

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN KONUT
BİNALARININ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE
KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM**

DOKTORA TEZİ

Suzi Dilara MANGAN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN KONUT
BİNALARININ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE
KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM**

DOKTORA TEZİ

**Suzi Dilara MANGAN
(502062608)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gül Koçlar ORAL

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502062608 numaralı Doktora Öğrencisi **Suzi Dilara MANGAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN KONUT BİNALARININ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gül Koçlar ORAL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Hakan YAMAN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Murat ÇAKAN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gülay Zorer GEDİK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa ÖZGÜNLER

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Teslim Tarihi : **1 Aralık 2014**

Savunma Tarihi : **6 Ocak 2015**

Canım Aileme,

ÖNSÖZ

Konut binalarının, gelişmiş ülkelerde olduğu gibi gelişmekte olan Türkiye’de de, enerji tüketimi ve enerji tüketimine bağlı CO₂ salımlarından yüksek oranda sorumlu olduğu bilinmektedir. Yeni konut binalarının tasarımında ya da mevcut konut binalarının iyileştirilmesinde enerji etkin yaklaşımın dikkate alınmamasının çevresel problemlere yol açtığı da açıktır. Özellikle konut binalarında yenilenemeyen kaynakların kullanılması, kullanılan kaynakların kıt ve tükenbilir olması, kaynakların kullanımının çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve yüksek enerji maliyetleri konut enerji performansının yaşam döngüsü açısından değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu nedenle, bu çalışmada “Yaşam Döngüsü Enerji ve Maliyet Etkinliği Açısından Konut Binalarının Performanslarının Değerlendirilmesinde Kullanılabilir Bir Yaklaşım” geliştirilmiştir.

Tez çalışması sürecinin tüm aşamalarında her açıdan yardımcı olan, önemli katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Gül Koçlar Oral’a minnet borcluyum. Tez izleme komitesinde yer alarak değerli görüşlerinden yararlandığım hocalarım Doç.Dr. Hakan Yaman (İ.T.Ü. Mimarlık Bölümü) ve Yrd.Doç.Dr. Murat Çakan’a (İ.T.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü) sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışma süresince destek ve yardımını esirgemeyen Prof. Dr. Alpin Köknel Yener’e teşekkür ederim.

Bu çalışma sürecinde İ.T.Ü. Lisansüstü Tezlerini Destekleme Programı çerçevesinde İ.T.Ü. Bilimsel Araştırma Birimi’ne (BAP) destekleri için teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında gereksinim duyduğum her konuda yardımlarını esirgemeyen, Himerpa A.Ş., Şişecam A.Ş., Özden Cam San. ve Tic. Ltd. Şti, Onduline Avrasya İnşaat Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş., Hounter Douglas Türkiye, MCM Dış Ticaret ve Pazarlama Tekstil Sanayi Ltd. Şti. ve Schüco İstanbul Uluslararası İnş. Tic. Ltd. Şti yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince yoğun çalışma dönemlerinde bana sabreden ve desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, bu tez çalışmamı, hayatımın her safhasında beni yalnız bırakmayan, desteklerini esirgemeyen, her açıdan sabır ve anlayış gösteren, varlıklarıyla güç bulduğum sevgili Aileme adanmak isterim. Kızları olmaktan onur duyduğum sevgili annem Zakire Mangan’a ve sevgili babam Şerafettin Mangan’a, canım kardeşlerim Esra Didar Sari ve Op.Dr. Mehmet Serhat Mangan’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2015

Suzi Dilara MANGAN
(Yüksek Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ	xxi
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Literatür Araştırması	8
1.2.1 Enerji tasarrufu sağlayan önlemlerin değerlendirilmesi	8
1.2.2 Enerji üreten sistemlerin değerlendirilmesi	20
1.2.3 Enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve enerji üreten sistemlerin birlikte değerlendirilmesi.....	25
1.2.4 Yöntemlerin tartışılması.....	31
2. KONUTLARDA ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ.....	35
2.1 Konutlarda Enerji Etkinliği	35
2.2 Konutlarda Enerji Performansı.....	36
2.2.1 Konut enerji performansında etkili olan değişkenler	37
2.2.1.1 İklimle ilişkin değişkenler	37
2.2.1.2 Binaya ilişkin değişkenler	39
2.2.1.3 Kullanıcıya ilişkin değişkenler.....	42
2.2.2 Konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan stratejiler	43
2.2.2.1 Enerji tasarrufu sağlayan önlemler.....	44
2.2.2.2 Enerji üreten sistemler.....	49
2.2.3 Konut enerji performansının değerlendirilmesine ilişkin mevzuatlar.....	56
2.2.3.1 Avrupa Birliği'nde konut enerji performansının değerlendirilmesine ilişkin mevzuatlar	57
2.2.3.2 Türkiye'de konut enerji performansının değerlendirilmesine ilişkin mevzuatlar	63
2.3 Konutlarda Maliyet Etkinliği	68
2.3.1 Ekonomik performans değerlendirme yöntemleri	69
2.3.2 Ekonomik performansın değerlendirilmesinde gereksinim duyulan veriler	71
2.3.3 Ekonomik performansın değerlendirilmesinde etkili olan stratejiler	74
3. KONUTLARDA YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE EKONOMİK PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	77
3.1 Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) Yöntemi	78
3.2 Yaşam Döngüsü Enerji (YDE) Analizi	82
3.3 Yaşam Döngüsü CO ₂ (YDCO ₂) Analizi	85

3.4 Yaşam Döngüsü Maliyet (YDM) Analizi	87
4. YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN KONUT BİNALARININ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM.....	93
4.1 Yaklaşımın Amacı	93
4.2 Yaklaşımın Adımları	93
4.2.1 Referans konut binasının tanımlanması	94
4.2.1.1 İklima ilişkin değişkenler	94
4.2.1.2 Binaya ilişkin değişkenler	96
4.2.1.3 Kullanıcıya ilişkin değişkenler	96
4.2.1.4 Aktif bina alt sistemlerine ilişkin değişkenler	96
4.2.2 İyileştirme önlemlerinin tanımlanması.....	96
4.2.3 Referans konut binasının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi	98
4.2.3.1 Yaşam döngüsü enerji (YDE) analizi.....	98
4.2.3.2 Yaşam döngüsü CO ₂ (YDCO ₂) analizi	105
4.2.3.3 Yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi.....	108
4.2.4 Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından farklı iklim bölgeleri için optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesi ve optimum iyileştirme kombinasyonlarının tanımlanması	112
4.2.5 Optimum iyileştirme kombinasyonlarının referans konut binasına göre enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin belirlenmesi	113
5. YAKLAŞIMIN TÜRKİYE’NİN FARKLI İKLİM BÖLGELERİ İÇİN UYGULANMASI	115
5.1 Uygulama Çalışmasının Amacı.....	115
5.2 Uygulama Çalışmasının Adımları	115
5.2.1 Referans konut binasının tanımlanması	116
5.2.1.1 İklima ilişkin değişkenler	118
5.2.1.2 Binaya ilişkin değişkenler	119
5.2.1.3 Kullanıcıya ilişkin değişkenler	121
5.2.1.4 Aktif bina alt sistemlerine ilişkin değişkenler	121
5.2.2 İyileştirme önlemlerinin tanımlanması.....	121
5.2.3 Referans konut binasının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi	127
5.2.3.1 Yaşam döngüsü enerji (YDE) analizi.....	128
5.2.3.2 Yaşam döngüsü CO ₂ (YDCO ₂) analizi	132
5.2.3.3 Yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi.....	134
5.2.4 Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından farklı iklim bölgeleri için optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesi ve optimum iyileştirme kombinasyonlarının tanımlanması	139
5.2.5 Optimum iyileştirme kombinasyonlarının referans konut binasına göre enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin belirlenmesi	168
6. SONUÇLAR	173
KAYNAKLAR.....	187
EKLER.....	203
ÖZGEÇMİŞ	315

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternating current
AM	: Air Mass
ASHRAE	: The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
ASTM	: The American Society for Testing and Materials
BCIS	: Building Cost Information System
BDF	: Bugünkü Değer Faktörü
BEP	: Binalarda Enerji Performansı
BEP-TR	: Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi-Türkiye
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
B&OM	: Bakım-onarım maliyeti
BOS	: Balance of System Components
CAD	: Computer-Aided Design
CEEC	: Construction Economist European Community
CEN	: European Committee for Standardization
CFD	: Computational Fluid Dynamics
CIB	: International Council for Research and Innovation in Building and Construction
CO₂	: Carbon dioxide
COP	: Coefficient of Performance
DA	: Duyarlılık Analizi
DC	: Direct Current
EED	: Enerji Etkinlik Düzeyi
EGO	: Enerji Geri Ödeme Oranı
EGS	: Enerji Geri Ödeme Süresi
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
EM	: Enerji Maliyeti
EN	: European Standards
EPA	: Environmental Protection Agency
EPBD	: Energy Performance of Buildings Directive
EPBT	: Energy Payback Time
EPS	: Ekspande Polistren
EPIQR	: Energy Performance Indoor Environmental Quality Retrofit
ERF	: Energy Return Factor
ES	: Energy Surplus
EÜS	: Enerji Üreten Sistemler
GE	: Gömülü Enerji
GK	: Gömülü Karbon
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HA	: Harmoni Araştırması
HVAC	: Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems.
IDF	: Intermediate Data Format

IEA	: International Energy Agency
IECC	: International Energy Conservation Code
IM	: İlk yatırım maliyeti
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	: International Organization for Standardization
İDEP	: Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı
İGS	: İskonto edilmiş Geri Ödeme Süresi
KE	: Kullanım Enerjisi
KGO	: CO ₂ Salımı Geri Ödeme Oranı
KGS	: CO ₂ Salımı Geri Ödeme Süresi
KK	: Kullanım Karbonu
KM	: Kullanım Maliyeti
MPP	: Maximum Power Point
NatHERS	: Nationwide House Energy Rating Scheme
NBD	: Net Bugünkü Değer
PV	: Photovoltaic
PVC	: Polyvinyl Chloride
SETAC	: Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SHGC	: Solar Heat Gain Coefficient
STC	: Standart Test Conditions
TCMB	: Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TMY	: Typical Meteorological Year
TOKİ	: Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
TS	: Türk Standartları
UNDP	: United Nations Development Programme
XPS	: Ekstrüde Polistren
YDCO₂	: Yaşam Döngüsü CO ₂
YDD	: Yaşam Döngüsü Değerlendirme
YDE	: Yaşam Döngüsü Enerji
YDET	: Yaşam Döngüsü Enerji Tüketimi
YDM	: Yaşam Döngüsü Maliyet

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Enerji etkinlik düzeyi (EED) tanımı ve esas alınan dönem.....	9
Çizelge 1.2 : EED'ye ilişkin EPIQR değerleri.	10
Çizelge 1.3 : Isıl performans alternatifleri.....	12
Çizelge 1.4 : Alternatifler kapsamında dikkate alınan değişkenler.	12
Çizelge 1.5 : Maliyet analizi kapsamında ele alınan senaryolara ilişkin kabuller.....	24
Çizelge 1.6 : Önerilen temel ve gelişmiş iyileştirmelere ilişkin değişkenler	28
Çizelge 3.1 : Bir binaya ilişkin yaşam döngüsü evreleri	81
Çizelge 3.2 : Enerji ve karbon terimleri arasındaki ayırım.....	87
Çizelge 3.3 : Yinelenmeyen ve yinelenen maliyetler	90
Çizelge 5.1 : Türkiye'nin iklim bölgelerine ilişkin veriler	118
Çizelge 5.2 : Temsili illere ilişkin veriler	119
Çizelge 5.3 : Cam sistemlerine ilişkin veriler.....	124
Çizelge 5.4 : Parça eğim açıları ve zaman aralıkları	125
Çizelge 5.5 : PV sistem yüzey alanı ve kurulu güç değerleri	127
Çizelge 5.6 : İyileştirme önlemlere ilişkin alternatifler	129
Çizelge 5.7 : İyileştirme önlemlerine ilişkin birim maliyetler.....	136
Çizelge 5.8 : Duyarlılık analizlerine ilişkin kabuller.....	138
Çizelge 5.9 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin veriler	139
Çizelge B.1 : Referans konut binası ve konut bloğu B-2'ye ilişkin veriler.....	216
Çizelge B.2 : Konut bloğu B-3'e ilişkin veriler.....	217
Çizelge B.3 : Konut bloğu B-4 ve B-5'e ilişkin veriler.....	218
Çizelge B.4 : Konut bloğu B-6'ya ilişkin veriler.....	219
Çizelge B.5 : Konut bloğu B-7'ye ilişkin veriler.....	220
Çizelge B.6 : Referans konut binası bileşenlerine ilişkin veriler.....	221
Çizelge C.1 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDE ve YDCO ₂ analiz sonuçları	225
Çizelge C.2 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDE ve YDCO ₂ analiz sonuçları	226
Çizelge C.3 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDE ve YDCO ₂ analiz sonuçları	227
Çizelge C.4 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDE ve YDCO ₂ analiz sonuçları	228
Çizelge C.5 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDE ve YDCO ₂ analiz sonuçları	229
Çizelge C.6 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDM analiz sonuçları	268
Çizelge C.7 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDM analiz sonuçları	269
Çizelge C.8 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDM analiz sonuçları	270

Çizelge C.9 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDM analiz sonuçları.....	271
Çizelge C.10 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDM analiz sonuçları	272
Çizelge C.11 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin YDE ve YDCO ₂ analiz sonuçları.....	305
Çizelge C.12 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin YDM analiz sonuçları	309

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Analizler kapsamında dikkate alınan YDM yaklaşımı.....	11
Şekil 1.2 : YDM ve CO ₂ salımı için Pareto eğrisi	17
Şekil 1.3 : Enerji tüketimi ve net bugünkü değerleri	19
Şekil 1.4 : Yaşam döngüsü birincil enerji tüketimi ve küresel ısınma potansiyeli....	27
Şekil 1.5 : Kümülatif YDM ve YDM sonuçları (100 yıl).....	31
Şekil 3.1 : Yaşam döngüsü enerji analizi için sistem sınırı	83
Şekil 4.1 : Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının performanslarının değerlendirilmesinde kullanılabilir yaklaşımın şematik açıklaması.....	95
Şekil 4.2 : Bina kabuğunun enerji etkin optimizasyonuna ilişkin iyileştirme önlemleri	97
Şekil 4.3 : Referans konut binasının yaşam döngüsü enerji ve çevresel performanslarının değerlendirilmesine ilişkin akış şeması	99
Şekil 4.4 : Referans konut binasının yaşam döngüsü ekonomik performansının değerlendirilmesine ilişkin akış şeması	109
Şekil 5.1 : Mevcut toplu konut uygulamasının uydu görüntüsü	117
Şekil 5.2 : Mevcut toplu konut uygulamasının genel görüntüsü	117
Şekil 5.3 : Mevcut toplu konut uygulamasının model görüntüsü	131
Şekil 5.4 : İstanbul ili için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	140
Şekil 5.5 : İstanbul ili için çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	141
Şekil 5.6 : İstanbul ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	142
Şekil 5.7 : İstanbul ili için cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	143
Şekil 5.8 : İstanbul ili için güneş kontrol elemanlarının kullanımına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	144
Şekil 5.9 : İstanbul ili için PV sistem uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	145
Şekil 5.10 : Ankara ili için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	146
Şekil 5.11 : Ankara ili için çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	147
Şekil 5.12 : Ankara ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	148
Şekil 5.13 : Ankara ili için cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	149
Şekil 5.14 : Ankara ili için güneş kontrol elemanlarının kullanımına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	150

Şekil 5.15 : Ankara ili için PV sistem uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	150
Şekil 5.16 : Antalya ili için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	151
Şekil 5.17 : Antalya ili için çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	152
Şekil 5.18 : Antalya ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	154
Şekil 5.19 : Antalya ili için cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	154
Şekil 5.20 : Antalya ili için güneş kontrol elemanlarının kullanımına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	155
Şekil 5.21 : Antalya ili için PV sistem uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	156
Şekil 5.22 : Diyarbakır ili için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	157
Şekil 5.23 : Diyarbakır ili için çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	158
Şekil 5.24 : Diyarbakır ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	159
Şekil 5.25 : Diyarbakır ili için cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	160
Şekil 5.26 : Diyarbakır ili için güneş kontrol elemanlarının kullanımına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	161
Şekil 5.27 : Diyarbakır ili için PV sistem uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	162
Şekil 5.28 : Erzurum ili için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	163
Şekil 5.29 : Erzurum ili için çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	164
Şekil 5.30 : Erzurum ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	165
Şekil 5.31 : Erzurum ili için cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları	166
Şekil 5.32 : Erzurum ili için güneş kontrol elemanlarının kullanımına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	167
Şekil 5.33 : Erzurum ili için PV sistem uygulamasına ilişkin YDE, YDCO ₂ ve YDM analiz sonuçları.....	167
Şekil A.1 : Modele ilişkin veri hiyerarşisi	205
Şekil B.1 : Mevcut toplu konut uygulamasının vaziyet planı	213
Şekil B.2 : Referans konut binasının kat planları: (a) 2.bodrum kat. (b) 1.bodrum kat. (c) zemin kat. (d) normal kat. (e) dubleks kat. (f) çatı planı	214
Şekil B.3 : Referans konut binasının cephe görünüşleri: (a) doğu cephesi. (b) batı cephesi. (c) güney cephesi. (d) kuzey cephesi.	215
Şekil C.1 : İyileştirme önlemlerine ilişkin gömülü enerji değerleri.	230
Şekil C.2 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin nihai enerji tüketim değerleri.	231
Şekil C.3 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin nihai enerji tüketim değerleri.	232

Şekil C.4 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin nihai enerji tüketim değerleri.....	233
Şekil C.5 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin nihai enerji tüketim değerleri.....	234
Şekil C.6 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin nihai enerji tüketim değerleri.....	235
Şekil C.7 : İller için ele alınan PV sistemlere ilişkin nihai enerji üretim ve enerji kapsama faktörü değerleri.	236
Şekil C.8 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım enerjisi değerleri.....	237
Şekil C.9 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım enerjisi değerleri.....	238
Şekil C.10 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım enerjisi değerleri.....	239
Şekil C.11 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım enerjisi değerleri.	240
Şekil C.12 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım enerjisi değerleri.....	241
Şekil C.13 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GE, KE ve YDET değerleri.	242
Şekil C.14 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GE, KE ve YDET değerleri.	243
Şekil C.15 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GE, KE ve YDET değerleri.	244
Şekil C.16 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GE, KE ve YDET değerleri.	245
Şekil C.17 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GE, KE ve YDET değerleri.	246
Şekil C.18 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süreleri.....	247
Şekil C.19 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süreleri.....	248
Şekil C.20 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süreleri.....	249
Şekil C.21 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süreleri.....	250
Şekil C.22 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süreleri.....	251
Şekil C.23 : İyileştirme önlemlerine ilişkin gömülü karbon değerleri.....	252
Şekil C.24 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım karbonu değerleri.....	253
Şekil C.25 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım karbonu değerleri.....	254
Şekil C.26 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım karbonu değerleri.....	255
Şekil C.27 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım karbonu değerleri.....	256
Şekil C.28 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım karbonu değerleri.....	257

Şekil C.29 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GK, KK ve YDCO ₂ salım değerleri.....	258
Şekil C.30 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GK, KK ve YDCO ₂ salım değerleri.....	259
Şekil C.31 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GK, KK ve YDCO ₂ salım değerleri.....	260
Şekil C.32 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GK, KK ve YDCO ₂ salım değerleri.....	261
Şekil C.33 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GK, KK ve YDCO ₂ salım değerleri.....	262
Şekil C.34 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin CO ₂ salımı geri ödeme oranı ve CO ₂ salımı geri ödeme süreleri.....	263
Şekil C.35 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin CO ₂ salımı geri ödeme oranı ve CO ₂ salımı geri ödeme süreleri.....	264
Şekil C.36 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin CO ₂ salımı geri ödeme oranı ve CO ₂ salımı geri ödeme süreleri.....	265
Şekil C.37 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin CO ₂ salımı geri ödeme oranı ve CO ₂ salımı geri ödeme süreleri.....	266
Şekil C.38 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin CO ₂ salımı geri ödeme oranı ve CO ₂ salımı geri ödeme süreleri.....	267
Şekil C.39 : İyileştirme önlemlerine ilişkin ilk yatırım maliyetleri.....	273
Şekil C.40 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım maliyetleri.....	274
Şekil C.41 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım maliyetleri.....	275
Şekil C.42 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım maliyetleri.....	276
Şekil C.43 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım maliyetleri.....	277
Şekil C.44 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım maliyetleri.....	278
Şekil C.45 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.....	279
Şekil C.46 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.....	280
Şekil C.47 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.....	281
Şekil C.48 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.....	282
Şekil C.49 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.....	283
Şekil C.50 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.....	284
Şekil C.51 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.....	285
Şekil C.52 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.....	286
Şekil C.53 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.....	287

Şekil C.54 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri	288
Şekil C.55 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.....	289
Şekil C.56 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları.....	290
Şekil C.57 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.....	291
Şekil C.58 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları.....	292
Şekil C.59 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.....	293
Şekil C.60 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları.....	294
Şekil C.61 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.....	295
Şekil C.62 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları	296
Şekil C.63 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.....	297
Şekil C.64 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları.....	298
Şekil C.65 : İller için ele alınan PV sistemlere ilişkin DA6 ve DA7 duyarlılık analiz sonuçları.....	299
Şekil C.66 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDET ve YDM değerleri.....	300
Şekil C.67 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDET ve YDM değerleri	301
Şekil C.68 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDET ve YDM değerleri.....	302
Şekil C.69 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDET ve YDM değerleri.....	303
Şekil C.70 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDET ve YDM değerleri.....	304
Şekil C.71 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin nihai enerji tüketim ve enerji kapsama faktörü değerleri	306
Şekil C.72 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin GE, KE ve YDET değerleri	307
Şekil C.73 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin GK, KK ve YDCO ₂ salım değerleri	308
Şekil C.74 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin İM, KM ve YDM değerleri	310
Şekil C.75 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.....	311
Şekil C.76 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analizleri sonuçları.....	312
Şekil C.77 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analizleri sonuçları	313
Şekil C.78 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin DA6 ve DA7 duyarlılık analizleri sonuçları.....	314

