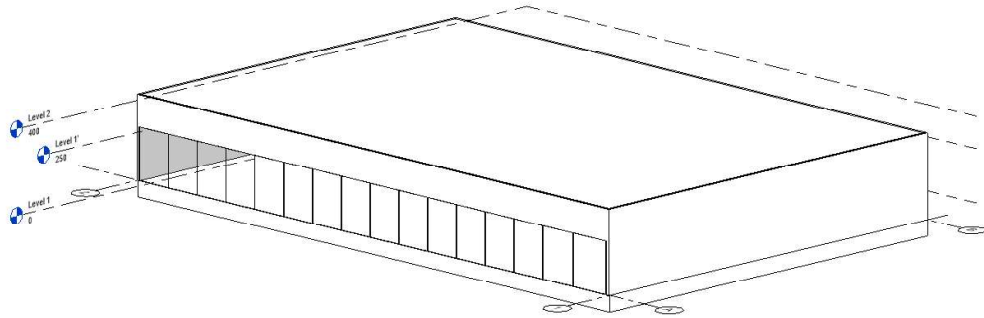


Şekil 4. 17 : Isıtma için belirlenen sıcaklık değerleri.

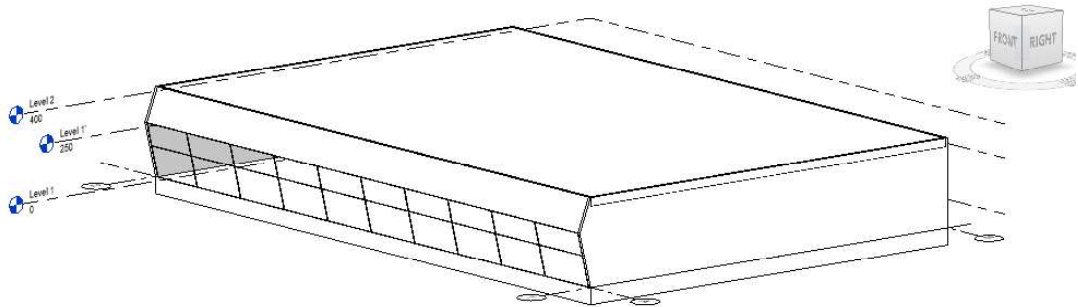
4.4 Çok Açılı Eğimlerle Oluşturulan Alternatif Yapı Kabuklarının Enerji Yükü ve Solar Kazanım Analizlerinin Yapılması

Çalışmanın bu aşaması üç bölümden oluşmaktadır. İlki, belirlenen pilot illerde oluşturulan cephe alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve toplam yüke (ısıtma+soğutma) etkisinin hesaplanması ve kıyaslanması; ikincisi cephe alternatiflerinin solar kazanım analizlerinin yapılması ve kıyaslanmasıdır. Üçüncüsü ise saydam yüzeyin ve fotovoltaiik panellerin bir arada değerlendirilmesi ile tüm pilot iller için en verimli sonucun belirlenmesini kapsamaktadır.

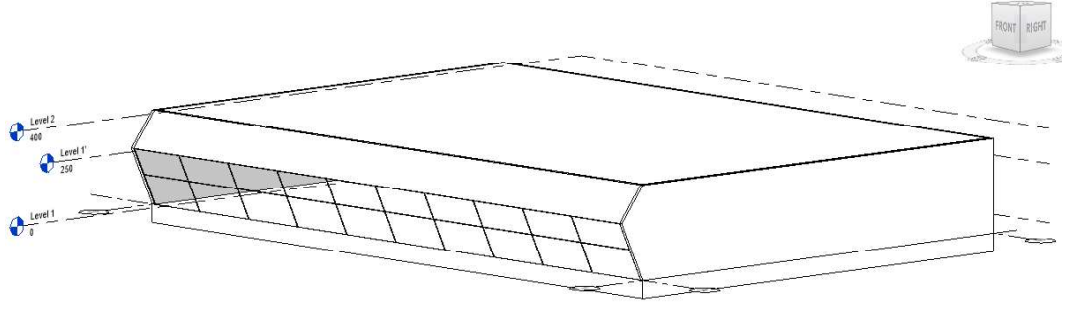
Çalışma kapsamında 7 farklı modelin simülasyon ve analizleri güney, güneydoğu ve güneybatı yönleri olmak üzere üç farklı yönelim için değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler Türkiye’deki iklim tiplerini temsil eden Antalya, Diyarbakır, İstanbul, Ankara, Erzurum pilot illeri için yapılmıştır. Aşağıdaki şekillerde M-01, M-04 ve M-07 model görünüşleri yer almaktadır (Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20).



Şekil 4. 18 : M-01 yapı kabuğu modeli.



Şekil 4. 19 : M-04 yapı kabuğu modeli.

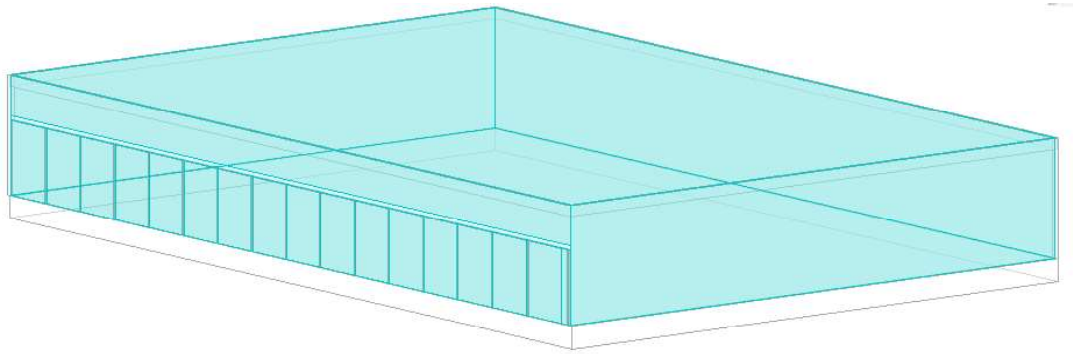


Şekil 4. 20 : M-07 yapı kabuğu modeli.

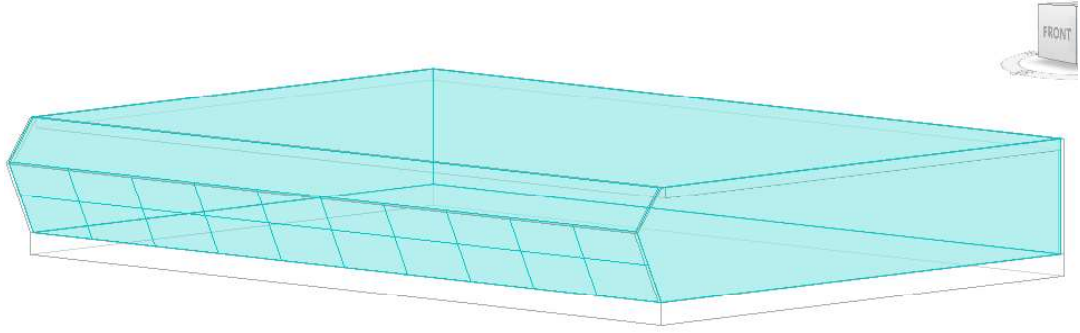
4.4.1 Alternatif yapı kabuklarının ısıtma ve soğutma enerji yüklerinin hesaplanması

Çalışmanın ilk aşamasında, oluşturulan 7 farklı modelin güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimlerinde Türkiye’deki iklim tiplerini temsil eden beş pilot il için elde edilen ısıtma, soğutma ve toplam ısıtma soğutma yükleri bu bölümde grafikler yardımı ile aktarılmıştır. Her bir pilot ile ait sonuçlara ayrı bölümlerde yer verilmiştir.

Enerji analizi sekmesinden ‘create energy analysis’ ile analiz gerçekleştirildiğinde ‘analytical space’ sekmesi açılmaktadır. M-01 modeli için Şekil 4.21 ve M-07 modeli için Şekil 4.22’deki model görünüşleri oluşmaktadır. Model görünüşlerinde bozulma oluşmaması, enerji simülasyon sonuçlarının doğruluğu açısından önemlidir. Bu görünüşlerin doğru oluşmasında analitik uzay ve analitik düzlem çözünürlüğü değerlerinin Çizelge 4.8’de belirtilen en düşük değerlerde oluşturulması önemlidir.



Şekil 4. 21 : M-01 yapı kabuğunun enerji simülasyonunda oluşan model görünüşü.



Şekil 4. 22 : M-07 yapı kabuğunun enerji simülasyonunda oluşan model görünüşü.

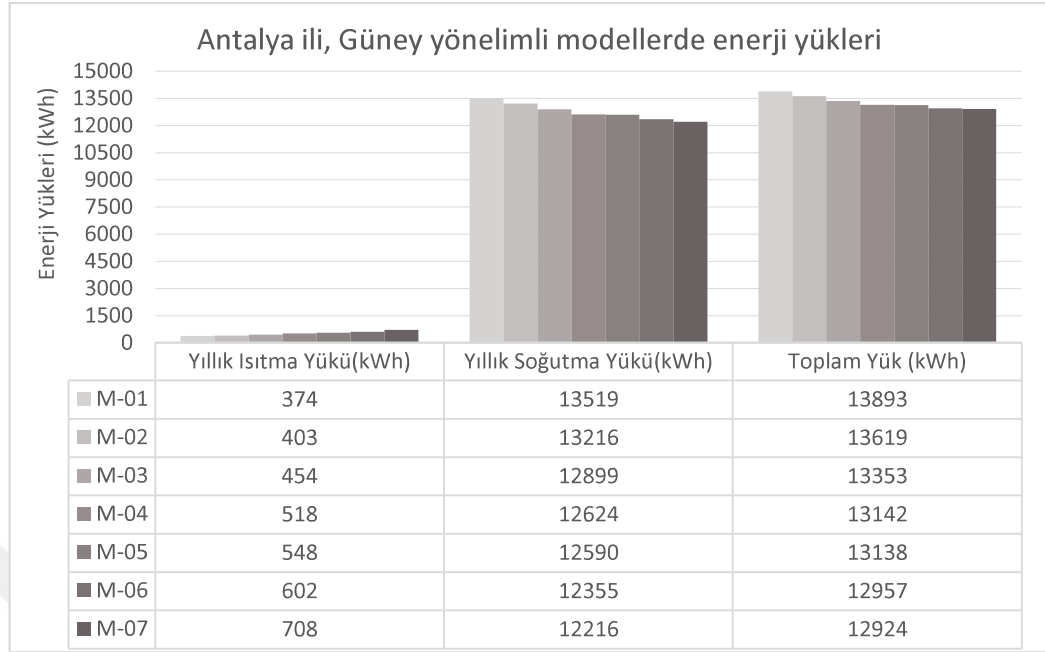
Yapı modellerinin enerji analiz sonuçları Green Building Studio sisteminden alınmıştır. Isıtma ve soğutma yüklerinin kıyaslanabilmesi ve toplam yükün elde edilebilmesi için MJ (megajoule) olarak elde edilen ısıtma yükü kWh (kilovatsaat) birimine çevrilmiştir. Toplam elektrik ve gaz harcamaları belirtilen Green Building Studio sayfasında, ısıtma ve soğutma yükleri yüzdelik dilimler halinde ifade edilmektedir. Toplam yük ile yüzdelerin çarpılması yoluyla ısıtma ve soğutma yükleri elde edilmiştir.

4.4.1.1 Antalya ili için ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesabı

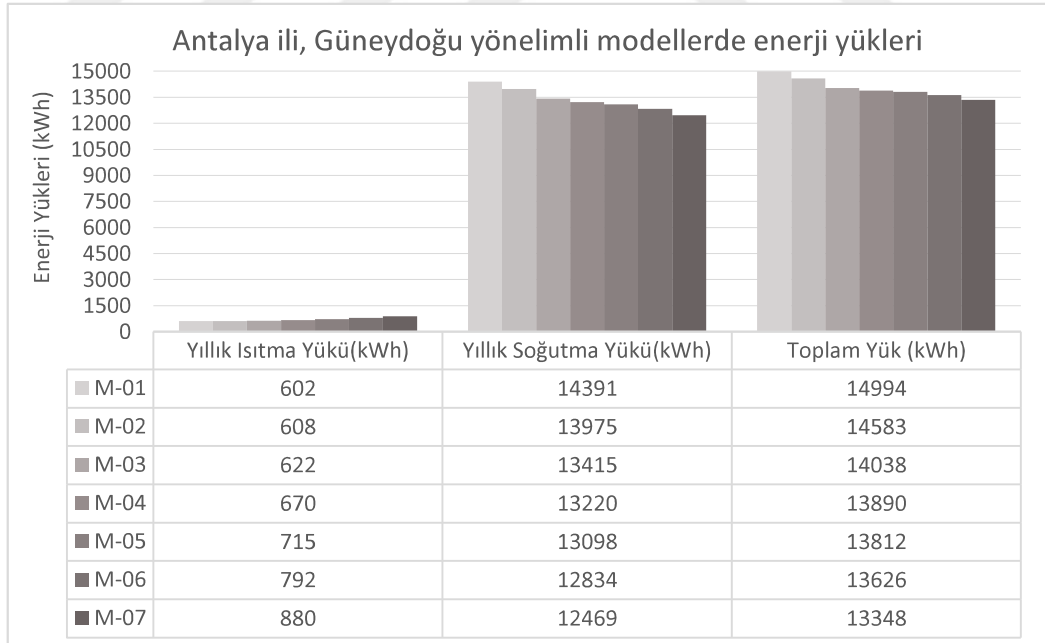
Antalya ili için oluşturulan enerji simülasyonlarının güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimlerine göre sonuçları sırasıyla Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11 ‘de grafikler ile ifade edilmiştir. Oluşturulan 7 model alternatifinin toplam enerji yüklerinin üç yönelim için kıyaslaması Çizelge 4.12’de aktarılmıştır.

- Antalya ilinin iklim tipinin sıcak nemli olması sebebiyle, soğutma istenen dönem, ısıtma istenen döneme göre fazladır. Bu nedenle tüm yönelimlerde soğutma yükü ısıtma yüküne oranla yüksek sonuçlar verdiği grafiklerden anlaşılmaktadır.
- Üç yönelim için de Model 1 (M-01)’den Model 7 (M-07)’ye doğru ısıtma yükü artarken soğutma yükü azalmaktadır. Buna karşılık toplam yükte de azalma olduğu görülmektedir.

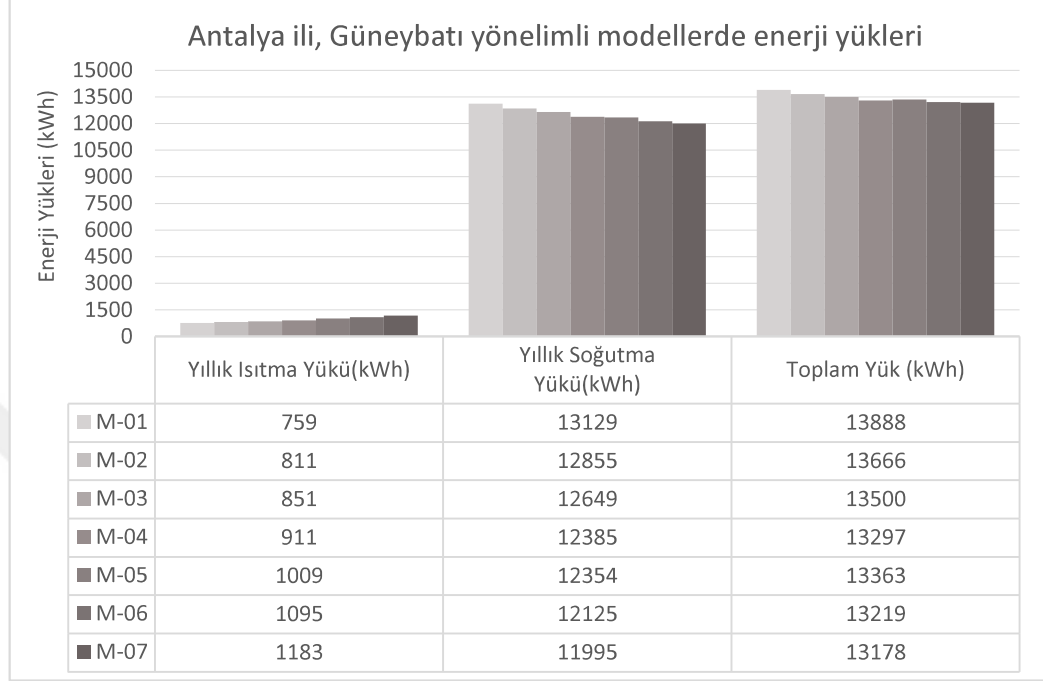
Çizelge 4. 9 : Antalya ili güney yönelimli modeller için enerji yükleri.



Çizelge 4. 10 : Antalya ili güneydoğu yönelimli modeller için enerji yükleri.



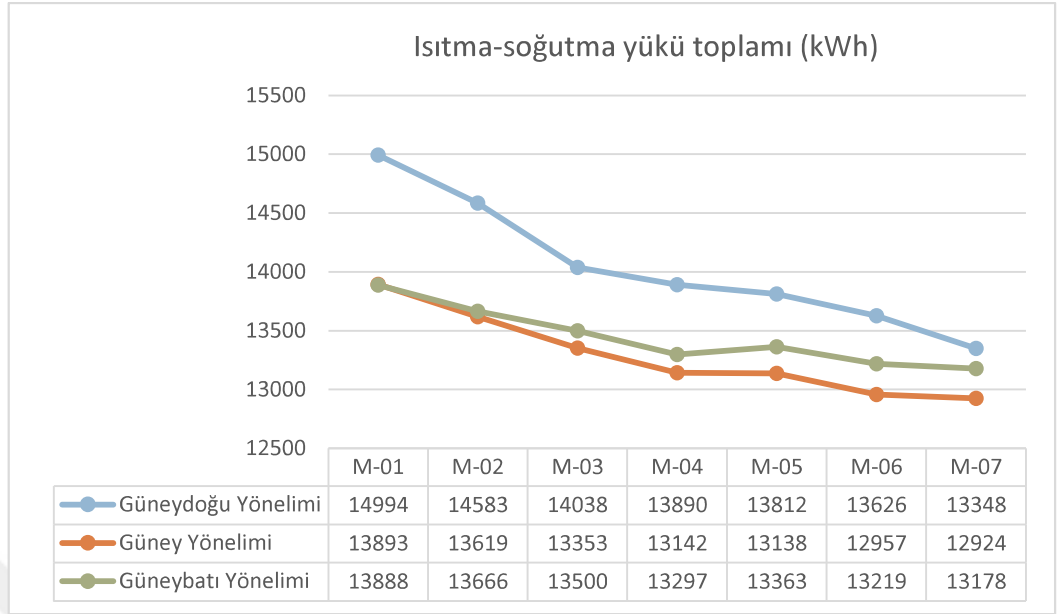
Çizelge 4. 11 : Antalya ili güneybatı yönelimli modeller için enerji yükleri.



Çizelge 4.12’de bulunan yönelimlere göre toplam enerji yükleri grafiğine göre;

- Zemine dik (Eğim açısı 90°) olan Model 1’de güney ve güneybatı yönelimlerinin toplam yükleri neredeyse aynıdır.
- Model 1 güneydoğu yönelimi, en yüksek soğutma yüküne (Çizelge 4.10) ve toplam yüke sahiptir.
- Alternatif modellerin yönelimlere göre toplam ısıtma soğutma yükleri kıyaslandığında, azdan çoğa doğru güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimleri sıralamasında olduğu görülmektedir.
- Üç yönelim için de en verimli sonucu Model 7 sağlamaktadır.

Çizelge 4. 12 : Antalya ili, modellerin farklı yönelimler için toplam enerji yükleri.



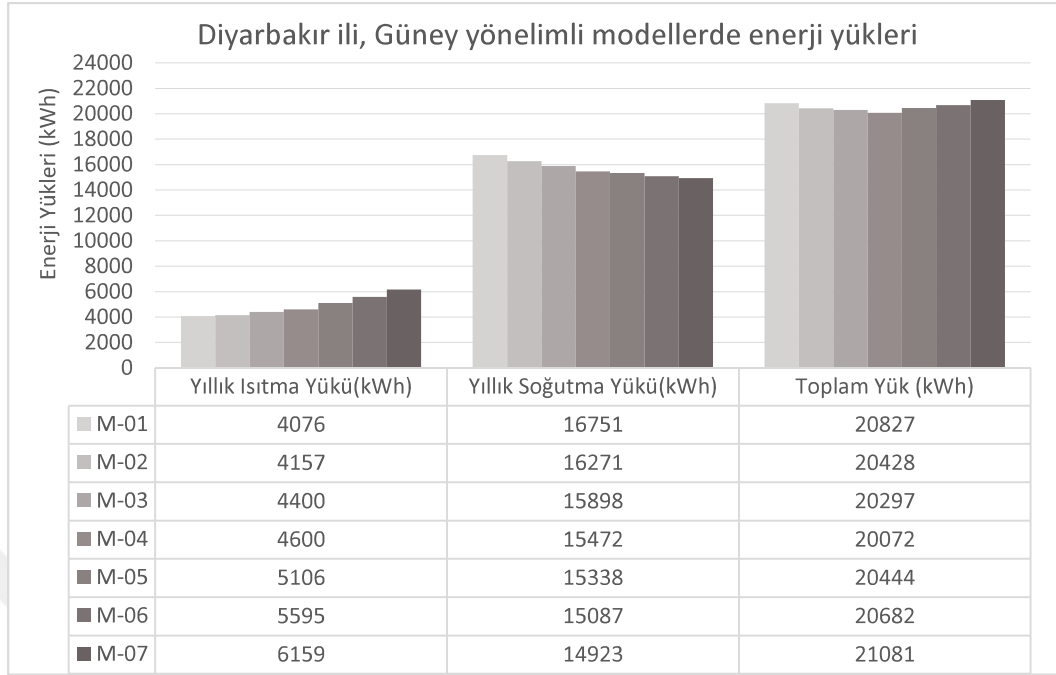
4.4.1.2 Diyarbakır ili için ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesabı

Sıcak kuru iklim tipine sahip Diyarbakır ilinde, modellerin güney yönelimleri için analiz sonuçları Çizelge 13’te, güneydoğu yönelimlerinin analiz sonuçları Çizelge 14 ve güneybatı yönelimlerinin sonuçları da Çizelge 15’te verilmiştir.

Çizelge 4.13’e göre güney yönelimli modeller için,

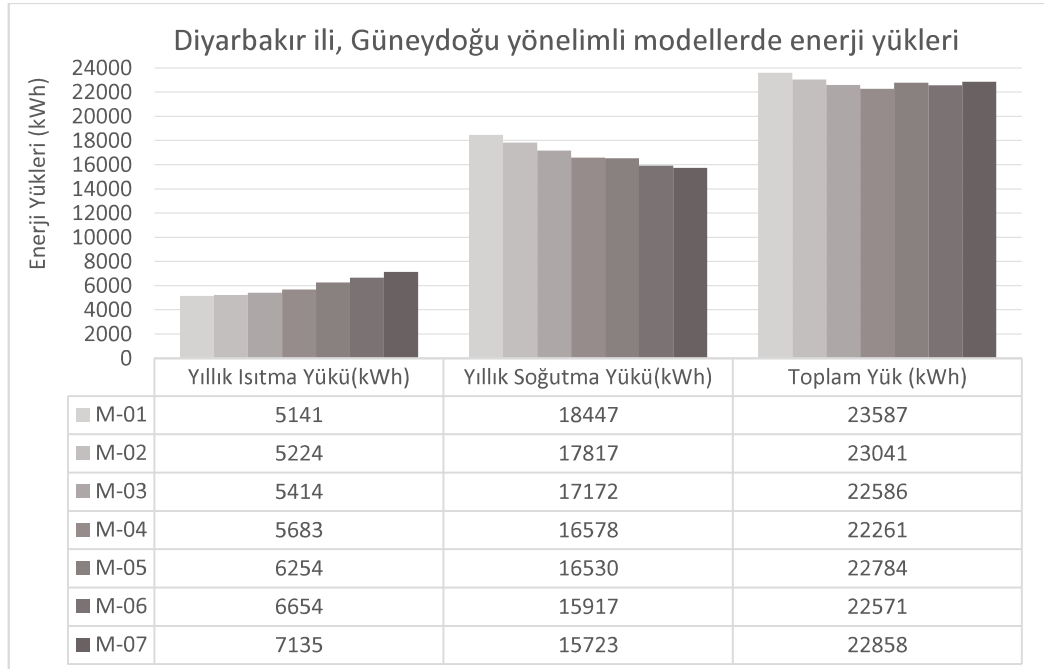
- Modellerin tümünde soğutma yüklerinin ısıtma yüklerine göre yüksek olduğu görülmektedir.
- Toplam yükler kıyaslandığında en verimli sonucu Model 4 sağlamaktadır.
- Antalya ilinde olduğu gibi Diyarbakır ilinde de Model 1’den Model 7’ye doğru ısıtma yükü artmakta soğutma yükü azalmaktadır. Ancak Antalya ilinden farklı olarak Diyarbakır ilinde güney ve güneybatı yöneliminde Model 1’den Model 4’e toplam enerji yükünün azaldığı ve Model 4’ten Model 7’ye doğru ise artış gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4. 13 : Diyarbakır ili güney yönelimli modellerin enerji yükleri.

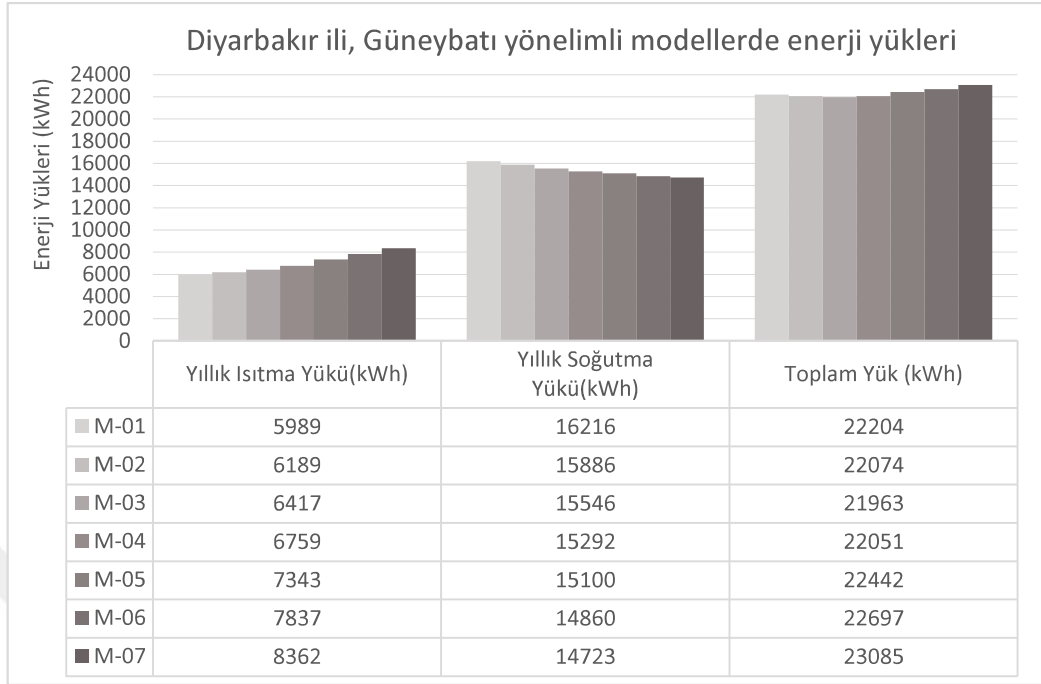


Güneydoğu yönelimli modellerin enerji yükleri kıyaslandığında en düşük toplam enerji yükü Model 4'e ait, en yüksek toplam enerji yükü ise Model 1'e aittir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4. 14 : Diyarbakır ili güneydoğu yönelimli modellerin enerji yükleri.

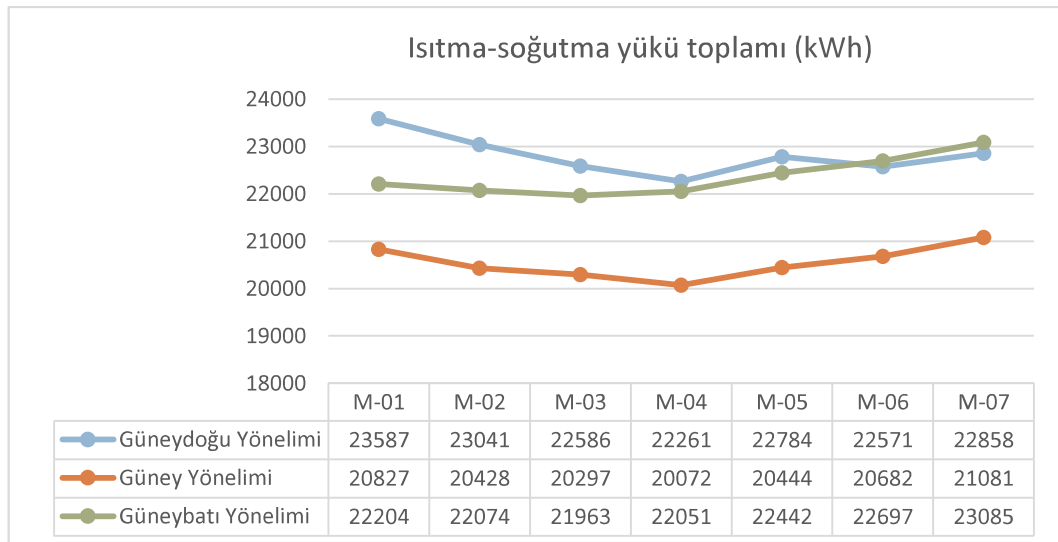


Çizelge 4. 15 : Diyarbakır ili güneybatı yönelimli modellerin enerji yükleri.



Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15’te bulunan değerlere göre güneydoğu ve güneybatı yönelimleri karşılaştırıldığında; güneydoğu yöneliminde ısıtma yüklerinin güneybatı yönelimine göre daha düşük olduğu, soğutma yüklerinin ise daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. 16 : Diyarbakır ili, modellerin farklı yönelimler için toplam enerji yükleri.



Çizelge 4.16’da bulunan grafiğe göre tüm modellerde güneye yönelim en verimli sonuca sahiptir. Diyarbakır ilinde M-04 modeli güney ve güneydoğu yönelimleri için,

M-03 modeli güneybatı yönelimi için en düşük ısıtma ve soğutma yükü toplamına sahip olduğundan modeller arasında en verimli sonucu sağlamaktadır.

M-01, M-02, M-03, M-04 ve M-05 modellerinde güneybatı yönelimi güneydoğu yönelimine göre verimli sonuçlar vermektedir. M-06 ve M-07 modellerinde ise güneydoğu yönelimi güneybatıya göre verimli olmaktadır.

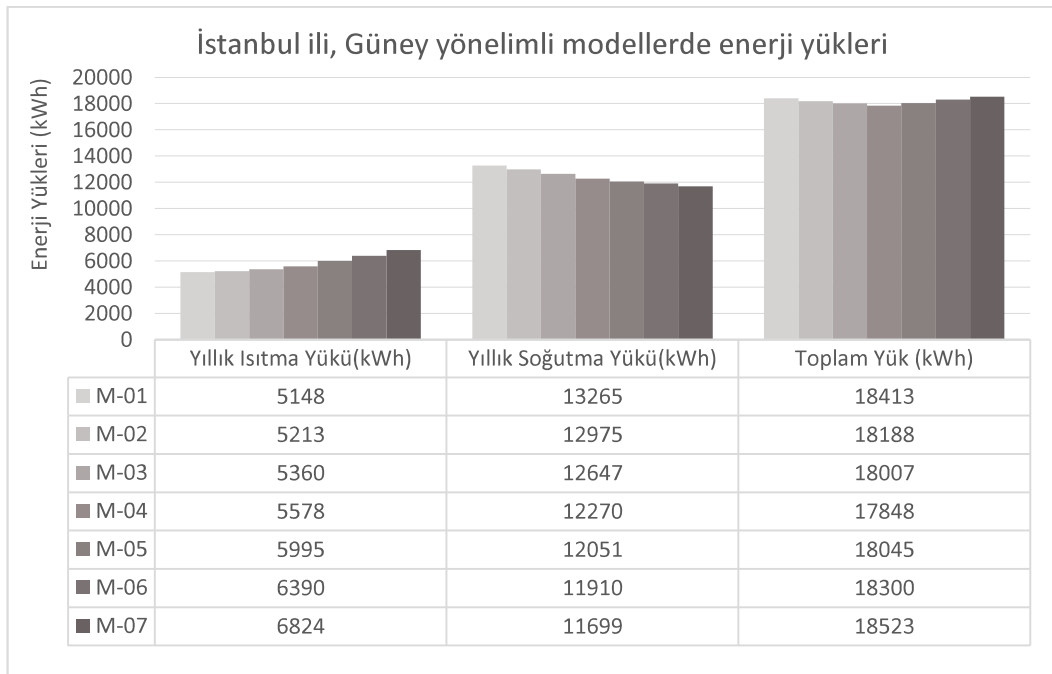
4.4.1.3 İstanbul ili için ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesabı

Ilımlı nemli iklim tipini temsil eden İstanbul ili için yapılan analizlerin güney yönelimindeki sonuçları Çizelge 4.17’de güneydoğu yönelimi Çizelge 4.18, güneybatı yönelimi de Çizelge 4.19’da aktarılmıştır.

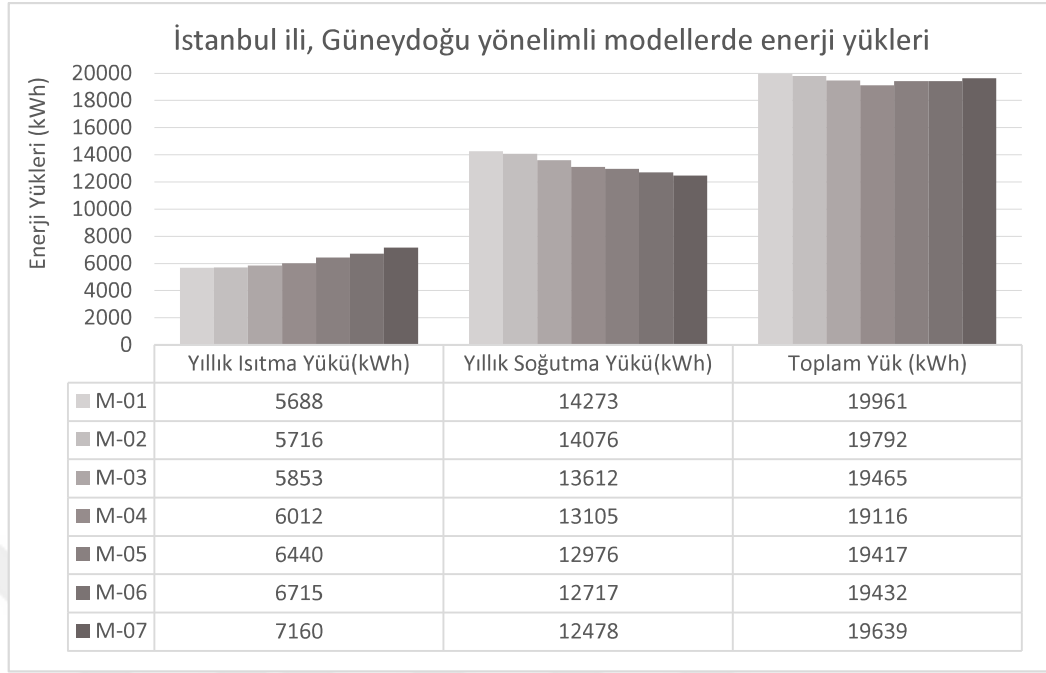
Üç yönelim durumunda da en verimli sonucu M-04 modeli sağlamaktadır. Güneybatı yöneliminde M-02, M-03 ve M-04 modellerinin toplam ısıtma ve soğutma enerji yükleri birbirine çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Güney, güneydoğu ve güneybatı yöneliminde Model 1’den Model 4’e toplam enerji yükü azalmakta ve Model 4’ten Model 7’ye doğru enerji yükü artmaktadır.