SEMBOL LİSTESİ

Birim

λ	: Isı iletkenlik katsayısı.....	W/mK
α	: Isı taşınım katsayısı.....	W/m ² K
U	: Toplam ısı geçirme katsayısı.....	W/m ² K
U_D	: Dış duvar bileşeninin toplam ısı geçirme katsayısı.....	W/m ² K
U_T	: Çatı bileşeninin toplam ısı geçirme katsayısı.....	W/m ² K
U_t	: Toprağa temas eden döşeme bileşeninin toplam ısı geçirme katsayısı.....	W/m ² K
U_p	: Saydam bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı.....	W/m ² K
U_{cam}	: Camın toplam ısı geçirme katsayısı.....	W/m ² K
d	: Katman kalınlığı.....	m
GE_i	: İlk gömülü enerji değeri.....	kWh
GE_y	: Yinelenen gömülü enerji değeri.....	kWh
GK_i	: İlk gömülü karbon değeri.....	kgCO ₂
GK_y	: Yinelenen gömülü karbon değeri.....	kgCO ₂
L_b	: Binanın yaşam ömrü.....	yıl
L_{mi}	: Malzemenin yaşam ömrü.....	yıl
m_i	: Yapı malzemesinin miktarı.....	kg
M_i	: Birim miktar malzemenin içerdiği enerji miktarı.....	kWh/kg
K_i	: Birim miktar malzemenin içerdiği CO ₂ miktarı.....	kgCO ₂ /kg
Y_r	: Referans kazanç.....	saat
Y_f	: Nihai PV sistem kazancı.....	kWh/kWp
H_i	: Yatay düzlem üzerindeki günlük ışıınım değeri.....	kWh/m ²
G_{STC}	: Standart test koşulları altındaki referans ışıınım değeri.....	kWh/m ²
P_0	: Pik güç.....	kWp
β	: PV sistemin eğim açısı.....	°
h	: PV sistemin yüksekliği.....	m
b	: PV panelin genişliği.....	m
E_{PV}	: PV sistemden üretilen yıllık enerji miktarı.....	kWh/y
I	: Güneş ışıınım değeri.....	kWh/m ² y
A_{PV}	: PV modülün alanı.....	m ²
η_{gh}	: Güneş hücresi etkinliği.....	%
η_{BOS}	: Sistem dengeleyici bileşenlerin etkinliği.....	%
n_{PV}	: PV modül dizisi sayısı.....	
δ	: PV modül güç çıkışındaki azalma.....	%
C_{PV}	: Enerji kapsama faktörü.....	%
$E_{T,e}$: Referans konut binasına ilişkin yıllık elektrik enerjisi tüketimi.....	kWh/y
$E_{T,yakıt}$: Yakıt cinsine ilişkin yıllık enerji tüketimi.....	kWh/y
$f_{p,yakıt}$: Yakıt cinsine ilişkin birincil enerji dönüşüm katsayısı.....	
$f_{p,PV}$: PV sistemden üretilen elektrik enerjisine ilişkin birincil enerji dönüşüm katsayısı.....	
$f_{CO_2,yakıt}$: Yakıt cinsine göre CO ₂ salımı dönüşüm katsayısı.....	..kgCO ₂ /kWh

$f_{CO_2,PV}$: PV sistemden üretilen elektrik enerjisine dayalı olarak önlenilen CO ₂ salımına ilişkin dönüşüm katsayısı	kgCO ₂ /kWh
ΔKE_T	: Toplam kullanım enerjisindeki değişim	kWh
ΔGE_T	: Toplam gömülü enerjisindeki değişim	kWh
ΔKK_T	: Toplam kullanım karbonundaki değişim.....	kgCO ₂
ΔGK_T	: Toplam gömülü karbonundaki değişim.....	kgCO ₂
A_i	: Yapı malzemesi ya da bileşenin alanı	m ²
$M_{b,i}$: Malzeme ya da bileşene ilişkin birim maliyet	TL/m ²
$M_{b,yakıt}$: Yakıt cinsine ilişkin birim maliyet	TL/kWh
$M_{b,PV}$: PV sistemden üretilen elektrik enerjisine ilişkin birim maliyet ...	TL/kWh
i	: İskonto oranı	%
n	: Yaşam döngüsü	yıl
EM_B	: Enerji maliyetinin bugünkü değeri	TL
$B\&OM_B$: Bakım-onarım maliyetinin bugünkü değeri.....	TL
KM_B	: Kullanım maliyetinin bugünkü değeri.....	TL
ΔKM	: Kullanım maliyetinde sağlanan tasarruf değeri.....	TL
Alt	: Alternatif.....	
K_{opt}	: Optimum iyileştirme kombinasyonu	

YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN KONUT BİNALARININ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Günümüzde, küreselleşen enerji ve çevre sorunlarının hızlı ve maliyet etkin olarak çözüme ulaştırılması ve sürdürülebilir, ekonomik kalkınmanın sağlanması açısından enerji etkinlik düzeyinin geliştirilmesi, tüm gelişmiş ülkelerin enerji politikalarının odak noktasını oluşturmaktadır. Enerji etkinliği, giderek artan çevresel sorunlar karşısında çevresel gelişme ve ekonomik kalkınma arasındaki dengeyi koruyarak enerji, ekonomi ve çevre ile ilgili politikaların üretilmesini ve sürdürülebilirliğini önemli ölçüde belirleyen bir olgudur.

Bu bağlamda, dünya genelinde tüketilen enerji ve enerji tüketimlerine bağlı CO₂ salımlarından yüksek düzeyde sorumlu olan konut binalarının enerji, ekonomik ve çevresel açıdan gösterdikleri performansın değerlendirilerek enerji tüketimlerinin azaltılmasına yönelik çözüm önerilerinin geliştirilmesi gerekli olmaktadır. Konut enerji performanslarının iyileştirilmesi ile konut binalarının enerji etkinlik düzeyinin artırılacağı ve böylece önemli oranda enerji tasarrufunun sağlanabileceği bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, tüm dünyada bina enerji performansının iyileştirilmesine ilişkin çalışmalar, hammaddelerin çıkarımı ve malzemelerin üretiminden binaların tasarım, yapım, kullanım ve bakım, yeniden kullanım ya da yıkım evrelerine kadar yaşam döngüsü içerisinde, binaların maliyet etkinliğinin de değerlendirilmesini hedefleyen ve dolayısıyla toplam ekonomik ve çevresel etki ve performanslarını dikkate alan bütüncül süreçlerin tanımlanması çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Özellikle, konut binalarının enerji performanslarının geliştirilmesine yönelik düzenlenen yasal mevzuatlar aracılığı ile her ülke kendi koşulları çerçevesinde uyulması gereken zorunlulukları belirlemekte, Türkiye’de de bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında konut binalarında enerji ve maliyet etkin çözüm önerilerinin geliştirilmesi giderek artan enerji talebi ve enerji fiyatları göz önünde bulundurulduğunda, ülke enerji ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır.

Tez çalışması kapsamında, ülke kaynakları ve karar vericiler açısından optimum faydanın elde edilmesi hedefine yönelik konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan önlemlerin farklı iklim bölgeleri için geliştirilmesi ve bu önlemlere ilişkin konut binalarının enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç çerçevesinde geliştirilen yaklaşım;

- yaşam döngüsü enerji tüketimi, CO₂ salımı ve maliyetler açısından konut binalarında optimum performansın sağlandığı iyileştirme önlemlerinin ve
- farklı iklim bölgeleri için uygun optimum iyileştirme kombinasyonlarının tanımlanmasını hedeflemektedir.

Bu hedef doğrultusunda, tez çalışması, altı bölümden oluşmaktadır.

Bölüm 1’de tez çalışmasının önemi, kapsamı, amacı açıklanmakta, bu amaca yönelik yapılmış önceki çalışmalar ve yöntemler irdelenmekte ve tartışılmaktadır.

Bölüm 2’de konutlarda enerji ve maliyet etkinliği tanımlanmakta, enerji ve maliyet etkinliğin belirlenmesinde etkili olan değişkenler açıklanmaktadır.

Bölüm 3’te konutlarda yaşam döngüsü enerji ve ekonomik performanslarının değerlendirilmesine ilişkin kullanılabilir “Yaşam Döngüsü Değerlendirme”, “Yaşam Döngüsü Enerji”, “Yaşam Döngüsü CO₂” ve “Yaşam Döngüsü Maliyet” yöntemleri açıklanmaktadır.

Bölüm 4’te yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının farklı iklim bölgeleri için optimum performanslarının değerlendirilmesinde kullanılabilir yaklaşım açıklanmaktadır.

Geliştirilen yaklaşımın başlıca adımları olarak,

- referans konut binasının tanımlanması,
- iyileştirme önlemlerinin tanımlanması,
- referans konut binasının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi,
- yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından farklı iklim bölgeleri için optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesi ve optimum iyileştirme kombinasyonlarının tanımlanması,
- optimum iyileştirme kombinasyonlarının referans konut binasına göre yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin belirlenmesi

adımları açıklanmaktadır.

Bölüm 5’te, geliştirilen yaklaşım çerçevesinde farklı iklim bölgeleri için ele alınan referans konut binasına ilişkin yapılan uygulama çalışması açıklanmaktadır. Çalışmada referans konut binası olarak Türkiye’de konut üretiminde etkin rol oynayan TOKİ tarafından inşa edilmiş, yaygın kullanılan yapım teknolojilerini ve tasarım kriterlerini barındıran mevcut bir toplu konut projesi ele alınmaktadır. Toplu konut uygulaması kapsamındaki konut bloklarından biri, referans konut binası olarak tanımlanmakta ve Türkiye’nin farklı iklim bölgelerini temsil eden beş ilde mevcut olduğu varsayılmaktadır. Böylelikle, yapılan uygulama çalışması sonucunda belirtilen amaca uygun olarak konut binalarının farklı iklim bölgeleri için yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performanslarının değerlendirilebildiği ve optimum iyileştirme kombinasyonlarının tanımlanabildiği görülmektedir.

Bölüm 6’da, tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar açıklanmaktadır.

AN APPROACH FOR THE EVALUATION OF THE RESIDENTIAL BUILDINGS' PERFORMANCES IN TERMS OF LIFE CYCLE ENERGY AND COST EFFICIENCY

SUMMARY

Today, the speed and cost-effective solutions for globalized energy and environment problems and the improvement of energy efficiency level in terms of establishing a sustainable economic development constitute the basis of energy policies in all developed countries. The energy efficiency keeps the balance between environmental development and economic growth against great environmental problems. Therefore, it considerably determines producing policies of economy and environment and their maintainability.

In this context, residential buildings are highly responsible for the energy consumed world-wide and CO₂ emissions due to the energy consumption. Therefore, it is necessary to evaluate the energy, economic and environmental performance of residential buildings and to suggest solutions to reduce the energy consumption. It is a well-known fact that improving building energy performance may increase the energy efficiency level of residential buildings; so a significant amount of energy saving could be provided. The studies regarding building energy performance are carried on worldwide within the framework of defining integrated processes aiming to evaluate the cost efficiency and also considering total economic and environmental affect and performance of buildings during the life cycle from raw material extraction and material production to the building design, construction, use and maintenance, reuse or demolition stages. Especially, each country determines own obligations by legal regulations with regard to the improvement of energy performance of residential buildings.

Turkey carries on the studies regarding improvement and application of legislations considering the responsibilities to be met because of being a party of United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2004) and Kyoto Protocol (2009) and an EU candidate country. Under the light of these studies, it is possible for Turkey to maintain the energy and environment policies by means of increasing the energy efficiency in all sectors. In terms of the national strategic goals such as providing the security of energy supply, environmental protection, raising awareness in the fight against climate change, the existing residential buildings have a significant energy savings potential. Therefore, increasing energy efficiency level in residential buildings should be recognized as an essential solution suggestion in reducing energy consumption. When taken into the account the ever-increasing energy demand and energy prices, this suggestion is essential for the national energy policy. Therefore, it is a primarily considered issue that the building sector, having the highest energy saving performance of all, produces buildings which have less energy consumption and CO₂ emission, and lower energy costs.

The improvement of residential buildings in terms of energy and cost efficiency is a complicated process, which differs from one building to the other and has many requirements. The proper methods considering energy, economic and environmental performances should be used for the proper analyses and the consistent results aimed at solving the complicated interactions in this process. However, the energy, economic and environmental performances are usually assessed in the design or improvement of the existing buildings according to the fact that whether they meet the requirements defined in the current regulation or not; so the energy and cost efficiency and CO₂ emission saving potentials are not analysed detailed.

Besides, the studies related to the design and the improvement of the building are assessed in the form of different phases. The building performance significantly varies within the framework of the variants defined as data in the first phases. Therefore, it is important to control performance expectations regarding each phase within the building life cycle in order for the buildings to determine the energy saving potential.

In this context, in terms of life cycle energy and cost efficiency, the methods should be developed for the building improvement under the light of the following objectives:

- Determining the energy saving, mitigation of CO₂ emission and economic potentials in line with the measures taken during the life cycle,
- Making analyses about the effects of these measures on life cycle, energy, economic and environmental performance and monitoring the changes according to different circumstances,
- Assessing the energy and cost effective measures enabling optimum performance in accordance with the climate and in comparison with the current regulation,
- Suggesting optimum improvement combinations, which can be used by decision mechanisms for different climate zones.

Within the context of the thesis study, it is aimed that the effective measures on the improvement of building energy performance, which is important for optimum use in the sense of country resources and decision makers, are developed for different climate zones; and also the energy, economic and environmental performances of the residential buildings regarding these measures are assessed in the framework of life cycle. The approach developed in the framework of this purpose aims for the following definitions:

- Defining the improvement measures enabling optimum performance in residential buildings in terms of life cycle energy consumption, CO₂ emission and the costs,
- Defining the optimum improvement combinations suitable for different climate zones.

In this study based on life cycle energy, economic and environmental performance, the measures enabling energy saving and energy producing systems are examined with the aim of improving the energy performance of existing residential buildings. In the framework of energy saving measures, the building envelope development from among the passive building sub-systems, and the integration of photovoltaic (PV) systems to building envelope from among the energy producing systems are taken into consideration. In this context, it is aimed to determine the effect of each

measure on life cycle energy consumption, CO₂ emission and the costs. In order to evaluate the energy and environmental performance of the existing residential buildings, “Life Cycle Energy (LCE)” and “Life Cycle CO₂ (LCCO₂)” analyses developed based on LCA method are taken into consideration. For the evaluation of economic performance, “Life Cycle Cost (LCC)” analysis is used and “Discounted Payback Period” method as a supplementary method of LCC is additionally taken into account. In the framework of the LCC analysis, “Sensitivity Analysis” method is also considered to determine what extent to the variants developed regarding the defined measures effect the building economic performance. It could be examined the effect of the possible changes in data defined for each economic variant on the optimal solution in terms of life cycle energy and cost efficiency for the different climate zones by this method.

The alternatives with optimum performance are recognized as the ones with the minimum life cycle cost in the framework of the measures taken in terms of life cycle energy and cost efficiency. In line with this, the optimum improvement combinations, which are paired with the alternatives with optimum performance determined for different climate zones to increase the life cycle energy and cost efficiency of the existing residential building stock, can be identified.

The effects of the measures, which are considered in the framework of assessing life cycle energy, economic and environmental performances of optimum improvement combinations, can be determined by LCE, LCCO₂ and LCC analyses repeated in terms of life cycle energy consumption, CO₂ emission and cost. So, a comparison with the current performance level of the reference residential building could be made. As a result, the energy and cost efficiency levels of the optimum improvement combinations according to the current energy, economic and environmental performance of the reference residential building can be determined.

According to this, the thesis study consists of six chapters.

Chapter 1 explains the importance, extent and the aim of the thesis study and discusses the previous studies and methods carried out for this aim.

Chapter 2 gives information about energy and cost efficiency in the buildings and identifies the effective variants in the determination of energy and cost efficiency.

Chapter 3 explains Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Energy (LCE), Life Cycle CO₂ (LCCO₂) and Life Cycle Cost (LCC) analyses to be used for the evaluation of life cycle energy and economic performances.

The approach to be used for the evaluation of optimum performances of the residential buildings for the different climate zones in terms of life cycle energy and cost efficiency is explained in the Chapter 4.

The primary steps of the developed approach are as the following:

- Defining the reference residential building,
- Defining the improvement measures,
- The assessment of life cycle energy, economic and environmental performances of residential buildings,
- In terms of life cycle energy and cost efficiency, determining the alternatives having an optimum performance for different climate zones and defining the optimum improvement combinations,

- Determining the life cycle energy and cost efficiency levels of the optimum improvement combinations according to the reference residential building.

Chapter 5 introduces the application study concerning the reference building for the different climate zones under the light of the approach developed. In this study, as a reference residential building, a mass housing project constructed by TOKI which has a significant role in dwelling production in Turkey has been chosen; this project involves common construction technologies and design criteria. One of the housing block in the mass housing project is defined as the reference residential building and is treated as if it is in different climate zones of Turkey. At the result of the applications, it is seen that the optimum performances of the residential buildings in terms of life cycle energy and cost efficiency for the different climate zones could be evaluated in consistent with the aim and the optimum improvement combinations could be identified.

The results are summarized in Chapter 6.

With this approach, it is possible to assess integrally the complicated effects of the measures, which are effective in the improvement of the building energy performance, on the energy, economic and environmental performances based on life cycle. Therefore, the results about optimizing the energy, economic and environmental performance related to the whole life cycle of the building could be used as data in the regulations. Thus, it provides the country resources and the decision makers with the right decisions at the maximum benefit.

LCE, LCCO₂ , and LCC analyses are carried out for the alternative group as part of the measures taken about the optimization of the building envelope with the aim of improving the existing residential building in consistent with the climate. At the result of the analyses, the variants enabling optimum performance in terms of life cycle energy and cost efficiency could be determined for each climate zone. This supports the next workings on both current and the next residential buildings from the point of technical information necessary for developing energy and cost efficiency.

This approach provides the long-term strategy and policies concerning the residential buildings with overcoming the obstacles in dwelling production and changing the decision mechanism, which only considers the initial investment cost, based on life cycle approach. Thus, it is possible to assess the residential energy and environmental performance by a realistic approach.

The approach determines the measures and variants enabling the minimum energy and cost effective requirements for each climate zone. So, the applications compatible with the current regulation and TOKI applications are evaluated from the point of life cycle energy and cost efficiency. With the aim of increasing cost effective energy efficiency of all housing stock, defining housing models which have the optimum performance in terms of life cycle energy and cost efficiency supports TOKI to product quality housing. Therefore, it makes possible the conscious supply-demand balance in residential sector. Also, the applicability of the approach in the existing residential buildings and in the design stage enables to make correct decisions during the design stage in terms of energy and cost efficiency. This kind of decisions both prevent the irremediable mistakes during the construction phase in the mass housing projects affecting a lot of people, and also makes it possible to establish sustainable residential environments by energy and cost effective residential buildings.

1. GİRİŞ

20. yüzyıl ve 21. yüzyılın başları, insanlık tarihinde elde edinilen çeşitli kazanımların değerlendirilebilmesi ve vurgulanabilmesi amacıyla pek çok önemli ve yeni tanımlamalar ile öne çıkmaktadır. 1970'lere kadar ülkelerin kalkınma politikalarında doğal kaynakların sınırsız olduğu kabulüyle üretim artışı sağlanmış ve amaçlanan ekonomik büyüme gerçekleştirilmiştir. Benimsenen bu yaklaşım sonucunda önceleri yerel ölçekli olduğu düşünülen daha sonra giderek küresel bir sorun haline gelen çevre sorunları, gündemdeki en önemli sorunlar arasında yer almaktadır.

Tartışılan çevre ve enerji sorunları, 1972'de Stockholm'de düzenlenen İnsan ve Çevre Konferansı ile uluslararası düzeyde kabul görmüştür. Bu sorunlar karşısında sürdürülebilir kalkınma kavramı gelişmiştir. 1987'de, Birleşmiş Milletler Brundtland Komisyonu sürdürülebilir kalkınmayı, "günümüz ihtiyaçlarını gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan karşılayabilmek" olarak tanımlamıştır [1]. 1992'de Rio'da gerçekleştirilmiş olan Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda ise, geleneksel kalkınma anlayışını değiştirmeyi amaçlayan "Gündem 21" ile yol haritası oluşturulmuş, ancak sürdürülebilir kalkınma konusunda istenilen hedeflere ulaşamamıştır. Bu bağlamda, 2002'de Johannesburg'da düzenlenen Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı'nda da, 1992 yılında Rio'da gerçekleştirilmiş konferans kapsamında alınan kararların uygulanması ve hedeflere ulaşılmasında yaşanan zorluklara çözüm getirmeyi amaçlayan 15 yıllık "Uygulama Planı" kabul edilmiştir.

Yapılan tüm müzakerelerde, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel kalkınmayı hedeflediği vurgulanmaktadır. Çevresel kalkınma kapsamında, doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir kullanımı birinci sırayı alırken ikinci sırada ise sürdürülebilir enerji kullanımı yer almaktadır.

Nüfus artışı ve yaşam standartlarının yükselmesine bağlı olarak enerji kullanımının artması, mevcut enerji kaynaklarının azalması ve çevre kirliliği sorunu ile karşı karşıya kalınmasından ötürü tüm ülkelerin birincil konusunu, enerji etkinlik

düzeylerinin artırılması oluşturmaktadır. Sürdürülebilir enerjinin oluşturulmasının ilk adımı enerji etkinliğin sağlanması olup, enerji etkinliğin gerçekleştirilmesi enerji tüketiminden kaynaklı çevresel etkilerin azaltılabilmesini de mümkün kılmaktadır.

Birçok ülkede tüketilen enerji ve buna bağlı olarak oluşan sera gazı salımından sorumlu sektörler irdelendiğinde, bina sektörünün diğer sektörler içerisinde çok önemli bir yüzdeye sahip olduğu bilinmektedir. Buna karşın, maliyet etkin enerji tasarruf potansiyeli açısından binalarda alınabilecek önlemler ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabileceği de birçok çalışma ile ortaya konulmaktadır. Örneğin, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yapılan bir çalışmada, 2009 yılı içerisinde bina sektöründeki enerji tasarruf potansiyelinin 2030 yılı itibariyle yıllık 20 exajoule civarında olacağı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, günümüz koşullarında Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya'nın mevcut enerji tüketimlerinin toplamına denk gelmektedir [2].

Yapılan bu çalışmalar ışığında öngörülen potansiyelin değerlendirilmesi amacı ile tüm dünyada olduğu gibi Avrupa Birliği (AB)'de, binaların enerji performansının artırılmasına yönelik mevzuat düzenlemelerinde bulunmuştur. Avrupa düzeyinde binaların enerji performansı gereksinimleri ile ilgili kurallar, "Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD)" ile düzenlenmektedir. 2002 yılında yayınlanan EPBD ile tüm AB ülkelerinin, kendi iklimsel koşullarını dikkate alarak binalar için minimum enerji performans düzeylerinin belirlenmesi ve binaların sahip oldukları enerji performans düzeylerine göre sertifikalandırılması zorunlu kılınmıştır [3]. Bu süreç içerisinde, EPBD'nin güncel koşullar ve yaşanan gelişmelere uygun olarak yeniden düzenlenmesi öngörülmüş ve 2010 yılında "yeni EPBD (EPBD Recast)" yayınlanmıştır. Yeni EPBD ile daha önceden tanımlanmış mevcut gereksinimlere ek olarak "maliyet etkin enerji verimliliği" ve "yaklaşık sıfır enerjili bina" kavramları ortaya konulmaktadır. Yeni EPBD'ye göre, üye ülkelerin kendi ulusal koşullarını dikkate alan, karşılaştırmalı metodolojiye uygun hesaplama yöntemi geliştirmeleri ve bu yöntemle binaların minimum enerji performans gereksinimlerine ilişkin optimum maliyet düzeylerini belirlemeleri istenmektedir [4].