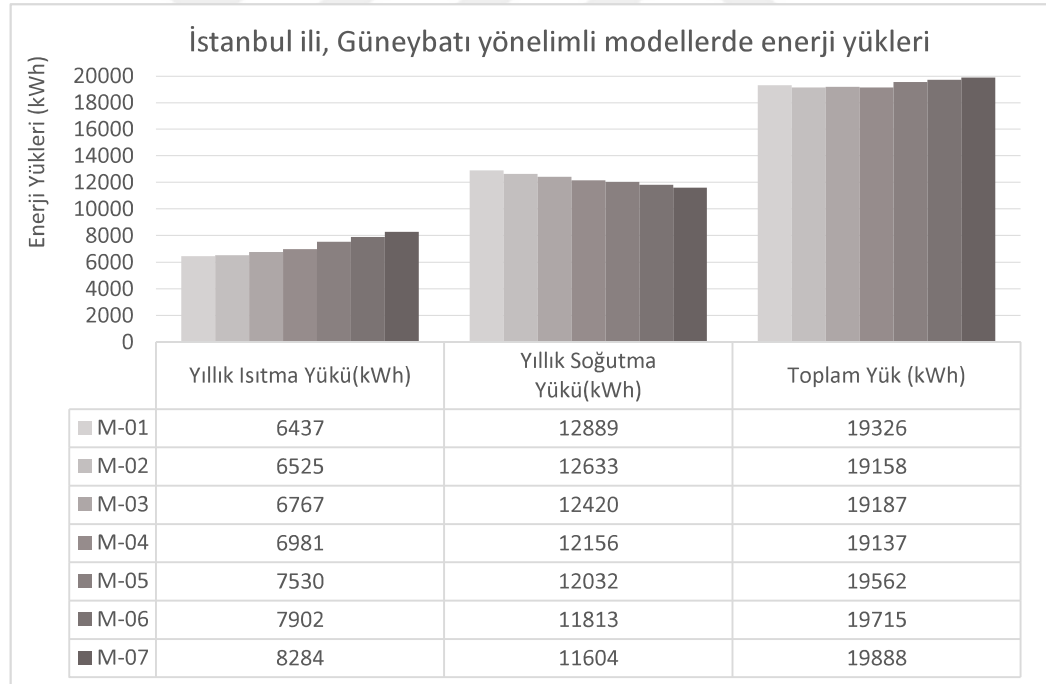
Çizelge 4. 17 : İstanbul ili güney yönelimli modellerin enerji yükleri.



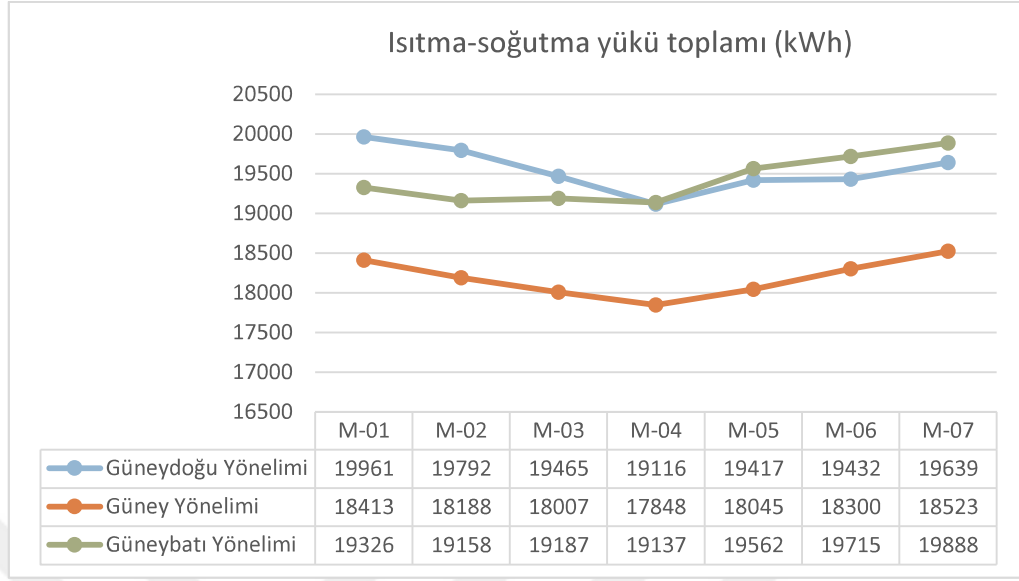
Çizelge 4. 18 : İstanbul ili güneydoğu yönelimli modellerin enerji yükleri.



Çizelge 4. 19 : İstanbul ili güneybatı yönelimli modellerin enerji yükleri.



Çizelge 4. 20 : İstanbul ili, modellerin farklı yönelimler için toplam enerji yükleri.



Çizelge 4.20’de görüldüğü gibi, güney yönelimi tüm modeller için toplam ısıtma soğutma yükünde en verimli sonucu vermektedir. M-04 modeli tüm yönelimlerde en düşük enerji yükü ile en verimli sonuca sahiptir.

M-01, M-02 ve M-03 modelleri için güneybatı güneydoğu yönelimine göre daha verimli olurken grafik M-04 modelinde yön değiştirerek M-04, M-05, M-06 ve M-07 modellerinde güneydoğu yönelimi güneybatı yönelimine göre verimli sonuç vermektedir.

4.4.1.4 Ankara ili için ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesabı

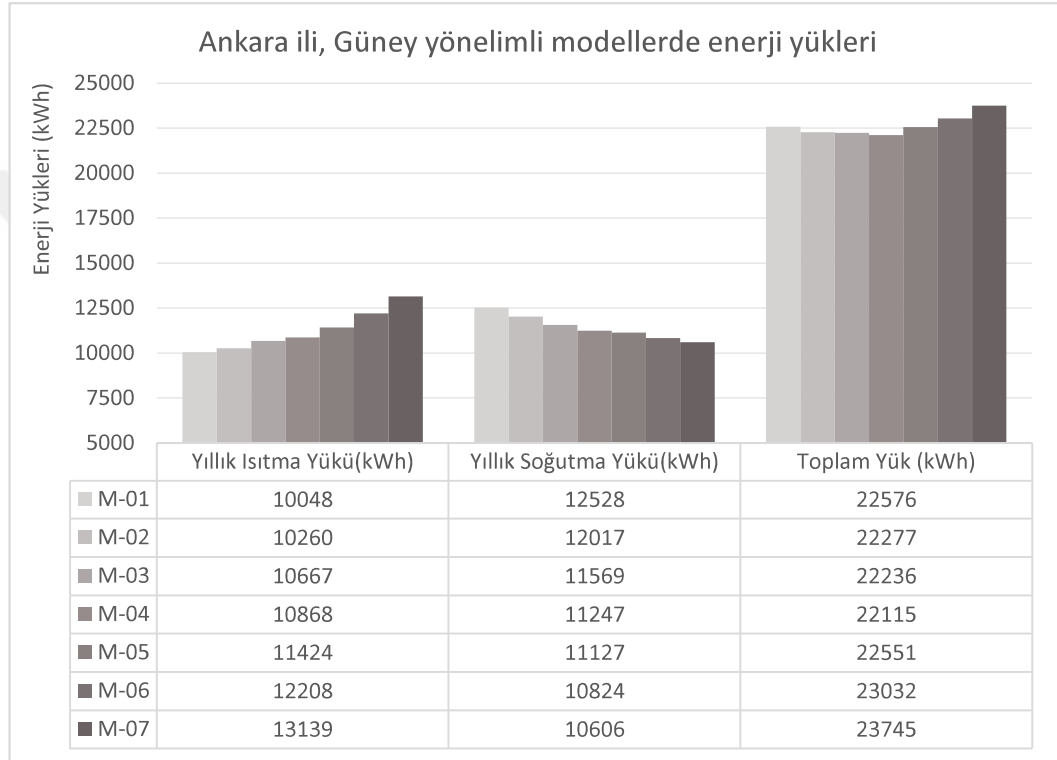
Ilımlı kuru iklim tipinin pilot şehri olan Ankara için yapılan analizlerden güney yönelimi sonuçları Çizelge 4.21’de, güneydoğu yönelimi sonuçları Çizelge 4.22’de ve güneybatı yönelimi de Çizelge 4.23’te yer almaktadır. Bu üç yönelim için de toplam enerji yüklerinin kıyaslaması Çizelge 4.24’te aktarılmıştır.

Tüm yönelimlerde Model 1’den Model 7’ye ısıtma yükü artarken soğutma yükü azaldığı grafiklerden görülmektedir.

Çizelge 4.21’de bulunan 7 modelin güney yönelimindeki sonuçları değerlendirildiğinde;

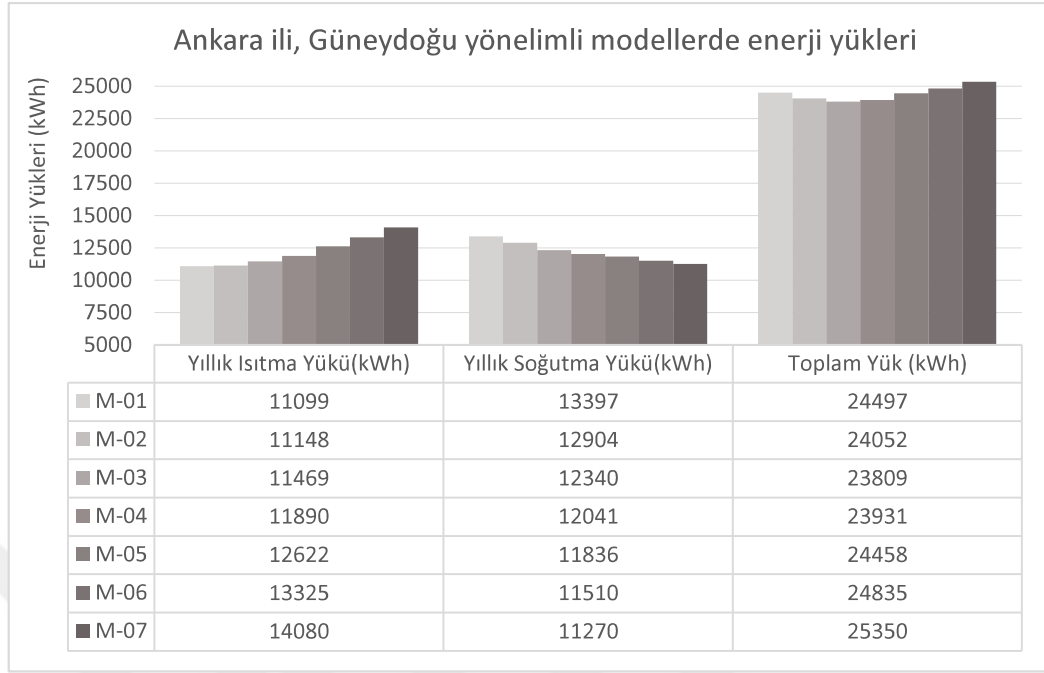
- Model 1’den Model 4’e doğru küçük farklarla toplam enerji yükünün azaldığı, Model 4’te grafiğin yön değiştirerek Model 4’ten Model 7’ye doğru toplam enerji yükünün arttığı görülmektedir.
- Model 4, en düşük ısıtma soğutma enerji yükü ile güney yöneliminde en verimli sonucu vermektedir.

Çizelge 4. 21 : Ankara ili güney yönelimli modellerin enerji yükleri.

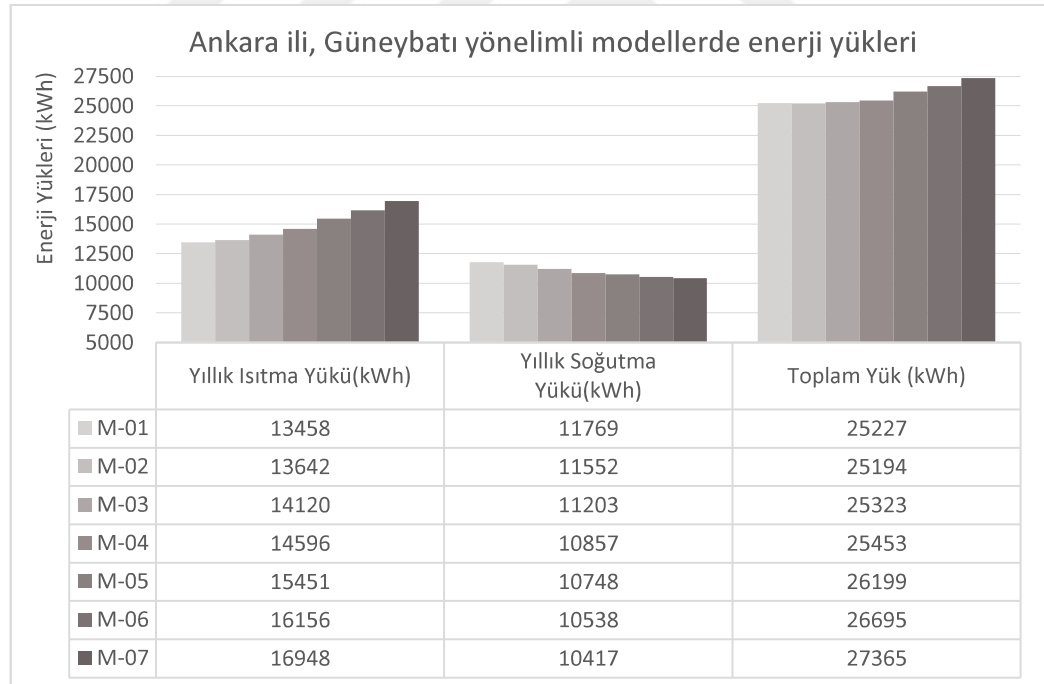


Çizelge 4.22’de bulunan 7 modelin güneydoğu yönelimindeki sonuçları değerlendirildiğinde küçük bir farkla Model 3, Çizelge 4.23’de bulunan güneybatı yönelimlerine göre de Model 2 en verimli sonucu vermektedir.

Çizelge 4. 22 : Ankara ili güneydoğu yönelimli modellerin enerji yükleri.



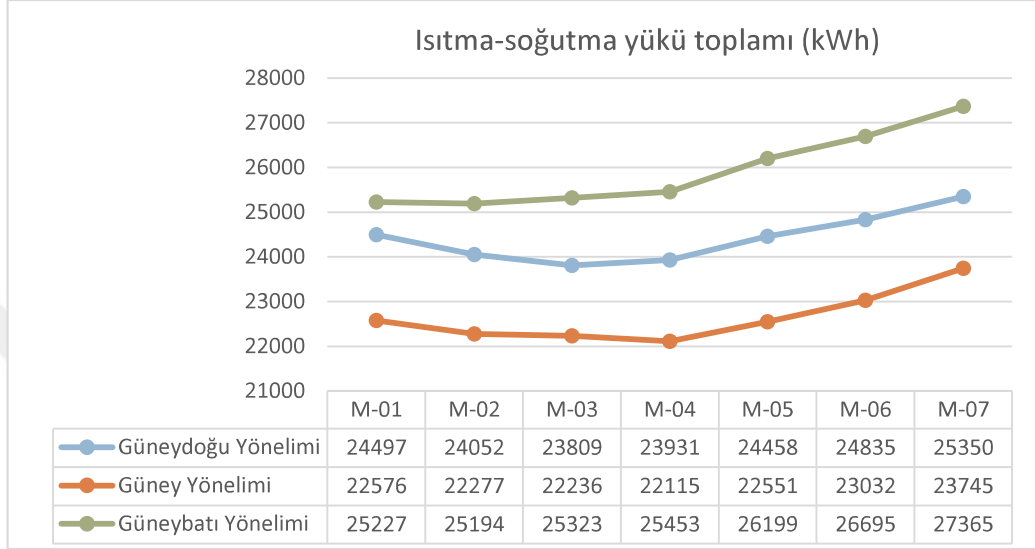
Çizelge 4. 23 : Ankara ili güneybatı yönelimli modellerin enerji yükleri.



Çizelge 4.24’te görüldüğü gibi, güney yönelimi tüm modeller için toplam ısıtma soğutma yükünde en verimli sonucu verirken ikinci verimli yönelim güneydoğu yönü ve daha sonra güneybatı yönü olmaktadır.

Güney yöneliminde M-04 modeli, güneydoğu yöneliminde M-03, güneybatı yöneliminde M-02 modeli en düşük ısıtma soğutma yükü toplamıyla en verimli sonuçları sağlamaktadır. Bu modeller aynı zamanda grafiklerin kırılma noktalarını ifade etmektedir.

Çizelge 4. 24 : Ankara ili, modellerin farklı yönelimler için toplam enerji yükleri.

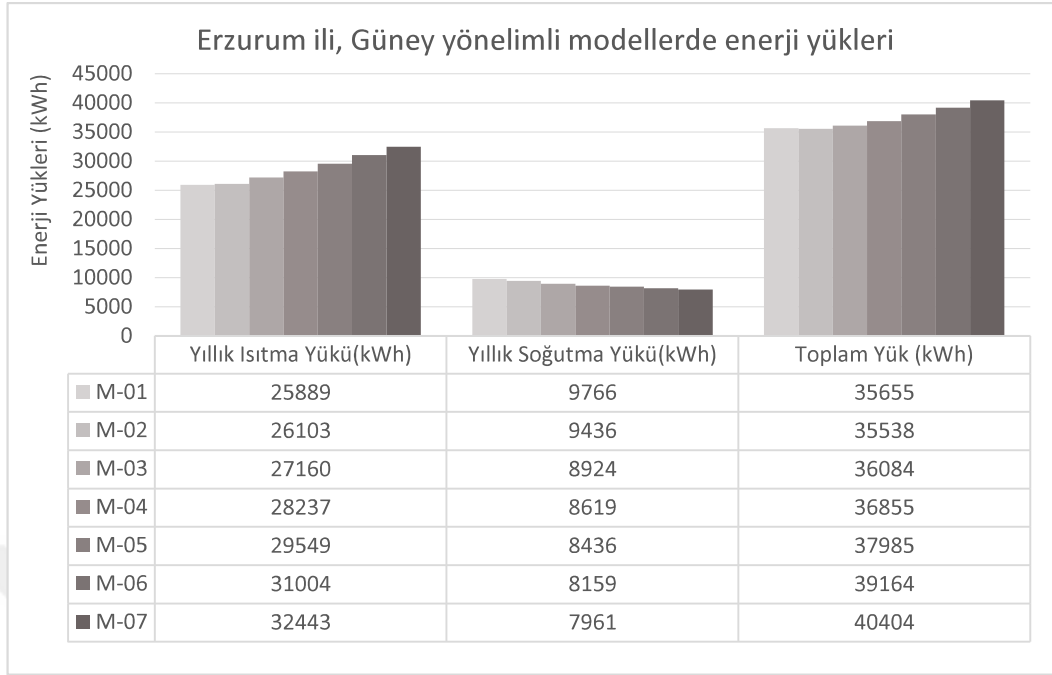


4.4.1.5 Erzurum ili için ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin hesabı

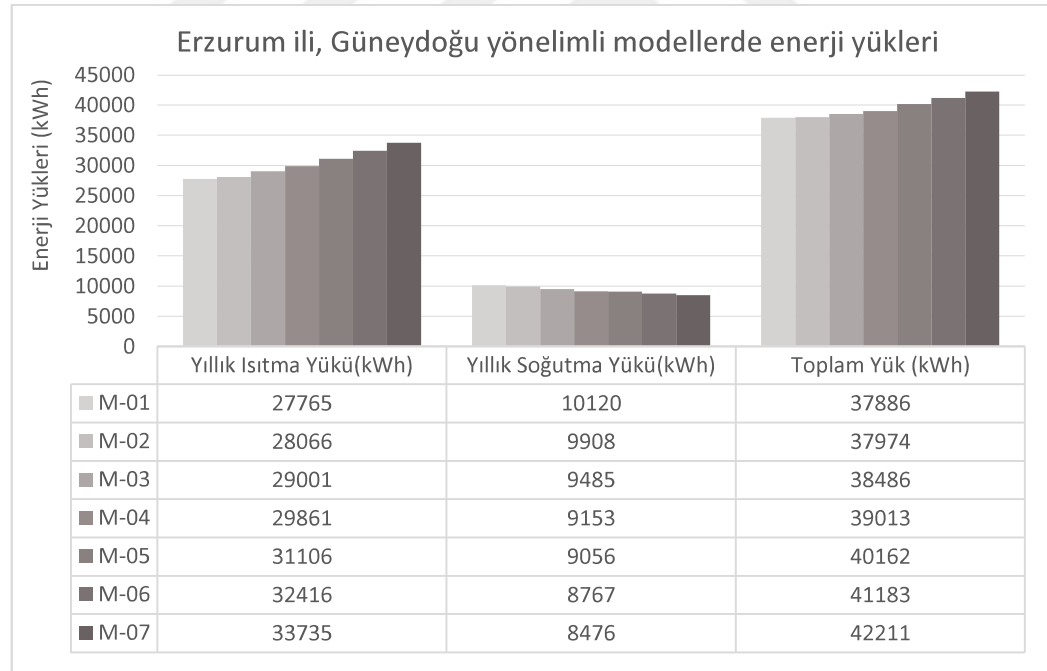
Ülkemizdeki soğuk iklim tipini temsil eden Erzurum ilinde 7 model için yapılan analizlere göre ısıtma, soğutma ve toplam ısıtma soğutma enerji yükleri için güney yönelimi sonuçları Çizelge 4.25’te, güneydoğu yönelimi Çizelge 4.26’da ve güneybatı yönelimi de Çizelge 4.27’de yer almaktadır. Üç yönelimin toplam ısıtma ve soğutma yüklerinin kıyaslaması Çizelge 4.27 yardımıyla ele alınmıştır.

Ele alınan üç yönelim için de diğer tüm illerde olduğu gibi saydam cephe eğim açısı arttıkça ısıtma yükü artmakta soğutma yükü azalmaktadır. Ancak Erzurum ilinde diğer illere göre ısıtma istenilen dönem daha uzun olduğu için ısıtma yükü soğutma yüküne kıyasla çok daha fazladır. Örneğin M-01 modeli için ısıtma yükü soğutma yükünün 2,65 katı olmaktadır.

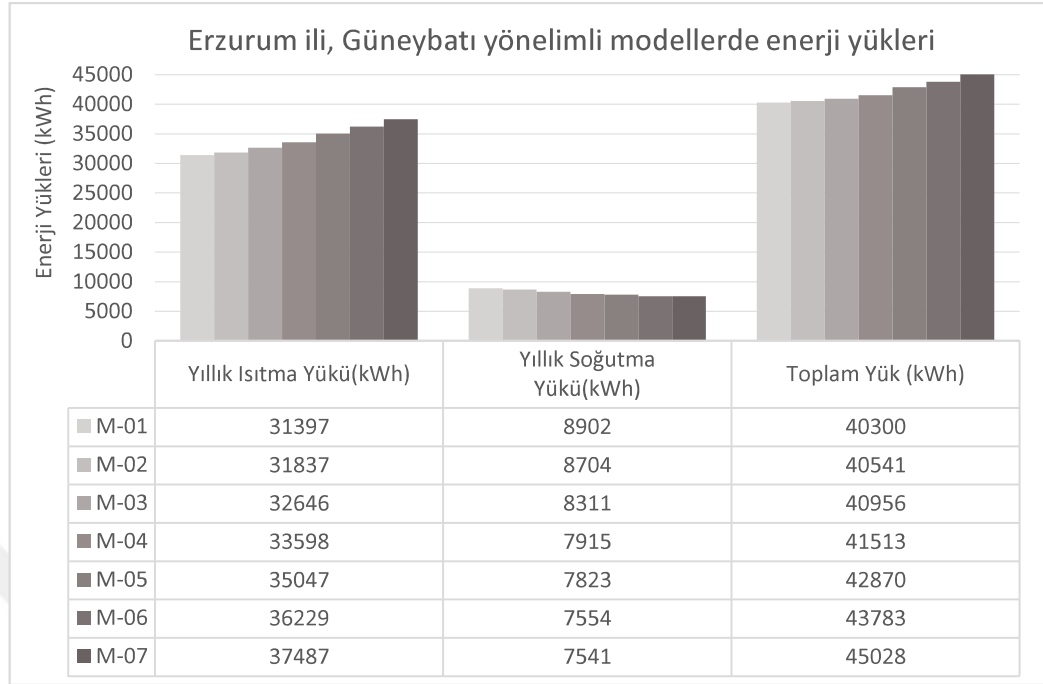
Çizelge 4. 25 : Erzurum ili güney yönelimli modellerin enerji yükleri.



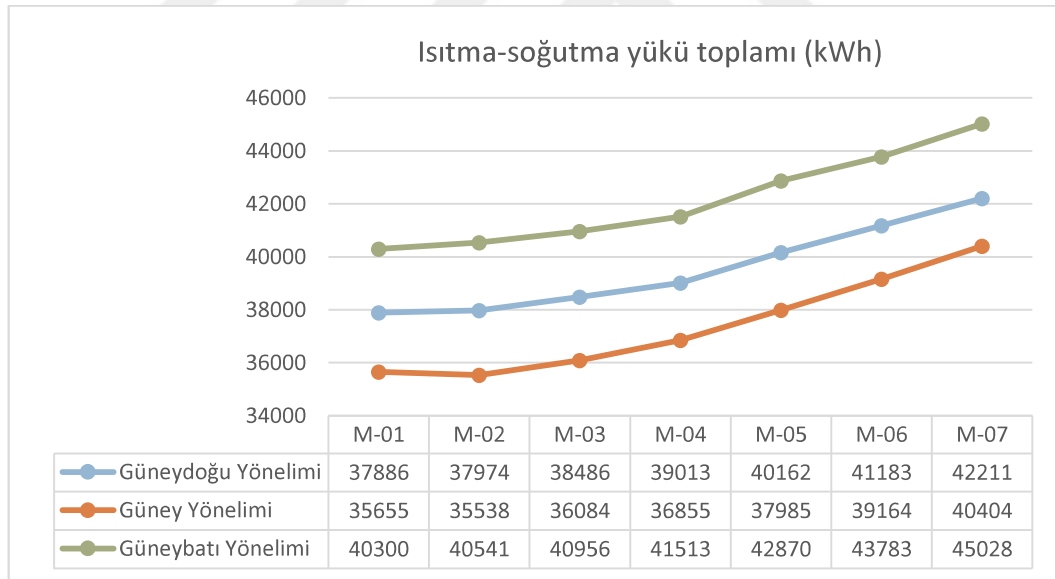
Çizelge 4. 26 : Erzurum ili güneydoğu yönelimli modellerin enerji yükleri.



Çizelge 4. 27 : Erzurum ili güneybatı yönelimli modellerin enerji yükleri.



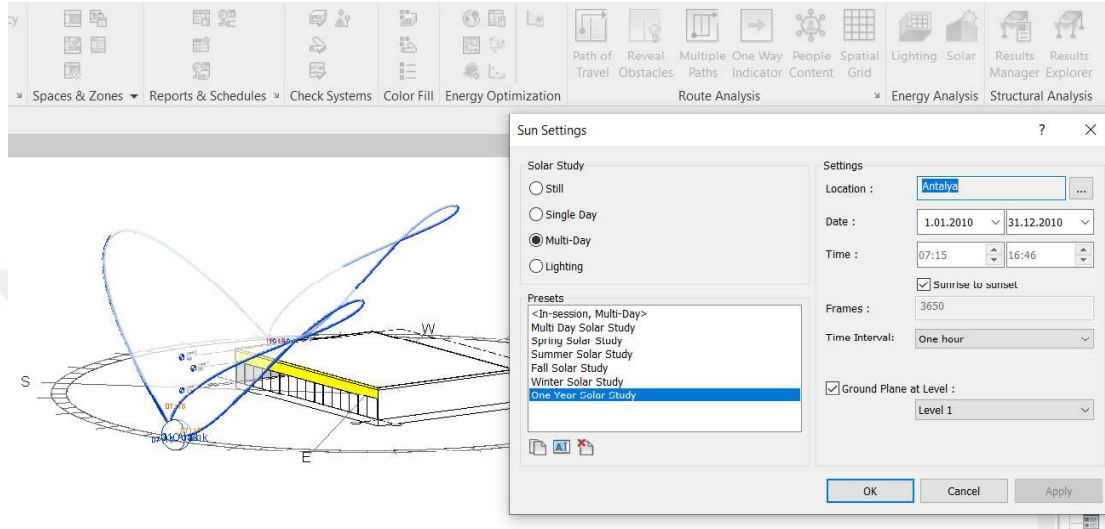
Çizelge 4. 28 : Erzurum ili, modellerin farklı yönelimler için toplam enerji yükleri.



Çizelge 4.28’de görüldüğü gibi, güney yönelimi tüm modeller için toplam ısıtma soğutma yükünde en verimli sonucu verirken ikinci verimli yönelim güneydoğu yönü ve daha sonra güneybatı yönü olmaktadır. Güney yöneliminde çok düşük bir farkla M-02 modeli diğer modellere göre en düşük toplam yükü sağlamaktadır. Diğer yönlerde eğim uygulanması enerji yüklerini arttırmıştır.

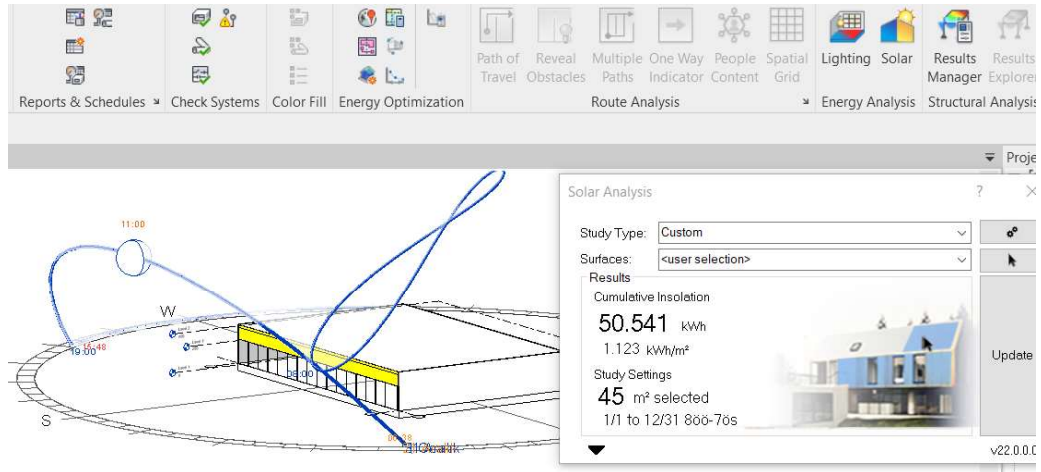
4.4.2 Alternatif yapı kabuklarında solar kazanım analizlerinin yapılması

Yapı kabuklarının dar açılı eğimli yüzeyi olan spandrel bölümlerine yerleştirilen fotovoltaik panellerden elde edilecek elektriğin hesaplanması için öncelikle Revit (2022)'de Solar Analysis eklentisi yardımıyla yıllık solar kazanım hesapları yapılmıştır. Bunun için 1 Ocak, 31 Aralık tarihleri arasındaki günlerde elde edilen toplam kazanım hesabı program aracılığıyla yapılmıştır (Şekil 4.23).



Şekil 4. 23 : Revit güneş “sun settings” ayarları.

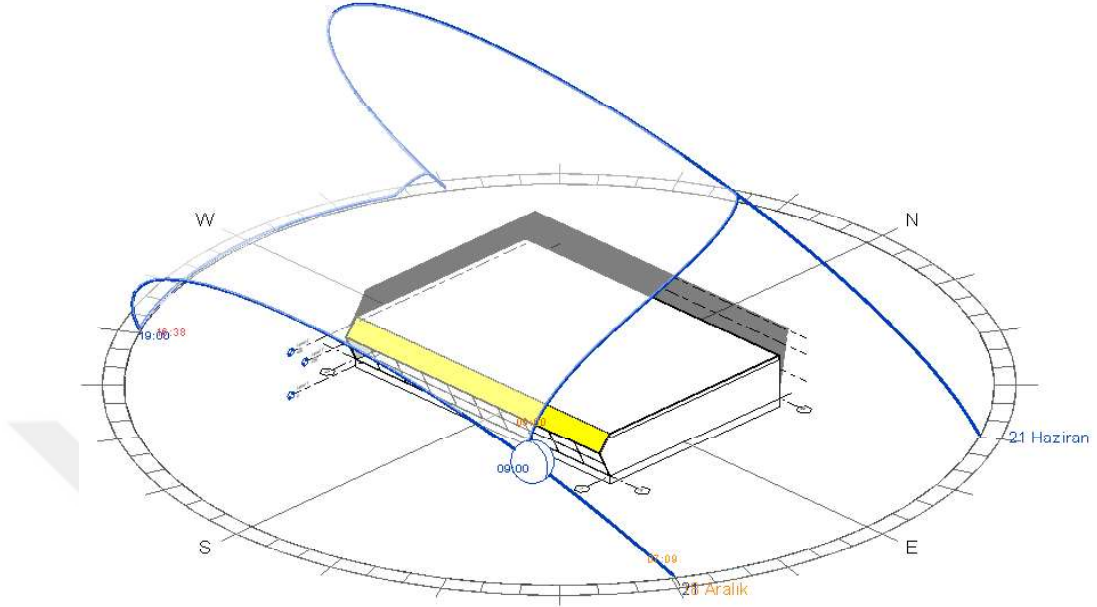
Her bir modelde “mass” aracı ile modellenen yüzeyler seçilerek yıllık solar kazanım hesabı yapılmıştır. Program, toplam kazancı (kWh) ve m² başına düşen kazancı (kWh/m²) veri olarak sunmaktadır (Şekil 4.24).



Şekil 4. 24 : Mass yüzeyin solar analizinin gerçekleştirilmesi.