Türkiye'de de, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)'ne (2004) ve Kyoto Protokolü'ne (2009) taraf ve AB'ye aday ülke konumunda olması nedeniyle yerine getirmesi gereken yükümlülükler ile ilgili mevzuatların geliştirilmesini ve uygulanmasını esas alan çalışmalar devam

etmektedir. Bu çalışmalar kapsamında Türkiye, enerji ve çevre alanında izlediği politikaların sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla öncelikli olarak tüm sektörlerde enerji etkinliğin artırılmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından açıklanan Türkiye’de Enerji Verimliliği, Durum ve Gelecek Planlaması belgesinde, Türkiye’nin bina sektöründe en az %35, sanayi ve ulaşım sektöründe ise en az %15 düzeyinde bir enerji tasarruf potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir [5]. Bu potansiyelin değerlendirilmesi ve enerji etkinliğin artırılması amacıyla 2007 yılında “Enerji Verimliliği Kanunu” yayınlanmıştır [6]. Bu kanuna uygun olarak 2008 yılında, “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” yürürlüğe girmiştir [7]. 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununda enerji etkinliğin artırılması, desteklenmesi ve toplumun bilinçlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, 2008 yılı Türkiye için “Enerji Verimliliği Yılı” olarak kabul edilmiş, aynı yıl Türkiye için zorunlu olan yalıtım standardı TS 825 revize edilmiştir [8]. AB mevzuatı uyum süreci çerçevesinde tüm AB ülkeleri gibi Türkiye de, EPBD’nin öngördüğü gerekliliklere ve 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununa bağlı olarak “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği”ni 2008 yılında yürürlüğe koymuştur [9]. Bu yönetmelik gereğince, ulusal hesaplama metodolojisi geliştirilmiş ve 2010 yılında yayınlanmıştır [10]. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, mevcut ve yeni binaların, karşılaştırmalı metodoloji esas alınarak enerji tüketim düzeylerinin hesaplanmasını ve elde edilen sonuçlara göre binalar için “Enerji Kimlik Belgesi (EKB)” alımını zorunlu kılmaktadır. İklim değişikliği ile küresel mücadele kapsamında ise, BMİDÇS ve Kyoto Protokolü çerçevesinde, 2011 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı koordinasyonunda “Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı (İDEP)” yayınlanmıştır [11]. İDEP kapsamında, Türkiye için tanınmış “özel şartlar” dikkate alınarak sera gazı salımları azaltımı ile ilgili politika ve tedbirlere ve iklim değişikliği’ne uyuma yönelik binaların enerji etkinliğinin artırılması, binalarda yenilenebilir enerji kullanımının artırılması ve yerleşmelerden kaynaklı sera gazı salımlarının sınırlandırılması hedeflenmektedir. Son olarak, Şubat 2012’de Yüksek Planlama Kurulu tarafından kabul edilen “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023” ile Türkiye’nin enerji etkinlik düzeyinin geliştirilmesine yönelik yol haritasının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu strateji belgesi çerçevesinde ele alınan öncelikli konulardan biri bina sektörü olup binaların enerji taleplerini ve karbon salımlarını

azaltmak, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmak önemli bir eylem alanı olarak gündeme gelmektedir [12].

Ancak bugün için Türkiye, enerji kaynakları açısından büyük oranda dışa bağımlı bir ülke olup dünya ortalamasının üzerinde gerçekleşmeye devam eden bir enerji talebi ile karşı karşıyadır. Bu kapsamda, Türkiye için enerji arz güvenliğini sağlamaya yönelik enerji verimliliği çalışmalarının gündemdeki önemi artarken diğer taraftan çok yüksek düzeyde enerji tüketiminin gerçekleştiği konut üretimi ise hız kazanmaktadır. Bununla birlikte, yüksek enerji tasarruf potansiyelinin belirlendiği ve önemli ölçüde yeni üretimlerin öngörüldüğü konut sektörü için enerji ve çevresel faktörler, çoğunlukla yasal mevzuatlar ile belirlenen gerekliliklerin sağlanıp sağlanmadığının sorgulanması ile sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşabilmesi için gerek mevcut konut stoğunun enerji ve maliyet etkin iyileştirilmesine gerekse yeni konut üretim sürecine enerji ve maliyet etkin yaklaşımın entegre edilmesine yönelik kapsamlı çalışmaların yapılması ve böylelikle yol gösterici kriterlerin oluşturulması zorunluluğu doğmaktadır.

Bu tez çalışması ile ülke kaynakları ve karar vericiler açısından optimum faydanın elde edilmesi hedefine yönelik konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan önlemlerin farklı iklim bölgeleri için geliştirilmesi ve geliştirilen önlemlere ilişkin konut binalarının enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında karşılaştığı ekonomik ve çevresel sorunları, hızlı ve maliyet etkin olarak çözümlenmesi tüm sektörlerde enerji etkinliğinin artırılması ile mümkündür. Türkiye ekonomisinin enerji ve karbon yoğunluğunun azaltılmasına yönelik enerji ve maliyet etkin iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi için daha etkili önlemlerin geliştirilmesine, uygulanabilir optimum çözümlerin üretilmesine ve mali desteklerle bu çözümlerin uygulanabilirliğinin teşvik edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, sektörler içerisinde en fazla enerji tasarruf potansiyelinin mevcut olduğu bina sektörünün daha az enerji tüketimine ve dolayısıyla daha az CO₂ salımına ve enerji giderlerine sahip yüksek etkinlikte yapılara dönüştürülmesi öncelikli ele alınması gerekli bir konudur.

Konut binalarının enerji ve maliyet etkin iyileştirilmesi, binadan binaya değişkenlik gösteren, içerisinde pek çok gereksinimin mevcut olduğu, karmaşık olarak nitelendirilebilecek bir suretir. Bu sure kapsamındaki karmaşık etkileşimlerin çözümlenebilmesine yönelik doğru analizlerin yapılabilmesi ve tutarlı sentezlere ulaşılabilmesi için enerji, ekonomik ve çevresel performansların dikkate alındığı uygun yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Ancak, binaların tasarımı ya da mevcut binaların iyileştirilmesinde enerji, ekonomik ve çevresel performanslar çoğunlukla, güncel mevzuatta belirtilen gereksinimleri karşılayıp karşılamamasına göre değerlendirilmekte olup, enerji ve maliyet etkinliği ile CO₂ salım tasarruf potansiyelleri kapsamlı olarak irdelenmemektedir.

Bununla birlikte, konutların tasarımı ya da iyileştirilmesine yönelik çalışmalar, farklı evreler kapsamında değerlendirilmekte ve ilk evrelerde veri olarak tanımlanan değişkenler çerçevesinde bina performansı önemli ölçüde değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle, binalara ilişkin enerji tasarruf potansiyelinin belirlenebilmesi için bina yaşam döngüsü kapsamında her evreye ilişkin performans beklentilerinin denetlenmesi önemlidir.

Bu bağlamda, yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından bina performansının iyileştirilmesinde,

- ele alınan önlemler doğrultusunda yaşam döngüsü süresince enerji tasarrufu, CO₂ salım azaltımı ve ekonomik potansiyellerinin belirlenmesi,
- nlemlerin yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performans üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine ilişkin analizlerinin yapılması ve farklı durum ve koşullar içerisindeki değişimlerinin gözlemlenmesi,
- optimum performansın sağlandığı enerji ve maliyet etkin önlemlerin iklimle dengeli ve güncel mevzuat ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi,
- farklı iklim bölgeleri için karar verici mekanizmaların kullanabileceği optimum iyileştirme önerilerinin tanımlanması

hedefine yönelik yöntemlerin geliştirilmesi önemlidir.

Bu alışma ile farklı iklim koşulları için yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarında optimum iyileştirmelerin gerçekleştirilmesine yönelik karar vericilerin kullanabileceği bir yaklaşım modelinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Geliştirilen yaklaşım çerçevesinde, mevcut konut binalarının enerji performansının iyileştirilmesine yönelik olarak iyileştirme önlemleri;

- enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve
- enerji üreten sistemler

olarak ele alınmaktadır.

Bina kabuğunun enerji etkinliği açısından optimum performans sağlaması amacına yönelik olarak enerji tasarrufu sağlayan önlemler çerçevesinde referans konut binasının mevcut durumu korunarak bina kabuğu opak ve saydam bileşenlerin optik ve termofiziksel özelliklerinin geliştirilmesi ve enerji üreten sistemlerden ise fotovoltaik (PV) sistemlerin bina kabuğuna entegre edilmesi dikkate alınmaktadır. Ele alınan iyileştirme önlemlerinin mevcut konut binasının yaşam döngüsü enerji tüketimine, CO₂ salımına ve maliyetlerine olan etki düzeylerinin saptanması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, mevcut konut binalarının enerji ve çevresel performanslarının değerlendirilebilmesi için YDD yöntemi esas alınarak geliştirilen “Yaşam Döngüsü Enerji (YDE)” ve “Yaşam Döngüsü CO₂ (YDCO₂)” analizleri gerçekleştirilmektedir. Ekonomik performansının değerlendirilebilmesi için ise, “Yaşam Döngüsü Maliyet (YDM)” analizleri gerçekleştirilmekte olup yaşam döngüsü maliyet yöntemini destekleyen ek yöntem olarak ise “İskonto Edilmiş Geri Ödeme Süresi” kullanılmaktadır. Ayrıca, kullanılan yöntemler çerçevesinde, iyileştirme önlemlerine ilişkin geliştirilen alternatiflerin bina ekonomik performansına olan etki düzeylerinin belirlenebilmesi için “Duyarlılık Analizi” yöntemi dikkate alınmaktadır. Gerçekleştirilen duyarlılık analizleri ile her bir ekonomik değişkene ilişkin tanımlanan verilerdeki olası değişikliklerin, farklı iklim bölgeleri için yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimal çözüme etkisi incelenebilmektedir.

Yapılan analizler sonucunda, iyileştirme önlemlerine ilişkin yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren alternatifler belirlenebilmektedir. Böylece, mevcut konut stoğunun yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliğinin artırılmasına yönelik olarak farklı iklim bölgeleri için optimum performans gösteren alternatiflerin birlikte ele alındığı optimum iyileştirme kombinasyonları tanımlanabilmektedir.

Optimum iyileştirme kombinasyonlarının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi çerçevesinde dikkate alınan iyileştirme önlemlerinin bir aradaki etkileri, yaşam döngüsü enerji tüketimi, CO₂ salımı ve maliyeti açısından yinelenen YDE, YDCO₂ ve YDM analizleri ile saptanabilmekte ve referans konut binasının mevcut performans düzeyi ile karşılaştırılabilmektedir. Böylelikle, tanımlanan optimum iyileştirme kombinasyonlarının referans konut binasının mevcut enerji, ekonomik ve çevresel performansına göre enerji ve maliyet etkinlik düzeyleri belirlenebilmektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen yaklaşıma ilişkin başlıca adımlar, aşağıda açıklanmaktadır:

- bina enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının iyileştirilmesine yönelik yapılmış çalışmaların irdelenmesi,
- yaşam döngüsü süresince binaya ilişkin enerji, ekonomik ve çevresel performansların bütüncül olarak değerlendirilebileceği bir yaklaşımın geliştirilmesi,
- geliştirilen yaklaşım çerçevesinde, ele alınan yöntemlere ilişkin gerekli girdi (enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve enerji üreten sistemler) ve çıktılarının (performans göstergeleri) tanımlanması,
- gerçekleştirilen analizler sonucunda, konut binasının enerji, ekonomik ve çevresel performansının iyileştirilmesine yönelik olarak geliştirilen alternatiflerin farklı iklim bölgeleri için yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından uygunluğunun değerlendirilmesi ve optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesi,
- optimum performans gösteren alternatiflerin birlikte ele alındığı iyileştirme kombinasyonlarının konut binasının mevcut enerji, ekonomik ve çevresel performansına göre enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin belirlenmesidir.

Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının optimum performanslarının değerlendirilmesine yönelik geliştirilen yaklaşım çerçevesinde, değerlendirme süreci yapımı bitmiş mevcut binalara uygulanabildiği gibi tasarım sürecinin bir alt süreci olarak da ele alınabilmektedir. Dolayısıyla, çalışmada geliştirilen yaklaşım, mevcut binalar ile birlikte yeni tasarlanacak binalara da uygulanabilecek niteliktedir. Çalışma kapsamında öncelikli olarak mevcut bir konut binası ele alınmakta olup yeni yapılacak binalar için ise öneriler geliştirilmektedir.

Bu açıdan söz konusu tez çalışmasının çıktıları;

- gerek mevcut gerekse yeni yapılacak konut binalarının enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin geliştirilmesinde gerekli olan teknik bilginin hazırlanmasına destek sağlamak,
- bina malzemelerinde yaşam döngüsü değerlendirmesi, enerji üreten sistemlerin kullanımının desteklenmesi gibi çok temel hedeflerin kabul görmesi ile sürdürülebilir enerji etkin politikaların oluşturulması ve bu politikaların mevcut bina stoğunun iyileştirilmesi amacıyla kullanılmasını sağlamak,
- enerji, çevresel ve ekonomik performansların geliştirilmesinde önemli rol oynayan çeşitli teşviklere, destek düzenlemelerine, politikalara başvurulması ve çevre yönetimi açısından elverişli maliyet etkin önlemlerin bir araya getirilmesi ile örnek uygulamaların yapılmasını sağlamak,
- yaşam döngüsü çerçevesinde enerji ve maliyet etkin konut modellerinin tanımlanması ile konut sektöründe bilinçli bir arz-talep dengesinin oluşturulmasını sağlamaktır.

1.2 Literatür Araştırması

Konut binalarında enerji performans düzeyinin değerlendirilmesine ilişkin yapılmış çalışmalar incelendiğinde, çalışmalar kapsamında esas alınan yaklaşımları;

- enerji tasarrufu sağlayan önlemlerin değerlendirilmesi,
- enerji üreten sistemlerin değerlendirilmesi,
- enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve enerji üreten sistemlerinin birlikte değerlendirilmesi

olarak tanımlamak mümkündür. Tanımlanan bu üç farklı yaklaşıma dayalı olarak yapılan başlıca çalışmalar, aşağıda açıklanmaktadır.

1.2.1 Enerji tasarrufu sağlayan önlemlerin değerlendirilmesi

A. Uihlein ve P.Eder'in çalışması

Bu çalışmada, konut binalarının enerji etkinlik düzeyinin geliştirilmesinde, ilave AB politikalarının potansiyeli, enerji talebi, seragazi salımları ve maliyetler açısından

analiz edilmektedir. Ele alınan bina stoğu, 1900 yılından 2060 yılına kadar 27 AB üye ülkesindeki bina stoğuna ilişkin gelişimi yansıtan altı farklı bina modelinden oluşmaktadır. Bina tipleri tek aile konutu, çoklu aile konutu ve yüksek katlı binalar olup her tip için yeni ve mevcut bina modelleri tanımlanmaktadır. Bu bina modelleri için ısıtma ihtiyacı hesaplanmakta ve dört enerji etkinlik düzeyine (0,1,2,3) göre sınıflandırılmaktadır. Referans durum için kabul edilmiş enerji etkinlik düzeylerine ilişkin tanımlamalar, Çizelge 1.1’de belirtilmektedir.

Çizelge 1.1 : Enerji etkinlik düzeyi (EED) tanımı ve esas alınan dönem.

EED	Tanım	Dönem
0	Yalıtım yok, tek cam sistemi	1979’a kadar
1	Basit çift cam sistemler	2006’ya kadar
2	Ulusal minimum enerji performans gereksinimleri	1991-2006
3	Maliyet optimum	2014’ten sonra

Konut binalarında enerji etkinlik düzeylerinin iyileştirilmesine yönelik ele alınan önlemler;

- ana iyileştirmeler (dış duvar, çatı ve pencere; yenileme süresi 40 yıl),
- çatı alanlarının iyileştirilmesi (yenileme süresi 20 yıl),
- pencerelerin iyileştirilmesi (yenileme süresi 20 yıl)

olarak tanımlanmaktadır.

Ele alınan önlemler kapsamında oluşturulan kombinasyonlara ilişkin konut bina stoğunun ısıtma enerjisi ihtiyacı, mevcut apartman binalarının iyileştirilmesine yönelik geliştirilmiş ve bir Avrupa projesi olan EPIQR (Energy Performance Indoor Environmental Quality Retrofit) [13] aracı kullanılarak hesaplanmaktadır. Çalışmada ele alınan üç iklim bölgesi için tanımlı EPIQR değerleri, Çizelge 1.2’de belirtilmektedir.

Çalışma kapsamında tanımlanan alternatifler ise, aşağıdaki gibidir:

- yeni EPBD’ye uygun alternatif,
- maliyet optimum alternatif,
- hızlandırılmış maliyet optimum alternatif.

Çizelge 1.2 : EED'ye ilişkin EPIQR değerleri.

İklim bölgesi	EED	Pencere	Çatı	Dış duvar
Kuzey	0	Mevcut	Yalıtım yok	Yalıtım yok
	1	U:1.6	14 cm yalıtım	8 cm yalıtım
	2	U:1.2	18 cm yalıtım	16 cm yalıtım
	3	U:1.2	20 cm yalıtım	20 cm yalıtım
İç	0	Mevcut	Yalıtım yok	Yalıtım yok
	1	U:2.5	6 cm yalıtım	4 cm yalıtım
	2	U:1.6	16 cm yalıtım	8 cm yalıtım
	3	U:1.2	20 cm yalıtım	16 cm yalıtım
Güney	0	Mevcut	Yalıtım yok	Yalıtım yok
	1	U:3.5	3 cm yalıtım	3 cm yalıtım
	2	U:2.5	6 cm yalıtım	6 cm yalıtım
	3	U:1.9	8 cm yalıtım	8 cm yalıtım

Tanımlanan alternatifler, enerji tasarrufu açısından referans durum ile karşılaştırılarak analiz edilmektedir. Yeni EPBD alternatifi ile 2010-2060 yılları arasında sağlanan ortalama yıllık enerji tasarrufu 840 PJ'dir. Maliyet optimum enerji etkinlik düzeyine uygun olarak tüm iyileştirmeler gerçekleştirildiğinde, Yeni EPBD alternatifi ile elde edilen tasarruf değerinden yaklaşık %30 daha yüksek bir enerji tasarrufunun sağlanabildiği belirtilmektedir. Çatı ve pencere iyileştirme sürelerinin 10 yıla indirilmesini kapsayan hızlandırılmış maliyet optimum alternatifi ile ise, Yeni EPBD alternatifine kıyasla %37 daha yüksek enerji tasarrufunun elde edilebildiği vurgulanmaktadır.

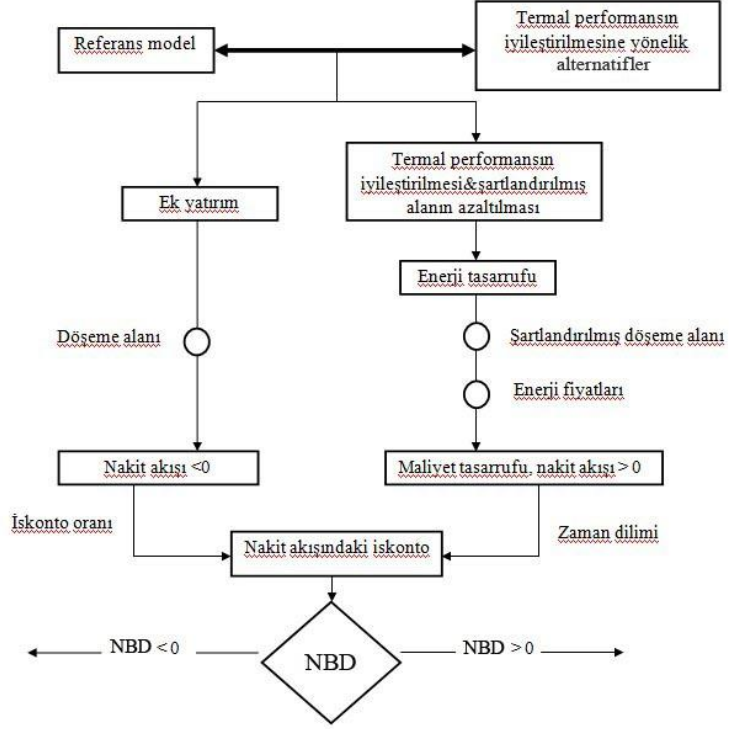
Isıtma ihtiyacından kaynaklı seragazı salım değerlerine ilişkin analiz sonuçlarının, alternatifler için hesaplanan enerji talebi ile benzer olduğu belirtilmektedir. Yeni EPBD alternatifi ile 2010-2060 yılları arasında sağlanan ortalama yıllık salım tasarrufu, 67 Mt eşdeğer CO₂ olarak hesaplanmaktadır.

Yeni EPBD alternatifi ile sağlanan yıllık enerji maliyeti tasarrufu, 2010-2060 yılları arasında yaklaşık 9.500×10^6 Euro'dur. Maliyet optimum alternatifi ile de, Yeni EPBD'ye kıyasla %31 daha yüksek enerji maliyeti tasarrufu sağlanmaktadır. Hızlandırılmış maliyet optimum alternatifi ile Yeni EPBD ve maliyet optimum alternatifleri karşılaştırıldığında, hızlandırılmış maliyet optimum alternatifinin daha az maliyet etkin olduğu saptanmaktadır [14].

J. Morissey ve R. E. Horne'nin çalışması

Bu çalışma ile yaşam döngüsü maliyeti (YDM) çerçevesinde ısı modelleme yaklaşımı ele alınmaktadır. Bu yaklaşım modeli kapsamında, Avustralya'nın Melbourne kentinde genellikle kullanılan konut tipleri analiz edilmektedir. Yapılan

bu analizler için bina maliyeti veritabanları, konut enerji talebi simülasyonları, mevcut ve tahmini enerji tarifeleri dikkate alınmaktadır. Yapım evresi yatırım maliyetleri ile kullanım evresinde yinelenen enerji maliyetleri arasındaki ilişki ampirik olarak incelenmektedir. Çalışma kapsamında izlenen yaklaşım, Şekil 1.1’de belirtilmektedir.



Şekil 1.1 : Analizler kapsamında dikkate alınan YDM yaklaşımı [15].

Çalışmada ele alınan yaklaşım, ekonomik açıdan optimum tasarım önlemlerinin hesaplama süresince oluşabilecek yapım ve kullanım evresi toplam harcamaları minimize etmesi esasına dayanmaktadır. Referans model, yeni inşa edilen konut binalarının ısı performanslarının simüle edilebilmesi amacıyla bu yeni konut binalarına benzer olarak geliştirilmektedir. Referans modele, aşama aşama malzeme eklenmesi ile daha etkin ısı performans alternatifleri oluşturulmaktadır. Malzeme eklenmesine dayalı alternatifler ile sağlanan yıllık enerji tasarrufu analiz edilmekte ve elde edilen finansal kazançlar her yıl için hesaplanmaktadır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen yıllık kazanç akışı, bugünkü değerlere (2009 yılı için) indirgenmekte ve ilk yatırım maliyetleri ile karşılaştırılmaktadır. Ele alınan bu alternatifler kapsamında ısı etkinliği artırılan konut binasının sektör içerisindeki yükselen değeri de, analizlerde dikkate alınmaktadır.

Referans binaya ilişkin ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanmasında, Ülke Çapında Konut Enerji Derecelendirme Sistemi (NatHERS)'nin onayladığı AccuRate bilgisayar programı kullanılmaktadır. NatHERS derecelendirme sistemi çerçevesinde Avustralya'nın her bir iklim bölgesi için yerel iklim koşulları dikkate alınarak yıldız dereceleri (beş yıldız, altı yıldız gibi) tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, NatHERS iklim bölgesi 60 (ılımlı iklim bölgesi) için, Çizelge 1.3'te belirtilen alternatiflere ilişkin simülasyonlar yapılmaktadır. Simülasyonlar kapsamında dikkate alınan değişkenler ise, Çizelge 1.4'te belirtilmektedir.

Çizelge 1.3 : Isıl performans alternatifleri.

Isıl performans alternatifleri	NatHERS yıldız dereceleri	Enerji gereksinimi (MJ/m ² /yıl)	Enerji etkin iyileşme oranı (%)
Referans durum	Beş yıldız	182	0
İyileştirilmiş etkin alternatif	Altı yıldız	138	24
Uluslararası standart alternatif	Yedi yıldız	100	45
Yüksek etkinliğe sahip alternatif	Sekiz yıldız	64	65

Çizelge 1.4 : Alternatifler kapsamında dikkate alınan değişkenler.