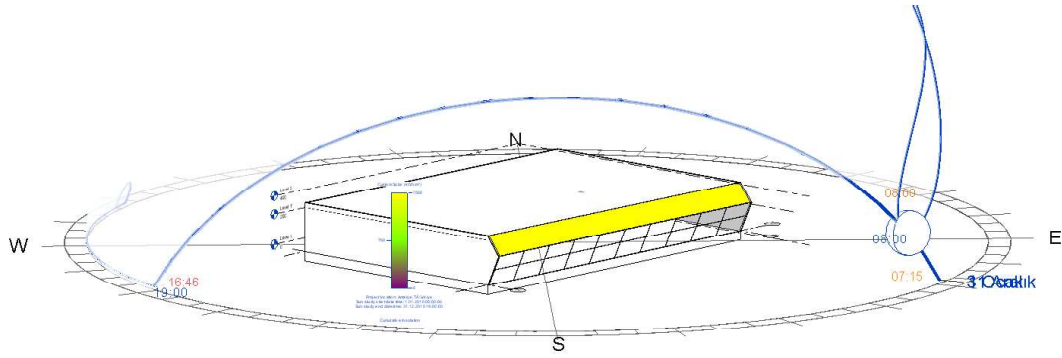
Güneş yörüngesi “sun path on” butonu ile açılarak güneşin mevsimlere ve arazi konumuna göre değişen hareketini anlamak mümkündür. Şekil 4.25'te Model 7'nin

güney yönelimi bulunmaktadır. Güneşin en kısa gün 21 Aralık ve en uzun gün 21 Haziran tarihlerindeki yörüngesi, 21 Aralık saat 09.00'a ait de gölgesi şekilde görülmektedir.

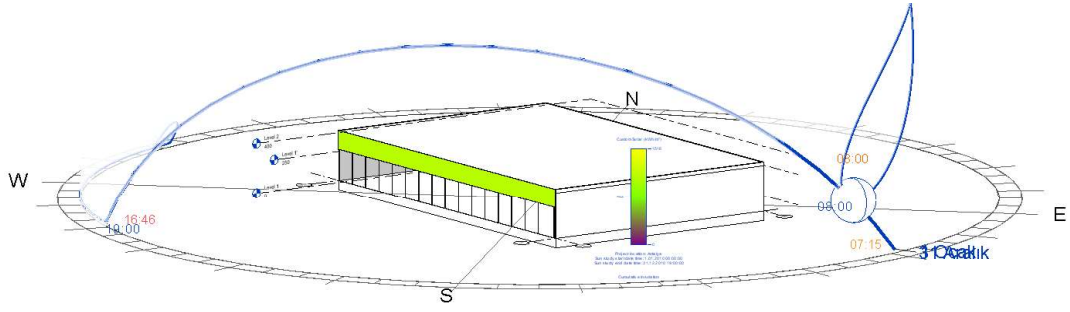


Şekil 4. 25 : Antalya ili için Model 7 güney yönelimi güneş yörüngesi.

Şekil 4.26'da Model 7'nin güneydoğu yönelimi ve Şekil 4.27'de M-01'in güneybatı yönelimi için güneş yörüngesindeki konumlarını gösteren üç boyutlu model görselleri verilmiştir.



Şekil 4. 26 : Antalya ili için Model 7 güneydoğu yönelimi solar kazanım analizi görseli.



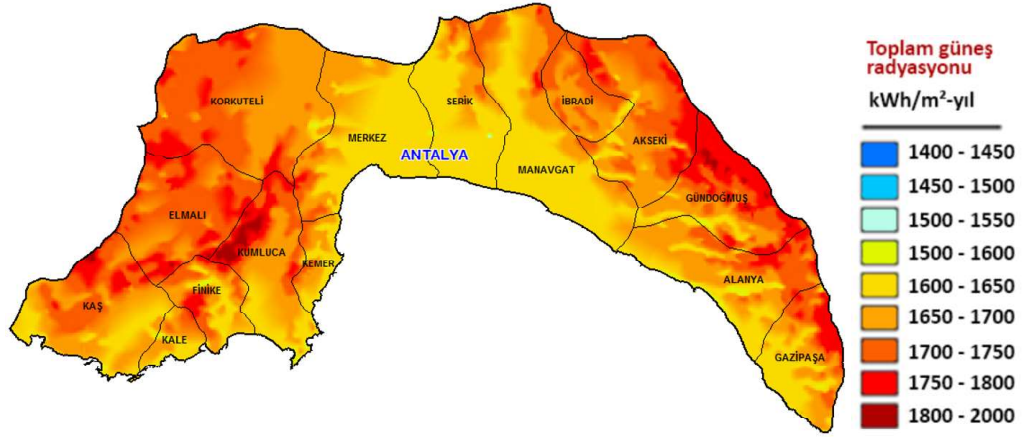
Şekil 4. 27 : Antalya ili için M-01'in güneybatı yönelimine ait solar kazanım analizi görseli.

Türkiye'deki iklim tiplerini temsil eden Antalya, Diyarbakır, İstanbul, Ankara ve Erzurum illerinin her biri için oluşturulan yedi modelin çok açılı cephe kabuğundaki opak yüzeylerine ait solar kazanım hesapları güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimleri için yapılmıştır. Bu opak yüzeylerdeki fotovoltaik paneller aracılığıyla radyasyon miktarının belli bir yüzdesi elektrik enerjisine çevrilebilmektedir. Panelin verimliliği olarak da ifade edilen bu yüzde panel tipine, panelin temizliğine, hava sıcaklığına ve panelin kullanım süresine bağlı olarak değişebilmektedir. Panelin çok ısınmasına bağlı olarak da bu verimlilik düşebilmektedir.

Günümüzde birçok firma ortalama %20 değerine ulaşabilmiştir. %5'lik de olası kayıplar için ayrılan değer düşürüldüğünde çalışma kapsamındaki panellerin verimliliği %15 olarak kabul edilmiştir. Revit Solar Analiz aracı ile elde edilen toplam radyasyon miktarının panel verimliliği ile çarpılması ile panellerden elde edilecek elektrik miktarı bulunmuş ve alternatif modeller arasında kıyaslaması yapılmıştır.

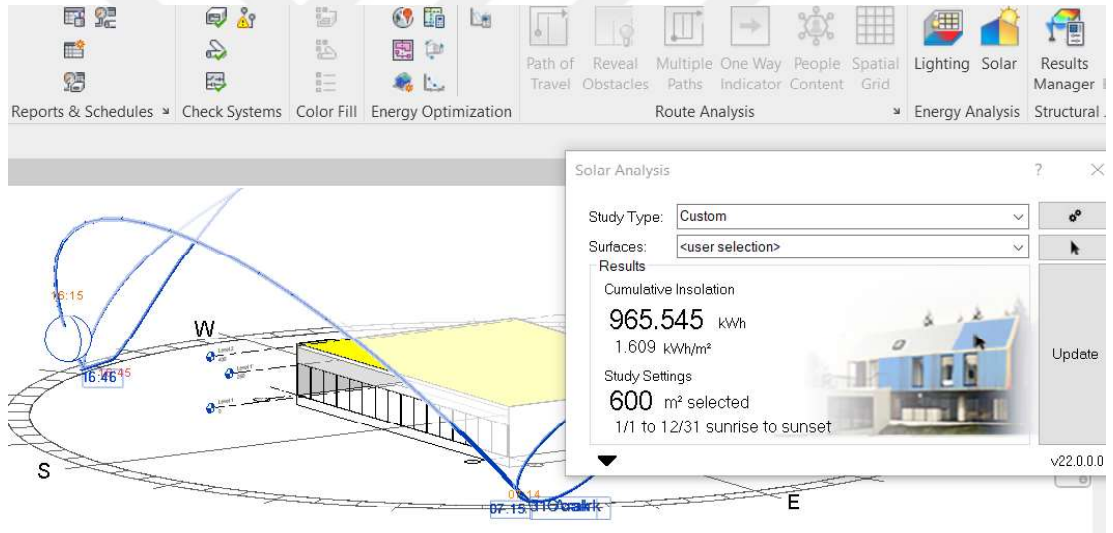
4.4.2.1 Antalya ili için solar kazanım analizlerinin yapılması

Antalya, ortalama olarak yılın 3011 saati (Url-23) güneşli olan ve güneş ışımasını fazla alan bir ildir. 2.4.2. bölümde Şekil 2.23'te bulunan Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlasında yatay yüzeye gelen toplam radyasyon miktarları her il için mevcuttur. Şekil 4.28'de Antalya ilinin güneş enerjisi potansiyeline göre seçilen konuma bağlı olarak 1m² yatay düzlemde bir yılda toplanan güneş radyasyonu miktarı 1550-1800 kWh/m² aralığında değişmektedir.



Şekil 4. 28 : Antalya ili güneş enerjisi potansiyeli (Url-24).

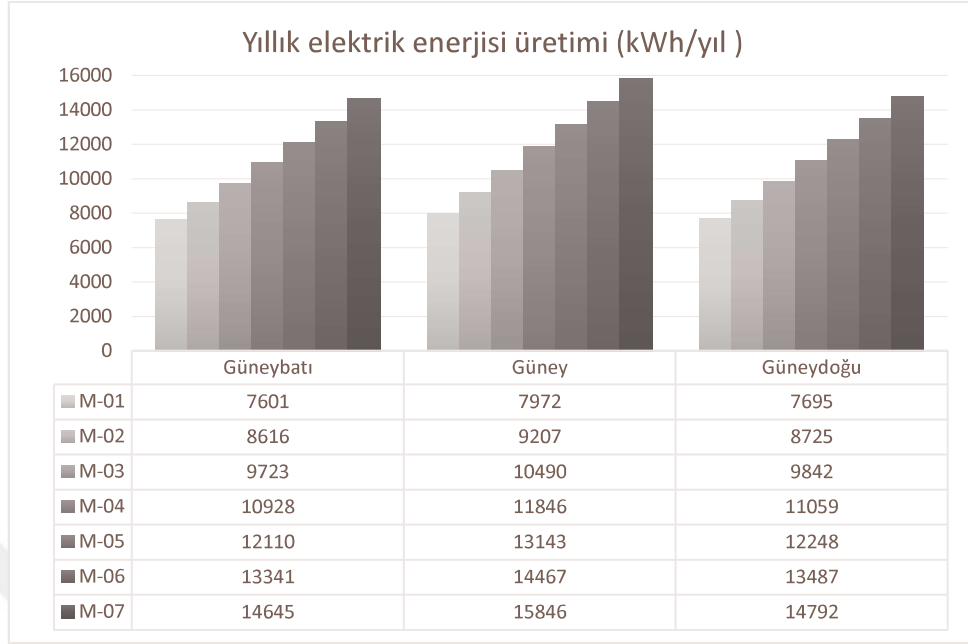
Revit (2022) solar analiz ile yapılmış radyasyon kazanımı hesabına göre 1 m² yatay alandaki yıllık radyasyon kazancı 1609 kWh/m²'dir (Şekil 4.29). Bu değer güneş enerjisi potansiyeli atlasındaki değer aralığındadır.



Şekil 4. 29: Antalya ilinde yatay düzleme gelen güneş radyasyonu hesabı.

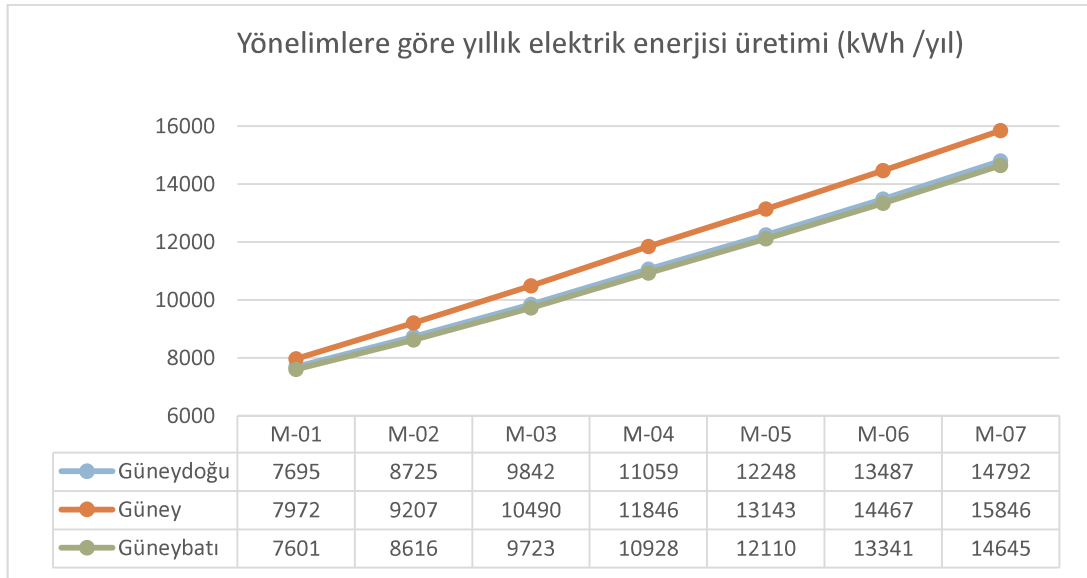
Oluşturulan 7 modelin cephesinde kullanılan fotovoltaik panellerin ürettiği elektrik enerjisi miktarları güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 4.29 ve Çizelge 4.30'da grafik aracılığıyla aktarılmıştır. Her üç yönelim için de Model-01'den Model-07'ye doğru güneş ışınlarının geliş açısının dike yaklaşması nedeniyle üretilen elektrik enerjisinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 4. 29 : Antalya ilinde 7 modelin üç yönelim için fotovoltaik panel ile yıllık elektrik enerjisi üretimi.



Çizelge 4.30'a göre Antalya ilinde elektrik enerjisi üretiminde en verimli sonucu güney yönelimi sağlamaktadır. Düşük farkla güneydoğu yönelimi güneybatı yönelimine göre daha verimli sonuçlar vermektedir.

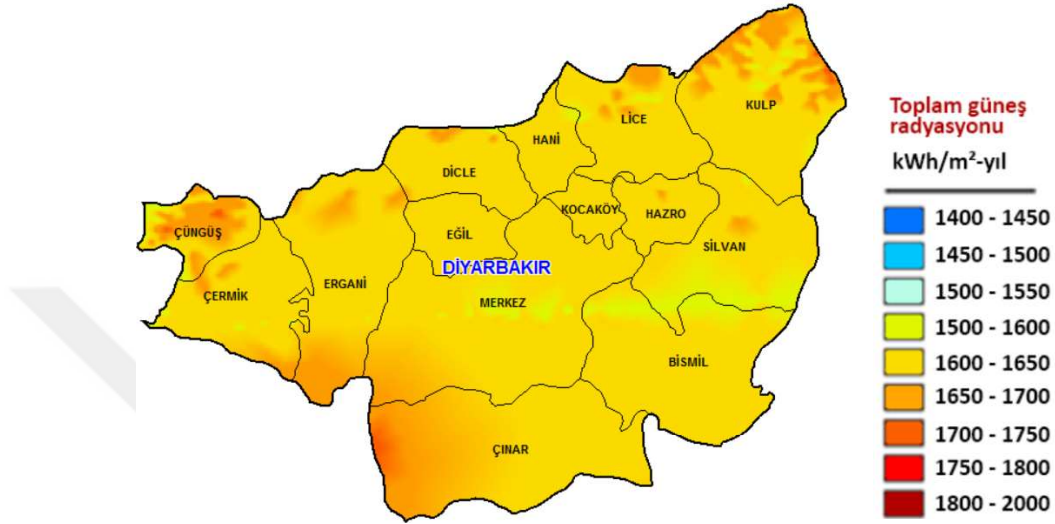
Çizelge 4. 30 : Antalya ilinde 7 model alternatifinin her biri için üç yönelime göre elektrik enerjisi üretim miktarları.



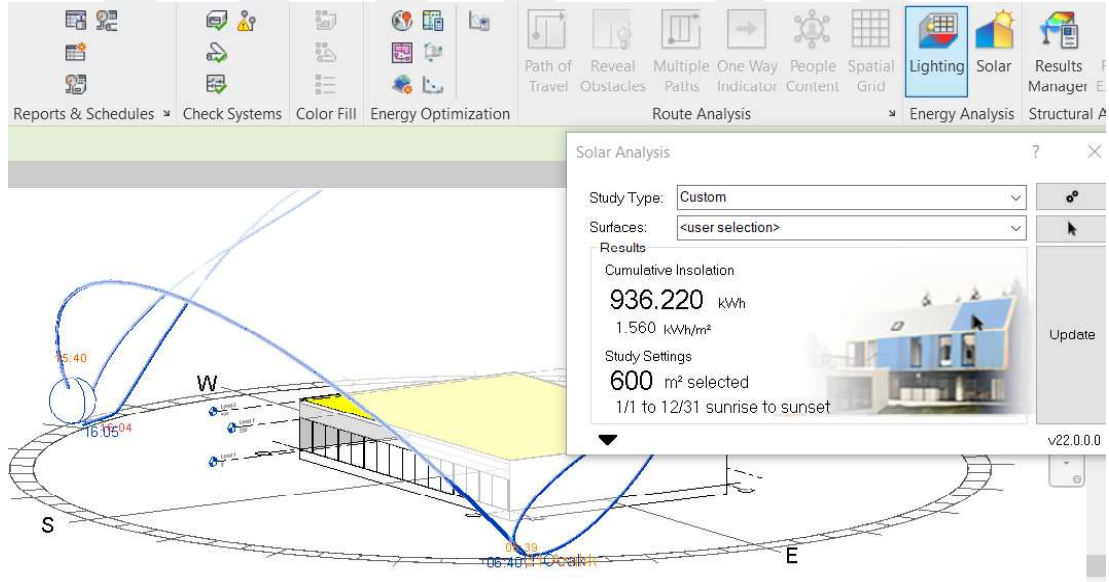
*Değerler birbirine çok yakın olduğu için güneydoğu ve güneybatı grafikleri üst üste binmiştir.

4.4.2.2 Diyarbakır ili için solar kazanım analizlerinin yapılması

Diyarbakır ilinin bir yıldaki güneşlenme süresi 2613 saattir (Url-23), güneş enerjisi potansiyeli ise 1500-1700 kWh/m² değer aralığındadır (Şekil 4.30). Şekil 4.31’de Revit solar analizi ile elde edilen değer ise 1 m² alan için 1560 kWh/m² değeri ile güneş enerjisi potansiyeli atlasındaki değer aralığı ile uyumludur.



Şekil 4. 30 : Diyarbakır ili güneş enerjisi potansiyeli (Url-25).

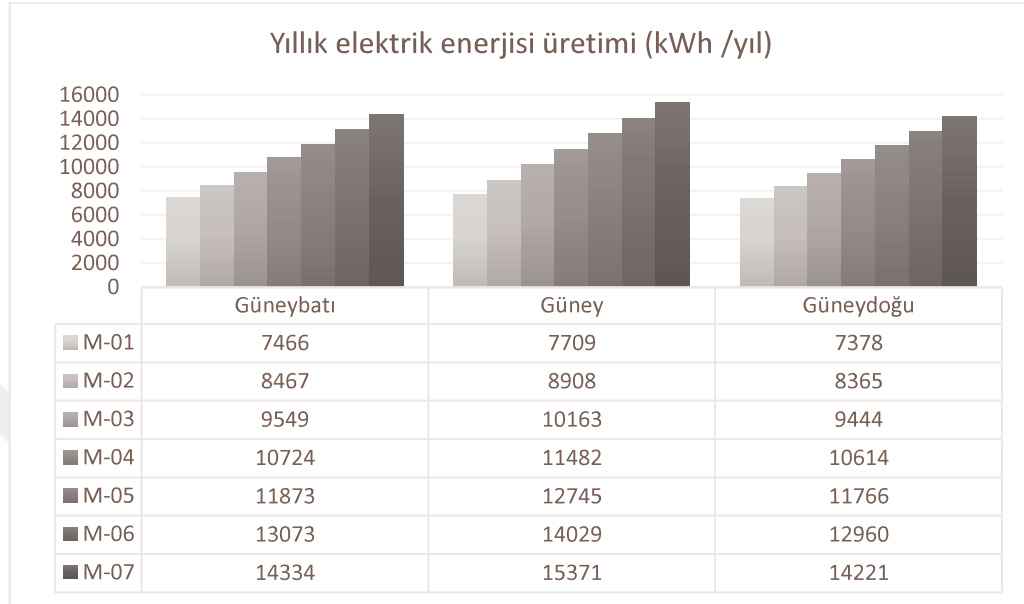


Şekil 4. 31 : Diyarbakır ilinde yatay düzleme gelen güneş radyasyonu hesabı.

Güneşlenme süresi ve güneş ışıınım şiddeti düzeyinin yüksek olması nedeniyle Diyarbakır ilinde de Antalya iline yakın değerler hesaplanmıştır. Çizelge 4.31’de, yıllık 15371 kWh ile güney yöneliminde Model-07’nin üretilen elektrik enerjisi

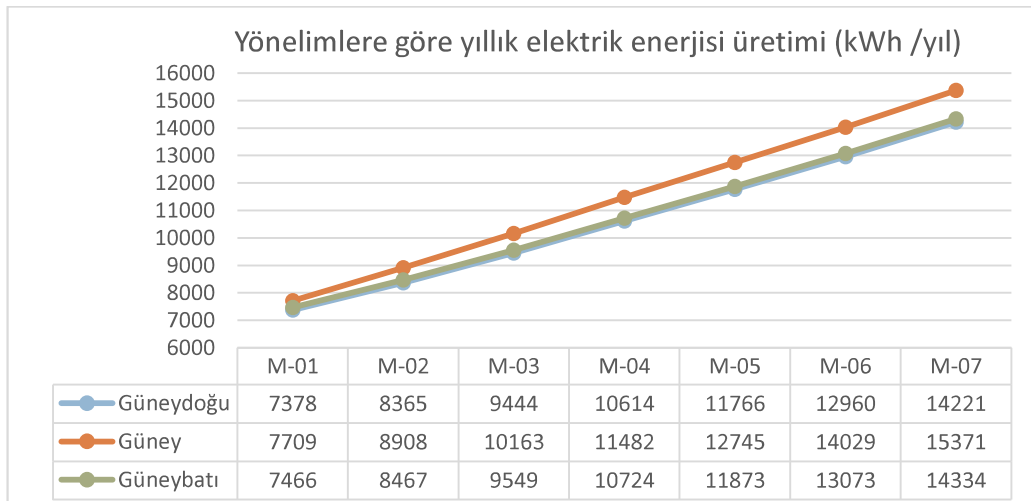
miktarında en yüksek değere ulaştığı ve en düşük enerji miktarının ise güneydoğu yöneliminde 7378 kWh/yıl değeri ile Model-01’de olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. 31 : Diyarbakır ilinde 7 modelin üç yönelim için fotovoltaik panel ile yıllık elektrik enerjisi üretimi.



Çizelge 4.32’ye göre Diyarbakır ilinde modellerin güneybatı, güney, güneydoğu yönelimlerdeki enerji üretimi miktarları değerlendirildiğinde her modelde en verimli sonucu güneşe yönelim, sonrasında sırasıyla güneybatı ve güneydoğu yönelimleri sağlamaktadır. Güneydoğu ve güneybatı yönelimlerinde elde edilen elektrik miktarları Antalya ilinde olduğu gibi birbirine yakın değerlerde olmaktadır.

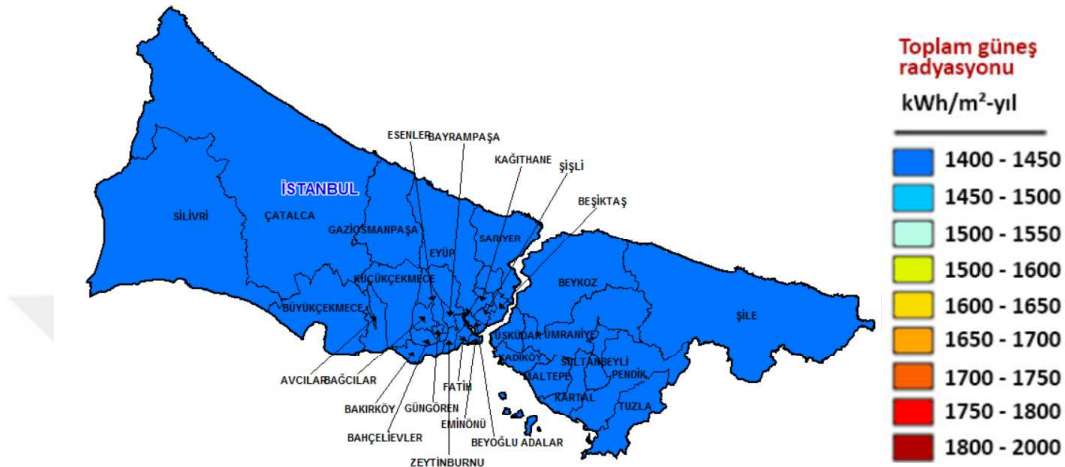
Çizelge 4. 32 : Diyarbakır ilinde 7 model alternatifinin her biri için üç yöne göre elektrik enerjisi üretim miktarları.



*Değerler birbirine çok yakın olduğu için güneydoğu ve güneybatı grafikleri üst üste binmiştir.

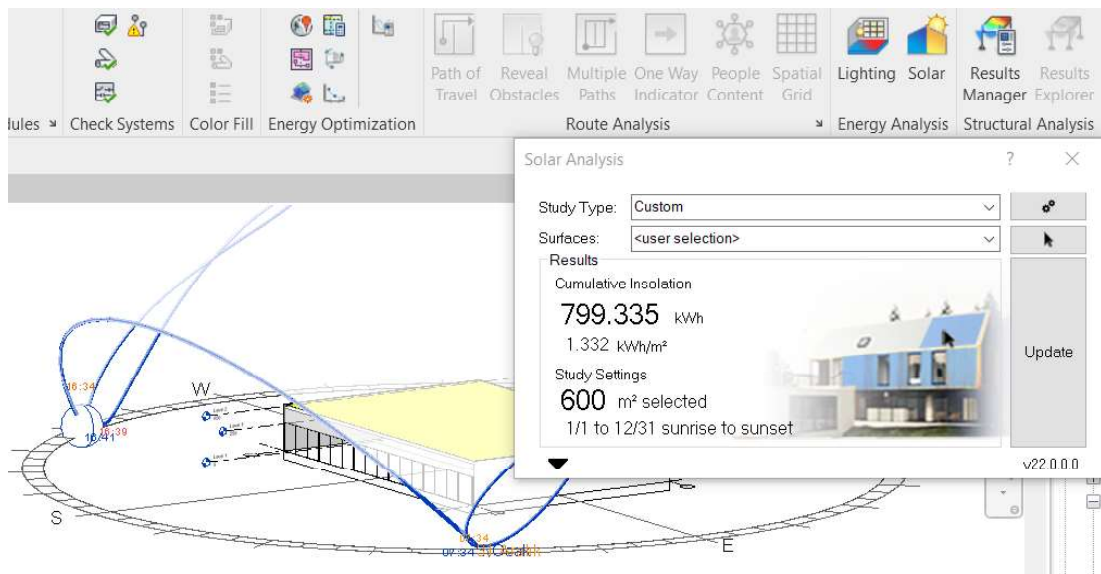
4.4.2.3 İstanbul ili için solar kazanım analizlerinin yapılması

İlimatekli nemli iklim bölgesini temsil eden İstanbul ilinin yıllık güneşlenme süresi 2446 saattir (Url-23). Beş pilot il arasında en düşük güneşlenme süresi ve 1 m² yatay yüzeydeki toplam güneş radyasyonu miktarı (Şekil 4.32) İstanbul ilinde görülmektedir.



Şekil 4. 32 : İstanbul ili güneş enerjisi potansiyeli (Url-26).

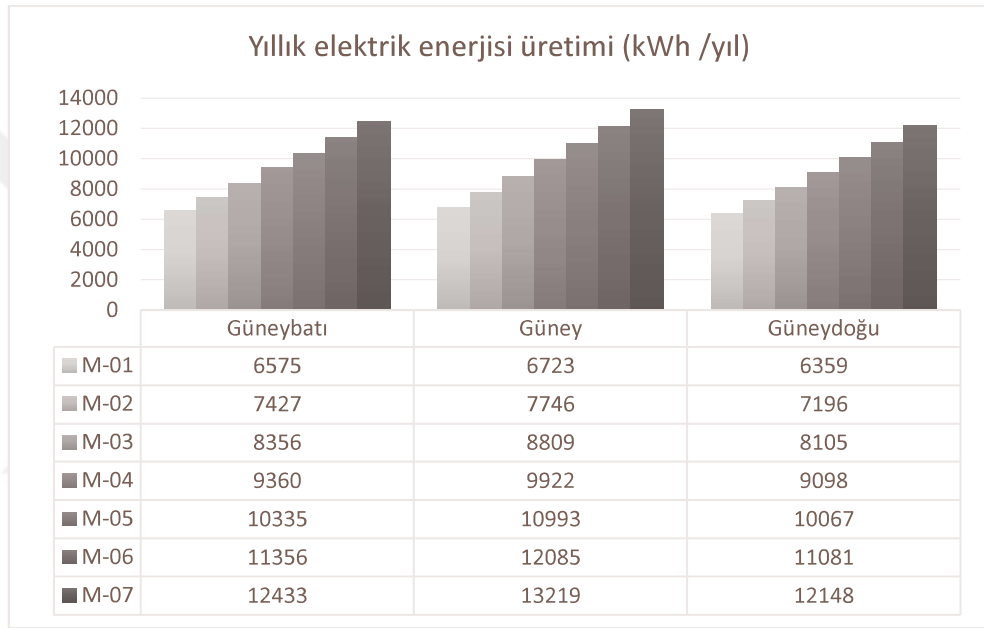
Şekil 4.33'te bulunan İstanbul iline ait Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre yıllık toplam radyasyon miktarı 1400-1450 kWh/m²'dir. Revit solar analiz ile yapılan hesaplama göre bu değer 1332 kWh olmakta ve atlastaki değere göre düşük olmaktadır.



Şekil 4. 33 : İstanbul ilinde yatay düzleme gelen güneş radyasyonu hesabı.

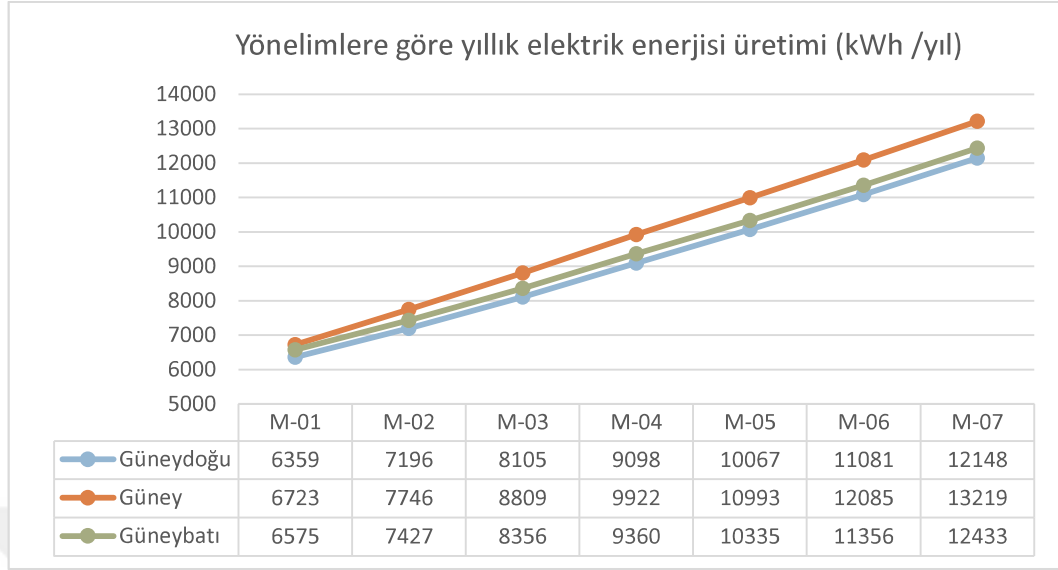
Çizelge 4.33'te bulunan İstanbul ilinde 7 model için solar kazanım analizlerine bağlı olarak yapılan elektrik enerjisi üretimi hesaplamalarına göre 13.219 kWh ile güney yöneliminde Model-07 en yüksek değeri sağlamaktadır. Güneydoğu yöneliminde Model-01 6.359 kWh değeri ile en düşük elektrik üretim miktarına sahiptir. Diğer illerdekine benzer şekilde güney yönelimi tüm modeller için en verimli sonucu vermektedir. Sonrasında güney yönelimini sırasıyla güneybatı ve güneydoğu yönelimi takip etmektedir.

Çizelge 4. 33 : İstanbul ilinde 7 modelin üç yönelim için fotovoltaik panel ile yıllık elektrik enerjisi üretimi.



Çizelge 4.34'te her bir modelin üç farklı yönelimi için elde edilen elektrik miktarına ait sonuçların grafiği yer almaktadır. Tüm yönlerde Model-07 en verimli sonucu vermektedir. Tüm modeller için verimlilik güney, güneybatı, güneydoğu yönelimi sıralamasında olmaktadır.

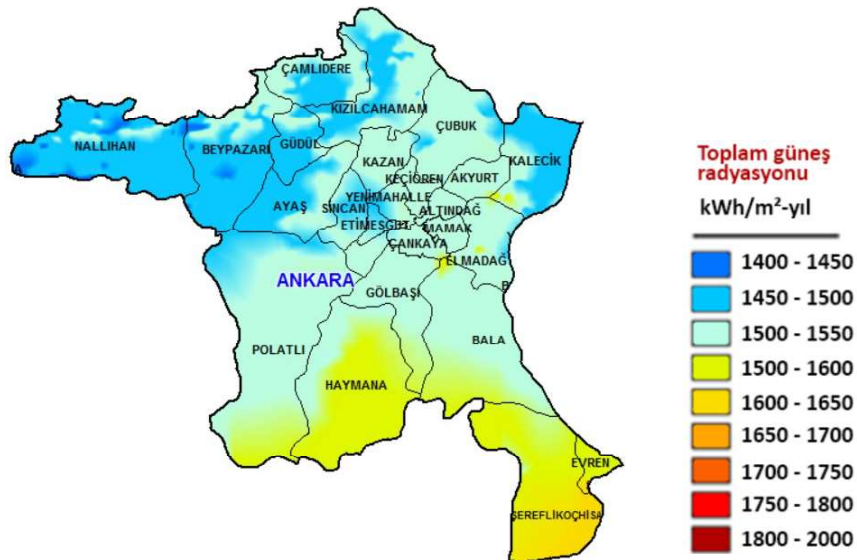
Çizelge 4. 34 : İstanbul ilinde 7 model alternatifinin üç yönelime göre elektrik enerjisi üretim miktarları.



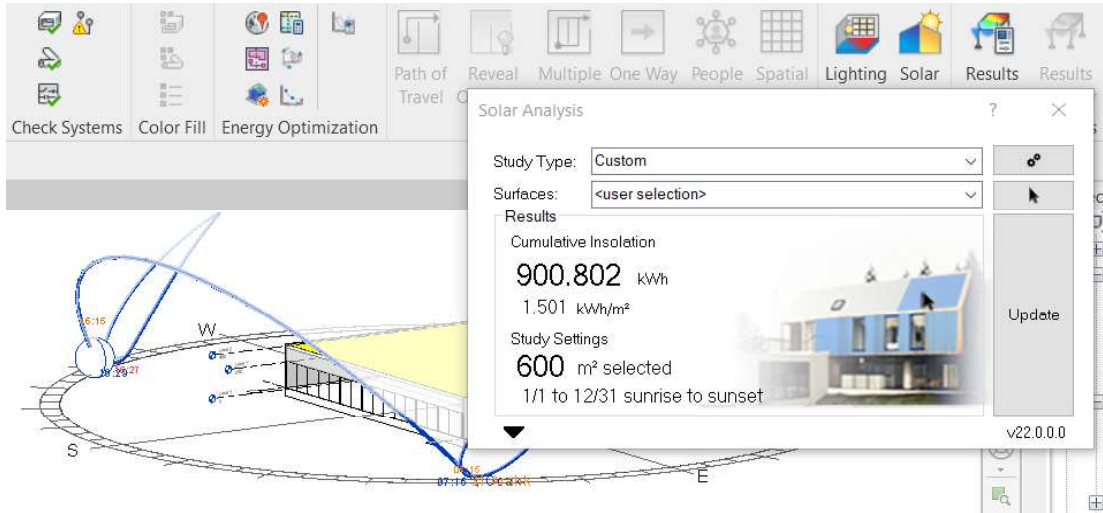
*Değerler birbirine çok yakın olduğu için güneydoğu ve güneybatı grafikleri üst üste binmiştir.

4.4.2.4 Ankara ili için solar kazanım analizlerinin yapılması

Ilımlı kuru iklim bölgesinin pilot ili olan Ankara'nın yıllık güneşlenme süresi 2611 saattir (Url-23). Şekil 4.34'te bulunan güneş enerjisi potansiyel atlasına göre 1 m² yatay alan için yıllık güneş radyasyonu miktarı 1450-1600 kWh aralığındadır. Şekil 4.35'de Revit ile yatay yüzey için yapılan solar kazanım hesabı mevcuttur. Analiz sonucuna göre 1m² yatay yüzey için yıllık radyasyon kazanımı 1.501 kWh değeri ile atlastaki değer aralığında olmaktadır.



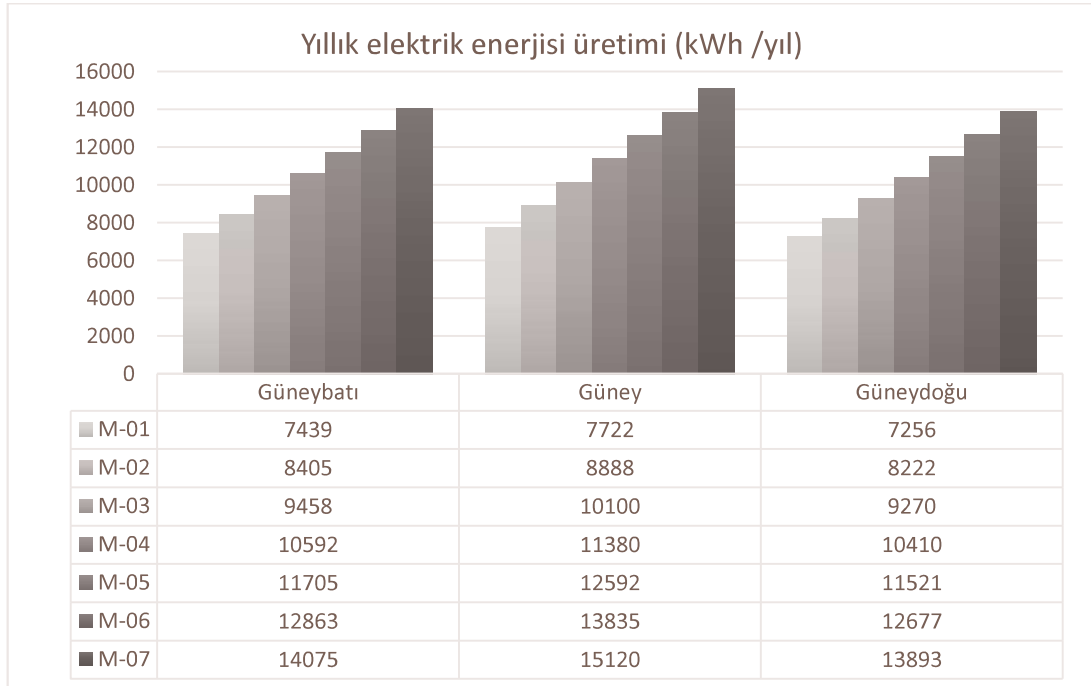
Şekil 4. 34 : Ankara ili güneş enerjisi potansiyeli (Url-27).



Şekil 4. 35 : Ankara ilinde yatay düzleme gelen güneş radyasyonu hesabı.

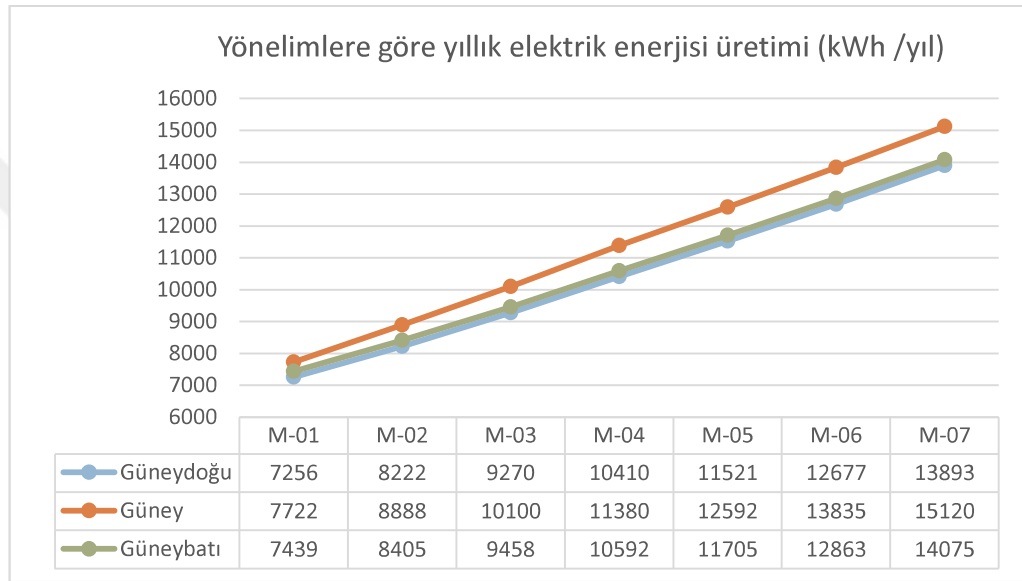
Konumuna bağlı olarak Ankara ilindeki güneş radyasyon kazanımları Diyarbakır ilindeki değerlere yakındır ve İstanbul iline göre yüksektir. Alternatif yapı kabuklarının birbirine göre ilişkisi Çizelge 4.35'ten incelendiğinde M-07 tüm yönelimlerde en yüksek değeri sağlarken 15120 kWh değeriyle en verimli sonuç güney yöneliminde oluşmaktadır. En düşük güneş radyasyon kazanım değeri ise 7256 kWh değeri ile M-01 modelinde güneydoğu yöneliminde görülmektedir.

Çizelge 4. 35 : Ankara ilinde 7 modelin üç yönelim için fotovoltaik panel ile yıllık elektrik enerjisi üretimi.



Çizelge 4.36'da görüldüğü gibi Ankara ilinde güneye yönelim 7 alternatif yapı kabuğunda da en yüksek radyasyon kazanım değerlerini vermekte, sonrasında sırasıyla güneybatı ve güneydoğu yönelimi gelmektedir. Güney yönelimi radyasyon kazanım değerleri ile diğer iki yönelim arasındaki farkın yüksek olduğu, güneybatı ve güneydoğu yönelimindeki kazanım miktarlarının ise birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

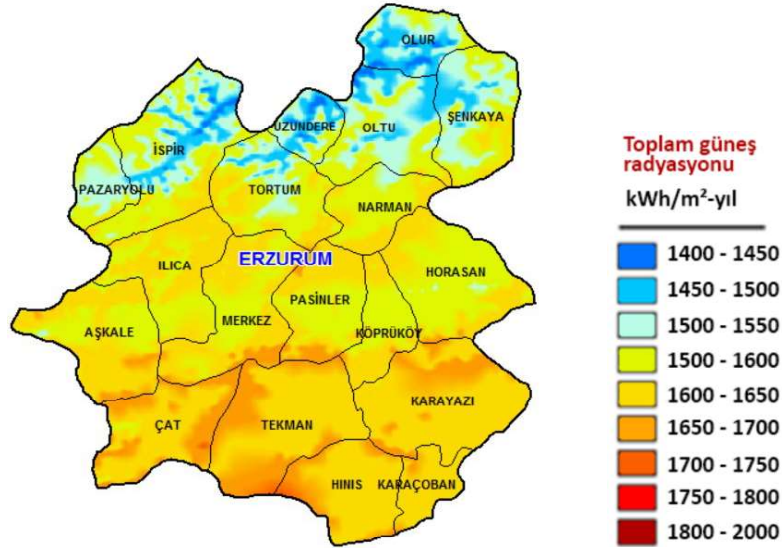
Çizelge 4. 36 : Ankara ilinde 7 model alternatifinin her biri için üç yönelime göre elektrik enerjisi üretim miktarları.



*Değerler birbirine çok yakın olduğu için güneydoğu ve güneybatı grafikleri üst üste binmiştir.

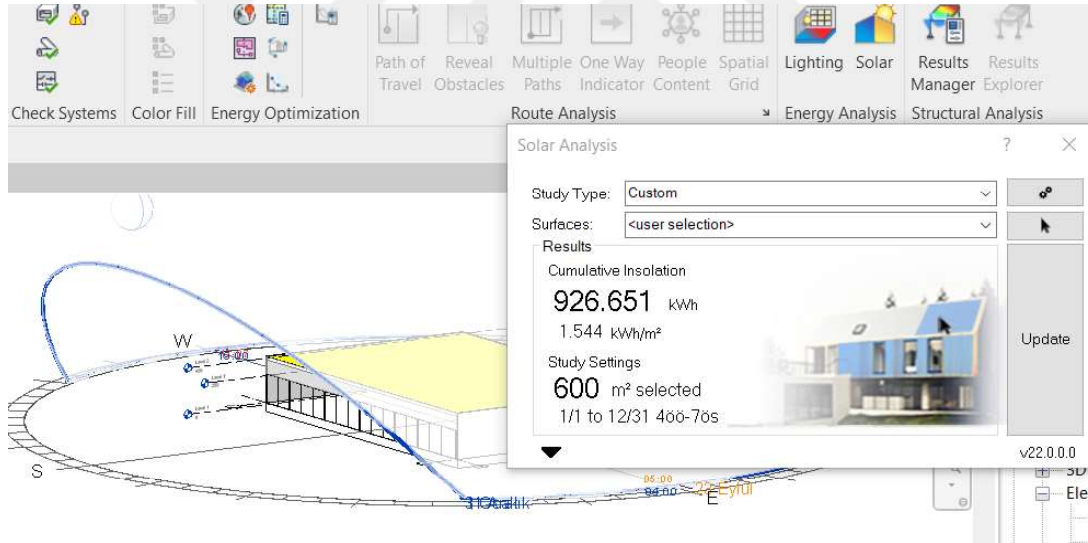
4.4.2.5 Erzurum ili için solar kazanım analizlerinin yapılması

Türkiye'deki soğuk iklim olarak ifade edilen iklim bölgesinin pilot ili olan Erzurum'da yıllık güneşlenme süresi 2504 saat (Url-23) ve toplam güneş radyasyonu miktarı 1450-1700 kWh/m²-yıl olmaktadır (Şekil 4.36). Erzurum ili rakımının yüksek olması nedeniyle Erzurum'daki güneş radyasyon kazanımı miktarı, aynı enlemlerde bulunan Ankara'ya göre daha yüksek olmaktadır. Bunun nedeni güneş ışınlarının atmosferde kat ettiği mesafenin azalmasıdır.



Şekil 4. 36 : Erzurum ili güneş enerjisi potansiyeli (Url-28).

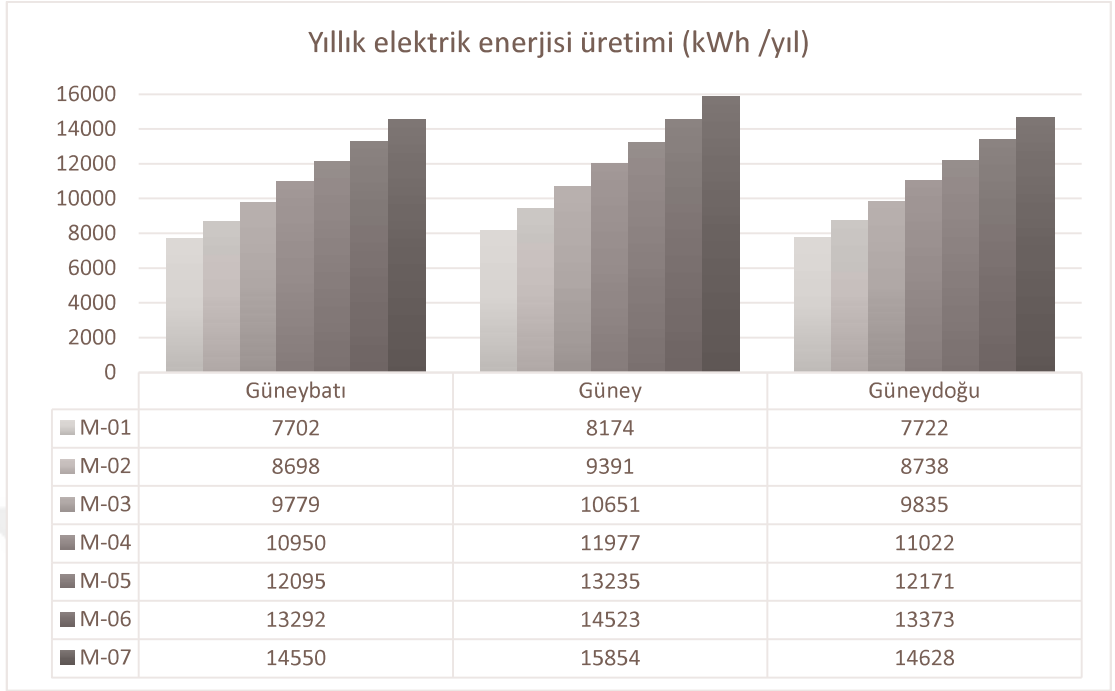
Şekil 4.37’de solar analiz ile yapılan simülasyon sonucu olarak Erzurum il merkezinde yatay yüzeydeki yıllık güneş radyasyon kazanımı 1544 kWh/m² değeri ile güneş enerjisi potansiyeli atlasındaki değer aralığında olmaktadır.



Şekil 4. 37 : Erzurum ilinde yatay düzleme gelen güneş radyasyonu hesabı.

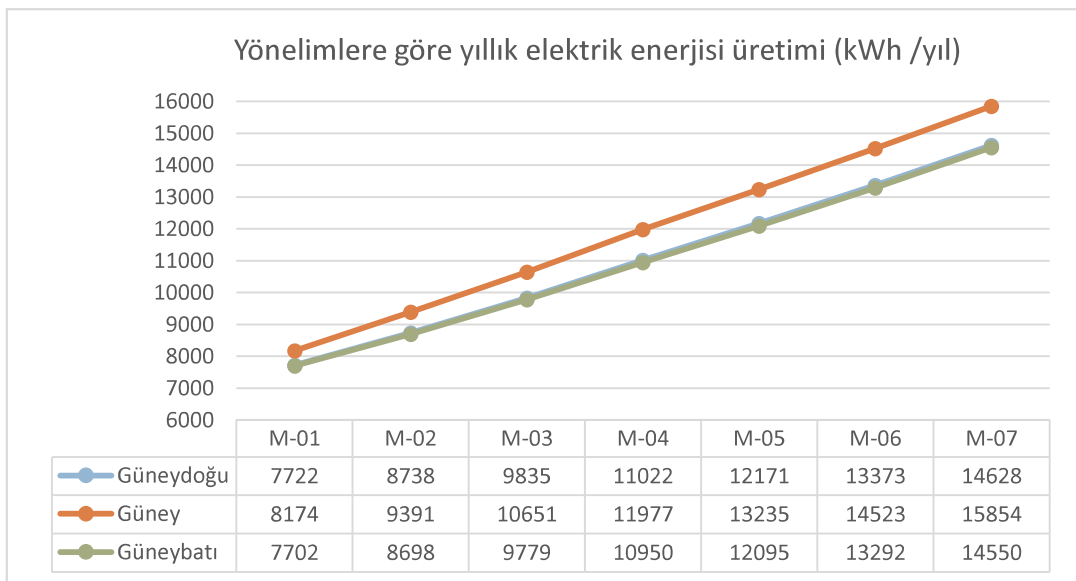
Erzurum ilinde de diğer illerdekine benzer biçimde güneş ışınlarının dike yaklaşması nedeniyle tüm alternatif modeller arasında M-07 modeli tüm yönelimlerde en yüksek solar kazanım değerine sahip olmakta ve güney yöneliminde en verimli sonucu sağlamaktadır (Çizelge 4.37). Erzurum ilinde M-07 güney yönelimi radyasyon kazanımı 15854 kWh değeriyle en verimli sonucu vermiştir.

Çizelge 4. 37 : Erzurum ilinde 7 modelin üç yönelim için fotovoltaik panel ile yıllık elektrik enerjisi üretimi.



Çizelge 4.38’de bulunan grafikte her bir modelin güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimlerine göre sonuçlarına yer verilmiştir. Tüm modellerde güneye yönelim en verimli sonuca sahip olmakta, güney yönelimini birbirine yakın değerlerle sırasıyla güneydoğu ve güneybatı yönelimleri takip etmektedir.

Çizelge 4. 38 : Erzurum ilinde 7 model alternatifinin her biri için üç yöneline göre elektrik enerjisi üretim miktarları.



*Değerler birbirine çok yakın olduğu için güneydoğu ve güneybatı grafikleri üst üste binmiştir.

4.4.3 Pilot iller için optimum modellerin belirlenmesi

Bu bölümde iklim bölgelerine ve baktıkları yönlere göre alternatif cephe modellerinin ısıtma-soğutma toplam enerji yükleri ve fotovoltaik panel enerji üretim miktarları birlikte değerlendirilmiştir. Sırasıyla her pilot il için güney, güneydoğu ve güneybatı yönlerinde ısıtma-soğutma toplam enerji yükleri ve elektrik enerjisi üretimi grafikler halinde verilmiştir. Sonrasında binanın toplam ısıtma-soğutma enerjisinden fotovoltaik panellerden elde edilen enerji çıkartılmış bulunan farklara göre grafikler düzenlenmiştir. Bu grafikler yardımıyla her bir pilot il için optimum model belirlenmiştir.

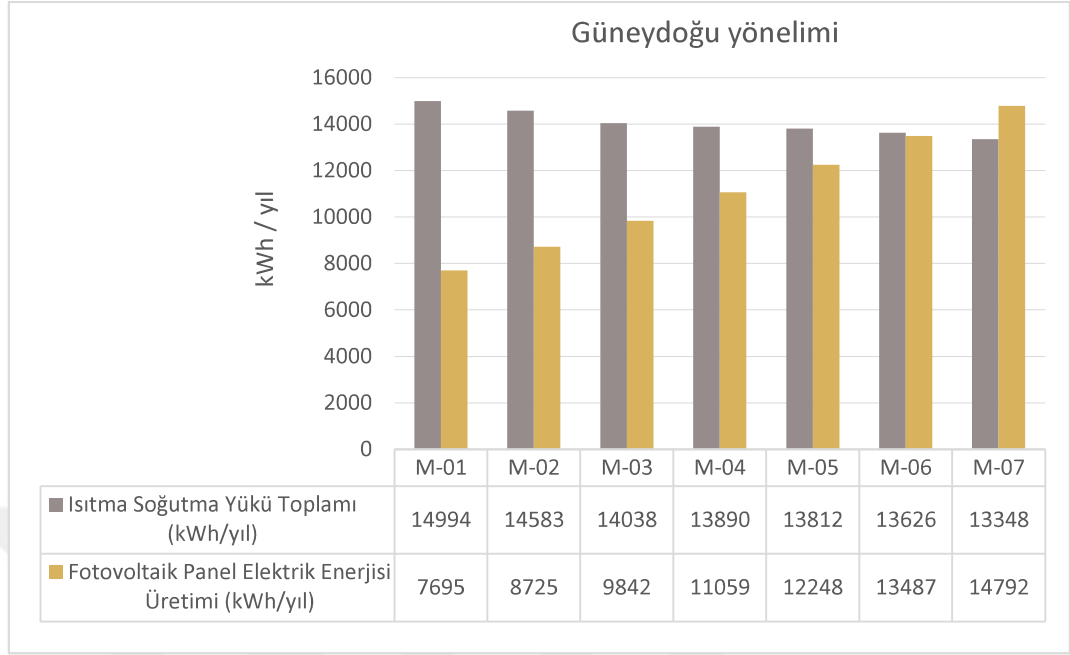
4.4.3.1 Antalya ili için optimum modelin belirlenmesi

Antalya ili için 7 modelin enerji yükleri ve fotovoltaik panellerden elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi miktarlarının grafikleri güneydoğu yönelimi için Çizelge 4.39'da, güney yönelimi için Çizelge 4.40'ta ve güneybatı yönelimi için Çizelge 4.41'de aktarılmıştır.

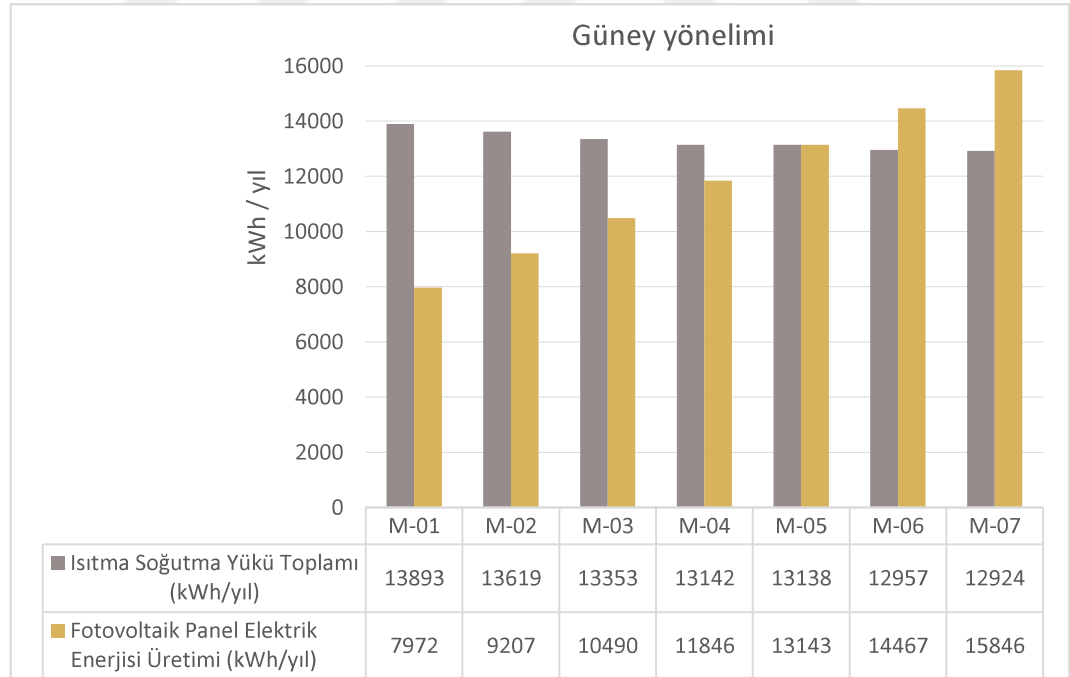
Antalya ilinde güneydoğu, güney ve güneybatı yönelimlerinin üçünde de M-01 modelinden M-07 modeline doğru enerji yükünün azaldığı ve üretilen elektrik enerjisi miktarının da arttığı grafiklerden görülmektedir.

Çizelge 4.39'da bulunan Antalya ili için güneydoğu yönelimine ait grafikte M-01'den M-06'ya enerji yükü ile elektrik enerjisi kazanımı arasındaki fark azalmaktadır. M-07 alternatifinde elde edilen elektrik enerjisi miktarı toplam ısıtma soğutma enerji yükünün üzerine çıktığı için şebekeye yaklaşık 1400 kWh elektrik verilebilmektedir.

Çizelge 4. 39 : Antalya ilinde, 7 modelin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.



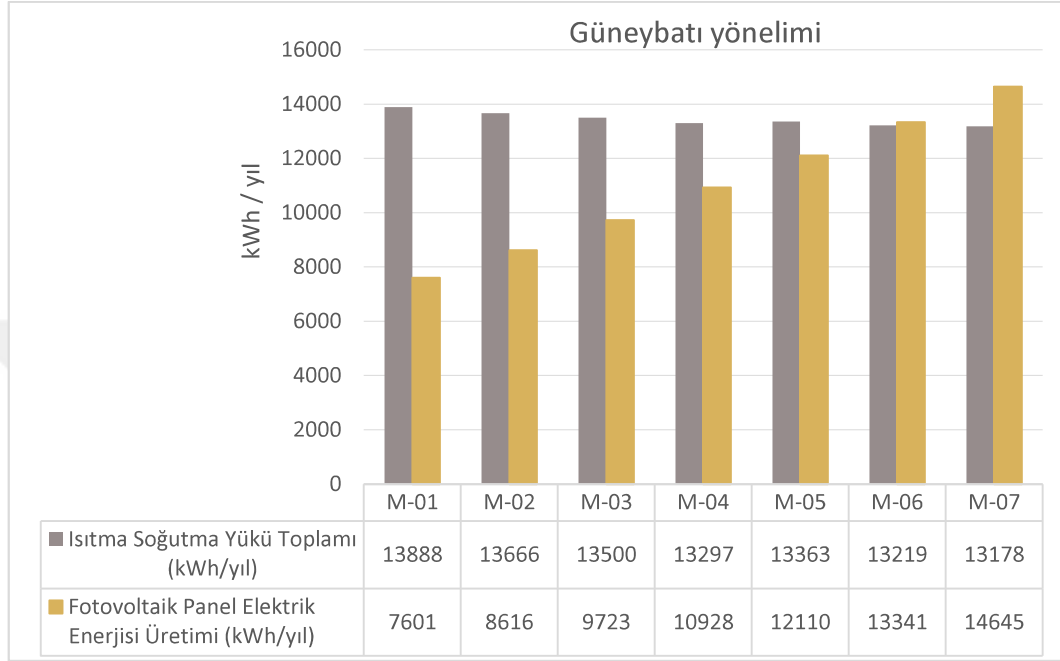
Çizelge 4. 40 : Antalya ilinde 7 modelin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.



Çizelge 4.40'ta Antalya ili, güney yöneliminde zemine dik olan M-01 modelinde fotovoltaik panellerden elde edilebilecek elektrik enerjisi ile ısıtma soğutma toplam enerji yükünün yaklaşık %57'si karşılanmaktadır. M-01 modelinden M-04 modeline doğru bu yüzde artmakta ve M-05'te üretilen enerji miktarı ısıtma soğutma yüklerini

karşılar duruma gelmiştir. M-06 ve M-07’de ısıtma soğutma yükü karşılanmış ve M-06 modelinde 1510 kWh, M-07 modelinde ise 2922 kWh elektrik enerjisi yıl içinde şebekeye verilebilmektedir.

Çizelge 4. 41 : Antalya ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.

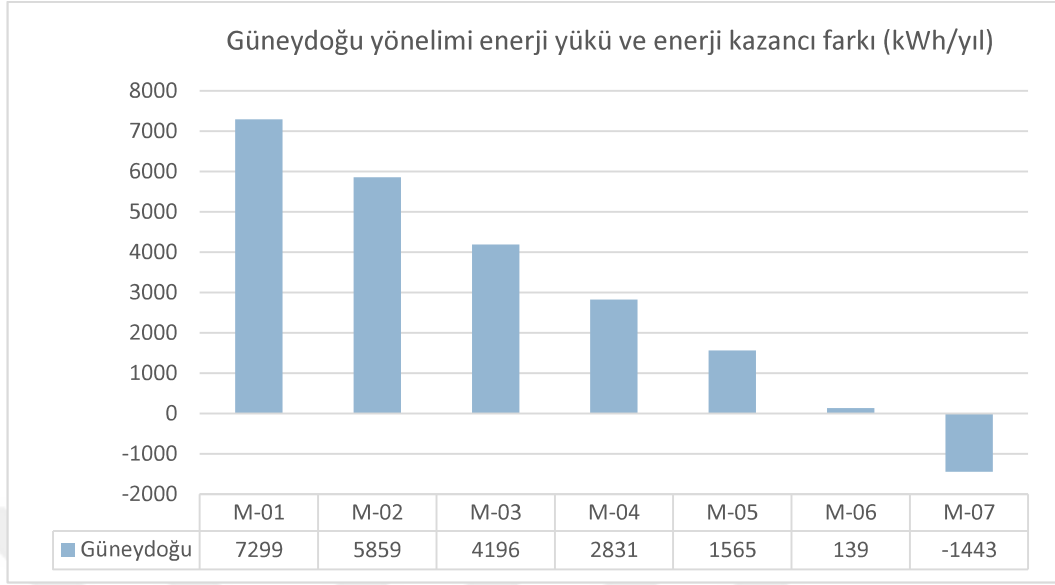


Çizelge 4.41’de Antalya ili güneybatı yöneliminde M-01’den M-07’ye ısıtma soğutma enerji yükü azalmakta, elektrik enerjisi üretimi ise artmaktadır. M-01’den M-05 modeline doğru enerji kayıp ve kazanımı arasındaki fark azalmakta ve M-06 modelinde üretilen elektrik enerjisi ısıtma soğutma yüklerini karşılayacak düzeye ulaşmaktadır. M-07 modelinde ise ısıtma soğutma yükleri karşılanmakta ve 1467 kWh elektrik enerjisi şebekeye verilebilmekte veya enerji kullanım yoğunluğuna göre diğer enerji ihtiyaçları için kullanılabilir.

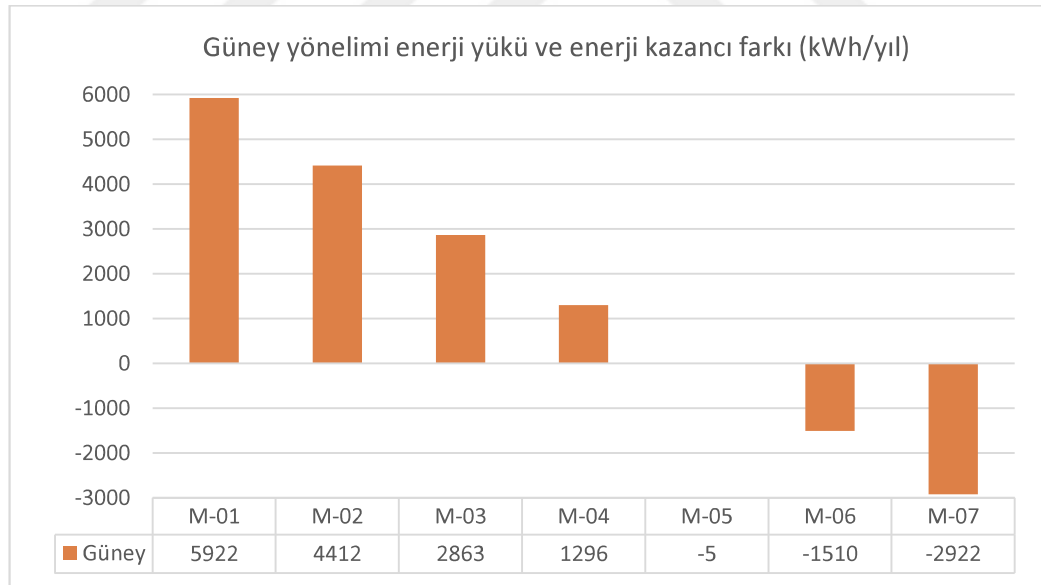
Antalya ilinde enerji yükü ve enerji kazancı farkları güneydoğu yönelimi için Çizelge 4.42’de, güney yönelimi için Çizelge 4.43’te ve güneybatı yönelimi için Çizelge 4.44’te grafik ve çizelge ile ifade edilmiştir. Grafiğin çizelgesinde bulunan negatif değerler ısıtma soğutma enerji ihtiyacının karşılandığını ve fazlasının yapının diğer enerji ihtiyaçlarında kullanılabileceği veya şebekeye verilebileceğini ifade etmektedir.

Güneydoğu yöneliminde M-07 modeli, güney yöneliminde M-05, M-06 ve M-07 modelleri, güneybatı yöneliminde M-06 ve M-07 modelleri enerji kazanımında artı değere ulaşmıştır.