Değişken	Özellik	Maliyet (\$AUS/m ²)
Camyünü tavan yalıtımı	R:1.5	3.50
	R:2.0	4.00
	R:3.0	5.90
	R:4.0	8.50
Camyünü duvar yalıtımı	R:1.5	3.50
	R:2.0	4.37
	R:2.5	5.20
Polyestren yalıtım	R:1.0	18.36
	R:2.0	32.80
Gölgeleme aracı	Panjur	219.10
Pencereler	Standart tek cam	84.62
	Standart çift cam	128.85
Sızdırmazlık bandı	Kapı	16.93
	Pencere	19.92

Enerji etkin alternatiflere ilişkin net bugünkü değer (NBD) hesaplamaları için aşağıda belirtilen eşitlikten yararlanılmaktadır.

$$NBD = \left(\sum_{t=0}^T cf_t (1+i)^{-t} \right) + \alpha Rv - C_p \quad (1.1)$$

NBD ile enerji etkin yatırımın net bugünkü değeri (\$AUS), cf_t ile t zamanı içerisindeki nakit akışı (kazançlar için pozitif, harcamalar için negatif), T ile yatırımın kullanım ömrü (yıl), i ile iskonto oranı, αRv ile T süresince yapılan enerji

etkin yatırımlara ilişkin konut değerindeki marjinal artış ve C_p ile ise enerji etkin teknolojiler için öngörülen yatırım maliyeti tanımlanmaktadır.

Yaşam döngüsü maliyet analizleri, 5,10, 25 ve 40 yıllık değerlendirme süreleri için yapılmakta ve ele alınan enerji etkin önlemlerin yaşam ömrü ise 40 yıl olarak kabul edilmektedir. Yapılan maliyet analizleri kapsamında, enerji maliyetlerinin düşük ve yüksek olması kabullerine göre duyarlılık analizleri gerçekleştirilmektedir.

Çalışma sonucunda, 25 ve 40 yıllık zaman dilimleri için yüksek etkinlik standartları ile sağlanan maliyet tasarrufunun özellikle artan enerji fiyatları açısından dikkate değer olduğu belirtilmektedir. Konut binalarının kullanım evresinin ilk birkaç yılı için yüksek ısıl etkinliğe sahip binalarda sağlanan enerji maliyeti tasarrufunun, yüksek yapı maliyetlerine kıyasla daha büyük bir önem teşkil ettiği vurgulanmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre, enerji etkin alternatifler ile beş yıldızlı uygulamalar karşılaştırıldığında, enerji etkin alternatiflerin daha yüksek yararlar sağladığı görülmektedir. Zaman dilimi uzadıkça ve dolayısıyla enerji tasarrufu arttıkça, yüksek ısıl performans alternatiflerinin daha maliyet etkin bir duruma geldiği belirtilmektedir. Benzer şekilde, yüksek enerji fiyatlarının dikkate alındığı alternatif kapsamında öngörülen yatırımlar ile daha maliyet etkin sonuçlar elde edilmektedir. Çalışmanın sonuçları enerji ve çevre açısından değerlendirildiğinde, minimum enerji performans düzeyi olarak 2011 yılında Avustralya’da yeni konutlar için zorunlu kılınan “altı yıldız” derecesinden daha yüksek derecelendirmelerin dikkate alındığı görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda “yedi yıldız” ısıl performans standardının, düşük enerji fiyatları ve 25 yıllık zaman dilimi açısından maliyet optimum olduğu ve “sekiz yıldız” ısıl performansın ise, 40 yıllık zaman dilimi için yüksek ve düşük enerji fiyatlarına, 25 yıllık zaman dilimi için ise yüksek enerji fiyatlarına göre optimum sonucu sağladığı belirtilmektedir [16].

T. Ramesh, R. Prakash ve K.K.Shukla’nın çalışması

Bu çalışmada, Hindistan’da yer alan bir konut binasının yaşam döngüsü enerji (YDE) analizleri, farklı kabuk ve iklim koşulları dikkate alınarak mevcut durum ve bina kabuğuna ilişkin önerilen alternatifler için gerçekleştirilmektedir. Düşük ısıl iletkenliğe ve gömülü enerji değerine sahip boşluklu beton, toprak çimento, uçucu kül ve havalı beton blok tipleri, dış duvarlarda kullanılan geleneksel pişmiş toprak tuğla malzemesine alternatif olarak ele alınmaktadır. Binanın YDE talebinin

azaltılması amacıyla dış duvar ve çatı alanlarında ısı yalıtımı kullanımının (ekspande polistren (EPS) için) etkisi de, yaşam döngüsü açısından analiz edilmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan konut binası, 2010 yılında inşa edilmiş tek katlı bir aile konutudur. Konut binası, Hindistan'ın merkezindeki Andhra Prades eyaleti Hyderabad ilinde yer almaktadır. Konut binasının kullanılabilir döşeme alanı 85.5m^2 , çatı alanı betonarme, dış duvarları ise pişmiş toprak tuğla malzemesinden oluşmaktadır. Pencere sistemi, ahşap çerçeveli 3mm kalınlığında, güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) 0.86 olan düz tek cam sistemidir. Saydamlık oranı ise, %20'dir. İç ortam konfor ayar sıcaklığı soğutma için 25°C , ısıtma için 18°C 'dir. Soğutma için kullanılan klimaların COP değeri ise, 3.0'dır.

Bina malzemelerine ilişkin gömülü enerji katsayıları, literatürden derlenmektedir. Malzemelerin termo fiziksel özellikleri ise, yapılmış araştırma çalışmalarından elde edilmektedir. Malzeme miktarlarına ilişkin veriler, mevcut binanın teknik çizimleri esas alınarak hesaplanmaktadır. Binanın gömülü enerji değeri, malzemeye ilişkin miktar ve gömülü enerji katsayısının çarpılması ile elde edilmektedir. Hesaplama süresince ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su, harici enerji ve aydınlatma için tüketilen enerji değerleri, kullanım enerjisi olarak dikkate alınmaktadır. Kullanım enerjisinin hesaplanması için dinamik enerji simülasyon aracı DesignBuilder programı kullanılmaktadır. Hesaplanan bu enerji değeri, Hindistan için elektrik enerjisine ilişkin tanımlı birincil enerji dönüşüm katsayısı ile çarpılarak yıllık kullanım enerjisi değeri elde edilmektedir. Yıllık kullanım enerjisi değerinin, hesaplama süresince aynı olduğu varsayılmaktadır.

Binanın YDE talebinin hesaplanmasında, sadece gömülü enerji (GE) ve kullanım enerjisi (KE) dikkate alınmaktadır. Binanın yapım evresi ve yıkım evresinde kullanılan enerjinin, YDE talebine etkisinin %1 oranında olması nedeniyle çalışma kapsamında değerlendirilmemektedir. YDE ve diğer enerji öğeleri (GE ve KE) için hesaplanan enerji değerleri, kWh/m^2 cinsinden belirtilmektedir. YDE analizi için kabul edilen hesaplama süresi ise, 75 yıldır.

Farklı iklim koşulları için sağlanabilecek enerji tasarruf değerlerinin hesaplanabilmesi amacıyla konut binasının, iklimsel konfor değerleri ve bina kullanım saatleri değiştirilmeden Hindistan'ın beş iklim bölgesini (sıcak ve kuru,

ılımlı ve nemli, ılımlı, soğuk ve birleşik) temsil eden illerde yer aldığı varsayılmaktadır.

Çalışma sonucunda, yalıtımsız dış duvar bileşeni alternatifinin, konut binası YDE talebini %1.5-5 oranında azaltabildiği görülmektedir. Alternatif duvar bileşenleri içerisinde en iyi enerji performansının havalı beton alternatifi ile gerçekleştirildiği belirtilmektedir. Dış duvar ve çatı bileşenlerine ısı yalıtımı eklendiğinde, YDE tasarrufunun büyük oranda arttığı görülmektedir. Sağlanan enerji tasarrufunun iklim koşullarına bağlı olarak %10-30 oranında değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir. Isı yalıtımının dikkate alındığı YDE tasarruf hesaplamaları için ise, en yüksek değer in sıcak ve nemli iklim bölgelerinde, en düşük değer in ise ılımlı iklim bölgelerinde elde edildiği görülmektedir. Aynı ısı yalıtım kalınlığının dikkate alındığı çatı ve duvar bileşenleri için hesaplanan YDE tasarruf oranının duvar bileşenine kıyasla çatı bileşenlerinde daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, duvarlarda ısı yalıtımı uygulamasının, kalın duvar bileşenleri alternatiflerine göre daha tercih edilebilir olduğu gözlemlenmektedir. Yaşam döngüsü açısından, çatı ve duvar bileşenlerine uygulanacak ısı yalıtım kalınlığına ilişkin sınır değerin, sıcak ve kuru, sıcak ve nemli iklim bölgeleri için 10 cm, ılımlı iklim bölgesi için ise yaklaşık 5 cm olduğu belirtilmektedir [17].

M. Fesanghary, S. Asadi ve Z.W.Geem'in çalışması

Bu çalışmada geliştirilen optimizasyon algoritması ile esasen yaşam döngüsü salım değerleri (kullanım öncesi, kullanım ve kullanım sonrası evresi salım değerleri) dikkate alınmaktadır. Çalışma kapsamında, sözde kod formu (pseudo) içerisinde tanımlanan harmoni araştırma (HA) algoritması kullanılmaktadır.

HA optimizasyon yöntemi ile öncelikli olarak tasarım değişkenlerine ilişkin ilk değerler, değişken dizileri içerisinde rastgele belirlenmekte ve daha sonra hedeflenen fonksiyonların (bu çalışma için yaşam döngüsü maliyet ve eşdeğer CO₂ salımı) değerlendirilmesi amacıyla simülasyonlar yapılmaktadır. HA algoritması ile elde edilen bu simülasyon sonuçlarına göre, tasarım değişkenleri için yeni değerler belirlenmekte ve tanımlanan bu yeni tasarım için tekrar simülasyonlar gerçekleştirilmektedir. Tasarım değişkenlerine ilişkin yeni değerler rastgele seçilebildiği gibi, algoritma belleğinde saklanan önceden belirlenmiş en iyi değerler de kullanılabilir. Yeni elde edilen değer, harmoni belleğinde saklanan yetersiz bir değerden daha iyi ise yetersiz olan değer iyi olan değer ile değiştirilmektedir.

Optimizasyon süresince, harmoni belleğinde saklanan en iyi alternatifler ile optimum sonuç elde edilmekte ve tanımlanmış olan maksimum yineleme sayısına ulaşılan kadar bu süreç devam etmektedir.

Çalışma kapsamında tasarım değişkenleri olarak bina kabuğu bileşenleri ele alınmaktadır. Bu bileşenler, dış duvar, tavan, döşeme malzemeleri ve pencere cam sistemleridir.

Bu çalışma ile konut binalarının yaşam döngüsü maliyet (YDM) ve CO₂ salımlarının azaltılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla kullanılan çevreye dost malzemelerin maliyeti, eşdeğer malzemelere kıyasla çoğu zaman daha yüksek iken enerji etkin malzemeler de, diğer malzemelere kıyasla daha az çevre dostu olabilmektedir. Bu nedenle, iki hedef arasında bir denge kurulabilmesi için Pareto eğrisi kullanılmaktadır. Çoklu hedeflerin optimizasyonunda, hedeflerden birinin indirgenmesi ile diğer hedeflerden en az birinde artış gerçekleşiyor ise, önerilen bu alternatif “Pareto Optimumu” olarak adlandırılmaktadır.

Konut binasının yaşam döngüsünün değerlendirilmesinde binanın kullanım öncesi, kullanım ve kullanım sonrası evreleri dikkate alınmaktadır. Hesaplamalar için kabul edilen süre, 25 yıldır.

YDM hesaplamaları için aşağıda belirtilen eşitlikten yararlanılmaktadır.

$$YDM = \dot{I}M + Y_B + KB\&O_B + E_B \quad (1.2)$$

$\dot{I}M$ ile ilk yatırım maliyeti, Y_B ile yenileme maliyetinin bugünkü değeri, $KB\&O_B$ ile kullanım ve bakım&onarım maliyetlerinin bugünkü değerleri ve E_B ile ise enerji maliyetinin bugünkü değeri tanımlanmaktadır.

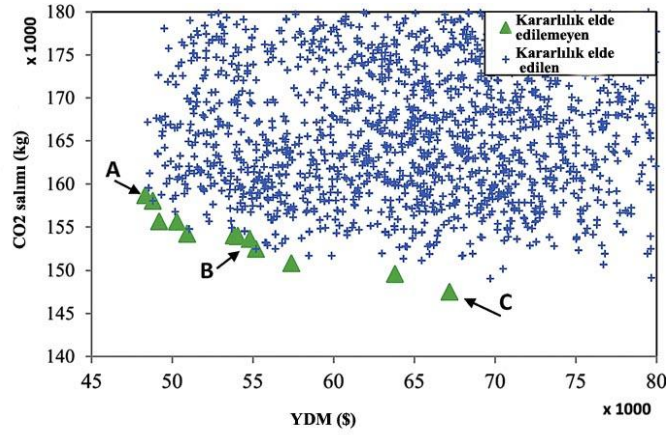
İnşaat maliyetlerine ilişkin veriler, “Bina İnşaat Maliyeti Verileri El kitabı”ndan alınmaktadır [18]. Enerji artış değerleri ise, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Departmanı’nın yayınladığı yıllık rapordan elde edilmektedir [19].

Konut binasının yaşam döngüsü CO₂ salımlarının hesaplanmasında, sera gazlarından CO₂, CH₄ ve N₂O gazları dikkate alınmaktadır. Kullanılan malzemelere ilişkin küresel ısınma potansiyeli verileri, bazı YDD veritabanlarından elde edilmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan konut binası, Amerika Birleşik Devletleri’nin Louisiana eyaleti Baton Rouge kentinde olduğu kabul edilen 186m² döşeme alanına

sahip üç zonlu (salon, garaj ve çatı arası) bir tek aile konutudur. Sadece salon zonu şartlandırılmış, diğer iki zon ise ihmal edilmiştir. Isıtma ve soğutma sistemi için hava kaynaklı ısı pompası kullanılmaktadır. Isıtma ayar sıcaklığı 22°C, soğutma ayar sıcaklığı ise 26.6° olarak kabul edilmektedir. Isıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması amacıyla Energy Plus simülasyon programı kullanılmaktadır.

Çalışma sonucunda, CO₂ salımında azalma sadece yaşam döngüsü maliyetinin artırılmasıyla sağlanabilmektedir. Her bir kritere düşük ya da yüksek seviyede etki eden birçok optimum alternatif elde edilmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : YDM ve CO₂ salımı için Pareto eğrisi.

Alternatifler içerisinde, Pareto A alternatifinin yüksek çevresel etkiye sahip olmasına rağmen en düşük maliyetli olduğu, C alternatifinin düşük çevresel etkiye sahip olması ile birlikte yüksek maliyetli olduğu, B alternatifinin ise her iki kriter için orta seviyede değerlere sahip olduğu görülmektedir. Sadece YDM açısından optimizasyon yapıldığında A alternatifinin, sadece CO₂ salımının azaltılması dikkate alındığında ise, C alternatifinin optimum olduğu belirtilmektedir. YDM/CO₂ oranına bakıldığında ise, CO₂ salım azaltımı açısından A alternatifi ile C alternatifi karşılaştırıldığında, A alternatifinin daha yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Küresel ısınma potansiyeli açısından ise, A alternatifinin diğer alternatiflere kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir [20].

N.W.O. Brown, T. Malmqvist, W. Bai ve M.Molinari'nın çalışması

Bu çalışma ile mevcut konut binalarının enerji etkinlik düzeyinin artırılmasında kullanılan önlemlere ilişkin sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, ele alınan yöntem;

- enerji tüketim hesaplamalarını,

- yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizini,
- “İsveç çevresel derecelendirme aracı Miljöbyggnad (MB)” ile çevresel değerlendirmeyi

kapsamaktadır.

Bu çalışmada ele alınan yöntem, İsveç çok aileli konut tipini yansıtan ve Stockholm eyaletinde yer alan 3 konut örneğine uygulanmaktadır. Birinci konut örneği, 1960 yılı sonrası tipik İsveç küçük ev modelini yansıtan ve 1973 yılında inşa edilmiş teraslı beş sıra evdir. İkinci konut örneği, 1973 yılında, üçüncü konut örneği ise 1963 yılında yapılmış bir apartmandır. Her iki apartman modelinin 1960 başlarında İsveç’te kullanılmaya başlanan endüstrileşmiş üretim modelinin birer örneği ve daha sonrasında da İsveç “milyon ev program”ının simgesi olduğu belirtilmektedir. Her bir bina için;

- binanın mevcut fonksiyonunu ve mevcut enerji tüketimini koruması amacıyla minimum düzeyde yatırımların yapıldığı durum “mevcut”,
- etkinlik düzeyinin orta düzeyde artırıldığı ve enerji tüketiminin orta düzeyde azaltıldığı önlemler kombinasyonu “orta”,
- etkinlik düzeyinin yüksek düzeyde artırıldığı ve enerji tüketiminin yüksek düzeyde azaltıldığı önlemler kombinasyonu ise “yüksek”

durum olarak tanımlanmaktadır.

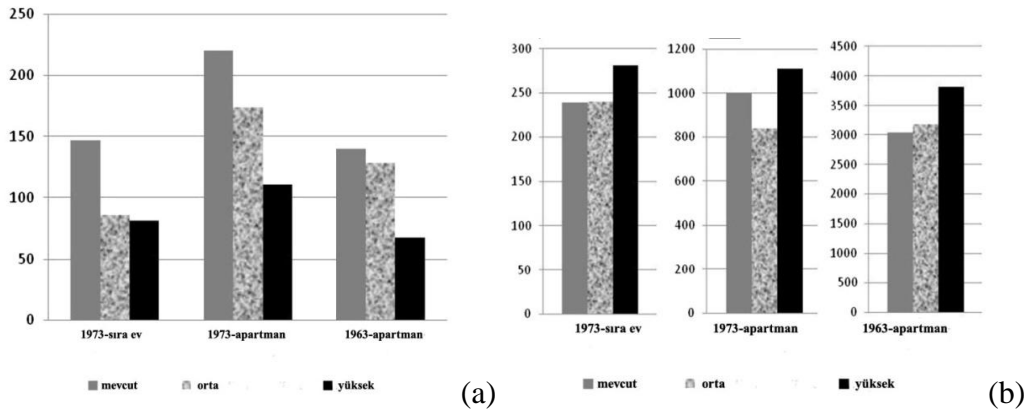
Çalışma kapsamında ele alınan önlemlerin (kaplamalı cam, ısı yalıtım uygulaması, ısı dönüştürücülü mekanik havalandırma, radyatörlere termostatik vana eklenmesi vb), literatürde geniş kapsamlı tartışılan, kabul görmüş önlemlere dayandırılarak belirlendiği vurgulanmaktadır.

Enerji etkinlik değerlendirmesi kapsamında, AB tarafından yayınlanan ilk EPBD’ye ilişkin kavram esas alınmaktadır. Bu kavram çerçevesinde, ısıtma ve sıcak su için gerekli enerji ve aktif bina alt sistemleri için gerekli elektrik enerjisi dikkate alınmaktadır. Binanın tanımlanmış mevcut diğer durumlarına ilişkin ısıtma ihtiyacı, IDA İç İklim ve Enerji simulasyon programı kullanılarak hesaplanmaktadır [21].

Mevcut durum ve ele alınan kombinasyonlar için net bugünkü değer yönteminin esas alındığı yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu analizler için kabul edilen hesaplama süresi, 50 yıldır.

Ele alınan binalar ve yenileme kombinasyonları, MB aracı ile tanımlanmış 14 göstergenin (satın alınan enerji, ısı kaybı faktörü, enerji karışımı, radon gazı konsantrasyonu, gürültü seviyesi, gün ışığı, ısı iklim (yaz ve kış için), lejyonella riski, tehlikeli maddelerin bulunması, havalandırma, nem, iç ortam havasında nitrojen dioksit oranı ve güneş ısısı faktörü) değerlendirilmesi sonucunda çevresel açıdan derecelendirilmektedir. Bu derecelendirme aracı ile altın (en iyi), gümüş, bronz ya da sınıflandırılmış derecelendirmesi yapılmaktadır [22, 23].

Çalışmanın sonucunda, yüksek etkinliğe sahip kombinasyonların, mevcut enerji tüketimini %50'lere kadar azaltabildiği görülmektedir. 1973 yılında inşa edilmiş apartmanın orta etkinlik düzeyine ilişkin hesaplanmış YDM'sinin mevcut duruma kıyasla oldukça düşük olduğu belirtilmektedir. Bunun sebebi olarak ise, orta etkinlik kombinasyonu kapsamında ele alınan önlemlerin kontrole yönelik önlemler olması ve bina kabuğuna ilişkin önlemler ile karşılaştırıldığında bu önlemlere ait ilk yatırım maliyetlerinin daha düşük gerçekleşmesi gösterilmektedir. 1973 yılında yapılmış sıra evler için ise, orta etkinlik düzeyinin YDM açısından mevcut durum ile eşit olduğu belirtilmektedir. Bu sonucun elde edilmesindeki etken ise, 1973 yılında enerji maliyetlerinin yüksek olması ve bu nedenle sıra evlerin ısıtma ihtiyacını bölgesel ısıtma ile değil de elektrik enerjisi ile karşılamalarıdır. Tüm binalar için ele alınan kombinasyonlara ilişkin YDM'ler ile mevcut durum karşılaştırıldığında, YDM'lerin %5-26 oranında yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 : Enerji tüketimi (kWh/m²) (a) ve net bugünkü değerleri (kEuro) (b).

MB kullanılarak yapılan çevresel değerlendirme sonuçlarına göre, ele alınan tüm kombinasyonlar ile ısı kaybı, enerji tüketimi, kış mevsimi ısı iklim göstergeleri açısından iyileşme sağlandığı belirtilmektedir. Diğer göstergeler açısından ise,

önerilen önlemlerin hem pozitif hem de negatif etkilere sahip olduğu vurgulanmaktadır [24].

1.2.2 Enerji üreten sistemlerin değerlendirilmesi

A. A. Bayod-Rujula, A. Ortego-Bielsa ve A. Martinez-Gracia'nın çalışması

Bu çalışmada, binaların teras çatı alanlarında uygulanan PV sistemlerin farklı modül teknolojileri ve yerleşimler açısından değerlendirilebilmesinde dikkate alınması gereken bazı performans göstergeleri tanımlanmaktadır. Tanımlanan bu göstergeler, aşağıda belirtilmektedir.

Maksimum güç yoğunluğu (density of peak power, D_{pp})($Wp/m^2_{\text{teras çatı alanı}}$): Maksimum güç yoğunluğu ile mevcut alan ile kurulu maksimum güç arasındaki oran tanımlanmaktadır. Belirlen bu oran ile binada en yüksek PV enerji üretiminin gerçekleşebildiği alternatifler belirlenebilmektedir.

Nihai sistem kazancı (final system yield, Y_f) (kWh/kWp): Bu oran ile kurulu maksimum güç başına üretilen yıllık enerji miktarı tanımlanmakta ve böylelikle en yüksek verimliliğin elde edilebildiği alternatifler belirlenebilmektedir.

Kurulu PV sistem alanı başına üretilen yıllık enerji değeri (yearly energy per unit of collection area) ($kWh/m^2_{PV \text{ alanı}}$): Bu oran ile PV yüzey alanı başına üretilen yıllık enerji miktarı, dolayısıyla enerji üretim alanının genel verimliliği tanımlanmaktadır.

Enerji yoğunluğu (density of energy, D_e) ($kWh/m^2_{\text{teras çatı alanı}}$): Bu oran ile PV sistemin kurulduğu teras çatı alanı başına üretilen yıllık enerji miktarı belirlenebilmektedir.