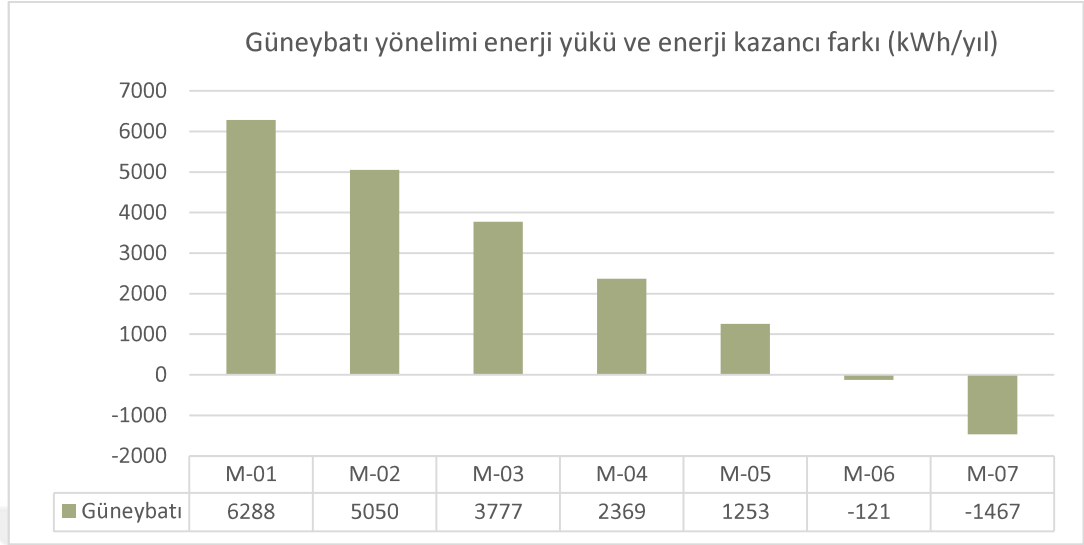
Çizelge 4. 42 : Antalya ilinde 7 modelin güneydoğu yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



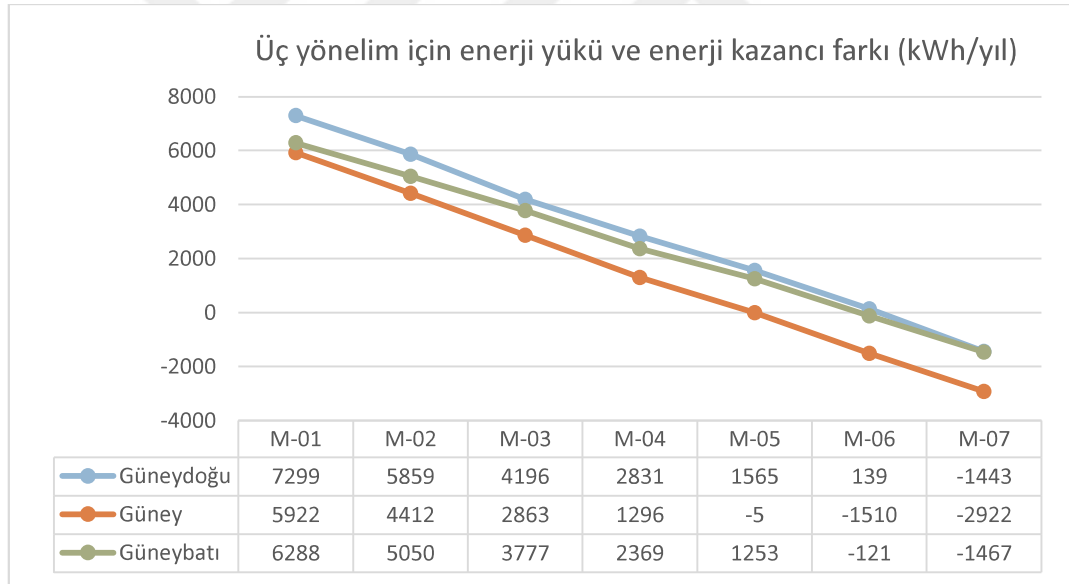
Çizelge 4. 43 : Antalya ilinde 7 modelin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



Çizelge 4. 44 : Antalya ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



Çizelge 4. 45 : Antalya ilinde 7 modelin güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için enerji yükü ve kazanımı farkları.



Çizelge 4.45’te yapının ısıtma soğutma yükünün ve enerji kazanımı farkları 7 modelin güneydoğu, güney ve güneybatı yönelimi için ifade edilmiştir.

Buna göre Antalya ilinde;

- M-07 modelinde güney, güneybatı ve güneydoğu yönelimlerinde,
- M-06 modelinde güney ve güneybatı yönelimlerinde,

- M-05 modelinin güney yöneliminde elektrik üretim miktarı ısıtma-soğutma yükünden yüksek olmaktadır.

Antalya ilinde tüm yönelimler için en verimli sonucu M-07 modeli sağlamaktadır.

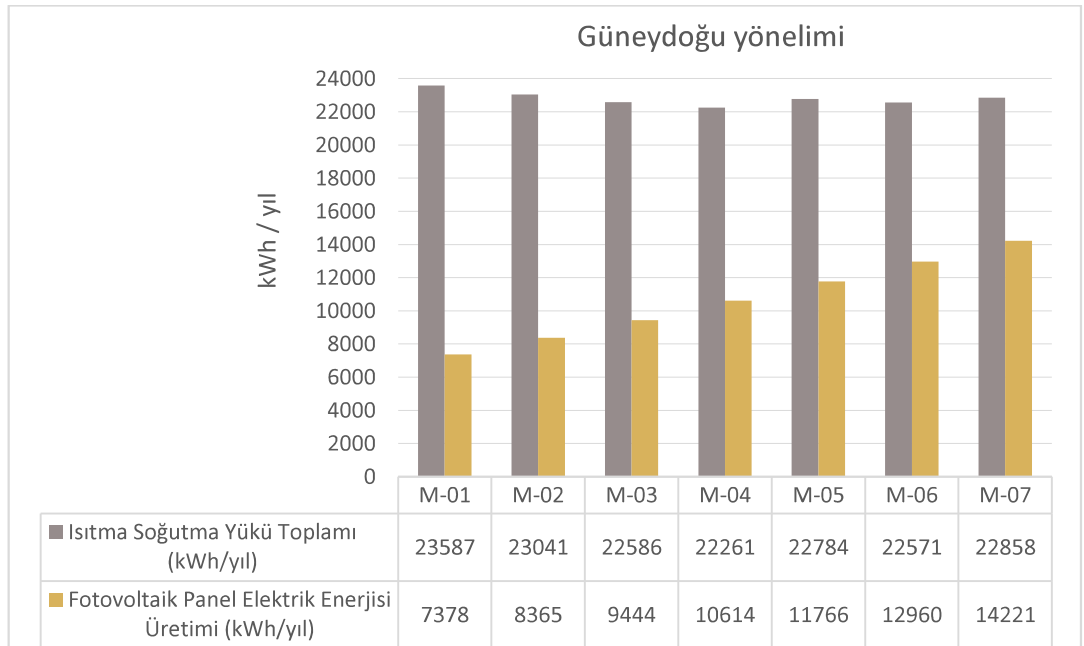
4.4.3.2 Diyarbakır ili için optimum modelin belirlenmesi

Diyarbakır ili için 7 modelin enerji yükleri ve fotovoltaik panellerden elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi miktarlarının grafikleri güneydoğu yönelimi için Çizelge 4.46'da, güney yönelimi için Çizelge 4.47'de ve güneybatı yönelimi için Çizelge 4.48'de aktarılmıştır.

Sıcak kuru iklim bölgesini temsil eden Diyarbakır ilinde fotovoltaik panellerden elektrik enerjisi üretim miktarı Antalya iline yakın değerlerdedir. Ancak Diyarbakır ilinde ısıtma-soğutma toplam enerji yükleri Antalya ilinden yaklaşık 10.000 kWh daha fazladır. Bu nedenle de grafiklerde enerji kazanım kayıp farkı fazladır.

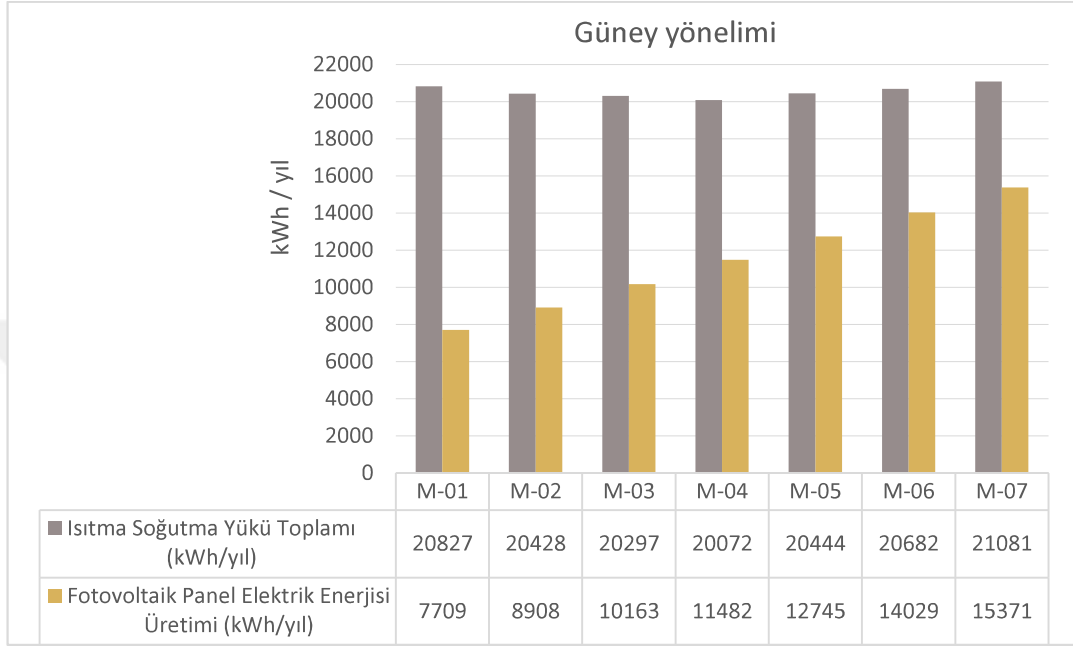
Diyarbakır ilinde 7 modelin güneydoğu, güney ve güneybatı yönelimleri için verilen sonuçlarda, M-01'den M-07'ye enerji yükü doğrusal bir artış veya azalış göstermezken elektrik enerjisi üretimi doğrusal artış göstermektedir.

Çizelge 4. 46 : Diyarbakır ilinde, 7 modelin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.

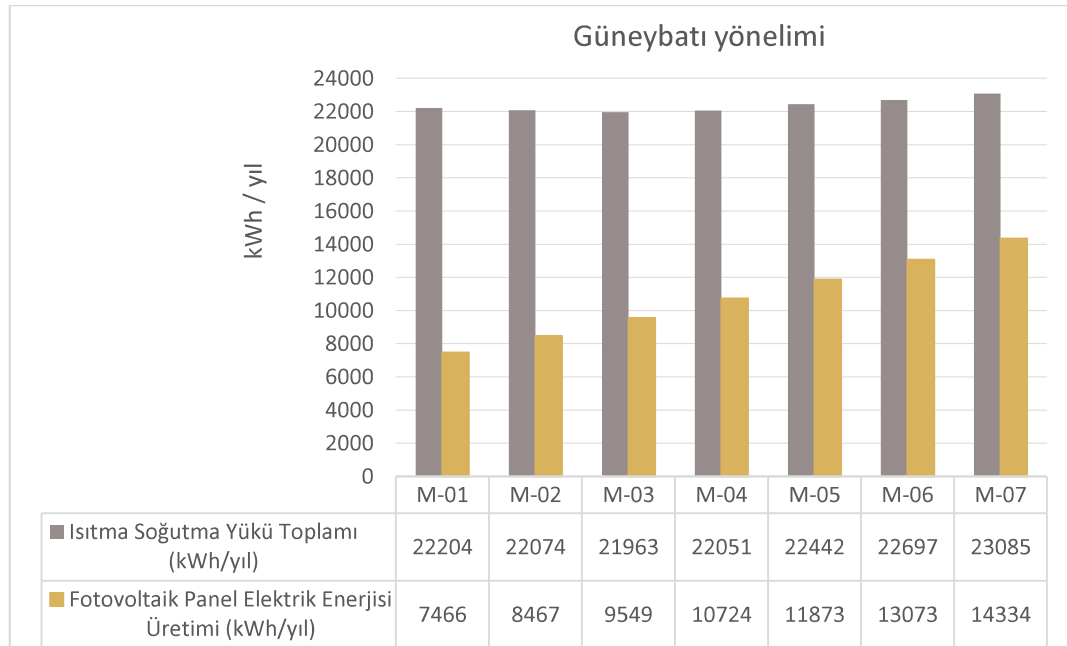


Güney yönelimi için M-01 modelinden elde edilebilecek elektrik enerjisi ile ısıtma soğutma toplam enerji yükünün yaklaşık %27'si karşılanırken, M-07 modelinde enerji ihtiyacının %72'si karşılanabilmektedir.

Çizelge 4. 47 : Diyarbakır ilinde, 7 modelin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.

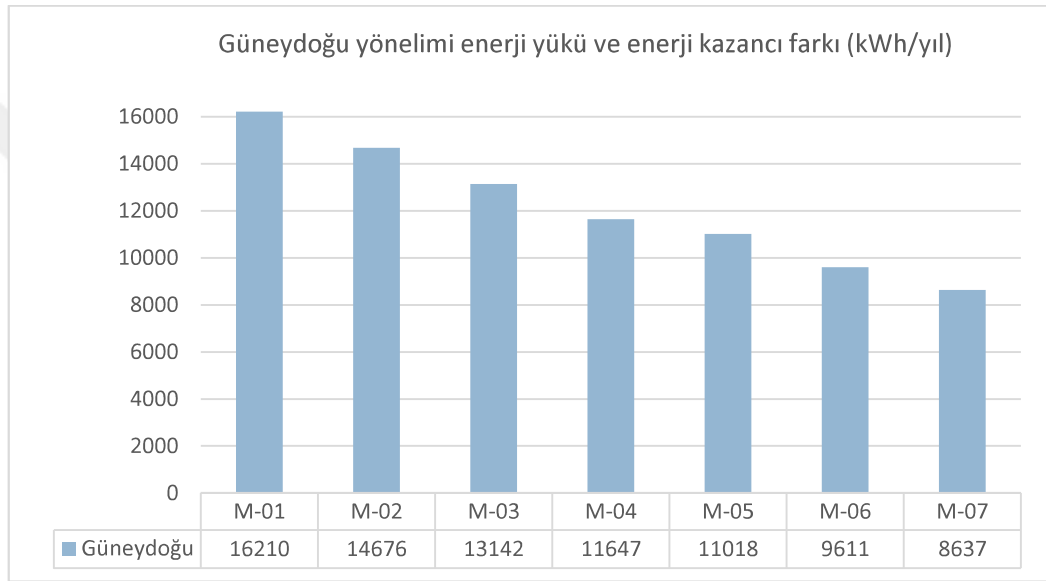


Çizelge 4. 48 : Diyarbakır ilinde, 7 modelin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.

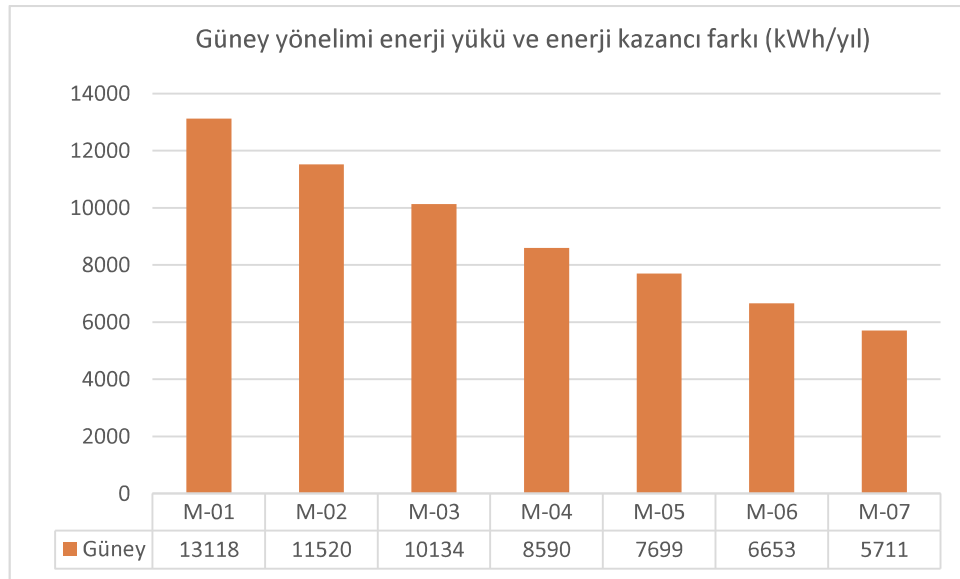


Diyarbakır ilinde enerji yükü ve enerji kazancı farkları güneydoğu yönelimi için Çizelge 4.49’da, güney yönelimi için Çizelge 4.50’de ve güneybatı yönelimi için Çizelge 4.51’de çizelge ve grafik ile ifade edilmiştir. Grafiğin çizelgesindeki tüm değerlerin “+” olması ısıtma soğutma enerji ihtiyacının elektrik enerjisi üretimi miktarından fazla olduğunu göstermektedir. Bu farklar değerlendirildiğinde tüm yönelimlerde M-01’den M-07’ye enerji verimliliğinin arttığı aşağıdaki grafiklerden görülmektedir.

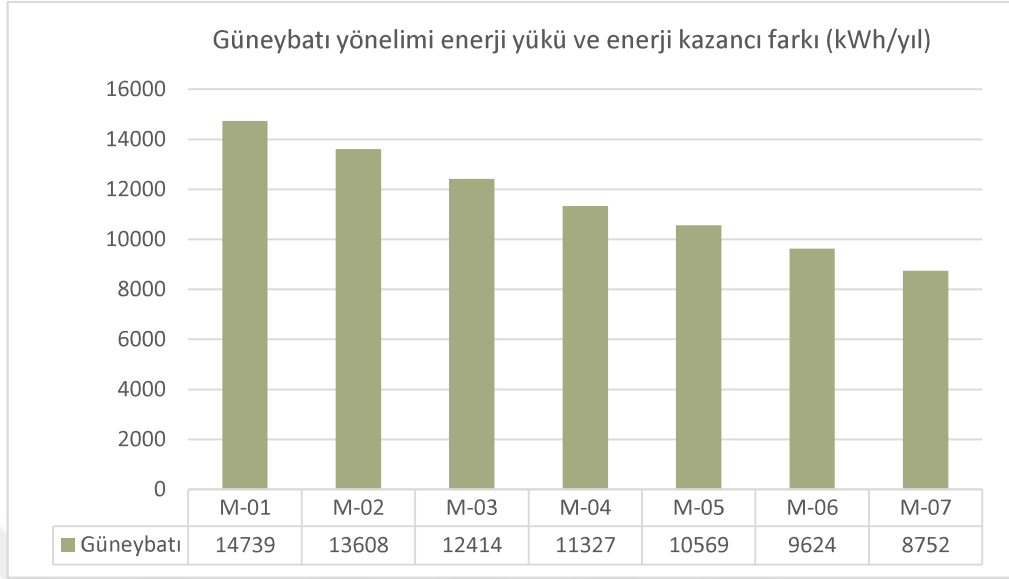
Çizelge 4. 49 : Diyarbakır ilinde 7 modelin güneydoğu yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



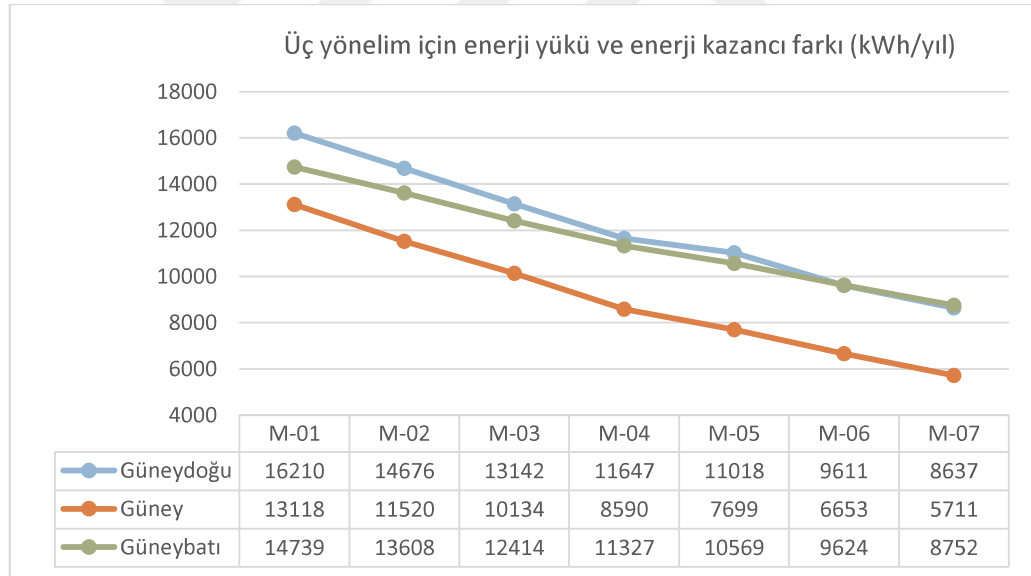
Çizelge 4. 50 : Diyarbakır ilinde 7 modelin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



Çizelge 4. 51 : Diyarbakır ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



Çizelge 4. 52 : Diyarbakır ilinde 7 modelin güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için enerji yükü ve kazanımı farkları.



Çizelge 4.52’deki değerlendirme grafiğine göre;

- M-01’den M-07’ye enerji yükü ve elektrik enerjisi kazancı farkı azalmakta, enerji verimliliği artmaktadır.
- Tüm modellerde enerji kayıp-kazanım farkının en az olmasıyla üç yönelim arasından en verimli sonucu güney yönelimi sağlamaktadır.

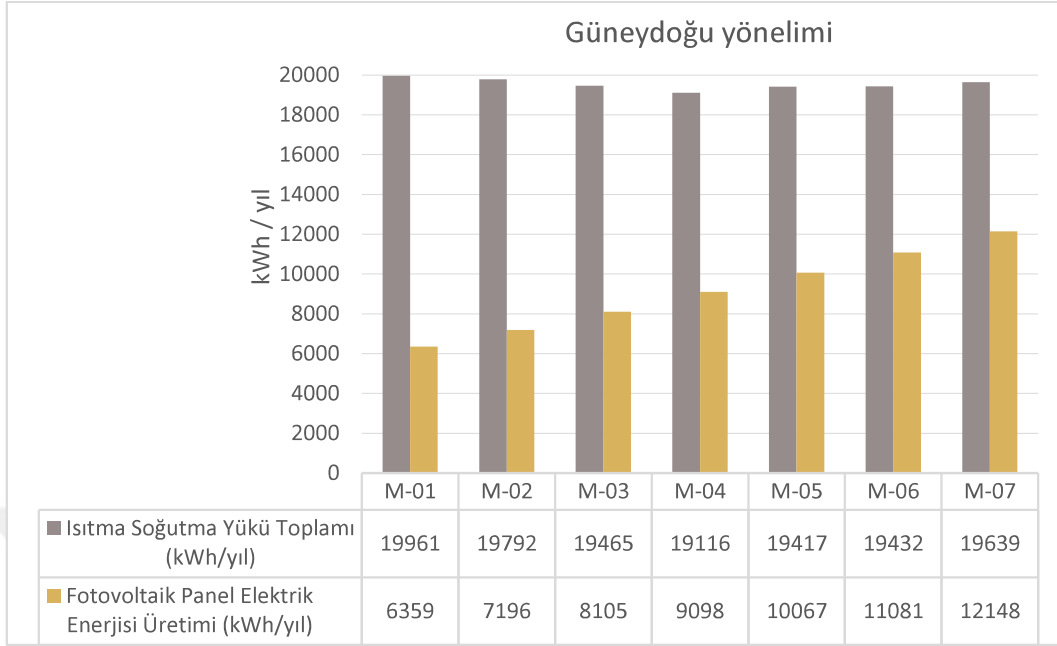
- M-01, M-02, M-03, M-04, M-05 modellerinin tümünde yönelimlere göre verimlilik sıralaması güney, güneybatı ve güneydoğu yönelimi olmaktadır.
- M-06 ve M-07 modellerinde bu sıralama değişmekte ve güney, güneydoğu, güneybatı sıralamasında olmaktadır.
- M-07 modeli güney yöneliminde 5711 kWh'lik enerji farkı ile tüm model ve yönelimler arasında en verimli sonuca sahip olmaktadır.

4.4.3.3 İstanbul ili için optimum modelin belirlenmesi

İstanbul ili için 7 modelin enerji yükleri ve fotovoltaik panellerden elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi miktarları güneydoğu yönelimi için Çizelge 4.53'te, güney yönelimi için Çizelge 4.54'te ve güneybatı yönelimi için Çizelge 4.55'te aktarılmıştır.

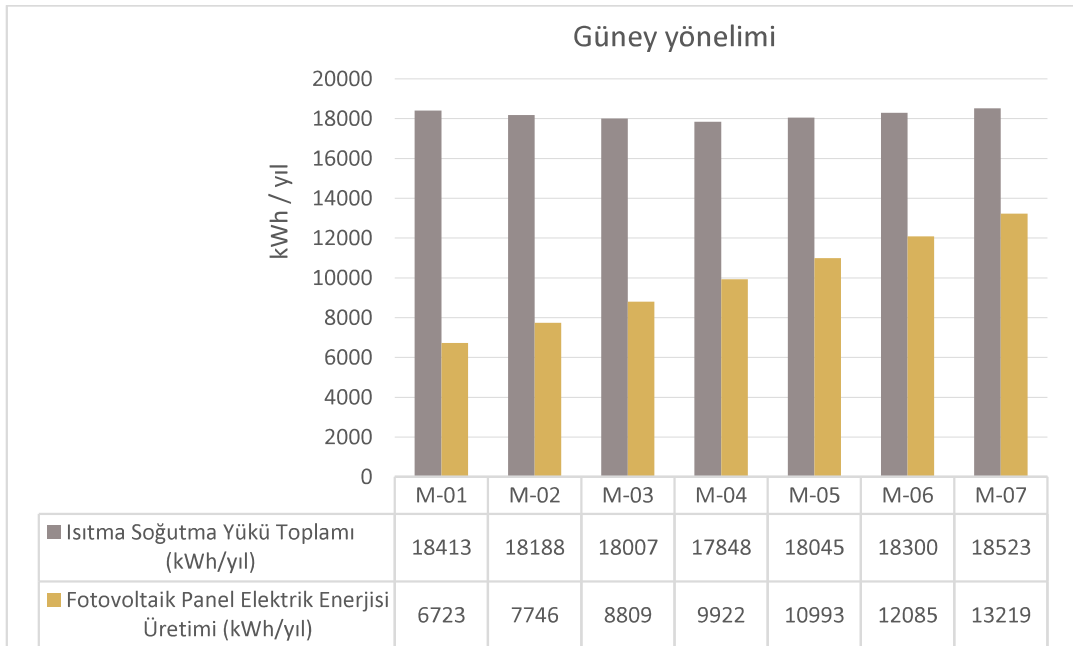
- Grafikler incelendiğinde güneydoğu, güney ve güneybatı yönelimlerinde M-01'den M-04'e ısıtma soğutma enerji yükü toplamının azaldığı, M-04'te optimum değerde olduğu ve M-04'ten M-07 ye ise enerji yükünün arttığı görülmektedir.
- Tüm yönlerde fotovoltaik panellerden elde edilebilecek potansiyel enerji miktarı M-01'den M-07'ye doğrusal artış göstermekte ve M-07 modelinde en yüksek değerine ulaşmaktadır.
- Üç yönelimde de alternatif modeller arasındaki enerji kazanımındaki artış oranı enerji yükündeki değişim oranına göre fazla olmaktadır.

Çizelge 4. 53 : İstanbul ilinde, 7 modelin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.

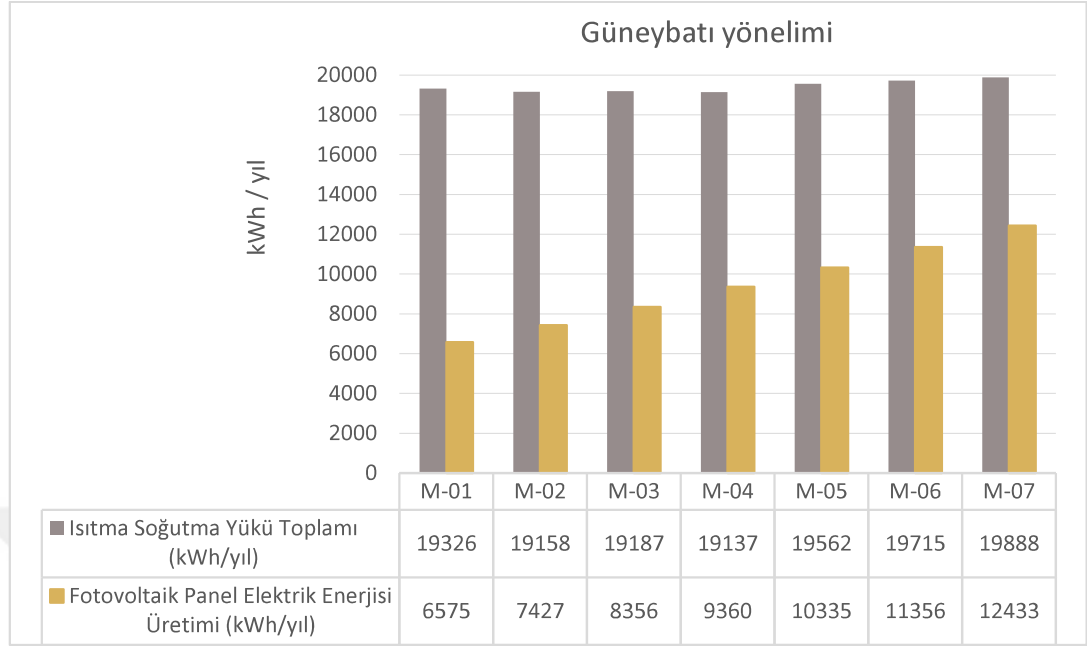


Güney yönelimi için M-01 modelinde fotovoltaik panellerden elde edilebilecek elektrik enerjisi ile ısıtma soğutma toplam enerji yükünün yaklaşık %36'sı karşılanırken, M-07 modelinde enerji ihtiyacının %71'i karşılanabilmektedir.

Çizelge 4. 54 : İstanbul ilinde, 7 modelin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.



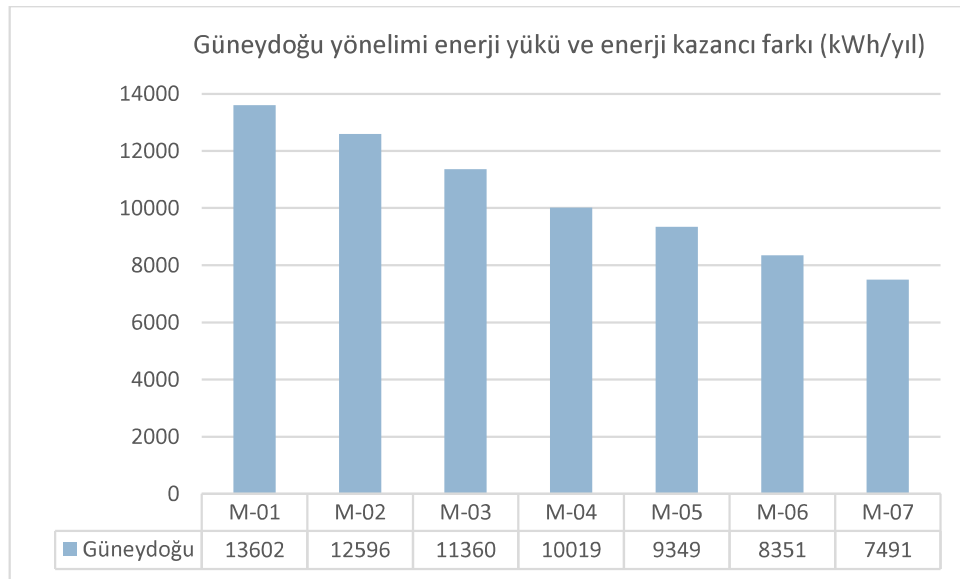
Çizelge 4. 55 : İstanbul ilinde, 7 modelin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.



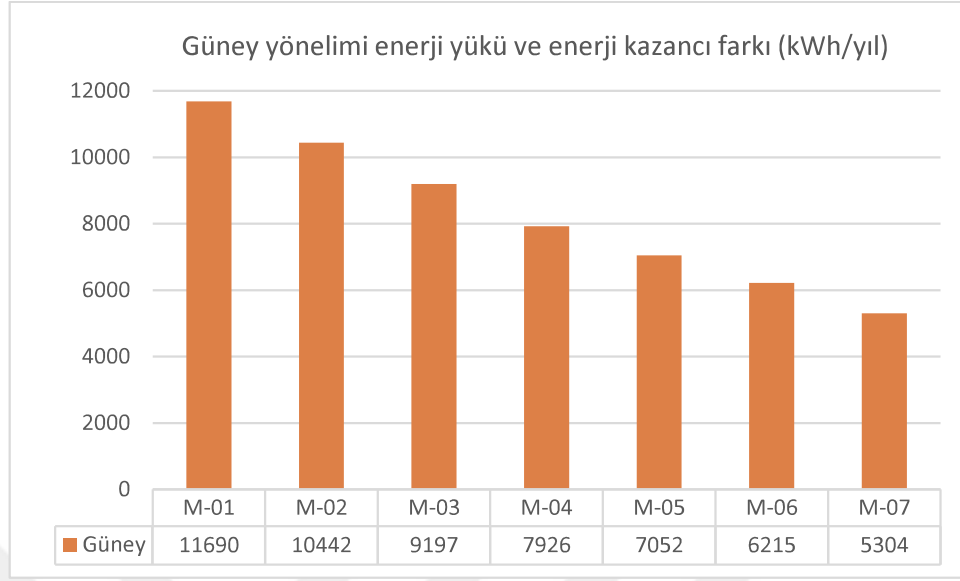
İstanbul ilinde enerji yükü ve enerji kazancı farklarına güneydoğu yönelimi için Çizelge 4.56’da, güney yönelimi için Çizelge 4.57’de ve güneybatı yönelimi için Çizelge 4.58’de yer verilmiştir.

Enerji yükü ve kazanımı farklarında en yüksek değer 13602 kWh değeri ile güneydoğu yöneliminde M-01 modeline ait olmaktadır (Çizelge 4.56).

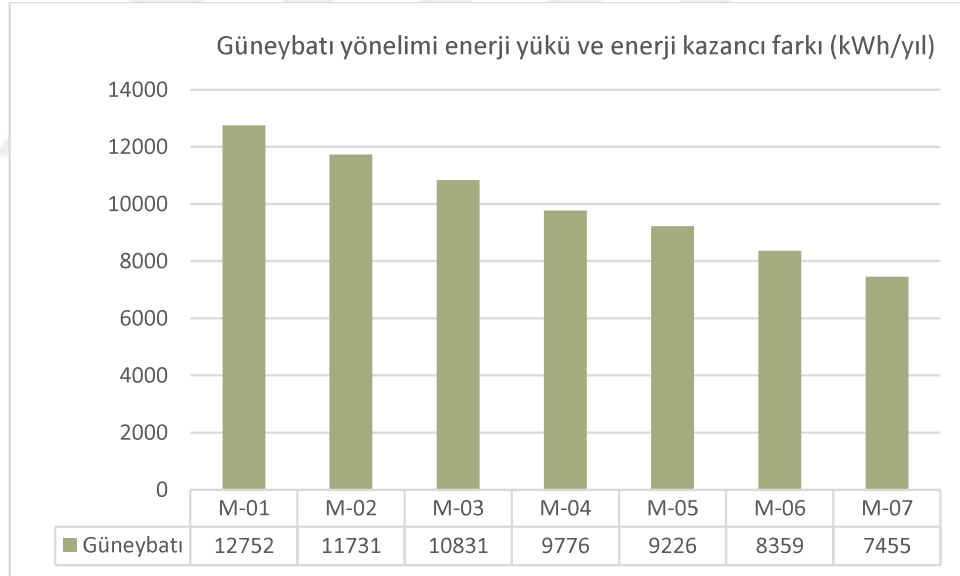
Çizelge 4. 56 : İstanbul ilinde 7 modelin güneydoğu yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



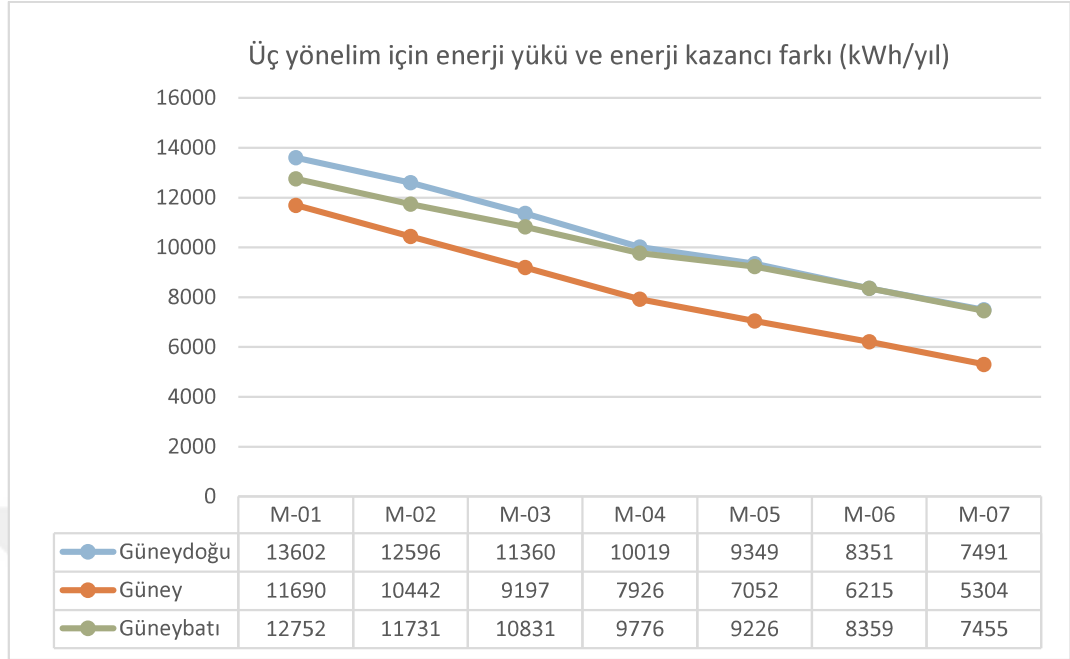
Çizelge 4. 57 : İstanbul ilinde 7 modelin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



Çizelge 4. 58 : İstanbul ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



Çizelge 4. 59 : İstanbul ilinde 7 modelin güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için enerji yükü ve kazanımı farkları.



Çizelge 4.59 değerlendirme grafiğine göre;

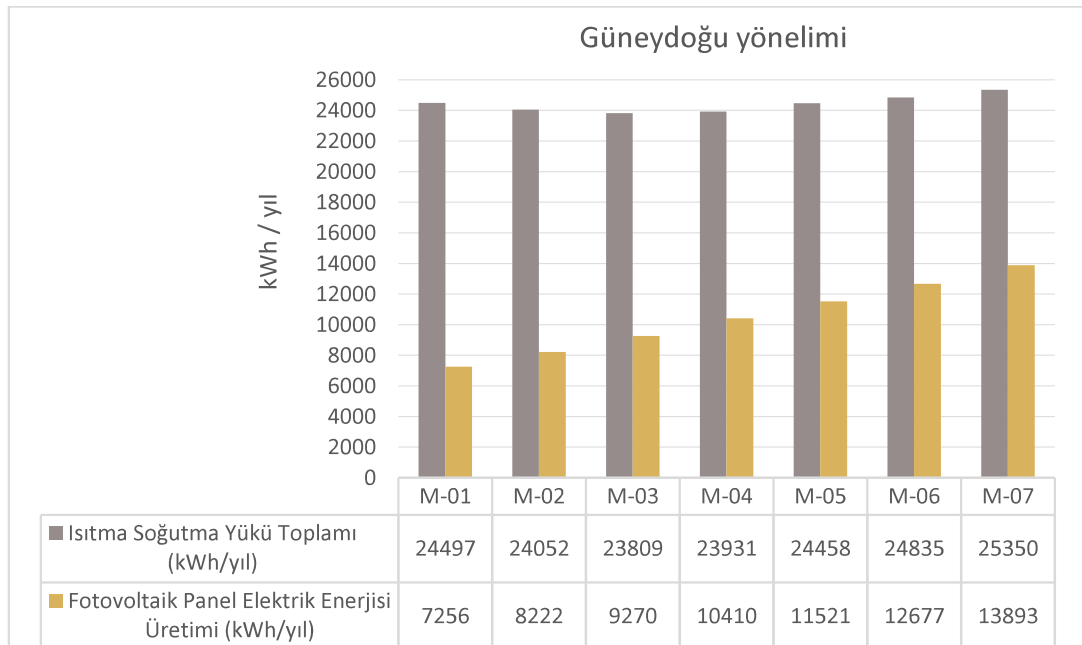
- Güneydoğu, güney ve güneybatı yönelimlerinin üçünde de enerji yükü ve üretilebilecek elektrik enerjisi farkları M-01'den M-07'ye doğru azalmakta, enerji verimliliği artmaktadır.
- Cam cephe eğimi arttıkça güneydoğu ve güneybatı yönelimlerindeki enerji yükü ve kazancı arasındaki fark değerlerinin birbirine yaklaştığı ve M-05 ten itibaren grafiğin çakıştığı görülmektedir.
- M-07 modelinin ısıtma soğutma enerji yükünün karşılanması için kalan enerji ihtiyacı 5304 kWh değeriyle güney yöneliminde en düşük değere sahiptir ve tüm model ve yönelimler arasında optimum sonucu sağlamaktadır.

4.4.3.4 Ankara ili için optimum modelin belirlenmesi

Ankara ili için 7 modelin enerji yükleri ve fotovoltaik panellerden elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi miktarlarının grafikleri güneydoğu yönelimi için Çizelge 4.60'da, güney yönelimi için Çizelge 4.61'de ve güneybatı yönelimi için Çizelge 4.62'de aktarılmıştır.

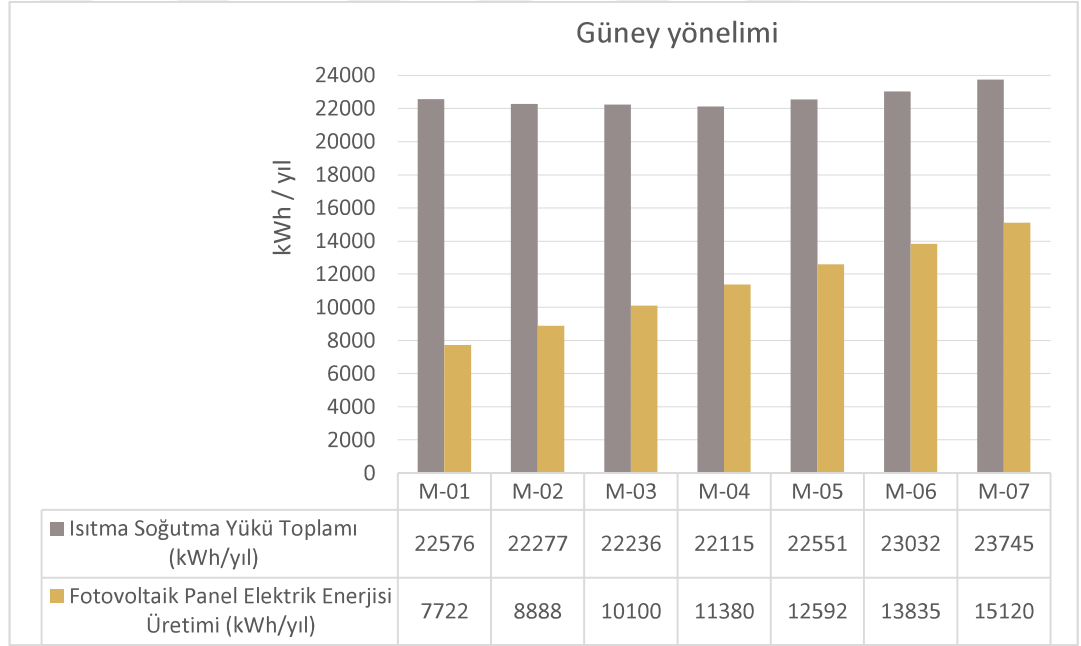
- Üç grafikteki veriler incelendiğinde güneydoğu, güney ve güneybatı yönelimlerinde potansiyel elektrik enerjisi üretiminin M-01'den M-07'ye doğrusal olarak arttığı görülmektedir.
- Güneydoğu yönelimine ait Çizelge 4.60'da bulunan verilere göre M-03 modelinin enerji yükünün en düşük olduğu, M-01'den M-03'e enerji yükünün azaldığı ve M-03'ten M-07'ye doğru ise enerji yükünün arttığı görülmektedir.
- M-07 güneydoğu yöneliminde ısıtma soğutma enerji yükünün yaklaşık %50'sinin yapı kabuğundaki fotovoltaik paneller yardımıyla karşılanabileceği grafikten anlaşılmaktadır.

Çizelge 4. 60 : Ankara ilinde, 7 modelin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.



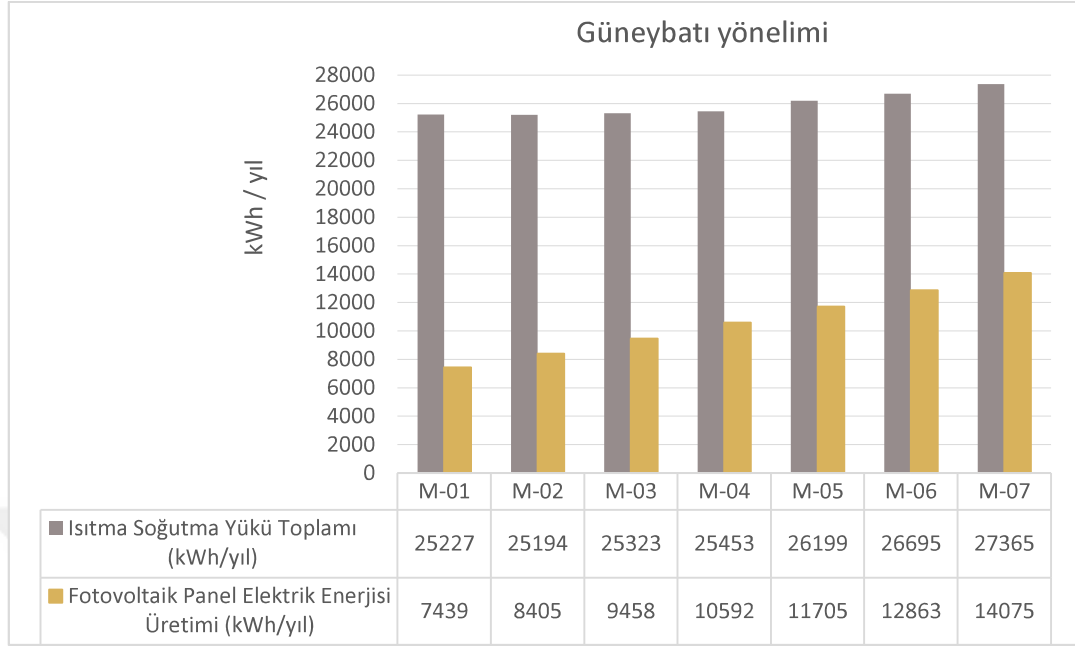
- Güney yönelimine ait Çizelge 4.61’de bulunan verilere göre M-04 modelinin enerji yükünün en düşük olduğu, M-01’den M-04’e enerji yükünün azaldığı ve M-04’ ten M-07’ye doğru ise enerji yükünün arttığı görülmektedir.
- Elde edilen verilere göre güney yöneliminde M-07 modelinin ısıtma soğutma enerji yükünün %63’ünün yapı kabuğundaki fotovoltaik paneller yardımıyla karşılayacağı öngörülmektedir.
- Güney yönelimi için M-01 modelinden elde edilebilecek elektrik enerjisi ile ısıtma soğutma toplam enerji yükünün yaklaşık %34’ü karşılanırken, M-07 modelinde enerji ihtiyacının %63’ü karşılanabilmektedir.

Çizelge 4. 61 : Ankara ilinde, 7 modelin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.



- Güneybatı yönelimine ait Çizelge 4.62’de bulunan verilere göre M-02 modelinin enerji yükünün en düşük olduğu, M-01’den M-02’ye enerji yükünün azaldığı ve M-02’ den M-07’ye doğru ise enerji yükünün arttığı görülmektedir.
- Elde edilen verilere göre güneybatı yöneliminde M-07 modelinin ısıtma soğutma enerji yükünün yaklaşık %51’inin yapı kabuğundaki fotovoltaik paneller yardımıyla karşılaması öngörülmektedir.

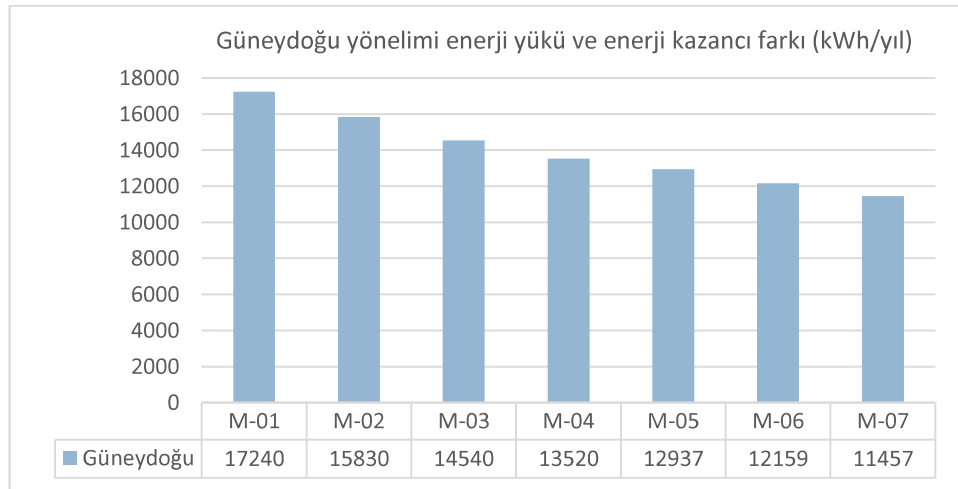
Çizelge 4. 62 : Ankara ilinde, 7 modelin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.



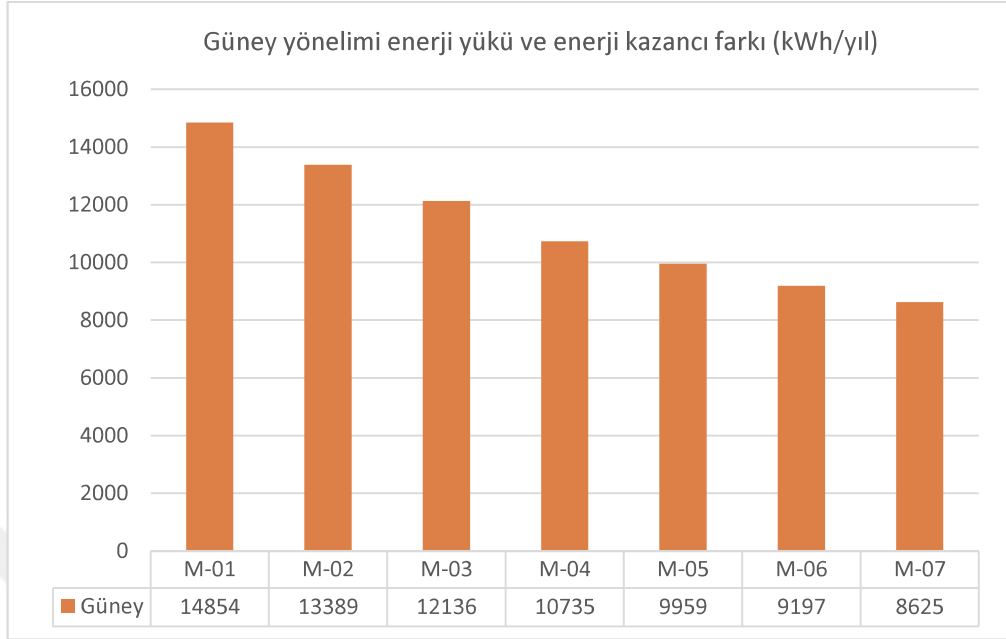
Ankara ilinde enerji yükü ve enerji kazancı farklarına güneydoğu yönelimi için Çizelge 4.63’de, güney yönelimi için Çizelge 4.64’te ve güneybatı yönelimi için Çizelge 4.65’te yer verilmiştir.

Enerji yükü ve kazanımı farklarında en yüksek değer 17.788 kWh değeri ile güneybatı yöneliminde M-01 modeline ait olmaktadır (Çizelge 4.65). En düşük değer ise 8.625 kWh değeri ile güney yöneliminde M-07 modeline aittir (Çizelge 4.64).

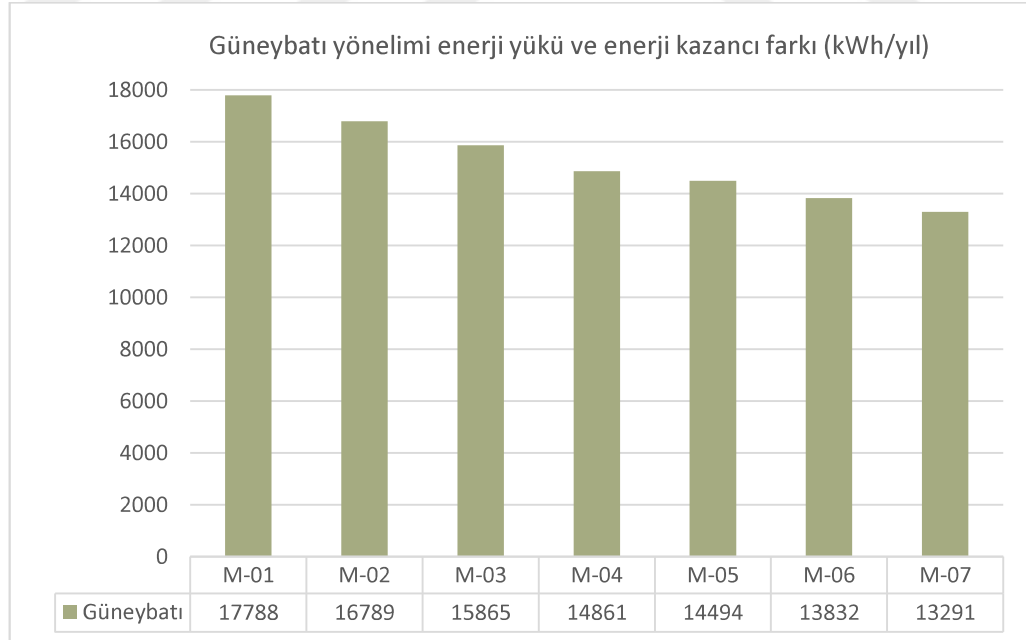
Çizelge 4. 63 : Ankara ilinde 7 modelin güneydoğu yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



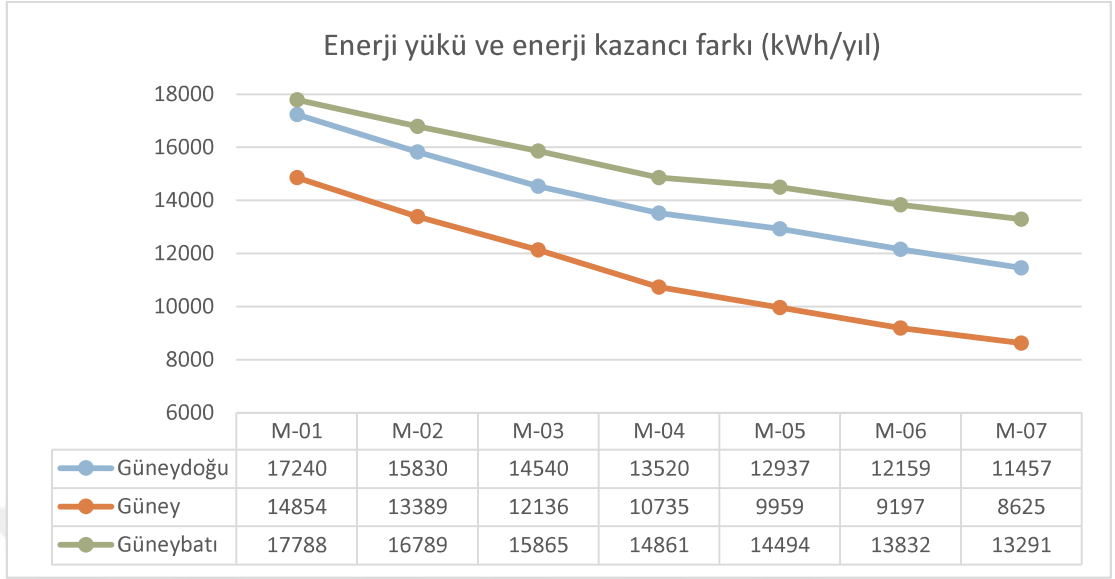
Çizelge 4. 64 : Ankara ilinde 7 modelin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



Çizelge 4. 65 : Ankara ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



Çizelge 4. 66 : Ankara ilinde 7 modelin güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için enerji yükü ve kazanımı farkları.



Çizelge 4.66 değerlendirme grafiğine göre;

- Güneydoğu, güney ve güneybatı yönelimlerinin üçünde de enerji yükü ve üretilebilecek elektrik enerjisi farkları M-01’den M-07’ye doğru azalmakta, enerji verimliliği artmaktadır.
- 7 model için de yönelimlere göre verimlilik sıralaması güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimi sırasında olmaktadır.
- M-07 modelinin ısıtma soğutma enerji yükünün karşılanması için kalan enerji ihtiyacı 8.625 kWh değeriyle güney yöneliminde en düşük değere sahiptir ve tüm model ve yönelimler arasında optimum sonucu sağlamaktadır.

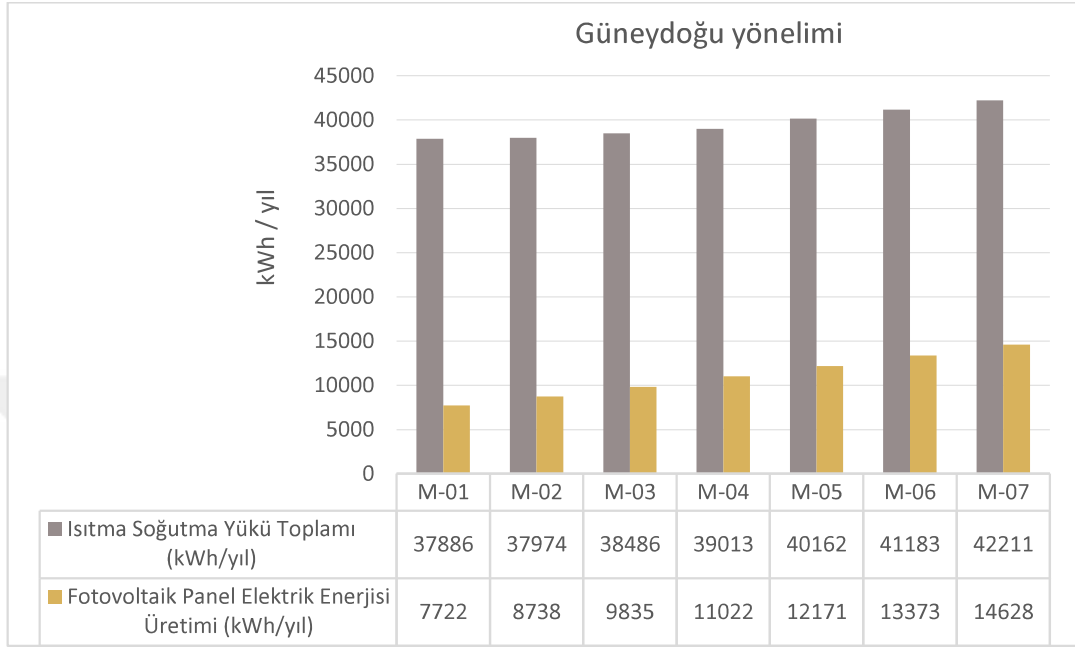
4.4.3.5 Erzurum ili için optimum modelin belirlenmesi

Soğuk iklim bölgesinde bulunması nedeniyle Erzurum ilinin ısıtma ve soğutma toplam enerji yükü diğer tüm pilot illere göre çok yüksektir. Buna karşın Dünya’nın eksen eğikliğine bağlı olarak güneş ışınlarını Antalya ili ile benzer açıda alan Erzurum ilinde elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi miktarı diğer tüm pilot illerden yüksek olmaktadır.

Erzurum ili için 7 modelin enerji yükleri ve fotovoltaik panellerden elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi miktarlarının grafikleri güneydoğu yönelimi için Çizelge

4.67’de, güney yönelimi için Çizelge 4.68’de ve güneybatı yönelimi için Çizelge 4.69’da aktarılmıştır.

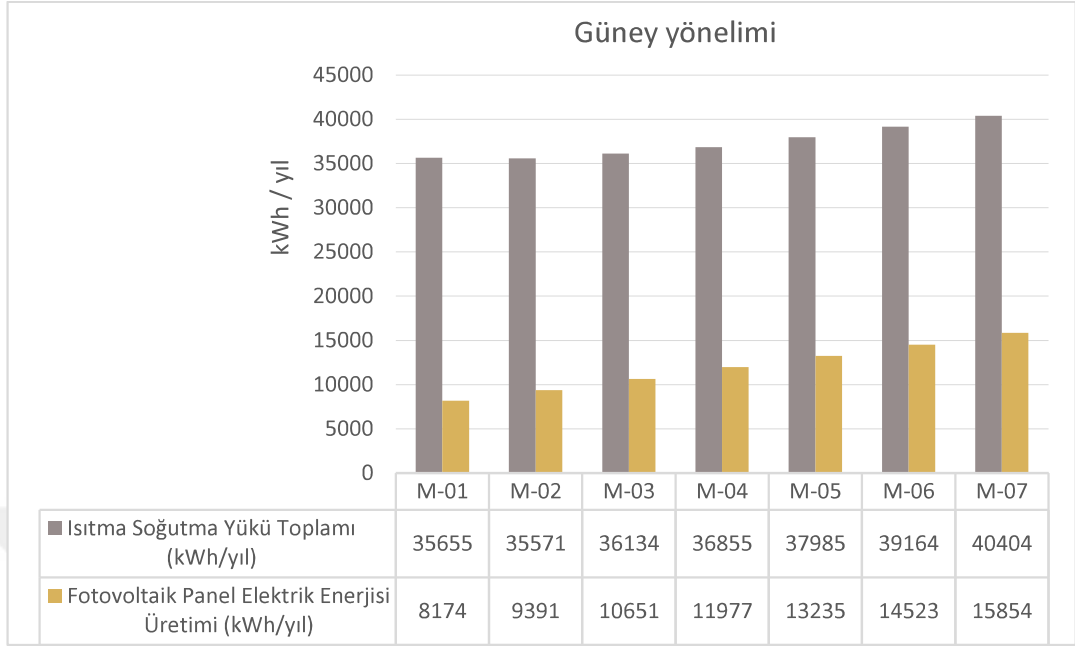
Çizelge 4. 67 : Erzurum ilinde, 7 modelin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.



Erzurum ili güneydoğu yönelimine ait Çizelge 4.67’de bulunan veriler incelendiğinde;

- Isıtma soğutma yükünün ve fotovoltaik panellerden elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi miktarının M-01’den M-07’ye artış gösterdiği görülmektedir.
- Enerji yükü bakımından en verimli sonucu M-01 sağlasa da potansiyel elektrik enerjisi miktarı için M-07 modeli verimli sonuç vermektedir.

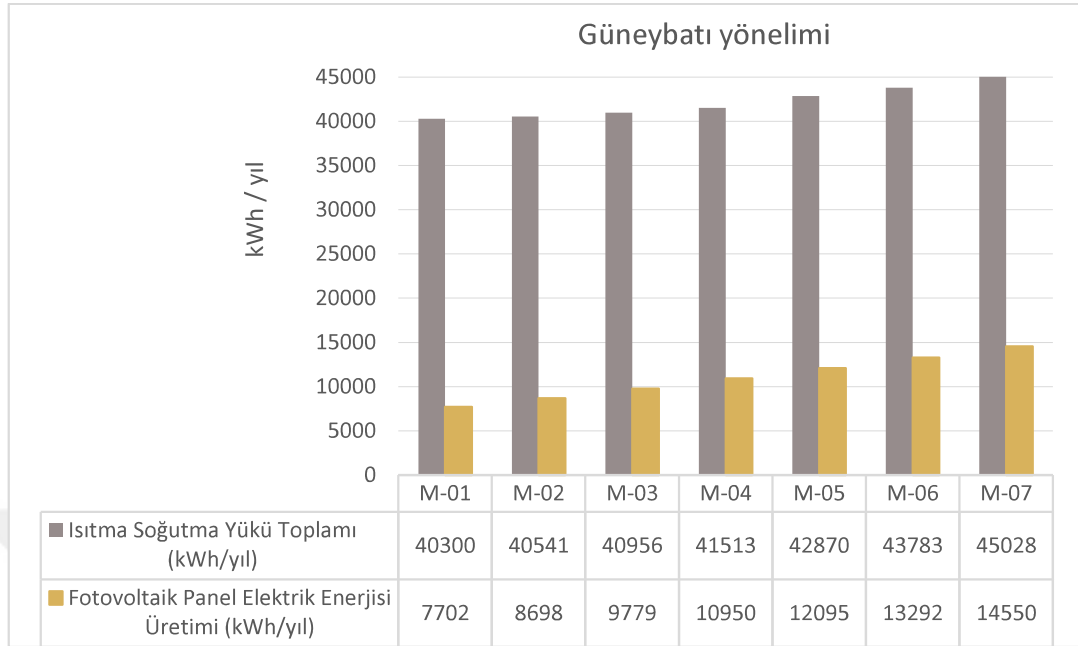
Çizelge 4. 68 : Erzurum ilinde, 7 modelin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.



Erzurum ili güney yönelimine ait Çizelge 4.68’de bulunan veriler incelendiğinde;

- Isıtma soğutma yükü toplamında verimli sonucu düşük bir farkla M-02 modeli sağlamaktadır. Sonrasında modellerin verimlilik sırası M-03, M-01, M-04, M-05, M-06 ve M-07 olmaktadır.
- Fotovoltaik panellerden elde edilebilecek potansiyel elektrik enerjisi miktarı güneydoğu yöneliminden daha yüksek değerlerde olmaktadır. Güneydoğu yönelimine benzer biçimde panelin bulunduğu eğim açısı azaldıkça verimlilik M-01’den M-07’ye doğru artmaktadır.
- Güney yönelimi için M-01 modelinden elde edilebilecek elektrik enerjisi ile toplam ısıtma soğutma yükünün yaklaşık %23’ü karşılanırken, M-07 modelinde enerji ihtiyacının %39’u karşılanabilmektedir.

Çizelge 4. 69 : Erzurum ilinde, 7 modelin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükü ve elektrik enerjisi üretimleri.



Erzurum ili güneybatı yönelimine ait Çizelge 4.69’da bulunan veriler incelendiğinde;

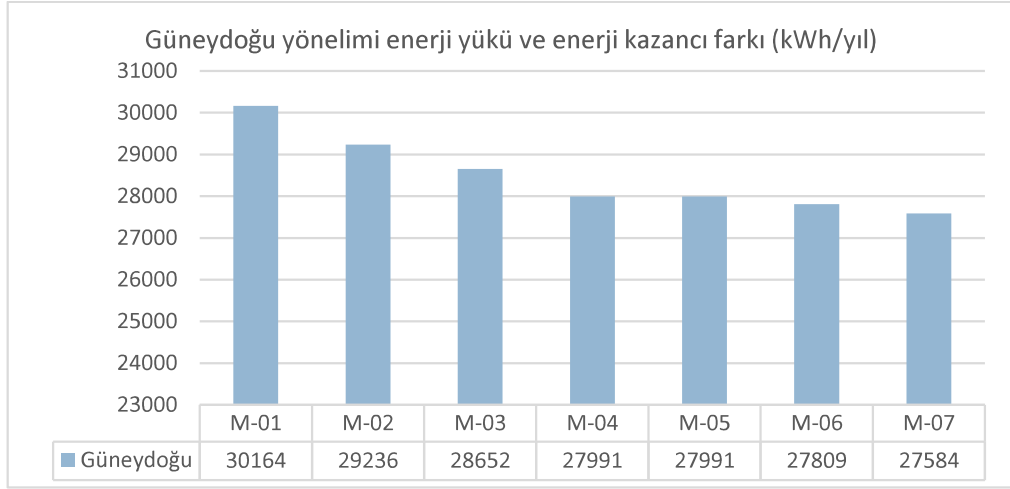
- Diğer yönelimlere benzer biçimde ısıtma soğutma toplam yükü ve potansiyel elektrik enerjisi miktarı M-01’den M-07’ye artmaktadır. M-04 modelinden sonraki modellerde artış olduğu grafikten görülmektedir.
- M-01 modeli enerji yükü kıyaslamasında verimli iken, M-07 modeli potansiyel elektrik enerjisi miktarında güneydoğu yönelimi, güneybatı yönelimine göre daha verimli sonuçlar vermektedir.

Erzurum ilinde enerji yükü ve enerji kazancı farklarına güneydoğu yönelimi için Çizelge 4.70’de, güney yönelimi için Çizelge 4.71’de ve güneybatı yönelimi için Çizelge 4.72’de yer verilmiştir.

Enerji yükü ve kazanımı farklarında en yüksek değer 32.598 kWh değeri ile güneybatı yöneliminde M-01 modeline ait olmaktadır (Çizelge 4.72). En düşük değer ise 24.550 kWh değeri ile güney yöneliminde M-07 modeline aittir (Çizelge 4.71).