Enerji geri dönüşüm faktörü (energy return factor, ERF) (birimsiz): PV sistemin kullanım evresi süresince ürettiği toplam enerji miktarının sistemin yaşam döngüsü boyunca harcadığı toplam enerjiye oranıdır.

$$ERF = \frac{\text{Enerji çıktısı(tüm kullanım evresi)}}{\text{Enerji girdisi}} \quad (1.3)$$

Enerji geri ödeme süresi (energy payback time, $EPBT$) (yıl): PV sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca harcanan enerjinin sistemin yıllık enerji üretimine oranıdır.

$$EPBT = \frac{\text{Enerji girdisi}}{\text{Enerji çıktısı(yıllık)}} \quad (1.4)$$

Enerji fazlası (energy surplus, ES) (kWh): Şebekeye verilen enerjiden PV sistemin tüm yaşam döngüsü boyunca harcadığı enerjinin çıkarılması ile elde edilen brüt enerji miktarıdır. PV sistem kullanımı ile önlenebilen CO₂ salım miktarı ile ilişkili bir göstergedir.

Bu çalışmada, PV modül dizileri arasındaki mesafe ve PV modül eğim açısına bağlı PV sistem enerji performansındaki değişimler yukarıda belirtilen performans göstergeleri dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, İspanya'nın Zaragoza Üniversitesi kampüsü içerisinde yer alan Torres Quevedo Binasının geniş teras çatı alanına kurulabilecek PV sistem konfigürasyonları irdelenmektedir.

Zaragoza iline ait yatay düzlem üzerindeki aylık ışınım değerleri Meteororm 6.0 programından alınmaktadır. PV sistemlere ilişkin yıllık enerji üretim değerleri ise, PVSyst 4.34 programı ile hesaplanmaktadır. İrdelenen PV sistemler kapsamında, beş farklı PV teknolojisi (tek kristalli silikon, m-Si; çok kristalli silikon, p-Si; Bakır indiyum Galyum Diselenid, CIS; Kadmiyum tellürid, CdTe ve amorf (şekilsiz) silikon, a-Si) dikkate alınmaktadır. Teras çatı alanında optimum PV sistemin tasarlanabilmesi amacıyla farklı PV modüllerine ilişkin eğim açısı ve panel dizileri arası gölgeleme mesafelerinin belirlenmesine yönelik duyarlılık analizleri yapılmaktadır.

Farklı eğim açılarına ilişkin gerçekleştirilen duyarlılık analizleri sonucunda, Zaragoza ili için optimum eğim açısı 30° olarak tanımlanmakta ve en iyi enerji performansının ise, amorf silikon PV hücreleri elde edildiği belirtilmektedir. Tanımlı optimum eğim açısına göre farklı PV teknolojileri için optimum panel dizileri arası gölgeleme mesafesi, çalışma kapsamında ele alınan parametrelerin değerlendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Ayrıca farklı PV teknolojileri için belirlenen optimum eğim açısına bağlı net bugünkü değerleri ve enerji performans göstergeleri (enerji geri ödeme süresi, enerji geri dönüşüm faktörü ve CO₂ salım azaltımı) hesaplanmaktadır [25].

I.Nawaz ve G.N. Tiwari'nin çalışması

Bu çalışma ile PV sistemlerin enerji geri ödeme süreleri ve CO₂ salımlarının hesaplanması ele alınmaktadır. Bu amaçla, Delhi kentinde yer alan Hindistan Teknoloji Enstitüsü'nde 1.2 kWp'lik kurulu güce sahip tek kristalli silikon PV sistem irdelenmektedir. PV sisteme ilişkin enerji analizi, gömülü enerji ve enerji çıktısı kapsamında yapılmaktadır.

Gömülü enerji: PV sistemin üretimi için ihtiyaç duyulan enerji miktarıdır. Enerji girdisi (E_{in}) olarakta bilinmektedir. Gömülü enerji, makro ve mikro düzey olarak ele alınmakta ve aşağıda belirtilmektedir:

- Makro-düzyey: Akü (sarf malzemelerin) ve PV sistem için tanımlı yaşam ömürlerinin aynı olduğu durum.
- Mikro-düzyey: Akü (sarf malzemelerin) ve PV sistem için tanımlı yaşam ömürlerinin farklı olduğu durum.

Enerji çıktısı: PV sistemin yıllık ürettiği enerji miktarıdır (E_{out}).

Enerji girdisi kapsamında, PV sistemin üretimi için ihtiyaç duyulan enerji miktarının hesaplanması amacıyla dikkate alınan evreler, aşağıdaki gibidir:

- Czochralski silikon külçesinin (ingot) üretiminde malzemenin (silikon dioksit) arındırılması ve işlenmesi için kg başına ihtiyaç duyulan enerji miktarı.
- Hücre imalatı için czochralski silikon külçesinin silikon dilimleri formuna dönüştürülmesinde m^2 başına ihtiyaç duyulan enerji miktarı.
- Modüllerin birleştirilmesi için m^2 başına ihtiyaç duyulan enerji miktarı.
- Destekleyici alt strüktür (açık alan ve çatıya entegre PV sistemler) için m^2 başına ihtiyaç duyulan enerji miktarı.
- Sistemi dengeleyen diğer sistem bileşenleri: Akü, evirici (invertör), elektronik bileşenler, kablolama vb.

Enerji çıktısı kapsamında PV sistemlerden üretilebilecek enerji miktarı, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$E_{out} = \text{Güneş ışınımı değeri} \times \text{sistem verimi değeri} \quad (1.5)$$

Yıllık ortalama güneş ışınımı değeri, eğimli yüzey üzerindeki güneş ışınımı değeri, günlük en yüksek güneşlenme saati ve bir yıl içerisindeki açık güneşli gün sayısının çarpılması ile elde edilmektedir. Çalışma kapsamında, eğimli yüzey üzerindeki güneş ışınımı değeri 800, 1000 ve 1200 W/m^2 olarak üç farklı değer ve bu değerlere ilişkin günlük en yüksek güneşlenme saatleri ise 6 ve 8 saat olarak iki farklı değer dikkate alınmakta ve farklı kombinasyonlar oluşturulmaktadır. Bir yıl içerisindeki güneşli gün sayısı ise, 300 gün olarak kabul edilmektedir. Sistem verimi değeri, PV hücre verimi, paketleme faktörü (PF) ve sistemi dengeleyen diğer sistem bileşenlerinin

verimi çarpılarak elde edilmektedir. Çalışma kapsamında sistem verimi değeri, %11 ve %8 olarak dikkate alınmaktadır.

PV sistemlerin enerji geri ödeme süreleri, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$EPBT = \frac{\text{Gömülü enerji}(kWh/m^2)}{\text{Enerji çıktısı} (kWh/m^2/yıl)} \quad (1.6)$$

PV sistemlere ilişkin CO₂ salım değerinin hesaplanabilmesi için aşağıda belirtilen eşitlikten yararlanılmaktadır.

$$CO_2 \text{ salımı (yıllık)} = \frac{\text{Gömülü enerji} \times 0.98}{\text{Yaşam ömrü}} \quad (1.7)$$

Eşitlikte belirtilen 0.98 kgCO₂/kWh değeri, kömür esaslı elektrik enerjisi üretimine ilişkin hesaplanmış ortalama eşdeğer CO₂ değeridir [26].

Çalışma sonucunda, PV sistemlere ilişkin enerji geri ödeme süresinin güneş ışınımı, PV sistem (panel) ve diğer sistem bileşenlerinin verimine bağlı olduğu belirtilmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, enerji geri ödeme süresinin 7-26 yıl arasında değişim gösterdiği görülmektedir. PV teknolojisi ile sağlanan net CO₂ salım tasarrufunun yıllık kWh başına 0.24-0.77 kg arasında değişim gösterdiği belirtilmektedir [27].

G. Liu, M.G. Rasul, M.T.O. Amanullah ve M.M. Khan'ın çalışması

Bu çalışma ile Avustralya'nın Queensland eyaletinde yer alan konutlar için şebekeye bağlı PV sistemlerin modellenmesi ve optimizasyonu ele alınmaktadır. Queensland eyaletindeki başlıca 11 il için tanımlı yaşam süresi boyunca sisteme ilişkin yatırım maliyetleri, finansal gelirler, elektrik üretimi ve CO₂ salımı, yenilenebilir enerji simülasyon aracı HOMER programı kullanılarak hesaplanmaktadır. HOMER programı Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilmiş mikro-güç optimizasyon modelidir [28]. Bu program ile ekonomik ve çevresel performanslar ve sisteme ilişkin saatlik uygulamalar simule edilebilmekte ve optimize edilmiş sistem konfigürasyonu ve eleman boyutları belirlenebilmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan iller, Queensland eyaletinde nüfusu 50.000'den fazla olan Brisbane, Bundaberg, Cairns, Gladstone, Gold Coast, Mackay, Maryborough, Rockhampton, Sunshine, Toowoomba, Townsville'dir. Bu iller için aylık global

güneş ışınım verileri, Kanada Ulusal Kaynaklar tarafından geliştirilmiş RETScreen Temiz Enerji Proje Analizi programından alınmaktadır. Ele alınan bu iller, güneş ışınım ve dış iklim sıcaklık verilerine bağlı olarak aşağıda belirtilen iklim bölgelerini temsil etmektedir:

- Bölge 1: Tropik (Cairns ve Townsville)
- Bölge 2: Yarı-tropik (Brisbane, Gladstone ve Gold Coast)
- Bölge 3: Sıcak kuru (Rockhampton)
- Bölge 4: Ilımlı (Toowoomba)

PV sistemlerin ekonomik performanslarının değerlendirilmesinde, ekonomik göstergeler olarak net bugünkü maliyet (NBM), enerji maliyeti (EM) ve yatırım getirisi (YG) dikkate alınmaktadır. PV sistemlere ilişkin ekonomik model kapsamında tanımlanan elektrik enerjisi tarifesi, elektriğin satın alımı ve elektriğin şebekeye satış (mahsuplaşma) tarifelerinden oluşmaktadır. Queensland eyaletinde, 1 Temmuz 2008’de yürürlüğe giren Queensland Yönetimi Solar Ödeme Tasarısı ile konut sahipleri ve diğer küçük enerji kullanıcılarına solar PV sistemlerden üretilen fazla enerjinin şebekeye satılmasında ödeme yapılması öngörülmektedir [29]. Bu tasarı ile öngörülen ödeme miktarı 44 cent/kWh olup mevcut konutlarda kullanılan elektrik tarifesinin (21.35 cent/kWh) iki katıdır.

Çalışma kapsamında ince film PV sistemler kullanılmaktadır. PV sistemlerin maliyet analizinde ise, yüksek fiyat ve düşük fiyat alternatifleri irdelenmektedir (Çizelge 1.5). Yapılan maliyet analizi, ilk yatırım, değiştirme ve işletim-bakım maliyetlerini ve hurda değerini kapsamaktadır.

Çizelge 1.5 : Maliyet analizi kapsamında ele alınan alternatiflere ilişkin kabuller.

Alternatifler	Yüksek fiyat alternatifi	Düşük fiyat alternatifi
Yaşam süresi	30 yıl	20 yıl
Maliyet	4500 \$	3600\$

PV sistemin teknik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi amacıyla yıllık elektrik enerjisi üretimi ve CO₂ salımı hesaplanmaktadır. Ayrıca, PV panel eğimine bağlı olarak enerji maliyeti ve CO₂ salımında gerçekleşebilecek değişimleri incelemek amacıyla duyarlılık analizleri yapılmaktadır. İlk duyarlılık analizi, PV panel eğimine ilişkin 0°-45° aralıkları içerisinde 5°’lik açılış farkları dikkate alınarak

gerçekleştirilmektedir. İkinci duyarlılık analizi ise, kurulu PV sistem gücüne ilişkin 0-6 kWp aralıkları içerisinde 1.5 kWp farklar esas alınarak yapılmaktadır.

Tanımlı yüksek ve düşük fiyat alternatifleri kapsamında, 6 kWp'lik PV sistem ile ele alınan tüm illerdeki konutların mevcut elektrik enerjisi tüketiminin yarısından fazlasının karşılanabildiği belirtilmektedir. Kurulan bu sistem ile konutlara özgü belirlenmiş 23 kWh/gün enerji talebinin %54-61 oranında karşılanabildiği ve yıllık şebekeye 5552-6810 kWh elektrik enerjisi satılabildiği hesaplanmaktadır. PV sistemlere yapılan yatırım, yerel güneş enerjisi kaynaklarının sayısına bağlı olarak %12-16.3 arasında kazanç sağlamaktadır. PV sistemlerin şebekeye entegre olması ile Queensland eyaletindeki bir konutun yıllık CO₂ salımı, 7757 kg/yıl'dan 52.7-1730 kg/yıl'a azalabilmektedir. Elde edilen hesaplama sonuçlarına göre, net bugünkü maliyetler ile güneş ışınımı arasında ve güneş ışınımı ile CO₂ salımı arasında liner bir korelasyon mevcuttur. PV sistemlerin kurulacağı ile ilişkin güneş ışınım değerleri ne kadar yüksek ise, bu sistem için geçerli net bugünkü maliyet ve salım değerleri de o kadar düşük olmaktadır. Duyarlılık analizi sonuçlarına göre ise, büyük ölçekli PV sistemler için daha yüksek ilk yatırım maliyeti gerekmektedir. Diğer taraftan, kurulan bu sistemler ile daha fazla oranda CO₂ salımı azaltılabilmekte ve ürettiği yüksek elektrik enerjisi değeri ile de, küçük ölçekli sistemlere kıyasla, daha yüksek kazanç sağlanabilmektedir. Ele alınan farklı iller için 20°-25° arasındaki PV panel eğim açılarının optimum performans sağladığı belirtilmektedir [30].

1.2.3 Enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve enerji üreten sistemlerin birlikte değerlendirilmesi

A. A. Famuyibo, A. Duffy ve P. Strachan'nın çalışması

Bu çalışma ile konut stoğuna ilişkin yaşam döngüsü enerji ve sera gazı salım etkisinin değerlendirilebildiği bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Geliştirilen bu yöntem, örnek olarak İrlanda konut stoğuna uygulanmaktadır.

Çalışma üç bölümde ele alınmaktadır. Birinci bölümde, 13 yenilenmemiş temsili konut modelinin (müstakil konut, yarı-müstakil konut ve sıra ev/apartman) her biri için yaşam döngüsü etkiler değerlendirilerek "Referans" modelin kullanım, yenileme, bakım ve yıkım evrelerine ait enerji ve seragazı salım değerleri belirlenmektedir. Çalışmada ele alınan model konutlar, mevcut İrlanda konut stoğu içerisinde belirli sınıflara yönelik tanımlanmış konutları temsil etmektedir. Her bir

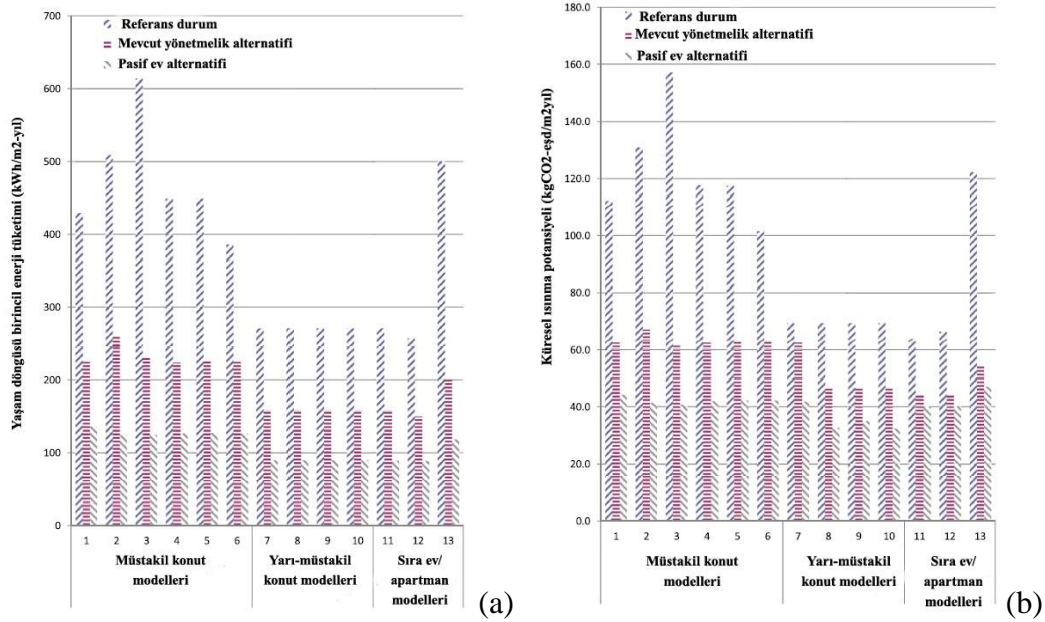
modele ilişkin etki düzeyleri, hiçbir önlem dikkate alınmadan değerlendirilerek “Referans” model oluşturulmaktadır. İkinci bölümde, referans modelin iki farklı enerji etkinlik düzeyini karşılayacak şekilde yenilenmesine ilişkin önlemlerin tanımlanması amaçlanmaktadır. Mevcut İrlanda bina yönetmeliğinde [31] belirtilen enerji ve salım gereksinimlerini karşılayan enerji etkinlik düzeyi “mevcut yönetmelik” alternatifi olarak tanımlanmaktadır. Uluslararası Pasif Konut Standardında [32-34] tanımlı enerji etkinlik düzeyi, çalışma kapsamında “pasif ev” alternatifi olarak ele alınan ikinci enerji etkinlik düzeyidir. Tanımlanan bu iki etkinlik düzeyinin sağlanabilmesine yönelik ele alınan önlemler, dış duvar, çatı ve döşeme alanlarında ısı yalıtımı uygulaması, cam sistemleri, sızdırmazlık değeri, ısıtma sistem ve kontrolleri, düşük salımlı teknolojiler ve aydınlatma sistemleri ile ilişkilidir. Üçüncü bölümde ise, yenilenen konut modellerinin birincil enerji ve birincil enerji tüketimine bağlı eşdeğer CO₂ salımları hesaplanmaktadır.

Çalışma kapsamında ele alınan malzemelerin yaşam döngüsü envanterleri, miktarları ve enerji tiplerine ilişkin veriler, İrlanda Konutları Enerji Performansı Araştırma (EPSIH)’sından alınmaktadır [35]. Farklı yenileme alternatiflerine ilişkin yıllık kullanım enerjisinin hesaplanabilmesi için Konut Enerji Modeli (HEM) simülasyon programı kullanılmaktadır. Ele alınan modellerin kullanım enerjisine bağlı çevresel etkileri, GABİ 4.4 programı ile hesaplanmaktadır.

Yenileme çalışmaları için EPSIH veritabanı, mevcut bina yönetmeliği ve pasif bina standardında belirtilen gereksinimlere ilişkin fiziksel değişkenler esas alınmaktadır. Malzeme, ürün, işgücü ve genel giderlere ilişkin maliyetler, İrlanda inşaat birim fiyat kitabı, mekanik ve elektrik birim fiyatları kitabından derlenmektedir [36,37]. Analizler için kabul edilen hesaplama süresi ise, 50 yıldır.

Yapılan analiz sonuçlarına göre, referans modele ilişkin yaşam döngüsü enerji değeri 259-614 kWh/m²yıl’dır. Hesaplanan yaşam döngüsü enerji değeri, mevcut yönetmelik alternatifi ile 151-261 kWh/m²yıl’a, pasif ev alternatifi ile ise 90-137 kWh/m²yıl’a düşürülmektedir (Şekil 1.4a). Mevcut yönetmelik ve pasif ev alternatifleri ile toplam kullanım evresine ilişkin birincil enerji değeri, referans durum ile karşılaştırmalı olarak sırası ile, %44 ve %82 oranında azalmaktadır. Değerlendirilen konut tipleri içerisinde müstakil konut tipi, tüm alternatifler için hem en yüksek birincil enerji tüketim değerine ve hem de en yüksek azaltım oranlarına

sahiptir. Salımlara ilişkin hesaplanan sonuçlar ise, enerji tüketimlerine ilişkin elde edilen sonuçlar ile benzerdir (Şekil 1.4b) [38].



Şekil 1.4 : Yaşam döngüsü birincil enerji tüketimi (a), küresel ısınma potansiyeli (b).

S.B. Sadineni, T.M. France ve R.F. Boehm'in çalışması

Bu çalışma ile ekonomik açıdan uygulanabilir enerji etkinlik indirim programının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, Amerika Birleşik Devletleri'nin (USA) güneybatı çöl bölgesinde üretilen konutların mevcut etkinliklerinin geliştirilmesine ilişkin potansiyelin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmada, Las Vegas kenti gibi soğutma yükünün öncelikli öneme sahip olduğu iklim bölgelerinde yer alan konutların enerji etkinliklerinin geliştirilebilmesi ve özellikle elektrik enerjisi tasarrufunun sağlanabilmesine yönelik ele alınabilecek önlemler için maliyet-fayda analizleri gerçekleştirilmektedir.

Çalışma kapsamında mevcut iki katlı 163.3 m²'lik döşeme alanına sahip tek aile konutu için analizler yapılmaktadır. Analizler, temel iyileştirmeler ve gelişmiş iyileştirmeler olmak üzere iki adımda gerçekleştirilmektedir. Ele alınan temel iyileştirmeler çerçevesinde, Uluslararası Enerji Korunumu Kanunu (IECC) standartlarına (2006) uygun etkin önlemler dikkate alınmaktadır. Gelişmiş iyileştirmeler ise, temel iyileştirmelerden daha yüksek iyileştirmeleri kapsamaktadır. Gelişmiş iyileştirmeler ile konutlardaki enerji kullanımının yüksek seviyede düşürülmesi ve küçük ölçekli fotovoltaik (PV) sistemlerin uygulanması ile de konutların net-sıfır enerjili binaya dönüştürülmesi öngörülmektedir. Ele alınan PV

sistemler, 1.764, 2.28 ve 3.192 kWp'lik kurulu güce sahip çatıya entegre sistemlerdir. Çalışma kapsamında ele alınan temel ve gelişmiş iyileştirmeler, Çizelge 1.6'da belirtilmektedir.

Çizelge 1.6 : Önerilen temel ve gelişmiş iyileştirmelere ilişkin değişkenler.

Bina enerji bileşenleri	Birim	Standart konut	Temel iyileştirmeler	Gelişmiş iyileştirmeler
Dış duvar -R	Km ² /W	2.29 (EPS)	2.99 (EPS)	4.05 (EPS)
Pencere-U; SHGC	W/Km ²	3.69; 0.40	2.27; 0.32	~1.59; ~0.23
Kapı-R	Km ² /W	0.53	1.23	Dikkate alınmadı
Sızdırmazlık: Etkin sızıntı alanı	cm ²	1884	354.2	Dikkate alınmadı
Klimalarda Mevsimsel enerji verimlilik oranı	kJ/W-hr	13.715	15.825	18.463-21.101
Aydınlatma		Enkandesan ampul	%100 kompakt flouresan lamba	Dikkate alınmadı
Mekanik havalandırma		Gerekli değil	Dikkate alınmadı	Isı geri kazanım vantilatörü
Çatı malzemesi		Standart	Standart	Yükseltilmiş çatı çitaları
Döşeme boşluk yalıtımı-R	Km ² /W	3.35 (selüloz)	3.35 (selüloz)	5.28 (selüloz)
Çatı arası yalıtım-R	Km ² /W	5.28 (ya da eşdeğeri)	3.87 (selüloz)	6.34 (sprey köpük yal.)