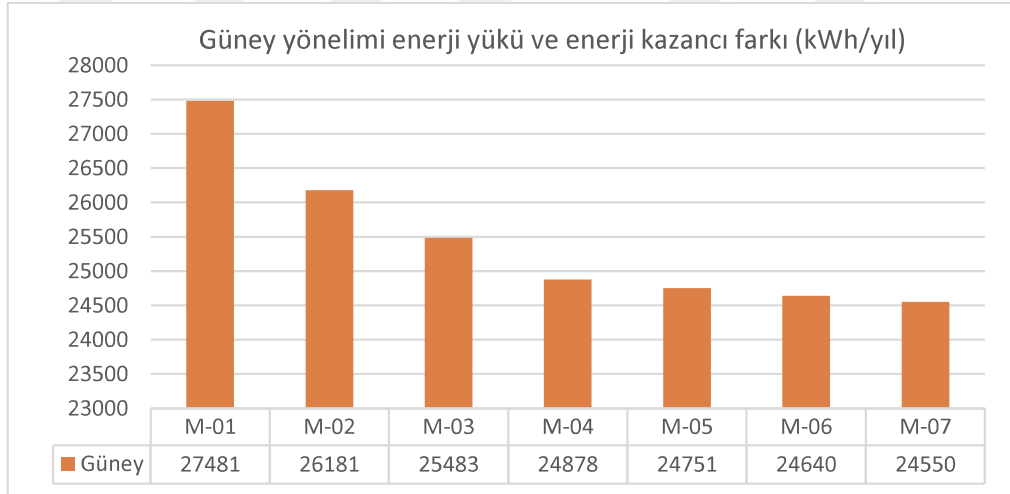
Çizelge 4.70’te enerji yükü ve kazanım farkında M-01’den M-04’e bir düşüş görülürken M-04 ve M-05’te bu farkın aynı olduğu ve M-06 ile M-07 modelleri yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. 70 : Erzurum ilinde 7 modelin güneydoğu yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



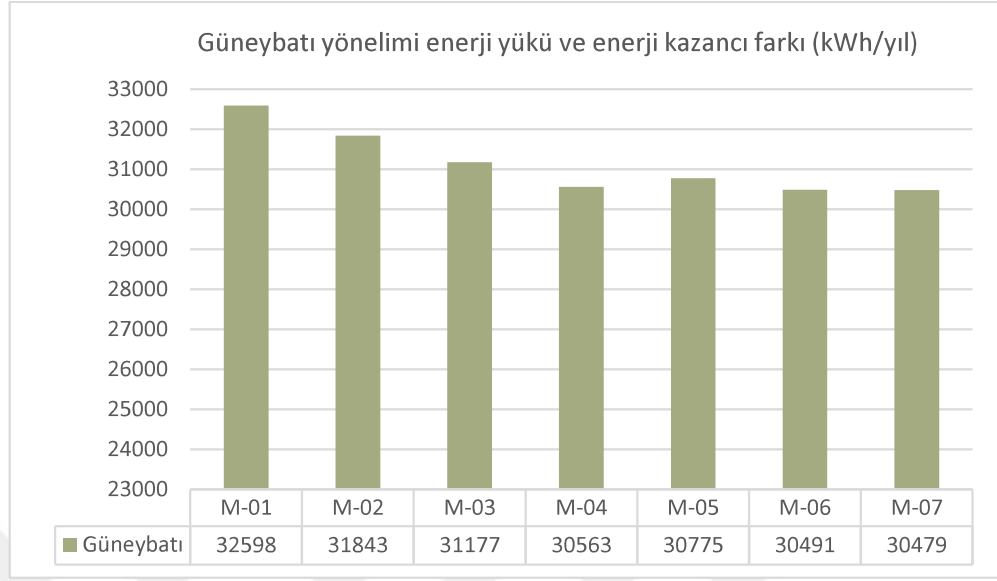
Güney yöneliminde M-01’den M-04 modeline doğru enerji yükü ve kazanımı farkının azaldığı Çizelge 4.71’de görülmektedir. M-07 modeli, M-01 modeline göre 2.931 kWh’lik farkla daha verimli sonuç vermektedir.

Çizelge 4. 71 : Erzurum ilinde 7 modelin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.

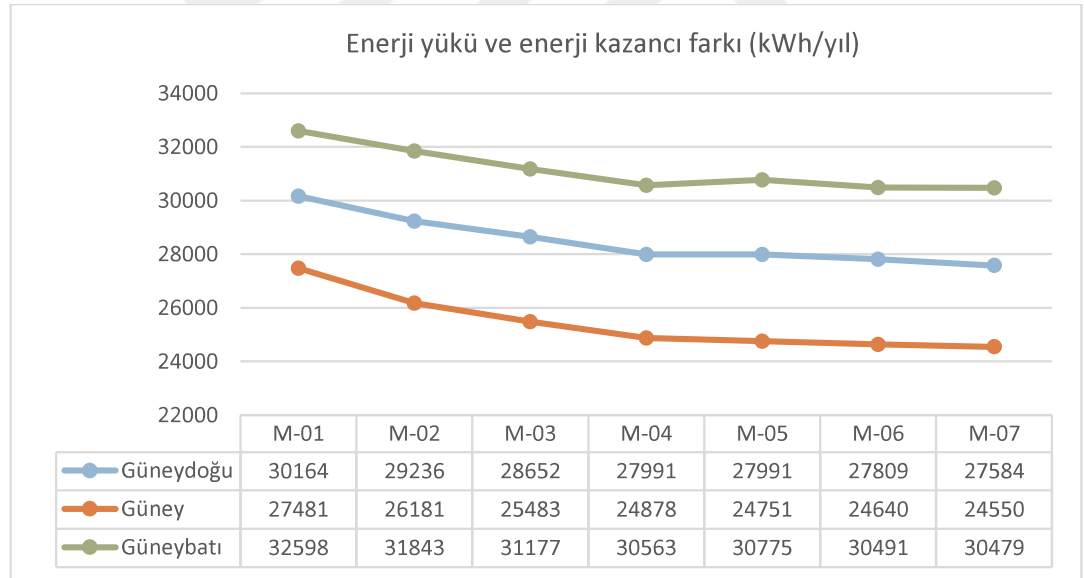


Çizelge 4.72’de Erzurum ili güneybatı yöneliminde enerji yükü ve kazanım farkında M-01’den M-04’e bir düşüş görülürken M-05’te bu fark artmaktadır ve M-06 ile M-07 modelleri yakın değerlere sahip olmaktadır.

Çizelge 4. 72 : Erzurum ilinde 7 modelin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkları.



Çizelge 4. 73 : Erzurum ilinde 7 modelin güneybatı, güney ve güneydoğu yönelimleri için enerji yükü ve kazanımı farkları.



Çizelge 4.73, Erzurum ili değerlendirme grafiğine göre;

- Güney yöneliminde enerji yükü ve üretilebilecek elektrik enerjisi farkları cephe kırılma noktası yapıdan uzaklaştıkça azalmakta, enerji verimliliği artmaktadır. Ancak M-01 modeli ile M-07 modeli arasındaki fark diğer illerdeki kadar yüksek değildir.

- 7 model için de yönelimlere göre verimlilik sıralaması güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimi sırasında olmaktadır.
- M-07 modelinin ısıtma soğutma enerji yükünün karşılanması için kalan enerji ihtiyacı 24.550 kWh değeriyle güney yöneliminde en düşük değere sahiptir ve tüm model ve yönelimler arasında enerji verimliliği açısından optimum sonucu sağlamaktadır.

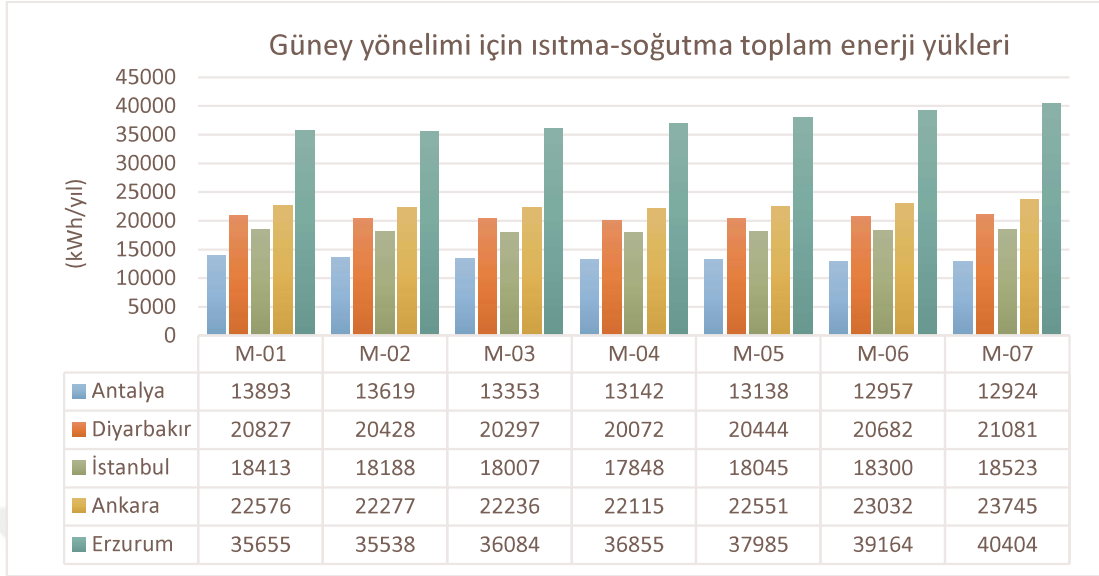
4.5 Bölüm değerlendirme

Ofis yapıları için oluşturulan çok açılı 7 tane çok açılı cephe alternatifinin ısıtma, soğutma ve toplam ısıtma-soğutma yükleri ve cepheye entegre olan fotovoltaik panellerden elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarları Antalya, Diyarbakır, İstanbul, Ankara ve Erzurum illeri için hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamaların grafikleri yukarıdaki bölümlerde her bir il için ayrı grafiklerle ifade edilmiştir. Modelleri yorumlarken yararlı olacağı için 5 pilot ilin 7 modele göre olan grafiklerine bu bölümde yer verilmiştir.

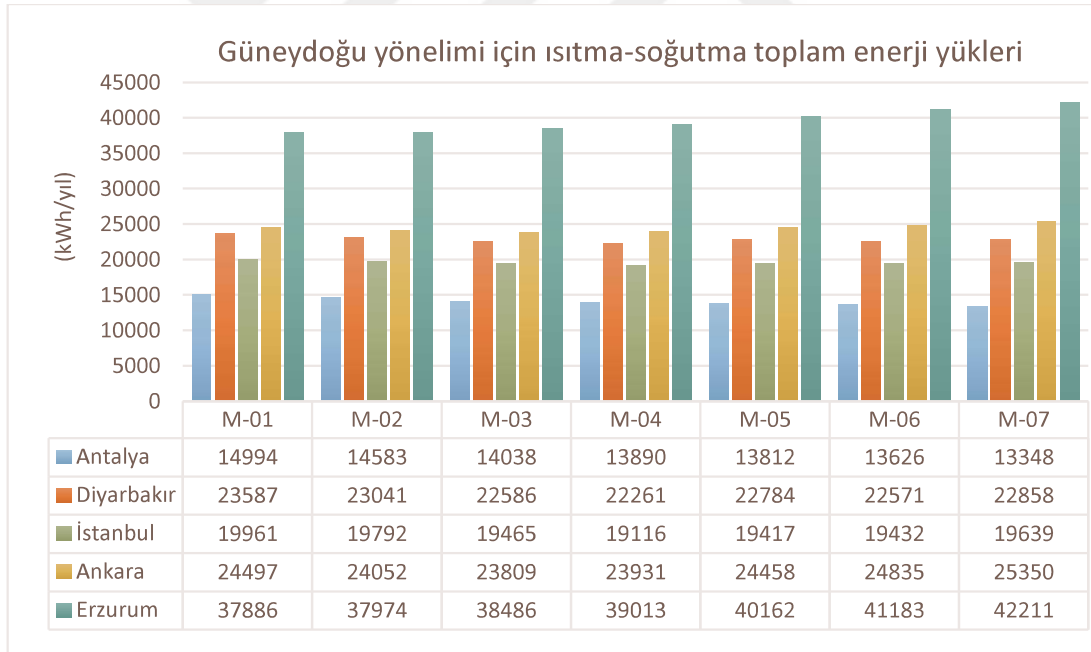
Alternatif modellerin ısıtma-soğutma toplam enerji yükü grafiklerine beş pilot il ve güney, güneydoğu, güneybatı yönelimleri için sırasıyla Çizelge 4.74, Çizelge 4.75, Çizelge 4.76'da yer verilmiştir. Grafiklerde en çok göze çarpan soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum ilindeki modellerin enerji yükünün diğer illere göre yüksek olmasıdır. Bunun sebebi olarak tavan ve taban döşemeleri U değerlerinin 5. derece gün bölgesinden yüksek olması, saydamlık oranının bu bölge için fazla olması gösterilebilir.

Seçilen yapı kabuğu bileşenleri Antalya, Diyarbakır ve İstanbul illeri için TS825'te belirlenen ısıl geçirgenlik sınır değerlerinden küçük olduğu için soğutma yüklerinde artışa neden olsa da ısıtma yüklerinin de azalmasını sağlamıştır. Oluşturulan modellerde en düşük enerji yükleri Antalya ilinde sonrasında ise İstanbul ilinde görülmektedir (Çizelge 4.74, Çizelge 4.75, Çizelge 4.76).

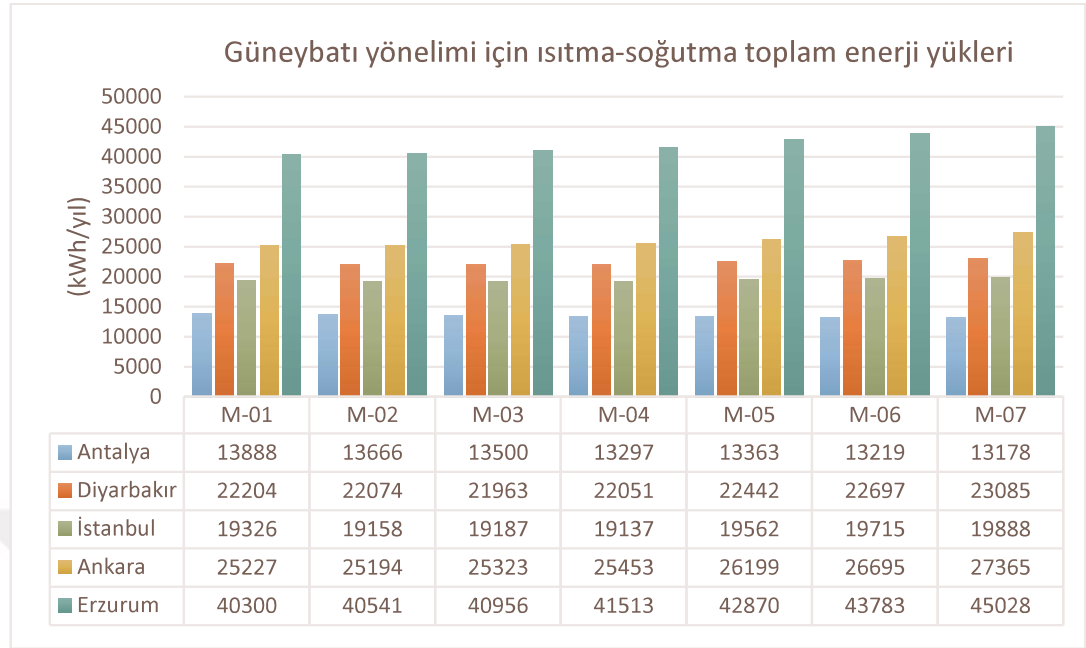
Çizelge 4. 74 : Alternatif modellerin güney yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükleri.



Çizelge 4. 75 : Beş pilot ilin güneydoğu yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükleri.



Çizelge 4. 76 : Beş pilot ilin güneybatı yönelimi için ısıtma-soğutma toplam enerji yükleri.



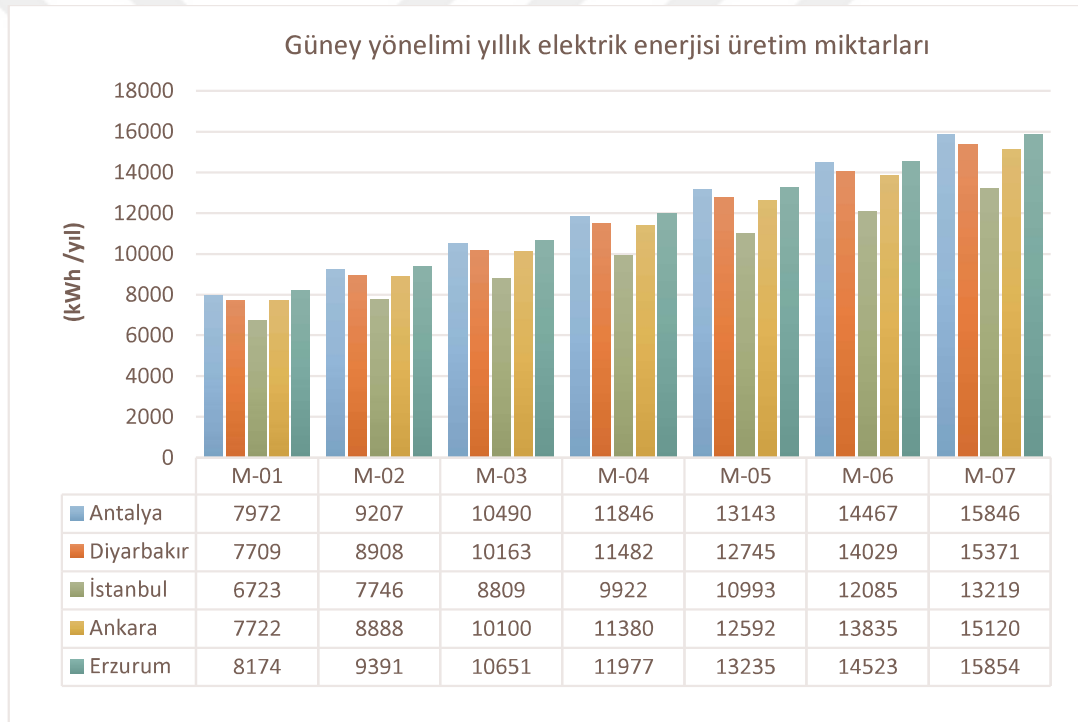
Yukarıdaki ısıtma-soğutma toplam enerji yükü grafiklerine göre, oluşturulan çok açılı cephelerde aktif güneş enerjisi sistemi kullanımı istenmediğinde pilot iller için aşağıda belirtilen modellerin kullanılması mümkündür:

- Soğutma yükündeki azalmanın etkisiyle Antalya’da M-07 modeli,
- Diyarbakır, İstanbul ve Ankara illerinde M-04 modeli,
- Erzurum ilinde ısıtma yükünün en az olduğu sonuçla güney yöneliminde M-02 modeli, güneydoğu ve güneybatı yöneliminde M-01 modeli en verimli sonucu vermektedir. Soğuk iklim bölgesinde ısıtma yükünün belirleyici olması sebebiyle cephe eğiminin toplam enerji yükü üzerindeki etkisinin olumsuz olduğu görülmüştür.

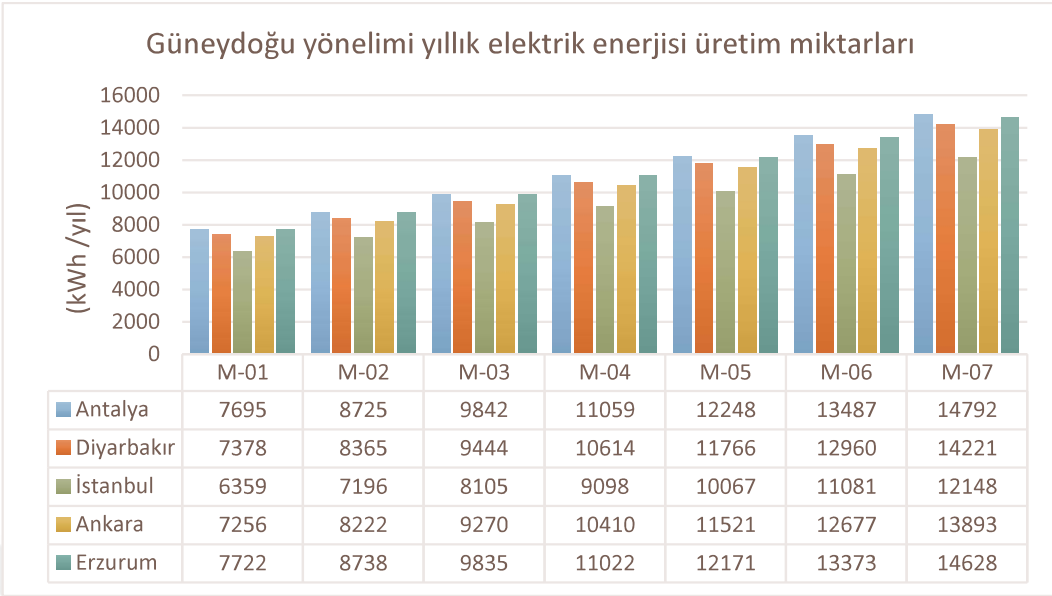
Alternatif modellerin yıllık elektrik enerjisi üretim miktarı grafiklerine beş pilot il ve güney, güneydoğu, güneybatı yönelimleri için sırasıyla Çizelge 4.77, Çizelge 4.78, Çizelge 4.79’da yer verilmiştir. Elektrik enerjisi üretim miktarları solar kazanım değerleri üzerinden hesaplanmıştır ve solar kazanım yapının bulunduğu konumun enlem değeri ile doğrudan ilişkilidir. Ekvatora yaklaştıkça solar kazanımın arttığını söylemek mümkündür. Pilot illerin enlem değerleri; Antalya 36.88 K, Diyarbakır 37.90 K, İstanbul 41° K, Ankara 39.89 K, Erzurum 39.90 Kuzey enleminde yer

almaktadır. Buna ek olarak Erzurum ilinde rakımın yüksek olmasına nedeniyle güneş ışınlarının atmosferde katettiği mesafe azalmakta ve güneş ışınlarının şiddeti artmaktadır. Bu nedenle enlem açısı değerlerine göre en yüksek değerin Antalya ilinde olması beklenirken Erzurum ili en yüksek değerleri sağlamaktadır. Bu durum M-06 ve M-07 modelleri için güneydoğu ve güneybatı yönelimlerinde değişmekte ve Antalya ili düşük farkla da olsa daha verimli sonuç vermektedir. Bunun sebebi olarak da güneş ışınlarının geliş açıları ve güneşlenme süresi gösterilebilir. Erzurum ili dışında sıralama enlem değerlerine uygun olarak sonuç vermiştir. Buna göre verimlilik sıralaması Erzurum, Antalya, Diyarbakır, Ankara ve İstanbul olmaktadır.

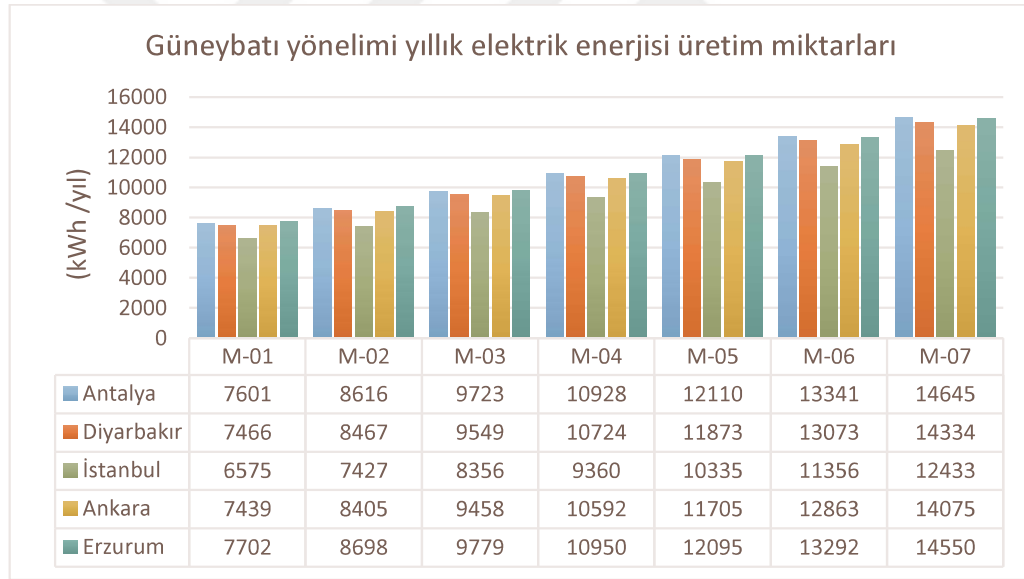
Çizelge 4. 77 : Beş pilot ilin güney yönelimi için elektrik enerjisi üretimleri.



Çizelge 4. 78 : Beş pilot ilin güneydoğu yönelimi için elektrik enerjisi üretimleri.



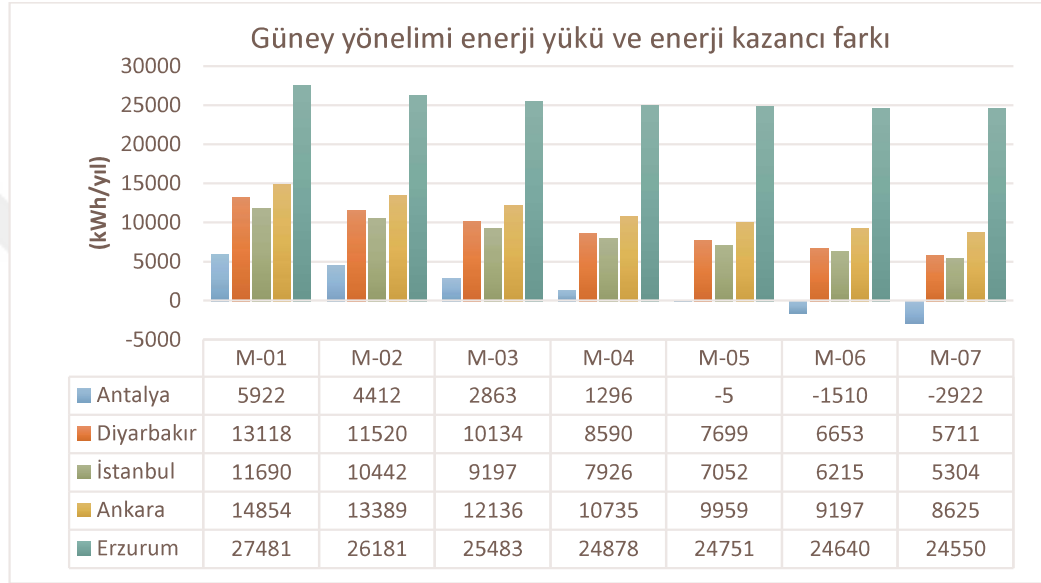
Çizelge 4. 79 : Beş pilot ilin güneybatı yönelimi için elektrik enerjisi üretimleri.



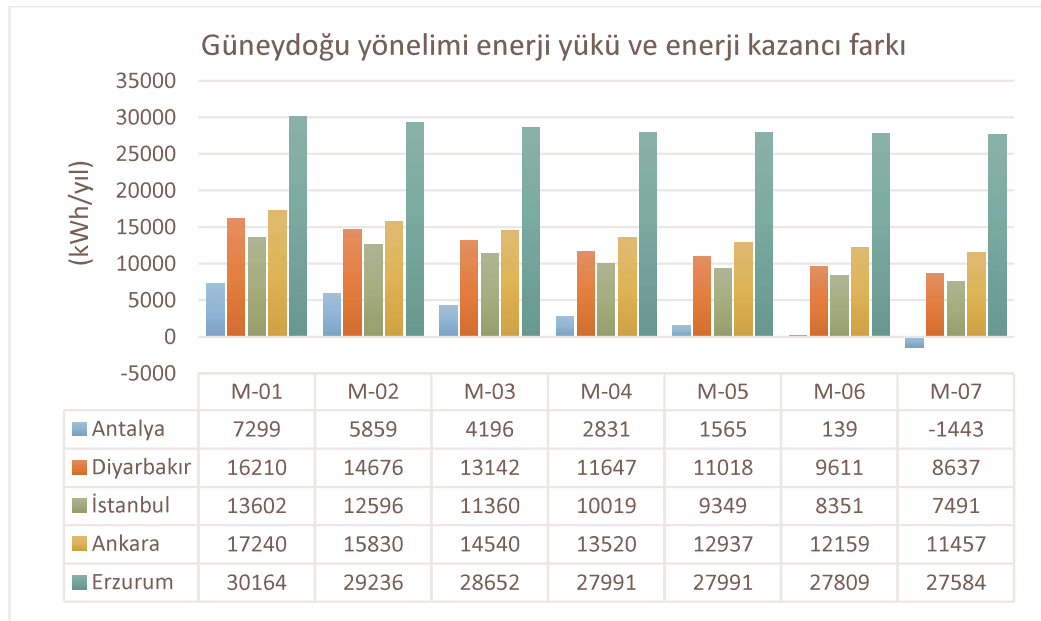
M-01'den M-07'ye doğru cephe spandrel bölümünün düşeyle yaptığı açı arttıkça güneş ışınlarının geliş açısının dike yaklaşması nedeniyle tüm illerde radyasyon kazanımı buna bağlı olarak da potansiyel elektrik enerjisi miktarı artmaktadır. Bu nedenle güney, güneydoğu ve güneybatı yönelimlerinin tümünde 5 pilot ilde de en verimli sonucu, kırılma noktası döşeme hizasından 120 cm mesafede olan M-07 modelinin sağladığı çalışma sonucunda görülmüştür.

Alternatif modellerin yıllık enerji yükü ve elektrik enerjisi üretim miktarı fark grafiklerine beş pilot il ve güney, güneydoğu, güneybatı yönelimleri için sırasıyla Çizelge 4.80, Çizelge 4.81, Çizelge 4.82’de yer verilmiştir. Pilot iller arasından yalnızca Antalya ilinde elektrik enerjisi kazanımı, ısıtma ve soğutma enerji yükü toplamından yüksek olmaktadır. Diğer tüm illerde ısıtma ve soğutma enerji yükü toplamı, elektrik enerjisi kazanımından yüksektir.

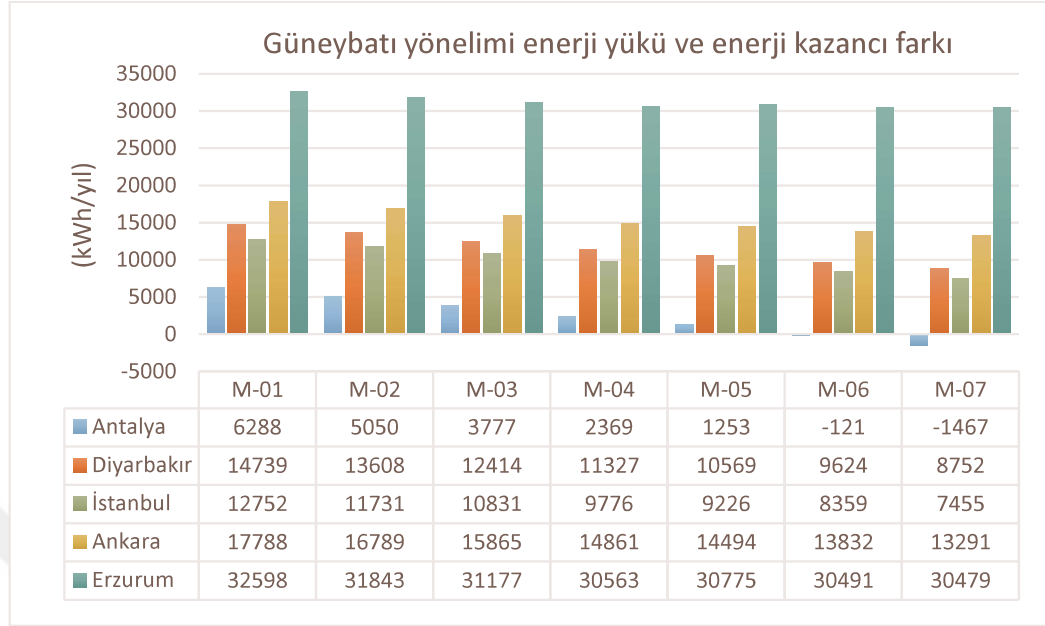
Çizelge 4. 80 : Beş pilot ilin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkı.



Çizelge 4. 81 : Beş pilot ilin güney yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkı.



Çizelge 4. 82 : Beş pilot ilin güneybatı yönelimi için enerji yükü ve enerji kazancı farkı.



Aktif güneş enerjisi sistemi entegre edilmiş M-07 modeli ile elde edilen elektrik enerjisi miktarının oluşan ısıtma ve soğutma yükü toplamını karşılama yüzdeleri illere göre değerlendirilmiştir.

- Antalya ilinde yıllık ısıtma-soğutma enerji yükünün %100'ü karşılanmış ve 2922 kWh/yıl enerji şebekeye verilebileceği veya diğer enerji yüklerinde kullanılabileceği görülmüştür.
- Diyarbakır ilinde ısıtma soğutma enerji yükünün %73'ü,
- İstanbul ilinde %71'i,
- Ankara ilinde %63'ü ve
- Erzurum ilinde %39'unun elde edilen elektrik enerjisi ile karşılanabildiği sonucuna varılmaktadır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ofis yapılarında enerji verimliliğinin artırılması amacıyla oluşturulan çok açılı (akordeon) cephe alternatifleri üzerinden Türkiye iklim bölgelerini temsil eden Antalya, Diyarbakır, İstanbul, Ankara ve Erzurum illeri için ısıtma-soğutma enerji yükleri ve güneş radyasyon kazanımı analizleri Revit (2022) aracılığıyla yapılmıştır.

Farklı açıların enerji yükleri ve solar kazanıma olan etkisinin araştırıldığı bu çalışmada 5 pilot ilde de cephe cam bölümünün düşeyle yaptığı açı arttıkça (M-01'den M-07'ye doğru) doğrudan güneş ışınımının yapı üzerindeki etkisinin azalması ile soğutma yüklerinin azaldığı, ısıtma yüklerinin ise arttığı görülmüştür. Ancak ısıtma soğutma toplam enerji yüklerine göre enerji verimliliği değerlendirildiğinde her ilde en verimli sonucu veren model değişkenlik göstermektedir. Solar kazanım hesaplarına göre ise 5 pilot ilde de cephe kırılma noktası yapıdan uzaklaştıkça, elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarının arttığı görülmüştür.

Antalya ilinin Türkiye'nin güneyinde bulunması ve sıcak nemli iklimde olması sebebiyle kırılma noktası döşeme hizasından 120 cm mesafece olan M-07 modeli en verimli sonucu vermiştir. M-07 modelinde saydam yüzeyin direkt güneş ışınımına maruz kalma oranı azaldığı için soğutma yükleri azalmaktadır. Opak yüzeyde bulunan fotovoltaik panellerin ışınları dike yakın alması ve yüzey alanının artmasıyla elektrik enerjisi artmaktadır. Ayrıca fotovoltaik paneller tarafından elde edilen elektrik enerjisinin, kırılma noktasının cepheden uzaklaştığı her adım için artması aynı zamanda toplam ısıtma-soğutma yükünün de azalması sebebiyle binanın toplam enerji performansı her üç yönde de saydam cephe eğim açıları ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Sonuçta Antalya ilinde inşa edilecek ofis binaları için bu çalışmada incelenen alternatifler arasında en fazla eğime sahip olan (dışarıya 120 cm çıkma yapan) M-07 cephe alternatifinin seçilmesi önerilmektedir.

Diyarbakır, İstanbul ve Ankara ilinde ise yönler göre küçük farklılıklar gösterse de M-01 alternatifinden M-07 alternatifine doğru gidildikçe toplam ısıtma-soğutma yükünün çok fazla değişmediği, küçük farklarla dışarıya 60 cm çıkma yapan M-04 alternatifinde minimum değer gösterdiği görülmektedir. Buna ek olarak fotovoltaik paneller tarafından elde edilen elektrik enerjisinin kırılma noktasının cepheden

uzaklaştığı her adımdaki artma miktarı, toplam ısıtma-soğutma yükündeki değişiklikten daha fazla olduğu için binanın toplam enerji performansı her üç yönde de cephe çıkma mesafesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bunun sonucu olarak binanın toplam enerji performansının saydam cephe eğim açılarının artmasıyla orantılı olarak arttığı, ancak 60 cm çıkmadan sonra performans artış hızının bir miktar düştüğü görülmektedir. Sonuçta Diyarbakır, İstanbul ve Ankara illerinde inşa edilecek ofis binaları için enerji performansı en yüksek alternatif yine en fazla eğime sahip olan M07 olarak görülmektedir. Ancak bina cephesinin dışarıya doğru 120 cm çıkma yapmasının başka açılardan mahsurlu tarafları olması durumunda cephe 60 cm çıkmada sınırlandırılabilir.