Ekonomik açıdan uygulanabilir enerji etkin iyileştirmelerin konut binasının yıllık enerji tasarrufları üzerindeki etkisinin değerlendirilebilmesi için Energy-10 simülasyon programı kullanılmaktadır. Programa girdi oluşturabilecek veriler, konut binasına ilişkin mimari çizimlerden elde edilmektedir. Dış iklim koşullarına ilişkin veriler için ise, tipik meteorolojik yıl (TMY) verileri esas alınmaktadır. İç iklim konfor koşulları açısından soğutma yükünün öncelikli öneme sahip olduğu güneybatı çöl bölgesinde yer alan konut binasının 8:00-18:00 saatleri arasında ısıtma ayar sıcaklığı 20°C, soğutma ayar sıcaklığı 23.89°C, soğutma geri ayar sıcaklığı ise 25.56°C olarak tanımlanmaktadır.

Ele alınan PV sistemlerin çatı strüktürüne entegre olması nedeniyle 22.6°'lik mevcut çatı eğimi, PV dizilerinin eğim açısı olarak kabul edilmektedir PV sistemler çatı alanının güney yüzeyine yerleştirilmektedir. Dikkate alınan bu eğim açısı ve yönlendirmeye bağlı PV sistemden üretilebilecek yıllık elektrik enerjisinin hesaplanabilmesi için bina enerji simülasyon kodları kullanılmaktadır. Hesaplamalarda PV sisteme ilişkin gereksinim duyulan teknik veriler, PV sistem üretici şartnamelerinden elde edilmektedir.

Binaya entegre PV sistemlerin ve farklı enerji etkin iyileştirmelerin ekonomik açıdan uygulanabilirliğinin değerlendirilebilmesi amacıyla maliyet-fayda analizleri yapılmakta ve geri ödeme süreleri hesaplanmaktadır.

Yapılan çalışma sonucunda;

- temel iyileştirmelerin tümünün 10 yıldan daha kısa sürede yapılan yatırımı geri ödeyebildiği,
- gelişmiş yüksek etkinlikteki pencere ve ısı geri kazanım vantilatörlerinin daha iyi geri ödeme sürelerine sahip olduğu, diğer gelişmiş iyileştirmelerin ise geri ödeme süresi açısından uygun olmadığı,
- yapılan maliyet-fayda analizleri sonucunda, mevcut federal hükümet tarafından PV sistemler için öngörülen indirim mekanizmasının PV sistem kurulumlarını destekleyen nitelikte olduğu

belirtilmektedir [39].

M. Ristimäki, A. Säynäjoki, J. Heinonen ve S. Junnila'nın çalışması

Bu çalışmada, konutların geliştirilmesi ile çevresel ve ekonomik açıdan iddia edilen sürdürülebilirliğin uygulamada sağlanıp sağlanmadığı irdelenmektedir. Bu bağlamda, yaşam döngüsü maliyet (YDM) ve yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) yöntemleri birlikte ele alınarak Finlandiya'da konutlarda uygulanan bölgesel ısıtma sistemi için yüksek düzeyde sürdürülebilirlik sağlayan teknolojilerin tanımlanması, farklı teknolojilere ilişkin salım değerleri ve salım azaltım potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada modern enerji sistemlerine yapılan yatırımların ekonomik ve çevresel açıdan uygulanabilir olup olmadığı da irdelenmektedir. Bu nedenle, YDM ve YDD analizleri ayrı olarak gerçekleştirilmekte ve elde edilen sonuçların bir arada ele alınması ile de yaşam döngüsü yönetim değerlendirmesi yapılmaktadır.

Çalışma kapsamında ele alınan Härmälänranta konut geliştirme alanı, Finlandiya'nın nüfus açısından üçüncü büyük kenti olan Tampere ilinde yer almaktadır. Bu konut geliştirme alanı iki evre şeklinde ele alınmakta ve 2012-2020 yılları içerisinde tamamlanması planlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, konut geliştirmenin ilk evresini oluşturan 546 kullanıya yönelik tasarlanmış, çok katlı yedi konut binası (brüt 3078m² ve her bir blok 28 daireden oluşmaktadır) incelenmektedir.

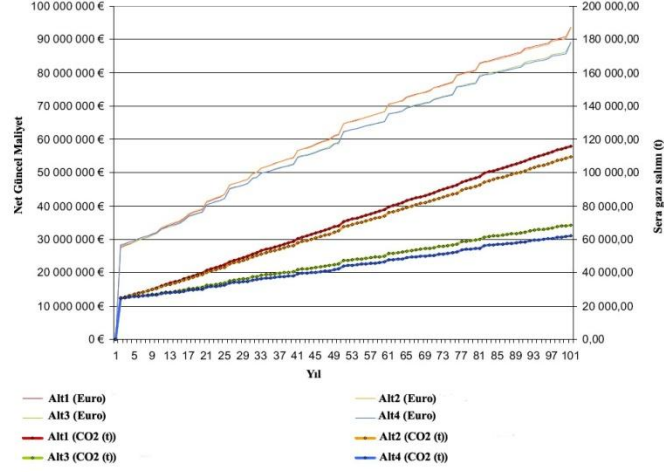
Çalışmada, referans durum ve farklı enerji sistemlerinin birlikte kullanılmasına yönelik oluşturulmuş alternatifler değerlendirilmektedir. Bu alternatifler, aşağıdaki gibidir:

- bölgesel ısıtma (referans durum, Alt1),
- binaya entegre fotovoltaik paneller (%10) ile birlikte bölgesel ısıtma (Alt2),
- toprak kaynaklı ısı pompası (Alt3),
- binaya entegre fotovoltaik paneller (%10) ile birlikte toprak kaynaklı ısı pompası (Alt4).

Ele alınan bu alternatifler için yaşam döngüsü maliyeti, yapım ve kullanım evrelerine ilişkin değerlendirmeleri kapsamaktadır. Yapım evresi için ilk yatırım maliyeti, kullanım evresi için ise enerji tüketimi, kullanım maliyeti, bakım maliyeti ve binaya ilişkin yenileme planları dikkate alınmaktadır. İlk yatırım maliyetine ilişkin veriler, inşaat firmaları ve PV panel üreticilerinden elde edilmektedir. Kullanım evresine ilişkin enerji tüketim değerleri ise, IDA ICE simülasyon programı kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan enerji tüketimleri, yerel enerji dağıtım sisteminden alınan tarife değerlerine göre enerji maliyetine dönüştürülmektedir. Bakım maliyeti ve yenileme planı ise, inşaat firmalarının tasarım müdürleri ile yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmektedir.

Çalışmada, konut alanı yaşam döngüsü sera gazı salımları da, yapım ve kullanım evresi salım değerleri olarak iki evre kapsamında değerlendirilmektedir. Yapım evresi sera gazı salım değerlendirmesi için bina ve altyapı inşaatında kullanılan malzemeler ve farklı enerji sistemlerinden kaynaklı gömülü salım değerleri, kullanım evresi sera gazı salım değerlendirmesi için ise, farklı enerji sistemlerine ilişkin birincil enerji tüketimi ve bakım evresine ilişkin sera gazı salımları dikkate alınmaktadır. Yapım evresi sera gazı salım değerlerinin hesaplanabilmesi için ENVIMAT IO modeli kullanılmaktadır. Kullanım evresine ilişkin sera gazı salım değerleri ise, enerji tüketimine ilişkin farklı enerji sistemlerinin sera gazı yoğunluk değerlerinin kullanımı ile hesaplanmaktadır.

Yaşam döngüsü analizleri için 25, 50 ve 100 yıllık üç hesaplama süresi dikkate alınmakta ve elde edilen sonuçlar Şekil 1.5'te belirtilmektedir.



Şekil 1.5 : Kümülatif YDM ve YDD sonuçları (100 yıl).

Elde edilen sonuçlara göre, ekonomik ve çevresel durumlar birbirini yaşam döngüsü açısından desteklemekte ve aynı zamanda yatırım-maliyet yaklaşımına tezat oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında yüksek maliyetli yatırımların seçilmesi ile önemli ölçüde enerji maliyeti ve sera gazı salımının azaldığı görülmektedir. Binaya entegre fotovoltaik paneller (%10) ile birlikte toprak kaynaklı ısı pompasını dikkate alan Alt4 alternatifinin, hesaplanan düşük enerji maliyeti ve dolayısıyla düşük salım değerlerinden ötürü yaşam döngüsü açısından diğer alternatifler ile karşılaştırıldığında, daha ekonomik olduğu vurgulanmaktadır [40].

1.2.4 Yöntemlerin tartışılması

Konut binalarında enerji performans düzeyinin değerlendirilmesine yönelik ele alınan çalışmalar irdelendiğinde konut binalarının,

- enerji etkinlik düzeyinin değerlendirilmesinde pek çok farklı değişken ve etkileşimin söz konusu olması nedeniyle ele alınan değerlendirme yöntemlerinde farklılıklar görülmekte ve
- gerek mimari, gerek mekanik, gerekse çevresel ve sosyal açıdan karmaşık bir yapıya sahip olmaları nedeniyle bina performansını geliştirecek etkin önlemlerin belirlenmesinde de öncelikler değişkenlik göstermektedir.

Diğer taraftan, tüm çalışmalarda esas alınan hedef, mevcut enerji tüketimlerinin azaltılması ve dolayısıyla enerji maliyetleri ve CO₂ salımının indirgenmesi amacıyla bina alt sistemlerinin geliştirilmesi ve enerji üreten sistemlerin entegre edilmesine ilişkin önlemler ile etkinlik düzeylerinin incelenmesidir.

Enerji tasarrufu sağlayan önlemler çerçevesinde genellikle pasif bina alt sistemlerinden ısıtma ve iklimlendirme enerjisi korunumunda etkili olan bina kabuğu tasarım parametresinin iyileştirilmesi dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda, ele alınan önlemlerin mevcut enerji performansı üzerindeki etkisi, *Ramesh, Prakash ve Shukla'nın* çalışması ve *Fesenghary, Asadi ve Geem'in* çalışmasında tekil olarak, diğer çalışmalarda ise oluşturulan kombinasyonlar kapsamında değerlendirilmektedir. Oluşturulan önlemler kombinasyonu ile *Uihlein ve Eder'in* çalışmasında ısıtma enerjisi tüketimi, enerji maliyeti ve CO₂ salımında sağlanan azalma değerleri, *Morissey ve Horn'un* çalışmasında ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimine bağlı yaşam döngüsü maliyetleri, *Brown, Malqwist, Bai ve Molinari'nin* çalışmasında ise enerji tüketimi, yaşam döngüsü maliyet ve çevresel performanslar değerlendirilmektedir. Tekil önlemler kapsamında, *Ramesh, Prakash ve Shukla'nın* çalışması ile yaşam döngüsü enerji analizleri, *Fesenghary, Asadi ve Geem'in* çalışması ile ise, yaşam döngüsü maliyet ve yaşam döngüsü CO₂ salımı analizleri gerçekleştirilmektedir. İncelenen çalışmalarda, sadece, *Ramesh, Prakash ve Shukla'nın* çalışmasında farklı iklim bölgeleri dikkate alınmaktadır. *Morissey ve Horn'un* çalışması ve *Fesenghary, Asadi ve Geem'in* çalışması dışındaki çalışmalarda enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının optimum performansları değerlendirilmemektedir.

Enerji üreten sistemlerin konut binalarına entegre edilmesi amacıyla genellikle fotovoltaiik (PV) sistemler dikkate alınmaktadır. *Bayod-Rujula, Ortega-Bielsa ve Martinez-Gracia'nın* çalışması ile teras çatı alanında optimum PV sistem tasarımına etki eden değişkenlere ilişkin duyarlılık analizleri gerçekleştirilmektedir. Tek bir iklim bölgesi için gerçekleştirilen analizler sonucunda belirlenen optimum eğim açısına bağlı farklı PV teknolojileri için enerji ve ekonomik performanslar değerlendirilmektedir. *Nawaz ve Tiwari'nin* çalışması ile teras çatı ve açık alanda tek kristalli silikon PV sistemlere ilişkin yaşam döngüsü enerji analizleri gerçekleştirilmektedir. *Liu, Rasul, Amanullah ve Khan'in* çalışmasında ise ince film PV sistemlere ilişkin enerji üretimi, net bugünkü maliyetler ve CO₂ salım azaltımları değerlendirilmektedir. İlk iki çalışmada, PV sistemlerin üretim evresi enerji tüketimi ve kullanım evresi enerji üretimi birlikte ele alınırken *Liu, Rasul, Amanullah ve Khan'in* çalışmasında sadece kullanım evresi enerji üretimi dikkate alınmaktadır. Farklı iklim bölgeleri için konut binasına ilişkin mevcut enerji talebinin PV

sistemlerden karşılanma oranı, incelenen çalışmalardan sadece *Liu, Rasul, Amanullah ve Khan'in* çalışmasında hesaplanmaktadır. Ayrıca, tanımlı yaşam ömrü içerisinde PV sistemlerin enerji performansında oluşabilecek yıllık azalma (degradasyon) değerleri, incelenen çalışmalarda dikkate alınmamaktadır.

Enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve enerji üreten sistemlerin birlikte ele alındığı çalışmalarda, bina alt sistemlerinin geliştirilmesi ve enerji üreten sistemlerin entegre edilmesine ilişkin tanımlanmış önlemlerin tekil ya da kombinasyonlar oluşturularak değerlendirildiği görülmektedir. Bu bağlamda ele alınan önlemlerin mevcut enerji performansı üzerindeki etkisi, *Sadineni, France ve Boehm'in* çalışmasında tekil olarak, diğer çalışmalarda ise oluşturulan kombinasyonlar kapsamında değerlendirilmektedir. İncelenen çalışmalarda, enerji üreten sistemlerden güneş enerjisini kullanan PV sistemler dikkate alınmaktadır. *Famuyibo, Duffy ve Strachan'in* çalışması ile yaşam döngüsü enerji ve sera gazı salımları, *Sadineni, France ve Boehm'in* çalışması ile maliyet analizleri, *Ristimäki, Säynäjoki, Heinonen ve Junnila'nın* çalışması ile ise yaşam döngüsü maliyet ve sera gazı salımları değerlendirilmektedir.

Günümüzde, konut binalarının yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesine ilişkin uygun yöntemin belirlenmesi önemli bir sorundur. Ele alınacak değerlendirme yöntemi kapsamında etkin önlemlerin hangi önceliğe göre türetilmesi ise, çalışmaların diğer bir odak noktasını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının optimum performans düzeylerinin belirlenmesine yönelik pek çok önlem geliştirilebilmekte ve geliştirilen önlemlerin mevcut enerji performans düzeyi üzerindeki etkileri değerlendirilebilmektedir. Bu amaçla yapılacak analizler, sadece enerji tasarrufu sağlayan önlemlerin ya da enerji üreten sistemlerin dikkate alınması ile sınırlı kalmayıp her iki sistemin birlikte ele alınmasını kapsamalıdır. Ayrıca, analizler çerçevesinde sadece konutların kullanım evresi değil, tüm yaşam döngüsü evreleri de dikkate alınmalıdır. Yapılan analizler çerçevesinde tüm konut stoğuna ilişkin genel sonuçların elde edilebilmesi için farklı iklim koşulları da dikkate alınmalı ve optimum performans gösteren önlemler belirlenmelidir. Sonuç olarak, yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının performanslarının değerlendirilmesine ilişkin yöntemler, iklimsel koşullara, kullanıcı ihtiyaçlarına, yapma çevreye ilişkin değişkenlere ve yönetmeliklere bağlı olarak

farklılık gösterebilmektedir. Bu açıdan, ulusal ölçekte gerek mevcut gerekse yeni yapılacak konut binalarının performanslarının değerlendirilmesine ilişkin yapılacak çalışmalar kapsamında, daha önce uygulanmış yöntemlerin revize edilmesi ve/veya uygun yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle, bu tez çalışması ile ülke kaynakları ve karar vericiler açısından optimum faydanın elde edilmesi ve optimum performans gösteren konutların üretilmesi ile sürdürülebilir çevrelerin sağlanması hedeflerine yönelik olarak konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan önlemlerin farklı iklim bölgeleri için geliştirilmesi ve geliştirilen önlemlere ilişkin konut binalarının enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve enerji üreten sistemlere ilişkin geliştirilen farklı alternatiflerin konut binasının yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımı ve yaşam döngüsü maliyetleri üzerindeki etkisi YDE, YDCO₂ ve YDM analizleri çerçevesinde değerlendirilmektedir. Değerlendirme sonucunda yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren alternatifler belirlenebilmekte ve böylelikle, farklı iklim bölgeleri için belirlenen alternatiflerin birlikte ele alındığı optimum iyileştirme kombinasyonları tanımlanabilmektedir. Tanımlanan optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin yinelenen YDE, YDCO₂ ve YDM analizleri ile kombinasyonlar kapsamında dikkate alınan önlemlerin bir aradaki etkileri, yaşam döngüsü enerji tüketimi, CO₂ salımı ve maliyeti açısından saptanabilmekte ve referans konut binasının mevcut performans düzeyi ile karşılaştırılabilmektedir. Böylece, tanımlanan optimum iyileştirme kombinasyonlarının referans konut binasının mevcut enerji, ekonomik ve çevresel performansına göre enerji ve maliyet etkinlik düzeyleri belirlenebilmektedir.

2. KONUTLARDA ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ

Bu bölümde, konutlar açısından enerji etkinliği ve maliyet etkinliği kavramlarının tanımlanması ve tartışılması hedeflenmektedir.

2.1 Konutlarda Enerji Etkinliği

Enerji, sosyal gelişme ve ekonomik büyümenin esasını oluşturmaktadır. Artan enerji talebini ve dolayısıyla CO₂ salımını azaltmanın en ekonomik yolu enerji etkinliğinin sağlanmasıdır. Bu nedenle, sürdürülebilir enerji stratejileri kapsamında enerjinin etkin kullanımı birincil öneme sahiptir. Enerji etkinliği, yaşam standartlarını, üretim kalitesini ve performansını düşürmeden birim hizmet ya da ürün miktarında enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Bu bağlamda, gelişmiş bir enerji etkinlik düzeyi, pek çok ülkenin gündeminde yer alan iklim değişikliği, ekonomik büyüme ve enerji güvenliği gibi sorunların çözümünde önemli bir aktör olarak kabul edilmektedir.

Enerji, sadece binaya ilişkin kullanım maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturmakla kalmayıp aynı zamanda kullanıcıların iklimsel ve görsel konfor koşullarının sağlanmasında da etkin bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, enerji etkinlik, yüksek verimlilik düzeyine sahip konutların üretiminde dikkate alınması gereken çok önemli bir unsurdur.

Konutlar, dünyada tüketilen enerji ve bu tüketimlere bağlı CO₂ salımları açısından önemli bir yüzdeyi temsil ederken diğer taraftan bu tüketimlerin maliyet etkin azaltımında da çok yüksek bir potansiyele sahiptir. Dolayısıyla, konutlarda enerji etkinliğinin sağlanması dünya genelinde pek çok ülke tarafından maliyet etkin enerji ve iklim değişikliği politikalarının geliştirilmesinde temel bileşen olarak görülmektedir.

IPCC İklim Değişikliği Azaltımı Çalışma Grubu tarafından (2007) 2020 yılı için öngörülen temel salım düzeyinin küresel çapta maliyet etkin olarak yaklaşık %29 oranında azaltımınının konut ve ticari bina sektörlerindeki mevcut potansiyel ile mümkün olduğu belirtilmektedir [41]. IEA'nın raporunda (2010) ise binalarda enerji talebinin azaltılması ve binaların enerji etkinliğinin iyileştirilmesi ile 2050 yılına

kadar 12.6 milyar ton CO₂ salımının azaltılabileceği ve 1,509 milyon ton eşdeğer petrol enerji tasarrufunun sağlanabileceğine dikkat çekilmektedir [42].

ASHRAE Uygulama El kitabında (1999), binalarda enerji etkinliğin enerji yönetim programı çerçevesinde enerji korunumunun temin edilmesine yönelik bir dizi iyileştirmenin gerçekleştirilmesi sonucunda sağlanabileceği belirtilmektedir. Mevcut binalar için ise enerji korunumu bileşenleri olarak mevcut binanın ısı performansının artırılması ve enerji etkin iyileştirilmesi gösterilmektedir [43]. Binalarda Enerji Etkinlik F klavuzunda ise, enerji etkin bir binanın istenen iç ortam konfor koşul ve hizmetleri minimum enerji kullanımı ile maliyet etkin ve çevre ile dost bir şekilde sağlayabileceği belirtilmektedir. Konutlarda enerji etkinliğin sağlanması ile;

- konut binalarının iyileştirilmiş tasarımı ve kullanımı,
- daha iyi çalışma ortamları,
- yaşam döngüsü maliyet tasarrufları,
- CO₂ salımlarının ve sınırlı fosil yakıt tüketiminin azaltılması,

gibi faydaların elde edilebileceği vurgulanmaktadır [44].

Konutların enerji etkinliğinin artırılması için öncelikle konutların enerji performansının saptanması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Konutların enerji performansının iyileştirilmesi ile enerji etkinliğin artırılması ve dolayısıyla konut yaşam döngüsü süresince tüketilen enerjinin miktar ve maliyetinin minimize edilebilmesi ve enerji tüketimine bağlı çevresel etkilerin, özellikle CO₂ salımının azaltılabilemesinin mümkün olduğu bilinen bir gerçektir.

2.2 Konutlarda Enerji Performansı

Konut enerji performansı, konutta gerçekte tüketilen ya da konutun standart kullanımına ilişkin ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve sıcak su kullanımı gibi farklı ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik hesaplanan enerji miktarı düzeyinin belirlenmesidir [3].

ASTM E2797 Standartında bina enerji performansı, ısıtma, soğutma ve diğer ilgili ihtiyaçların karşılanmasına yönelik yıllık toplam enerji tüketimi ve maliyetinin belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır [45].

Pek çok ÷lkede binalarda tüketlen enerji, toplam nihai enerji tüketimi ve CO₂ salımının %30-40'ını oluşturmaktadır. Binalarda enerji tüketiminin azaltılması, diğler bir deyişle enerji performansının artırılması, hem IEA tarafından belirtilen 2050 yılı referans değerlerinde %77'lik karbon ayak izi azaltımı hedefine ulaşmada hem de Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından belirtilen sabit CO₂ düzeyini sağlamada birinci derece öneme sahiptir [46].

Bu bağlamda, mevcut konutların enerji kullanımı açısından oldukça verimsiz bir yapıya sahip oldukları, diğler taraftan yeni konutların ise yüksek performans düzeyine ulaşma eğiliminde olmalarına rağmen genellikle mevcut konutların performans düzeyine benzer seviyelerde kaldıkları gör÷lmektedir. Dolayısıyla, pek çok konut binasının doğrudan ya da dolaylı olarak yüksek düzeyde fosil yakıt kullanımına bağımlı olması, kullanılan kaynakların kıt ve tükenebilir olması ve kaynakların kullanımına bağılı çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve yüksek enerji maliyetleri konut enerji performansının yaşam döngüsü açısından değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu nedenle, konutlarda enerji performansının bütüncül bir yaklaşım kapsamında değerlendirilebilmesi için konut enerji performansında ve mevcut konut enerji performansının iyileştirilmesinde etkili olan tüm değişken ve stratejilerin dikkate alınması gerekmektedir.

2.2.1 Konut enerji performansında etkili olan değişkenler

Konut enerji performansına etki eden değişkenler,

- iklime ilişkin değişkenler,
- binaya ilişkin değişkenler,
- kullanıcıya ilişkin değişkenler

olarak ele alınabilir.

2.2.1.1 İklimle ilişkin değişkenler

İklime ilişkin değişkenler, dış iklime ilişkin değişkenler ve iç iklime ilişkin değişkenler olarak iki ayrı grupta değerlendirilebilir.

Dış iklime ilişkin değişkenler (doğal çevre);

- güneş ışınımı,
- dış hava sıcaklığı,
- dış hava nemliliği,
- rüzgar

gibi bina dışı çevrede geçerli olan iklimi oluşturan ve insan konforunu etkileyen iklim elemanları olarak sıralanmaktadır.

İç iklime ilişkin değişkenler ise;

- iç hava sıcaklığı,
- yüzey sıcaklığı (veya ortalama ışımsal sıcaklık),
- hava hareketi hızı,
- havanın nemi

gibi iç iklimsel çevreyi meydana getiren, insanın konfor hissini etkileyen ve konfor kombinezonlarının kurulmasında kullanılan iç iklimsel bileşenlerdir [47].

Mevcut olan dış iklimsel koşulların (güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve rüzgar) kontrol altına alınması ile istenen iç iklimsel koşulların (iklimsel konfor koşullarının) sağlanabilmesi ve dolayısıyla bina ve yerleşme birimlerinin enerji etkin tasarlanabilmesi için öncelikle dış iklim elemanlarına ait değerlerin elde edilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle tasarımın dayandırıldığı karakteristik gün için güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, ve rüzgar gibi dış iklim elemanlarına ait değerler gerçek atmosfer koşullarına göre belirlenmelidir. ‘Gerçek atmosfer koşulları’ atmosferin yöresel bileşimini ve yöresel bulutluluk koşullarını göz önüne alarak tanımlayan atmosfer koşullarıdır [48]. Dış iklim elemanlarına ilişkin saatlik, günlük ve aylık verilere ulaşabilmek için ilgili yöre için gerçekleştirilmiş ölçüm sonuçlarının derlendiği çeşitli iklim veri tabanları kullanılabilir.

2.2.1.2 Binaya ilişkin değişkenler

İç çevre iklim koşullarının oluşumunda dış iklim durumunun etkinlik derecesi, yapma çevre değişkenleri olarak tanımlanan tasarım parametrelerinin performanslarına bağlıdır. Dolayısıyla, bu değişkenler iç iklim durumu ve iklimlendirme yüklerinin belirleyicileri olmak gibi ortak bir niteliğe sahiptirler. Bu niteliklerinden ötürü, söz konusu değişkenler, binaların pasif ısıtılmasını ve iklimlendirme işlevini yüklenmesini olanaklı kılmaktadır. Binaların ve yerleşme birimlerinin enerji etkin olarak tasarlanmaları, bu değişkenler için önerilecek uygun değerler aracılığıyla yapılabilmektedir [49].

Bina grubu ölçeğinde bir yapma çevre ele alındığında, ısı kayıplarının azaltılmasında dolayısıyla enerji tasarrufunda etkili olan binaya ilişkin değişkenler olarak,

- binanın bulunduğu yer,
- bina aralıkları,
- binanın yönlendiriliş durumu,
- bina formu,
- bina dış kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri

ele alınabilir [50].

Binanın bulunduğu yer

Binanın bulunduğu yer değişkeni, yerey parçasının baktığı yön, yerey parçasının eğimi, yerey parçasının konumu ve yerey parçasının örtüsü gibi bir grup alt değişkenlerin bütünüdür. Bu değişkenlere ilişkin uygun değerler, yörelerde geçerli olan iklimsel koşullar ve insanın iklimsel ihtiyaçlarına bağlı olarak belirlenmektedir [48,50].

Bina aralıkları

Binalar, aralarındaki aralıklara, yüksekliklerine ve birbirlerine göre olan konumlarına bağlı olarak birbirleri için güneş ışıınımı ve rüzgar engelleri olarak işlev görebilirler. Bu nedenle, güneş ışıınımının ısıtıcı etkisinden pasif ısıtma ve iklimlendirmede yararlanma veya kaçınma binalar arasındaki açık mekanların ölçülerinin bir fonksiyonudur. Güneş ışıınımı bir engele çarptığında (örneğin çevredeki bir bina) engelin etrafında, gün boyunca güneşin açısıl durumuna bağlı olarak bu engelin yaratacağı gölgelenmiş alanda boyutsal değişimlerin oluşması mümkündür [48,50].

Binanın yönlendiriliş durumu

Güneş ışıını ve rüzgar gibi dış iklim elemanları yöne göre değişim gösterirler. Güneş ışıınının ısıtıcı ve rüzgarın serinletici etkisi yöne (veya binaların yönlendiriliş durumuna) göre değişir ve dolayısıyla bu değişken aracılığıyla iklimsel konfor gereksinmelerine bağlı olarak optimize edilebilirler. Ayrıca, binaların yönlendiriliş durumlarına bağlı olarak, binayı çevreleyen kabuk elemanınının dış yüzeyindeki güneş ışıını yeğinliği ve dolayısıyla kabuğun birim alandan geçen ısı miktarı değişkenlik gösterir [51,50].

Bina formu

Herhangi bir yaşam alanını örten ve onu dış çevreden ayıran bina kabuğunun formuna bağlı olarak,

- binanın toplam dış yüzey alanı,
- farklı yönlere bakan ve farklı eğimlerdeki cephe ve çatı yüzeyleri alanları,
- cephe ve çatı yüzeyleri arasındaki oranlar

değişim gösterir. Bina formu,

- biçim faktörü (plandaki bina uzunluğunun bina derinliğine oranı),
- bina yüksekliği,
- çatı türü (düz, beşik ve kırma çatı),
- çatı eğimi,
- cephe eğimi

gibi binaya ilişkin değişkenler aracılığıyla tanımlanabilir [51,50].

Taban alanları aynı, farklı formlara sahip binaların dış yüzey alanları farklı olacağından bu farklı formlara sahip binaların toplam enerji tüketimleri de farklılık gösterecektir [50]. Bina enerji performansı açısından optimum performans gösteren bina formu, ısıtmanın istendiği dönemde bina kabuğu aracılığıyla dış çevreye toplam ısı kaybını, ısıtmanın istenmediği dönemde ise toplam ısı kazancını minimize eden binadır [52].

Bina dış kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri

Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri, bina kabuğunun birim alanından dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı etkileriyle kazanılan ve yitirilen ısı miktarının belirleyicileridir [50].

Bina kabuğu,

- Güneş ışınımına karşı yutuculuk (a), geçirgenlik (τ) ve yansıtıcılık (r) gibi optik ve
- Toplam ısı geçirme katsayısı (U), zaman geciktirmesi (ϕ), genlik küçültme faktörü (f), saydamlık oranı (x) gibi termofiziksel özellikler

ile tanımlanmaktadır [53].

Kabuğun güneş ışınımına ilişkin yutuculuk (a), geçirgenlik (τ) ve yansıtıcılık (r) gibi optik özellikler boyutsuz katsayılar olup birbirleri arasındaki bağıntılar,

Opak bina bileşenleri için,

$$a_0 + r_0 = 1 \quad (2.1)$$

Saydam bina bileşenleri için;

$$a_c + r_c + \tau_c = 1 \quad (2.2)$$

Yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık katsayıları, sırasıyla, bileşen tarafından yutulan, geçirilen ve yansıtılan güneş ışınımı miktarlarının bileşen dış yüzeyine gelen güneş ışınımına oranlarıdır. Cephenin dış yüzeyindeki güneş ışınımı, bileşenin optik özelliklerine bağlı olarak güneş ısı kazancına dönüşür [53].

Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü, kabuğun opak bileşeninin katmanlarını oluşturan malzemelerin ısı depolama kapasitelerine bağlı olan ve bileşenin yalıtım kapasitesini belirleyen iki özelliktir [54,50]. Bu özellikler bileşeni oluşturan katmanların, ısı iletkenlik katsayıları (λ), kalınlıkları (d), yoğunlukları (ρ), özgül ısıları (c) ve dolayısıyla ısı kapasitelerinin ($\rho.c$) bir fonksiyonudur [47,50].

Zaman geciktirmesi, gün içinde, kabuk bileşenini etkileyen maksimum sol-air sıcaklığın (güneş ışınımı ve sıcaklığının birleşik etkisini ifade eden sıcaklık) etkisinin, bileşenin iç yüzünde maksimum yüzey sıcaklığını oluşturuncaya kadar geçen zaman süresi olarak tanımlanmaktadır [55,50]. Genlik küçültme faktörü ise

gün içinde, ele alınan bileşene ilişkin maksimum iç yüzey sıcaklığı ile ortalama iç yüzey sıcaklığı farkının, maksimum sol-air sıcaklık ile ortalama sol-air sıcaklık farkına olan oranı şeklinde tanımlanmaktadır [53,50].

Toplam ısı geçirme katsayısı bina kabuğunun gerek opak, gerekse saydam bileşenlerine ilişkin bir termodinamik özelliktir ve farklı iki çevreyi ayıran bir bina bileşeninin iki tarafında etkili olan hava sıcaklıkları arasındaki fark 1 °C iken, 1 m² alandan, bu alana dik doğrultuda 1 saatte geçen toplam ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır [56].

$$U_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_d}} \quad (2.3)$$

U_0 : opak bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı, W/m²°C, W/m²K,
Kcal/m²h°C

α_i, α_d : dış ve iç yüzeysel ısı taşınım katsayıları, W/m²K, Kcal/m²h°C

d_1, d_2, \dots, d_n : opak bileşeni oluşturan katmanların kalınlıkları, m

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$: opak bileşeni oluşturan katmanların ısı iletkenlik katsayıları, W/m°K,
Kcal/mh°C

Saydamlık oranı (x) ise, saydam ve opak bileşenlerden oluşmuş bina elemanlarına ilişkin bir özellik olup saydam bileşen alanının bina eleman alanına oranıdır.

Kabuk elemanının birim alanından yitirilen ve kazanılan ısı miktarları ve de dolayısıyla iç iklim elemanları olan iç yüzey ve iç hava sıcaklıkları, söz konusu termodinamik özelliklere bağlı olarak değişim göstermektedir [50].

2.2.1.3 Kullanıcıya ilişkin değişkenler

Kullanıcıya ilişkin değişkenler,

- aktivite düzeyi,
- giysilerin türü (ısı yalıtım direnci),
- kişinin mekan içerisindeki konumu ve duruş şekli

olarak ele alınabilir.

Aktivite düzeyi

Aktivite düzeyi, insan vücudunun aldığı yiyecekleri yakarak birim zamanda ürettiği ve metabolizma düzeyi olarak adlandırılan enerji miktarını etkileyen önemli bir değişkendir. Metabolizma düzeyi, insanın yaptığı eylem türü ile yani aktivite düzeyi ile doğrudan ilişkilidir ve çoğu kez MET birimi ile ifade edilmektedir [53].

Giysi türü

Giysi türü, giysilerin ısı yalıtım direncini belirlediğinden ve dolayısıyla insanla çevresi arasındaki ısı transferi miktarını etkilediğinden iklimsel konfor koşullarının belirlenmesinde bilinmesi gereken önemli kişisel değişkenlerden biridir. Giysilerin ısı yalıtım direnci Clo birimi ile ifade edilmektedir [57,58].

Kişinin mekan içerisindeki konumu ve duruş şekli

Kapalı bir hacimdeki insanın ısısal ışıınım yoluyla yaptığı ısı alışveriş miktarı, insanın hacim içerisindeki konumuna ve duruş biçimine (ayakta veya oturur olması) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Çünkü insanla insanı çevreleyen yüzeyler arasındaki açı faktörleri insanın hacim içerisindeki konumunun bir fonksiyonudur. Dolayısıyla ısısal ışıının önemli bir ögesi olan ortalama ışıınımsal sıcaklık, yalnızca hacimdeki yüzeylerin sıcaklıklarına değil, aynı zamanda insanların o yüzeylere göre konumlandırılış durumlarına da bağlıdır [59].

Kullanıcı nitelikleri ve eylem türlerine bağlı olarak insanın hangi çevre koşullarında konforunda olabileceği yapılan deneysel çalışmaların sonucunda belirlenmiş ve deneysel çalışmaların sonuçlarından yararlanılarak konfor koşullarının belirlenmesinde kullanılacak analitik yöntemler ve grafik sistemler geliştirilmiştir [60,61].

2.2.2 Konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan stratejiler

Konutların maliyet etkin enerji tasarruf ve CO₂ salım azaltım potansiyellerinden yüksek düzeyde yararlanılabilmesi için mevcut konut enerji performansının iyileştirilmesi gereklidir. Mevcut konutların enerji performansının iyileştirilmesi ile,

- *Ekonomik fayda* kapsamında, enerji maliyeti tasarrufu, ekonomik teşviklerin oluşturulması, gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) ve emlak değerinin artması, enerji ithalat faturalarının düşmesi;

- *Sosyal fayda* açısından yakıt ihtiyacının azalması, sağlık açısından yüksek düzeyde yarar sağlanması, konfor ve üretkenliğin artması;
- *Çevresel fayda* kapsamında, maliyet etkin karbon salım azaltımı diğer bir deyişle karbon tasarrufu ve hava kirliliğinin azaltılması;
- *Enerji sistemleri* açısından ise, enerji güvenliğinin sağlanması, yeni enerji üretim kapasitelerine gerek duyulmaması ve pik yüklerin azaltılması

gibi pek çok fayda elde edilebilmektedir [62].

Bu bağlamda, yukarıda belirtilen faydaların elde edilebilmesi için konutların enerji performanslarının iyileştirilmesine yönelik karar verme sürecinde öncelikli olarak mevcut enerji performans analizleri gerçekleştirilir, hedeflenen enerji performans düzeyi belirlenir ve en son olarak bu hedefe ulaştırabilecek iyileştirme önlemleri oluşturulur.

Konut enerji performansının iyileştirilmesinde, mevcut enerji tüketimlerinin azaltımı ve düşük karbonlu, yenilenebilir enerji kullanımı çok önemli bir rol oynamaktadır [46]. Dolayısıyla, konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan önlemler,

- enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve
- enerji üreten sistemler

olarak iki ana grupta ele alınabilir.

2.2.2.1 Enerji tasarrufu sağlayan önlemler

Konut enerji performansının iyileştirilmesinde ve dolayısıyla enerji etkinliğin sağlanmasında da en önemli faktör, enerji tasarrufudur. Enerji tasarrufu, enerji ve enerji kaynaklarının verimli olarak değerlendirilmesi amacıyla, ele alınan önlemler ile tüketilen enerji miktarında sağlanan azalmadır.

Günümüzde enerji kaynaklarının kıt ve tükenebilir olması ile birlikte artan çevresel sorunlardan ötürü konutların enerji etkin alt sistemler bütünü olarak tasarlanması ya da iyileştirilmesi zorunludur. Bu nedenle, konutların binaya ilişkin değişkenler (yönlendiriliş durumu, bina formu, bina kabuğu termofiziksel özellikleri gibi) için belirlenmiş uygun değerler sonucunda pasif sistemler olarak tasarlanması ve enerji tüketen aktif bina alt sistemlerine minimum düzeyde ihtiyaç duyulmasına olanak verecek şekilde optimum performans göstermesi gerekmektedir. Dolayısıyla,

konutlarda enerji tasarrufu sağlayan önlemler kapsamında öncelikli olarak bina alt sistemlerinin iyileştirilmesi ele alınmaktadır.

Bina alt sistemleri, pasif bina alt sistemleri ve aktif bina alt sistemleri olarak iki ana grupta ele alınabilir.

Pasif bina alt sistemleri olarak binanın bulunduğu yer, bina aralıkları, binanın yönlendiriliş durumu, bina formu ve bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri gibi binaya ilişkin değişkenler sıralanabilir. Bu değişkenler içerisinde binanın bulunduğu yer, bina aralıkları ve bina formuna ilişkin ilgili yönetmelikler, arazi koşulları ve kullanıcı istekleri açısından pek çok kısıtlama söz konusudur. Bu nedenle, konut enerji performansının iyileştirilmesine yönelik mimarın kontrolündeki binaya ilişkin değişkenlerden sadece bina kabuğu ele alınabilmektedir.

Aktif bina alt sistemleri olarak ise, ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve sıcak su sistemleri gibi mekanik ve elektrik-elektronik sistemler ele alınabilir. Konut enerji performansının iyileştirilmesi kapsamında aktif bina alt sistemlerine ilişkin mevcut verimlilik düzeylerini artıracak daha enerji etkin sistemlerin kullanımı dikkate alınmaktadır.

Günümüzde konut enerji performansının iklimle dengeli olarak iyileştirilmesi kapsamında ısıtma, soğutma, havalandırma sistemleri gibi aktif bina alt sistemlerin iç iklim kontrolünde birincil eleman olarak değil, gerektiğinde ilave sistemler olarak hizmet vermesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, aktif bina alt sistemlerin kullanımını minimize etmek için dış çevreden iç çevreye doğru ısı geçişini etkileyen ve iç ortamda ısı konfor koşullarının sağlanması önemli bir etkiye sahip olan bina kabuğunun optimal performans gösteren enerji etkin pasif sistem öğesi olarak işlevini yerine getirmesi sağlanmalıdır. Bu nedenle, enerji tasarrufu sağlayan önlemler kapsamında, bina kabuğunun ısı enerji performansının iyileştirilmesi öncelikli olarak ele alınmaktadır.

Bina kabuğu

İç ve dış çevreyi birbirinden ayıran, diğer bir deyişle iç ve dış çevre arasında “filtre” işlevi gören bina kabuğu, binaların en önemli görevlerinden biri olan iç ortam konfor koşullarını sağlamada en etkin öğe olarak kabul edilmektedir. Binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı tüketilen enerjinin toplam enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturduğu dikkate alındığında bina kabuğunun iç ortam konfor düzeyini minimum

enerji kullanımı ile sağlaması uzun dönem enerji tasarrufu stratejileri açısından önemli bir rol oynamaktadır.

Bina kabuğunun optimal performans gösteren enerji etkin pasif sistem ögesi olarak işlevini yerine getirebilmesi için;

- kabuğun dış iklim koşullarının kontrolünde etkin bir eleman olarak tasarlanması,
- ısı kayıplarının azaltılması,
- ısıtma ve aydınlatma amaçlı güneş enerjisi kazançlarının artırılması,
- uygun güneş kontrol elemanlarının yaz aylarında kullanımı ile soğutma yükünün minimize edilmesi

gerekmektedir [63].

Belirtilen bu amaçlar doğrultusunda, mevcut bina kabuğunun iyileştirilebilmesine yönelik genellikle dikkate alınan önlemler;

- ısı yalıtım uygulaması,
- yeşil çatı sistemi uygulaması,
- pencere ve cam sistemlerinin iyileştirilmesi ve
- güneş kontrol elemanlarının kullanımı

olarak sıralanabilir.

Isı yalıtım uygulaması

Isı yalıtımı, iç ortamda ısıl konfor koşullarının sağlanabilmesi için, dış iklimsel koşulların şiddetine bağlı olarak, içeriden dışarıya ve dışarıdan içeriye ısı akımlarının engellenmesi, iç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkının yaratacağı olumsuz etkinin önlenmesi ve dolayısıyla ısıtma ve soğutma enerjisi giderlerinin azaltılması için uygulanmaktadır [64].

Genellikle binalarda ısı kayıpları, daha çok dış duvar ve çatı elemanlarında gerçekleşmektedir [65,66]. Bina kabuğundan kaynaklı ısı kayıplarının azaltılması amacıyla bina kabuğunun dıştan ve içten olmak üzere iki şekilde yalıtılması mümkündür. Bina kabuğuna dışarıdan ısı yalıtımı uygulandığı zaman kolon, döşeme ve kirişlerin oluşturduğu ısı köprüleri ortadan kalkar, dış duvar gövdesi ısınır ve böylelikle ısıtmaya ara verildiği dönemde dış duvardan iç ortama ısı akışı devam

eder. Bina kabuğuna ısı yalıtımının içeriden uygulanması durumunda ise dış duvar ısıtılmadığından ısıtma kesildiğinde yararlanma olmayacaktır [67].

Yalıtım düzeyinin artırılması, ısıtma amaçlı tüketilen enerjinin azaltılmasında kullanılan maliyet etkin bir önlemdir. Pek çok konut binasında, ilave yalıtım maliyetinin bina radyatör ve merkezi boyler sistemini kapsayan ısıtma sistemine ilişkin maliyetlerin azalması ile dengelendiği saptanmıştır [68].

Yeşil çatı sistemi uygulaması

Yeşil çatı sistemi uygulaması, özellikle yoğun yapılaşmanın olduğu şehir alanlarında, kaybedilen yeşil alanların mikro klimaya yaptığı olumsuz etkileri tersine çevirmeye ve eko sistemi dengelemeye yardımcı olabilen bir uygulamadır [69].

Yeşil çatı sisteminin, ısıtma-soğutma gereksinimlerini azaltma, kirletici partikülleri ve gazları filtre etme, kentsel ısı adası etkisini azaltma, biyolojik çeşitliliği artırma, çatı ömrünü uzatma gibi yapıya ekonomik, ekolojik ve sosyal açıdan birçok katkısı mevcuttur [70].

Yeşil çatı uygulamasına ilişkin belirtilen faydalar, kullanılan yeşil çatı sistem tipi ve büyüme ortamı ile birlikte bitki ile kaplanan çatı alanı yüzdesi ve bitki tipine yüksek oranda bağlıdır. Yeşil çatılar, standart çatı tipine ek olarak çatı membranı üzerinde bitki yetiştirilmesine yardımcı olacak katmanları ihtiva etmektedir. Genellikle, bu çatı tipleri ekstensif ya da intensif yeşil çatı sistemi olarak ele alınmaktadır. Ekstensif yeşil çatı, kullanılacak bitki tiplerini sınırlandıran, sığ bitki taşıyıcı katmanına (150 mm'ye kadar) sahip olan ve rekreasyonel amaçlı kullanıma izin vermeyen bir yeşil çatı uygulamasıdır. İntensif yeşil çatı ise, 150-1200 mm arasında değişen bitki taşıyıcı katman derinliğine sahip, çeşitli bitkilerin (funda ve ağaçları kapsayan) yetiştirilmesine olanak sağlayan, bakım ve ek strüktürel taşıyıcı gerektiren ve genellikle kamu kullanımı için tasarlanan yeşil çatı uygulamasıdır [71-73].

Yeşil çatı sistemi, ekstensif ya da intensif yeşil çatı sistemi olarak ele alındığında dikkate alınan sistem bileşenleri değişmemektedir. Bu sistem bileşenleri, su yalıtımı, kök tutucu tabaka, mekanik etkilere karşı koruyucu ve nem tutucu tabaka, drenaj ve filtre tabakası ve bitki taşıyıcı katman olarak sıralanmaktadır [74].

Pencere ve cam sistemlerinin iyileştirilmesi

Pencere sistemlerinin, gürültü, havalandırma, yalıtım, ses duvarı, kamaşma kontrolü gibi birçok görevleri olup, sahip olduğu özellikler ile iç ortam konfor koşullarını ve enerji tüketim değerlerini etkilemektedirler [75].

Tipik bir konut binasının bina kabuğu saydam alanlarından kaybedilen ısı miktarının önlenmesi için mevcut pencere sistemlerinin yeni, yüksek performanslı, enerji etkin pencere sistemleri ile değiştirilmesi, bina kabuğunun iyileştirilmesine yönelik dikkate alınması gerekli önlemlerden birini oluşturmaktadır [76].

Günümüzün enerji etkin pencere sistemleri, gerek kullanıcıların konfor düzeylerini artırmakta gerekse pencere yüzeyindeki yoğuşma problemlerini minimize ederek ısıtma ve soğutma maliyetlerini büyük oranda azaltmaktadırlar. Bu nedenle, etkin bir pencere bileşeninin oluşturulmasında saydam bileşene ilişkin ısı performanslarının değerlendirilmesi ve bu amaç doğrultusunda ise, ısı performans dinamiklerinden ısı kaybı ve güneş ısı kazancı dikkate alınmalıdır.