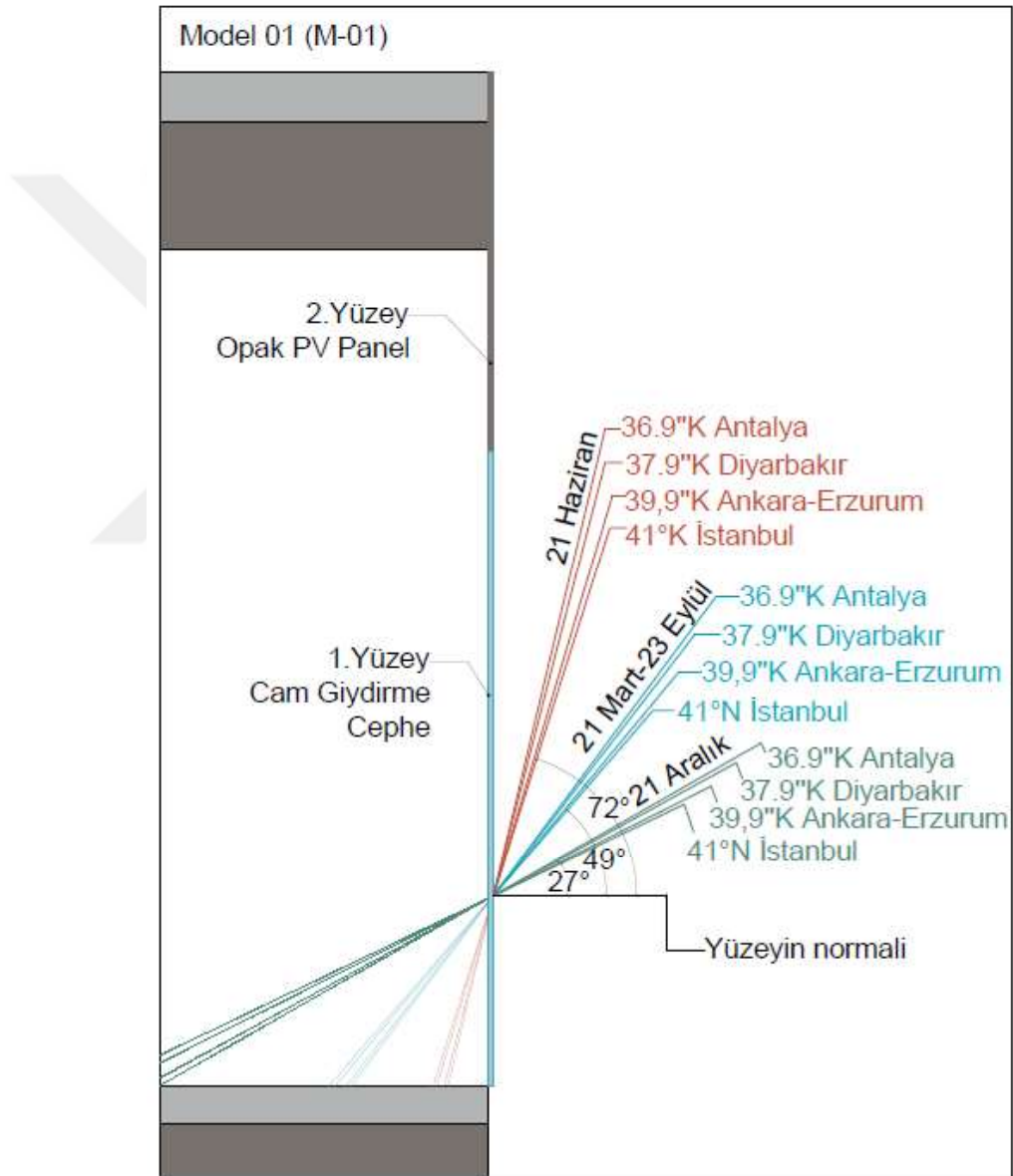
Soğuk iklim bölgesini temsil eden Erzurum ilinde ise M-01 alternatifinden M-07 alternatifine doğru gidildikçe toplam ısıtma-soğutma yükünün güneydoğu ve güneybatı yönlerinde arttığı, güney yönünde ise 20 cm çıkma yapan cephede küçük bir miktar azaldıktan sonra M07'ye doğru yine artışa geçtiği görülmektedir. Bina'nın toplam enerji performansına bakıldığında, 60 cm çıkmaya kadar eğim açılarıyla orantılı olarak performansın arttığı, 60 cm'den sonra hemen hemen aynı kaldığı görülmektedir. Bu durumda Erzurum ilinde inşa edilecek ofis binaları için 60 cm çıkma yapan eğimli cephenin (M-04 alternatifi) enerji performansı açısından olumlu sonuç vereceği, 60 cm'den daha fazla çıkma yapmanın ise pek bir anlamının olmayacağı söylenebilir.

Erzurum ilinde enerji verimliliğinin artırılması için ısıtma yüklerinin azaltılmasına odaklanılmalıdır. Bunun için saydamlık oranı, camın üç camlı sistem seçilmesi, yapı kabuğu malzemelerinde değişikliklere gidilmesi ve çatı türünün değiştirilmesi çözüm olarak düşünülmelidir. Cephe eğimi ve yapı yönlendirilmesi dışındaki tasarım değişkenleri sabit tutulduğu için Erzurum ilinde de çatı teras çatı olarak uygulanmıştır. Ancak Erzurum ilinde çatının eğimli çatı olarak uygulanması ile çatı arasında bir hacim (tampon bölge) oluşturulması sayesinde ısıtma yüklerinin azaltılması sağlanabilir.

Pilot illerde cephelerin baktığı yönlerin değişmesi, toplam ısıtma-soğutma yüklerinde ve fotovoltaiik panel enerji kazanımlarında farklılıklar getirmiştir. Ancak yukarıda açıklanan farklı iklim bölgelerine göre cephe eğimi seçim önerileri her üç yön için de geçerlidir.

Sonucun güneş geometrisine bağlı olarak değerlendirilmesi

Modellerin enerji verimliliğindeki farklılıklarını güneş açıları ile ilişkilendirerek sebep sonuç ilişkisi üzerinden değerlendirmek için referans model olan M-01, toplam ısıtma soğutma enerji yükünde Diyarbakır, İstanbul ve Ankara illerinde verimli olan M-04 modeli ve solar kazanımda tüm illerde olumlu sonuç veren M-07 modeli incelenmiştir. Böylece model ve analiz programını kullanmayan tasarımcının da güneş açıları ile ilişkilendirerek yapı kabuğu tasarımı yapabilmesine katkı sunulması istenmiştir.



Şekil 5.1 : M-01 modelinin güney yönelimi için, güneş öğlesindeki güneş yükseklik açıları ile ilişkisi⁷.

⁷ Güneş açıları salncalc.org online sistemi üzerinden alınmıştır.

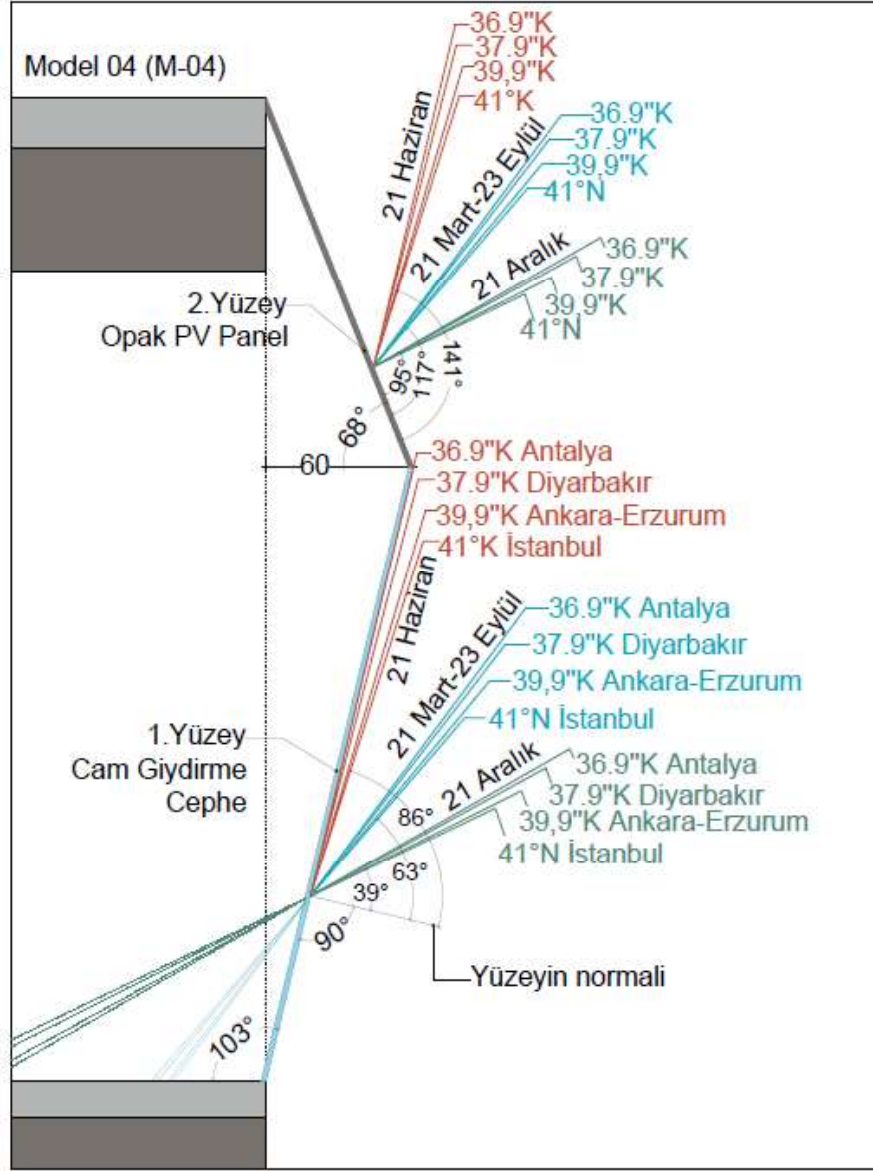
Şekil 5.1’de bulunan M-01 modeline ait kesitte 21 haziran, 21 Mart – 23 Eylül ve 21 aralık tarihlerindeki güneş yükseklik açılarının yüzeyin normali ile yaptığı açılara bakıldığında 21 aralıktan 21 hazirana doğru güneş ışınlarının yatay zemine dike yakın gelmeye başladığı ve iç mekanda taradığı alanın azaldığı görülebilmektedir. Bunun sonucu olarak da 21 hazirana doğru güneş ışınlarının kontrolünün kolaylaşacağı ifade edilebilmektedir. 21 aralık tarihinde güneş ışınları iç mekana daha fazla temas etse de ışınların atmosferde katettiği mesafenin fazla olması nedeniyle ışıyım şiddeti yaz aylarına göre düşüktür.

M-01 modeli toplam ısıtma soğutma yükünde Erzurum ili için diğer modellere göre olumlu sonuçlar vermiştir. Bu nedenle Erzurum ili için saydam cephe zemine dik veya yapıya doğru eğimli tasarlanmalı ve fotovoltaik paneller enerji elde etmek için panellerin cepheye ayrı bir saçak modülü olarak eklenmesi düşünülmelidir. Bu sayede saydam cepheden ısı kazancı sağlanırken fotovoltaik panellerden de elektrik enerjisi üretimi desteklenebilecektir. Eklenen saçakların ekinoks ve solsist tarihlerindeki gölge alanı hesaplanarak bu alanların cephede opak alan olarak bırakılmasıyla saydam yüzey alanı azaltılmalıdır. Bu sayede ısıtma ihtiyacının azaltılması sağlanabilir. Saydam yüzey alanının azaltılmasında saydamlık oranının ofis yapıları için yeterli günışığı seviyesinde tutulmasına dikkat edilmelidir.

Şekil 5.2’de M-04 modelinin opak ve saydam yüzeylerinin güney yönelimi için güneş öğlesindeki güneş yükseklik açıları ile olan ilişkisine yer verilmiştir. Kesitte İstanbul iline ait açılara yer verilmiştir. Diğer iller için İstanbul iline göre enlem derecesi farkları kesitteki açılara eklenerek istenilen iller için açılar bulunabilmektedir.

M-04 modelinde fotovoltaik panel yerleştirilen yüzey incelendiğinde 41°K enleminde (İstanbul) güneş ışınlarının kış döneminde dike yakın açıyla (95°), ekinoks ve solsist tarihlerinde 117°’lik açı ile, 21 haziranda ise 141°’lik bir açı ile aldığı görülmektedir. Bu açılar M-07 modelinde daha düşük olmaktadır (Şekil 5.3).

21 Hazirandaki güneş ışınlarının geliş açısı (ışının yüzeyin normali ile yaptığı açı) 90°’ye yaklaşmaktadır. Bu nedenle M-04 modeli ve sonrasındaki modellerde fotovoltaik panel yerleştirilen opak yüzey sayesinde yapı yaz ayları için kendi kendini gölgeleyen (self-shading) bir forma bürünmektedir. Diğer dönemlerde güneş kontrolü için iç mekanda perde kullanımı önerilmektedir.

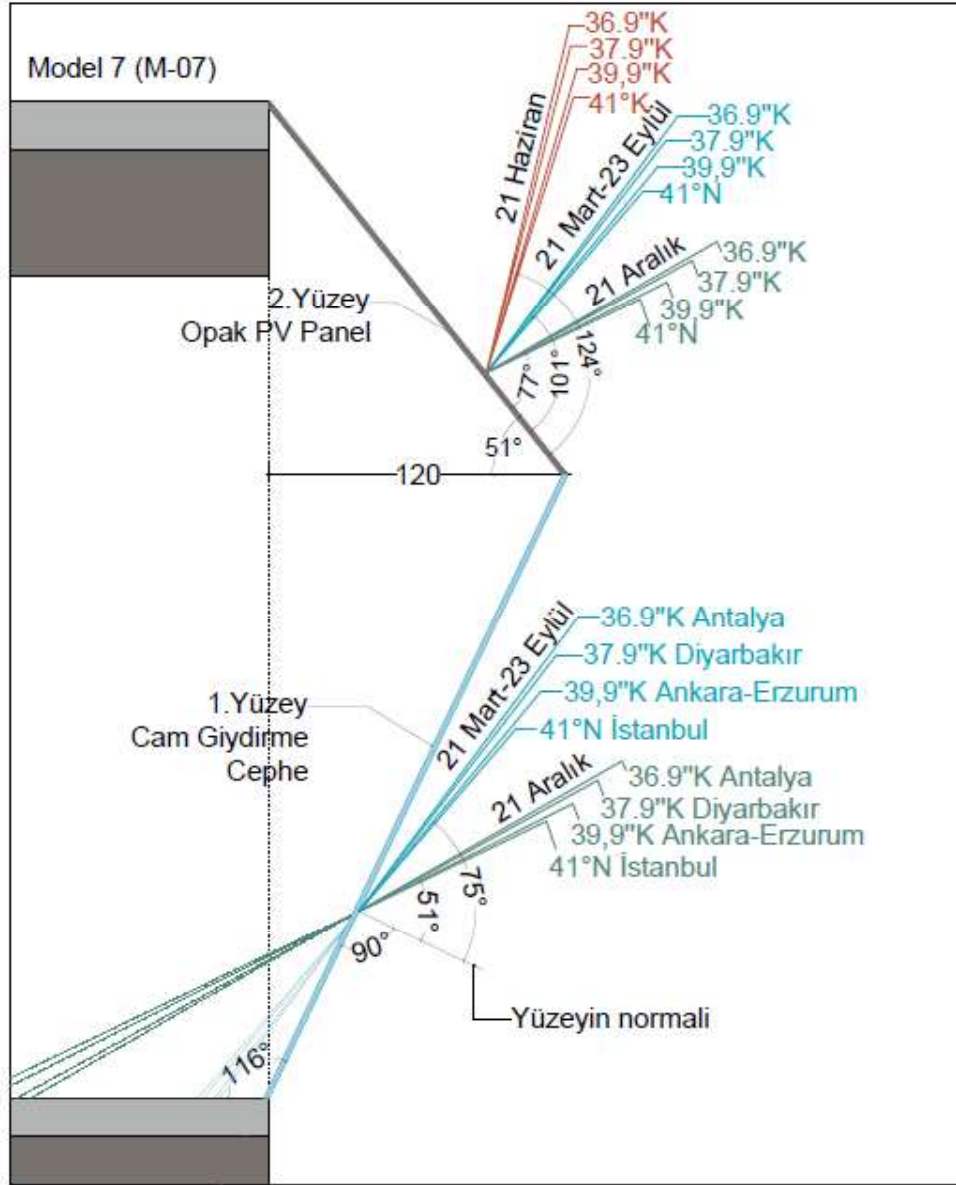


Şekil 5. 2 : M-04 modelinin güney yönelimi için, güneş öğlesindeki güneş yükseklik açıları ile ilişkisi.

Şekil 5.3'te döşeme hizasından 120 cm çıkma yapan M-07 modelinin güneş yükseklik açıları ile olan ilişkisi kesit üzerinde ifade edilmiştir. Fotovoltaik panellerden elde edilebilecek enerjinin optimum değeri için panel açılarının enlem derecesinde yerleştirilmesi önerilmektedir⁸. Bu da ekinoks ve salsist tarihlerinde (21 mart, 23

⁸ Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan aktif ve pasif sistemler sabit açı ile yerleştirileceklerinde bölgenin enlemine bağlı olarak uygun eğim açıları belirlenebilmektedir. Tüm yıl için eğim açısı=enlem derecesi, yaz mevsimi için eğim açısı=enlem derecesi - 10°, kış mevsimi için eğim açısı=enlem derecesi + 10° olarak hesaplanabilmektedir (Öztürk, 2012).

eylül) güneş öğlesindeki güneş yükseklik açısının güney yönelimli yüzey ile yaptığı açının 90° olması (güneş ışınlarını dik açıyla alması) anlamına gelmektedir. Bu bilgiler ışığında panellerin yatayla yaptığı açılar; Antalya ili için yaklaşık 37° , Diyarbakır için 38° , Erzurum ve Ankara için 40° , İstanbul için 41° olması önerilmektedir.



Şekil 5.3 : M-04 modelinin güney yönelimi için, güneş öğlesindeki güneş yükseklik açıları ile ilişkisi.

Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te güneş ışınlarının opak yüzeyle ilişkisi incelendiğinde M-01 modelinden M-07 modeline doğru opak yüzeylerdeki fotovoltaik panellere gelen güneş ışınlarının dike yaklaştığı görülmektedir. Bu nedenle M-01'den

M-07'ye panellerden elde edilen solar kazanç artmaktadır. M-07 modeli solar kazanç açısından en verimli model olsa da cepheden yaklaşık 180 cm çıkma yapılan bir modelde ekinoks-solsist tarihlerinde güneş açıları dik olarak alınabilmektedir.

Sonuç olarak, ofis yapılarında kesit düzleminde oluşturulan çok açılı cephelerde fotovoltaiik panel kullanılmadığı durumlarda Antalya'da M-07, Diyarbakır, İstanbul ve Ankara'da M-04, Erzurum'da M-01 modelleri verimli olmaktadır. Cephe opak yüzeyine fotovoltaiik panel yerleştirildiğinde ise Antalya, Diyarbakır, İstanbul ve Ankara illerinde M-07 modelinin, soğuk iklim bölgesinde olan Erzurum ilinde ise M-04 modelinin toplam enerji performansında olumlu sonuçlar doğurduğu görülmüştür. Erzurum ili için M-01 modelindeki gibi saydam cephe, zemine dik tasarlanmalı ve fotovoltaiik paneller enerji elde etmek için panellerin cepheye ayrı bir saçak modülü olarak eklenmesi düşünülmelidir.

Öneri çalışmalar

Çalışma kapsamında yapı kabuğundaki çıkmalar taşıyıcılık ve çevre binaları etkileyebilmesi nedeniyle 120 cm mesafesinde sınırlandırılmıştır. Özel durumlarda bu mesafe arttırılarak analizler yapılması önerilmektedir. Ayrıca yapı modelindeki değişkenin cephe eğimi olması nedeniyle yapı üst döşemesi tüm iklim bölgeleri için gezilemeyen teras çatı olarak ele alınmıştır. Ancak iklim tipine göre çatı tipinin değiştirilmesi ile enerji yüklerinde farklılıklara neden olacağı öngörülmektedir.

Yapı modelleri oluşturulurken bitmiş döşemeden 2.5 metre mesafede kabul edilen yatay aksın yüksekliği değiştirilerek yeni modellerin oluşturulması ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesi sağlanabilir.

Bunun yanında yapı kabuğu modellerinin günışığı kriterlerine göre incelenebilir.





KAYNAKLAR

- Abuşka, M. (2012). “Güneş Enerjisi ve Uygulamaları” Ders Notları. *Mühendis ve Makina*, 4(42), 33–54. <https://doi.org/10.17341/GUMMFD.57526>
- Alpur, İ. (2009). *Cam Giydirme Cephe Sistemlerinin Bileşenler Yönünden Karşılaştırılması*. 3.
- Atmaca, U. (2016). TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları standardındaki güncellemeler. *Tesisat Mühendisliği*, 154, 21–35. Retrieved from https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/727e44224c40ad9_ek.pdf
- Berköz, E. (1983). *Güneş Işınımı ve Yapı Dizayını*.
- Cebeci, T. ; Özçamur, İ. ; Arpacıoğlu, Ü. (2020). *Evaluation of the Architectural Properties of Adobe Structure According to Different Climate Types*. iii. [https://doi.org/10.1016/s0166-2481\(08\)70186-7](https://doi.org/10.1016/s0166-2481(08)70186-7)
- Cirit, A. (2012). *Binalarda Güneş Kontrol Elemanlarının Soğutma Enerjisi Yüklerine Etkisinin İrdelenmesine İlişkin Bir Çalışma*. 66, 37–39.
- Cüce, P. M.; Güçlü, T., & Besir, A. B; Cüce, E. (2019). *Enerji Verimli Binalar İçin Sürdürülebilir Ve Çevre Dostu Pencere Ve Cam Teknolojileri : Son Gelişmeler Ve Uygulamalar*. 503–522. <https://doi.org/10.17482/uumfd.562173>
- Demir, A. (1986). *Güneş Işınımından Korunmak Yararlanmak Amacıyla Mimaride Alınan Tedbirler Üzerine Bir Araştırma*.
- Dörter, C. (1994). *Konutlarda ısıtma enerjisi korunumu amaçlı mimari tasarıma yön verici ilkelerin ve çözümlerin belirlenmesinde bir yaklaşım araştırması*.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Wiley: Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Edition - John A. Duffie, William A. Beckman*. Retrieved from <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470873663.html>
- Dumlupınar, E. (2008). *Güneş Enerjisinden Edilgen Yararlanmanın Sürdürülebilir Mimarideki Yeri*.
- Durmaz, A. F. (2007). *Eğik Yüzeylere Gelen Güneş Işınımının Analizi ve Cam Yüzeylerden Geçen Güneş Işınımının Tespiti*.
- Efe, A. (2009). *Pasif güneş evlerinde bina kabuğu sistemi tasarımı*.
- Egan, D.W; Olgyay, V. (1983). *Architectural Lighting*. In *McGraw - Hill Higher Education* (Vol. 13).

- Erdemir, İ. (2014). *Sıcak Kuru İklim Bölgelerinde Enerji Korunumu-Yerleşme Dokusu-Form Etkileşimi: Geleneksel Diyarbakır Evleri Örneği*. 1, 43. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Erdemli, M. İ. (2018). Elektrokromik Kaplamalı Camın Farklı İklim Bölgelerine Göre Enerji Performansı Değerlendirilmesi. *Computers and Industrial Engineering*, 2(January), 6. Retrieved from <http://ieeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/IEEE-Reference-Guide.pdf> <http://wwwlib.murdoch.edu.au/find/citation/ieee.html> <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.022> <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper> <https://tore.tuhh.de/hand>
- Farahbakhsh, E. B. (2014). *Cam Yapı Malzemelerinin Farklı Derece Gün Bölgelerine Göre Değerlendirilmesi*.
- Franzetti, C., Fraisse, G., & Achard, G. (2004). Influence of the coupling between daylight and artificial lighting on thermal loads in office buildings. *Energy and Buildings*, 36(2), 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.10.005>
- Göksal, T. (1998). *Mimaride Güneş Enerjisi, Pasif Yöntemler ve Fotovoltaik Modüllerle Aktif Uygulama Olanakları Üzerine Bir Çalışma*.
- Göksu, Ç. (1999). *Güneş ve Kent*.
- Göksu, Ç. (2014). *Güneş Kentler ve Güneş Mimarisi*.
- Gratia, E.; Herde, A. (2003). *Design of low energy office buildings*. 35.
- Gülten, A.; Aksoy, T.; Bektaş, B. (2007). *Kentsel Tasarımda Bina Yönlendirilmesi ve Güneş Işınımı İlişkisi Kentsel Tasarımda Bina Yönlendirilmesi ve Güneş Işınımı İlişkisi*. (January 2007).
- Hastings, S., R., Wall, M. (2007). *Sustainable Solar Housing-1: Strategies and solution*, London ; Sterling, VA : Earthscan.
- İnanç, Ö. (2020). *ANALİZİ Özgür İNANÇ ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ Tez Danışmanı Prof. Dr. Sezayi YILMAZ*.
- Jianlin, R. ., Junjie, L. ., Xiaodong, C. ., & Yuefei, H. (2017). Influencing factors and energy-saving control strategies for indoor fine particles in commercial office buildings in six Chinese cities. *Energy and Buildings*, 149(2012), 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.061>
- Kasapo, E. (2014). *Çatı Eğiminin Belirlenmesinde Etkili Faktörler*.
- Kılıç, A. (2018). *Cephe Açıklıklarının İç Mekandaki Güneşliği Performansına Etkisinin*

- Konut Örneğinde İncelenmesi.* 15(April), 2017–2019.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>
- Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), 28–40.
- Kılıç, Z. A. (2018). *Cephe Açıklıklarının İç Mekandaki Güneşli Performansına Etkisinin Konut Örneğinde İncelenmesi.* 2(1). Retrieved from <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76887-8%0Ahttp://link.springer.com/10.1007/978-3-319-93594-2%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00007-3%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-0877-3%0Aht>
- Koca, B. (2020). Ofis Yapılarında Kullanılan Giydirme Cam Cephe Sistemlerinin Sürdürülebilir Açıda Enerji Etkinliklerinin İncelenmesi. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 21(1), 1–9.
- Koçlar Oral, G. (2010). Güneş Enerjisi ve Yapı. *Mimarlar Odası Diyarbakır Şubesi Bülten*, (41), 8–20.
- Kurdoğlu, B. Ç., Işık, B. Ö., & Bayramoğlu, E. (2013). Doğal-Yapay Peyzaj Materyalleri ve Kullanıcı İlişkisi: KTÜ Kanunu Yerleşkesi Örneği. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(1), 164–174.
- Kutlu, A. (1999). *Isı Kayıplarının Azaltılmasını Hedefleyen Bina Kabuğunun Bina Formuna Bağlı Olarak Belirlenmesi.*
- Lechner, N. (2014). *Heating, Cooling, Lighting Sustainable Design Methods for Architects.*
- Mazria, E. (1979). The Passive Solar Energy Book. *Rodela Press*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Metin, B. (2010). *Cephe Kaplama Sistemlerinin Uygulama Süreçlerinin Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi.* 2(5), 1–179. Retrieved from ???
- MGM, M. G. M. (2016). *Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi.*
- Moral Uğur, E. (2006). *Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları İle Bütünleştirilmesine Yönelik Bir Araştırma.*
- Ölçer B. (2019). *İKLİM KRİZİNDE BİM’İN ÜSTLENECEĞİ ROL.* 0–3.
- Olgay, V. (1963). *Design With Climate-Bioclimate Approach To Architectural Regionalism.* Princeton University Press, New Jersey.

- Orhon, İ., Küçükdoğu, M. Ş., Ok, V., 1988, “Doğal İklimlendirme”, Toplu Konut İşletmesi Proje Planlama Tasarım El Kitabı, TUBİTAK YAE, Yayın No: U.9, Ankara,
- Ovalı, P. (2009). *Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri Sistematığının Oluşturulması: Kayaköy*.
- Özdemir, B. B. (2005). *Sürdürülebilir Çevre İçin Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması*.
- Öztürk, M.Z., Çetinkaya, G., Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye’nin İklim Tipleri. *Journal of Geography*, 35, 17–27. <https://doi.org/10.26650/jgeog295515>
- Öztürk, H. (2012a). Antalya İklimi Koşullarında Sera Isıtma Amacıyla Güneş Enerjisinin Duyulur Isı Olarak Depolanması İçin Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği - Sayı 129 - Mayıs/Haziran 2012*, 6(9), 207–230.
- Öztürk, H. (2012b). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınları, İstanbul*.
- Roberts, S. & Guariento, N. (2009) *Building integrated photovoltaics: a handbook*. Berlin: Birkhäuser
- Şenpınar, A. (2006). *Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması*.
- Sev, A. ., Gür, V. ., & Özgen, A. (2003). *Cephenin Vazgeçilmez Saydam Malzemesi Cam*. 1–12.
- Sezer, F. Ş. (2005). Farklı Cam Türlerinin Performans Kriterlerinin İncelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 10(1), 15–21. <https://doi.org/10.17482/uujfe.69538>
- Soyyigit, S., Bostancıoğlu, E. (2012). Giydirme Cephe Bina Binalarında Cam Seçimi. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 12–13.
- Terzioğlu, H., Kazan, F. A., & Sungur, C. (2015). The irrigation system fed from biaxial PV panels. *Proceedings - 2015 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering, ICISCE 2015*, (September), 981–987. <https://doi.org/10.1109/ICISCE.2015.222>
- TS 825. (2013). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*.
- Uslusoy, S. (2012). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanan Enerji Etkin Binaların Yapı Bileşeni Açısından İrdelenmesi*. 172.

- Uyarel, A. Y., & Öz, E. S. (1987). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*.
- Varınca, K., & Gönüllü, M. T. (2012). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Arastırma. *Mühendis ve Makina*, 4(42), 33–54. <https://doi.org/10.17341/GUMMFD.57526>
- Waqas, A.; Haroon, F. ., & Awais, Q.; Mohsin, J. (2019). Design considerations of stand-alone solar photovoltaic systems. *2018 International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering, ICE Cube 2018*, (February 2019), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICECUBE.2018.8610970>
- Yılmaz, Z. (2006). Akıllı binalar ve yenilenebilir enerji. *Tesisat Mühendisliği*, 91, 7–15.
- Zeren, L., Berköz, E., Küçükdoğu, M. ve diğerleri (1987). Türkiye’de yeni yerleşmeler ve binalarda enerji tasarrufu amacıyla bir mevzuat modeline ilişkin çalışma. Çevre ve Şehircilik Uygulama-Araştırma Merkezi (UYGAR), İTÜ, İstanbul.
- Watson, D., Labs, K., (1992). “Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices”, McGraw-Hill Book Company, New York, s: 3-81
- (Url-1) <<https://docs.roguewave.com>> , erişim tarihi: 30.03.2020.
- (Url-2) <<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=9>> erişim tarihi: 18.01.2021
- (Url-3) <https://duzcam.sisecam.com/tr/mimari-camlar> erişim tarihi: 06.07.2021
- (Url-4) <https://turktasyapi.com/hizmetler/dis-cephe-sistemleri/seramik-cephe/> erişim tarihi: 10.08.2021
- (Url-5) <https://prekast.istanbul/> erişim tarihi: 10.08.2021
- (Url-6) <http://www.betofiber.com/uretim-montaj/teknik-bilgiler> erişim tarihi: 10.08.2021
- (Url-7) <https://performancecalculator.sisecamduzcam.com/> erişim tarihi: 13.08.2021
- (Url-8) <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2022/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-D7783A4F-2445-44B6-AD91-707348CE5130-htm.html> , erişim tarihi: 26.08.2021
- (Url-9) <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Revit-Customize/files/GUID-F09A2084-D202-47A2-AD26-5773E2D9C33D-htm.html> , erişim tarihi: 26.08.2021
- (Url-10) <https://www.cupapizarras.com/be-fr/actualite/types-de-toitures/> erişim tarihi: 07.09.2021
- (Url-11) <http://urbanalyse.com/research/brise-soleil-study-2/> Erişim tarihi: 11.09.2021

- (Url-12) <https://www.hisour.com/the-museum-of-modern-art-in-rio-de-janeiro-brazil-6573/> Erişim tarihi: 12.09.2021
- (Url-13) <https://info.imiweb.org/blog/winners-of-inaugural-joan-b.-calambokidis-innovation-in-masonry-competition-offer-new-design-construction-possibilities> Erişim tarihi: 17.09.2021
- (Url-14) <https://www.eco2solar.co.uk/solar-heating/> Erişim tarihi: 28.09.2021
- (Url-15) <https://www.viessmann.com.tr/tr/konut/fotovoltaik/fotovoltaik-moduller/vitovolt-300.html> Erişim tarihi: 29.09.2021
- (Url-16) <https://okuizleuygula.com/oku/monokristal-ve-polykristal-gunes-panelleri-arasindaki-farklar> Erişim tarihi: 30.09.2021
- (Url-17) <https://solarviz.com/gunes-hucre-cesitleri/> Erişim tarihi: 30.09.2021
- (Url-18) <http://solarhousehistory.com/blog/2017/4/9/solar-form-self-shading> Erişim tarihi: 24.11.2021
- (Url-19) <https://projects.archiexpo.com/project-227.html> Erişim tarihi: 24.11.2021
- (Url-20) https://www.archdaily.com/884867/five-manhattan-west-rex/5a260910b22e388eef0000b7-five-manhattan-west-rex-image?next_project=no
- (Url-21) <https://www.thorntontomasetti.com/project/federation-korean-industries-headquarters> Erişim tarihi: 25.11.2021
- (Url-22) <https://architizer.com/projects/federation-of-korean-industries/> Erişim tarihi: 25.11.2021
- (Url-23) <https://www.gnssolar.com/icerik/860/turkiye-gunes-haritasi>
- (Url-24) <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/7.aspx> Erişim tarihi: 08.12.2021
- (Url-25) <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/21.aspx> Erişim tarihi: 08.12.2021
- (Url-26) <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/34.aspx> Erişim tarihi: 08.12.2021
- (Url-27) <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/6.aspx> Erişim tarihi: 08.12.2021
- (Url-28) <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/25.aspx> Erişim tarihi: 08.12.2021