Pencere sistemlerinin ısı performanslarının değerlendirilmesinde, ısı kaybı açısından pencerelerin ısı geçirme katsayısı (U_p - W/m^2K) ve güneş ısı kazancı açısından ise güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) değerleri dikkate alınarak saydam bileşene ilişkin enerji performans değerleri belirlenebilmekte ve cam sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik ele alınan önlemler arasında karşılaştırmalar yapılabilmektedir.

Pencere bileşenlerinin ortalama ısı geçirme katsayısı olan U_p değeri, pencereyi oluşturan opak ve şeffaf bileşenlere bağlı olarak hesaplanan, birim alan için konduksiyon, konveksiyon ve ışıma yolları ile gerçekleşen ısı transferi miktarını belirtmektedir. U_p değeri düştükçe ısı transferi miktarı azalır ve pencerenin ısı korunum düzeyi artar [77].

Güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC), pencere yüzeyinden gerek direkt olarak gerekse absorbe edilerek iç ortama geçen güneş ışınımı oranıdır. SHGC, 0 ve 1 sayıları arasında belirtilen bir değer olup güneş ısı kazanç katsayısı düşük olan pencereler, daha az güneş ısı geçirmektedirler [78].

Güneş ısı kazancının, kış aylarında ısıtma talebini azaltmak için maksimum düzeyde olması, yaz aylarında ise soğutma gereksinimlerini ve kamaşmayı minimize etmek için kontrol edilmesi gerekmektedir. Güneş ısı kazancının kontrol

edilmesinde pencere sistemlerinde dikkat edilmesi gereken parametreler, cam kalınlığı, cam alanların yüzey sayısı, cam alanlarında kullanılan kaplama tipi, cam yüzeyler arası boşluk ve ara boşluk gazı tipi, doğrama tipi ve doğrama malzemesi olarak sıralanabilir [79].

Güneş kontrol elemanlarının kullanımı

Güneş kontrol elemanları, günışığı, manzara ve doğal havalandırmadan ödün vermeden, binanın güneş ışınımından kaynaklı ısı kazançlarının soğutma istenen dönem süresince önemli ölçüde azaltılmasında etkin bir rol oynamaktadır.

Güneş kontrol elemanının tasarımında, soğutma istenen dönem süresince güneşin gökyüzündeki konumunun kapsamlı olarak değerlendirilmesi önemlidir. Güneşin gökyüzündeki konumu, güneşin yükseliş açısı ve güneşin azimut açısı kullanılarak belirlenebilmektedir [80].

Güneş yükseliş açısı (α), güneş ışını ile güneş ışınının yatay düzlem üzerindeki izdüşümü arasındaki açıdır. Güneş azimut açısı (β) ise, güneş ışınının yatay düzlem üzerindeki izdüşümünün güneyden (veya kuzeyden) yaptığı sapma açısıdır ve yatay düzlemde ölçülmektedir [81]. Farklı zaman dilimleri için güneşin azimut ve yükseliş açılarını hesaplamak amacıyla belirli formüller kullanılabildiği gibi güneş tabloları ve güneş yörüngesi diyagramlarının kullanımı ile de gerekli değerler elde edilebilmektedir.

Güneş ışınımından kaynaklı istenmeyen ısı kazançlarının azaltılması amacıyla güneş kontrol elemanlarının tasarımında, güneş kontrol elemanlarının tipi (yatay, düşey, yatay+düşey), işleyiş tipi (sabit, hareketli), kontrol tipi (el ile, otomatik kontrol), parça adeti (tek parça, parçalı), yüzeysel özellikleri (düzlemsel, eğrisel (iç bükey, dış bükey), opak veya geçirgen olması), pencere boşluğu içerisindeki konumu (pencere camının dış yüzeyinde, camın iç yüzeyinde, iki cam yüzeyinin arasında), pencere düzlemine dik veya dik olmama durumu ve bina kabuğu üzerindeki konumu (bitişik veya belirli bir uzaklıkta) gibi parametreler dikkate alınmaktadır [82].

2.2.2.2 Enerji üreten sistemler

Konut enerji performansının iyileştirilmesine yönelik enerji tasarrufu sağlayan önlemler ile ihtiyaç duyulan enerji miktarında mümkün olduğu kadar azalma sağlandıktan sonra dikkate alınması gereken diğer önlem, konuta iletilen enerjinin verimliliğini artırmaktır. Konut binasına iletilen enerjinin verimliliğinin artırılması

ise, enerji kaynakları kombinasyonlarının seçimi ve yeni sistemlerin geliştirilmesi ile mümkündür [83].

Sürdürülebilir kalkınma kapsamında dünyada yaygın kullanılan fosil yakıtlara alternatif, çevreye dost, doğanın sahip olduğu enerji üretme potansiyelini ön plana çıkararak enerji üretme amacına hizmet eden yenilenebilir enerji kaynakları öncelikli olarak dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla, doğal enerji kaynaklarının kullanılabilir enerji formlarına dönüştürülmesinde ele alınan çözümler içerisinde enerji üreten sistemler önemli bir rol oynamaktadır.

Diğer taraftan, yerinde enerji üretimine (on-site energy generation) ilişkin maliyetlerin zamanla daha kabul edilebilir boyutlara ulaşması ve belirtilen projelerin boyutları, içeriği ve mevcut teşvikler yerinde enerji üretim kaynaklarının geliştirilmesini daha olanaklı bir hale getirmektedir. Makul geri ödeme süreleri ve olası teşviklerin tanımlandığı yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretimi açısından ilk sırada dikkate alınmaktadır. Güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle yakıt en çok araştırılan enerji üretim yöntemleridir [83].

Araştırılan enerji üretim yöntemleri içerisinde güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına oranla çevre açısından daha yararlı olması ve sürdürülebilir kalkınma programlarının temel taşı oluşturmaları nedeniyle son yıllarda enerji problemlerinin çözümünde öncelikli olarak dikkate alınmaktadır [84-86].

Ayrıca, binaların çok yüksek miktarda enerji tükettikleri ve tüketilen enerjinin karmaşık, maliyetli ve kirletici sistemler aracılığı ile üretildiği göz önünde bulundurulduğunda yerinde güneş enerjisinin kullanımı ile binaya iletilen enerjinin indirgenmesi ve hatta birçok durumda bu enerjiye gereksinim duyulmamasını sağlamak mümkündür [87].

Çeşitli güneş enerjisi teknolojileri içerisinde ise fotovoltaik (PV) sistemler, sessiz olması, kullanım evresi süresince CO₂ salımı yapmaması, ölçek esnekliğine sahip olması ve az bakım gerektirmesi nedeni ile daha fazla dikkate alınmaktadır [88]. PV sistemlerin enerji kullanımının olduğu her yere doğrudan uygulanabilmesi sonucunda oluşan piyasa hacmi ile PV endüstrisinde maliyetlerin sürekli düşmesi ve binalara entegre edilebilecek şekilde PV modüllerin geliştirilmesi, kentsel alanlarda kullanılacak en uygun sistemler olarak PV sistemleri ön plana çıkarmaktadır [89]. Ayrıca, ülkelerin CO₂ salım azaltımı ve yenilenebilir enerji üretimi hedeflerine ulaşabilmelerinde yardımcı olabilecek en etkin çözümün PV sistemler olduğu belirtilmektedir [90].

Yukarıdaki irdemelerin ışığında, tez çalışması kapsamında Türkiye'nin sahip olduğu yüksek güneş enerjisi potansiyeli göz önünde bulundurularak konut enerji performansının iyileştirilmesine yönelik ele alınabilecek enerji üreten sistemler içerisinde PV sistemler öncelikli olarak irdelenmektedir.

Fotovoltaik (PV) sistemler

Güneş enerjisini kullanan fotovoltaik (PV) sistemler, günümüzün en çok gelecek vaat eden yenilenebilir enerji sistemlerinden biridir. PV sistemler, enerji temini ya da çevresel zarar kaygısı oluşturmadan yerinde elektrik enerjisi üretimini gerçekleştirebilen, şebekeye bağlanabilme özelliği ile enerji arz güvenliğini sağlayan ve sahip oldukları modüler yapı sayesinde de binalara kolaylıkla entegre edilebilen sistemlerdir.

Enerji tüketiminin yüksek olduğu konutlarda enerji sürdürülebilirliği ve yeterliliğinin sağlanabilmesi için konutların enerji üretim sisteminin bir alt sistemi olarak ele alınması gerekmektedir. Bu bağlamda, yüksek PV sistem potansiyeli gerek mevcut konutların enerji performansının iyileştirilmesinde gerekse yeni yapılacak konutların enerji stratejilerinin şekillendirilmesinde öncelikli olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, konutlarda PV sistemlerin aktif bina alt sistemi olarak maksimum enerji üretimi gerçekleştirecek şekilde tasarlanmaları ve entegre edilmeleri büyük önem taşımaktadır.

PV sistemlerin enerji üretim işlevini gerçekleştirmesinde birincil aktif bileşen güneş hücresidir. Yarı iletken bir diyot olarak çalışan güneş hücresinin güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmesi ile PV enerji dönüşümü gerçekleşmektedir. PV sistemlerin sahip olduğu modüler yapı çerçevesinde güneş hücreleri çevre etkilerine karşı sızdırmazlık sağlayacak şekilde birbirine eklemlenerek PV modülleri, belirli sayıda PV modül elektriksel olarak birbirine bağlanarak PV dizileri oluşturmaktadır. PV sistem tasarımında PV diziler dışında gerekli olan diğer bileşenler, sistem dengeleyici bileşenler (balance of system components, BOS) kapsamında ele alınmaktadır. PV sistemin opsiyonel ve işlevsel gereksinimlerine bağlı olarak BOS bileşenleri, akümülatörler, eviriciler (invertörler), şarj regülatörü, montaj sistemleri (PV sistem destek strüktürleri), kablolar, bağlantı kutuları gibi çeşitli elektronik ve teknik destek ekipmanlarını içermektedir.

PV sistemlerin elektriksel tasarımına ilişkin pek çok farklı uygulama mevcut iken konutlar için şebekeye bağlı (on-grid) ve şebekeden bağımsız (off-grid) olmak üzere iki genel uygulama esas alınmaktadır.

Şebekeye bağlı PV sistem, şebekeden bağımsız PV sisteme kıyasla daha az ekipmana ihtiyaç duyarken PV sistemin yerel elektrik şebekesi ile etkileşim içerisinde olması gerekmektedir. Şebekeye bağlı PV sistemler, yerel elektrik şebekesini gerek elektrik enerjisi teminini desteklemek gerekse fazla üretim kapasitesini “depolama” yeri olarak kullanmaktadır. Şebekeye bağlı sistemlerde sayaç sistemi, en önemli sistem elemanı iken akü sistemleri, DC ekipman ve cihazlar ise şebekeden bağımsız sistemlerin ayrılmaz parçalarıdır [91].

PV sistemlerin konutlara entegrasyonu ve montajı ile ilgili bina kabuğu pek çok alternatif sunmaktadır. Bu alternatifler, PV dizilerin yerleştirileceği uygun alanlara, PV dizilerin boyutuna ve bina enerji performansının iyileştirilmesine yönelik PV modüllere tanımlanan diğer işlevlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bina kabuğunda PV sistemlerin uygulanmasına yönelik alternatifler genel olarak değerlendirildiğinde iki ana seçenek olarak;

- çatı PV sistemleri ve
- cephe PV sistemleri

ele alınabilir.

Çatı PV sistemleri için eğimli çatı, teras çatı ve atriyum uygulamaları, cephe PV sistemleri için ise dikey ya da eğimli duvar ve güneş kontrol elemanı uygulamaları yaygın olarak dikkate alınan uygulamalardır.

Çatı ve cephe alanlarında uygulanacak PV sistemlerin tasarımında öncelikli olarak PV sistemlerin enerji performansında etkin rol oynayan değişkenlerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu değişkenler;

- iklime ilişkin değişkenler,
- binaya ilişkin değişkenler,
- PV sisteme ilişkin değişkenler

olarak ele alınabilir.

İklime ilişkin değişkenler

Bölüm 2.2.1.1’de belirtildiği üzere güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve rüzgar gibi dış iklime ilişkin değişkenler, PV sistem enerji performansı üzerinde önemli etkiye sahip değişkenler olarak sıralanabilir.

PV sistemlerin güneş ışınımının mevcut olduğu her zaman ve hatta bulutlu günlerde dahi enerji üretebilmesi nedeni ile yüksek güneş ışınım değerleri ve uzun güneşlenme süreleri, PV sistem enerji performansını olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca, bulutlu günlerde, göğün tamamıyla bulutsuz olduğu günlere kıyasla, güneş ışınımının yansımaya bağlı daha yüksek enerji kazançları da elde edilebilmektedir.

Diğer bir değişken olan dış hava sıcaklığının artması PV sistem performansının düşmesine neden olmaktadır. PV sistemlerden etkin enerji üretimi için sıcaklığa ihtiyaç duyulmamakla birlikte düşük sıcaklıklarda daha verimli sonuçlar elde edilebilmektedir.

Yüksek dış hava nemlilik düzeyi iletkenlerde korozyona neden olarak PV sistem performansını düşürürken düşük bağıl nem düzeyi ise PV sistem performansını artırmaktadır.

Rüzgar, PV modüllerin güneş ışınımına maruz kalması sonucunda modül arkasında oluşan ısının dağıtılması ve kısmi soğumanın gerçekleşmesinde etkin bir rol oynamaktadır. Diğer taraftan, PV dizilerin dayanım gösterebildiği rüzgar basıncı ve rüzgar hızının üzerindeki değerler, PV mekanik sisteminde önemli sorunlara neden olarak PV sistem performansını olumsuz etkilemektedir.

Binaya ilişkin değişkenler

PV sistem enerji performansı üzerinde Bölüm 2.2.1.1'de belirtilen binanın bulunduğu yer, bina aralıklıkları, binanın yönlendiriliş durumu, bina formu gibi binaya ilişkin değişkenlerin önemli etkileri söz konusudur.

PV sistemin güneş enerjisine dayalı enerji üretimi gerçekleştirdiği göz önünde bulundurulduğunda PV sistem enerji performansı açısından binanın bulunduğu yere ilişkin güneş ışınım ve güneşlenme süresi verilerinin önemi daha iyi kavranabilmektedir. Güneş ışınım değerlerinin dünyanın yörüngesine, dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesine ve bazı alanların sahip olduğu güneş ışınımı yansıtma kapasitesine (albedo) bağlı olarak değişkenlik göstermesi nedeni ile binanın bulunduğu yere ilişkin güneş ışınım ve güneşlenme süresi verilerinin öncelikli olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, binanın bulunduğu yerin yerel elektrik şebekesine mesafesi göz önünde bulundurularak PV sistemin şebekeye bağlı ya da şebekeleden bağımsız olarak tasarımı gerçekleştirilir.

Bina aralıkları, PV sistem enerji performansı açısından istenmeyen durum olarak nitelenen gölgeleme etkisindeki etkinliği nedeni ile dikkate alınması gerekli diğer bir değişkendir. Bina yüzeyine etkiyen güneş ışınımı ve rüzgar hızı binaların ve diğer engellerin PV sistemin uygulandığı binadan uzaklığına, yüksekliğine ve bu binaya göre konumlandırılış durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Çevre binaların ve diğer engellerin (baca, ağaç vb.) ele alınan bina cephe ve çatı yüzeylerine entegre PV sistemler üzerinde oluşturacağı gölgeleme etkisi PV sistem performansını düşürecektir. Özellikle kentsel alanlarda bina aralıklarının az olmasına bağlı olarak cephe PV sistemlerinin çatı PV sistemlere kıyasla gölgeleme etkisine daha fazla maruz kalması söz konusudur.

Binanın yönlendiriliş durumuna bağlı olarak dış iklim elemanlarından PV sistemler için öncelikli öneme sahip güneş ışınım değerleri değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, mevcut bina yönlendiriliş durumu göz önünde bulundurularak PV sistemlerin maksimum düzeyde güneş ışınımından yararlanabilmesi sağlanmalıdır.

Bina formu, öncelikli olarak PV sistemlerin binaya entegrasyonu için uygun alanların (çatı, cephe gibi) ve dolayısıyla uygulama tiplerinin (eğimli ya da teras çatı, dikey ya da eğimli duvar gibi) belirlenmesinde etkin rol oynamaktadır. Bu nedenle, bina formuna ilişkin Bölüm 2.2.1.2’de belirtilen bina yüksekliği, çatı türü, çatı eğimi, cephe eğimi gibi değişkenlerin pek çok açıdan (güneş ışınımı, gölgeleme etkisi, estetik gibi) değerlendirilmesi ile optimum enerji performansına sahip PV sistemlerin tasarlanması mümkündür.

PV sisteme ilişkin değişkenler

PV sistem enerji performansı üzerinde etkin rol oynayan PV sisteme ilişkin değişkenler, PV modül tipi, PV modül güç çıkışındaki azalma (degradasyon), PV modüllerin yönlendirilmesi, PV modüllerin eğim açısı ve PV modül dizileri arasındaki gölgeleme mesafeleri olarak sıralanabilir.

PV modül tipinin PV enerji performansı üzerinde etkin rol oynamasının birincil sebebi güneş hücresi üretiminde kullanılan malzemedir. En yaygın kullanılan güneş hücresi malzemesi kristal silikondur. Kristal malzemesi, tek kristalli (mono kristal) olarak üretilebilir, çoklu kristalli (poly kristal) bir külçe olarak dökülebilir ya da ince film (amorft kristal) olarak çökeltilebilir. Kristalli silikon hücrelerden ilk ikisi benzer şekilde çalışmakta olup tek kristalli hücreler, poli kristalli hücrelere kıyasla biraz daha yüksek etkinlik düzeyine sahiptir. Alt tabaka üzerine çökertilerek oluşturulan

ince film ya da amorf kristal, diğer kristal hücrelere kıyasla daha ucuz olup etkinlik düzeyi ise daha düşüktür [92]. Öte yandan, amorf kristal hücrelerin temel avantajı ise, gücün sıcaklığa ve verimin güneş ışınım yoğunluğuna bağımlılığının daha az olmasıdır [93]. Bu bağlamda, standart test koşulları (STC, 1000 W/m² güneş ışınımı, 25°C güneş hücresi sıcaklığı ve AM 1,5 güneş spektrumu) altında değerlendirilen PV modüllere ilişkin etkinlik düzeyleri, maksimum (nominal) güç değerleri, PV modül boyutları gibi elektriksel ve mekaniksel özellikler ile birlikte dış iklimsel koşullar altındaki çalışma performansı da dikkate alınarak PV modül seçimi yapılabilir.

PV modül güç çıkışındaki azalma (degradasyon), PV modüllerde gerçekleşen performans kaybıdır. Bu performans kaybına neden olarak modül içerisine sızan nemin iletkenlerde yaratabileceği korozyon, UV ışınlarının zamanla modül dış yüzeyi ile hücre arasında yer alan malzemenin optik geçirgenliğini olumsuz etkilemesi, ısı çevrimlerin neden olduğu bozulmalar gösterilebilmektedir.

PV modüllerin güneş ışınımından maksimum düzeyde yararlanacak şekilde yönlendirilmesi PV sistem enerji performansı açısından çok önemlidir. Yüksek PV enerji performansının elde edilebilmesi için PV modüllerin güneşe yönlendirilmesi (kuzey yarımküre için) dikkate alınan genel bir kabuldür.

PV sistemin güneş ışınımından maksimum düzeyde yararlanmasında etkin rol oynayan diğer bir değişken ise, PV modüllerin eğim açısıdır. Genel olarak, PV modüllerin sistemin kurulacağı yerin enlemine eşit eğim açısında yerleştirilmesi ile yüksek PV enerji performansının elde edilebileceği belirtilmektedir. Ancak, bazı yerleşim alanlarında mevsimsel bazda göğün bulutluluk durumunun ya da günlük bazda güneş ışınım miktarının değişkenlik göstermesinden ötürü optimum PV modül eğim açısı yerleşim alanına bağımlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, PV sistemin kurulacağı yerleşim alanına ilişkin güneş ışınım verileri dikkate alınarak optimum PV modül eğim açısının belirlenmesi gerekmektedir [94].

Diğer bir değişken olarak PV modül dizileri arasındaki gölgeleme mesafeleri, yatay düzlemde ard arda belirli eğim açısı ile dizilmiş PV modüllerin birbiri üzerinde gölge etkisi oluşturmadan yerleştirilebilmesi ve böylelikle PV sistem enerji performansında gölgelemeden kaynaklı herhangi bir düşüşün gerçekleşmemesi için dikkate alınması gerekli bir değişkendir. Genellikle, 21 Aralık (kış gündönümü) tarihi 10.00 ile 14.00 saatleri arasında PV modül dizileri üzerinde herhangi bir gölge etkisinin oluşmadığı

mesafe aralıkları, PV modül dizileri arasında minimum gölgeleme mesafesi olarak kabul edilmektedir.

2.2.3 Konut enerji performansının değerlendirilmesine ilişkin mevzuatlar

Enerji mevzuatı, binalarda enerji performansının iyileştirilmesine yönelik en sık kullanılan araçlardan biri olmakla birlikte binalarda enerji performans düzeyinin geliştirilmesinde de önemli bir rol oynamaktadır.

Bina enerji mevzuatını oluşturan enerji yönetmelik ve standartları, bina tasarımı üzerinde belirli bir kontrol düzeyine sahip olmak ve binalarda enerji bilincine ilişkin farkındalık ve yenilikleri özendirmek için pek çok ülkede kullanılmakta ve geliştirilmektedir [95,96].

Enerji yönetmelik ve standartları, yeni ve iyileştirilecek binalar için bina yaşam ömrü süresince enerji tüketimi ve sera gazı salımında azaltım sağlayacak etkinlik gereksinimlerini belirlemektedir. Enerji etkinlik gereksinimlerinin belirlenmesinde dikkate alınan yöntemler, esas olarak kuralcı (prescriptive) ya da performansa dayalı (performance-based) olmak üzere iki temel yaklaşım çerçevesinde ele alınmaktadır.

Kuralcı yaklaşım, standarta uygunluğu sağlamak amacıyla bina kabuğu bileşenlerine ilişkin U (W/m^2K) ya da R değerleri, aktif bina alt sistemlerine ilişkin verimlilik düzeyleri gibi her bir bina bileşenine ilişkin dikkate alınması gereken minimum ve maksimum gereksinimleri belirten tanımlayıcı, hızlı ve konservatif bir yaklaşımdır [97]. Kuralcı gereksinimler, kolay uygulanabilir bir yapıya sahip olmasına rağmen yeni teknoloji ve yöntemlerin gelişimini sınırlandırma eğilimindedir. Bu nedenle, kuralcı standartlar, enerji etkin binaların tasarımına yönelik daha entegre bir yaklaşım öngörmemektedir [96].

Performansa dayalı bina enerji yönetmelikleri, yöntemi, malzemeyi ve süreci tanımlamadan kabul edilebilir maksimum enerji tüketim düzeyini belirlemektedir. Böylelikle, binanın enerji davranışına uygun tasarım çözümünün belirlenmesini tasarımcının sorumluluğuna bırakmaktadır. Bu yaklaşım ile pasif solar ve fotovoltaik teknolojisi gibi geleneksel olmayan bina olgularına ilişkin niceliklerin tanımlanması mümkündür. Performansa dayalı yaklaşım, bina tasarımı, malzemeleri ve sistemlerine ilişkin çok fazla detaya gereksinim duymakla birlikte kuralcı yaklaşıma kıyasla daha esnek bir yapıya sahiptir. Performans seçeneği aracılığıyla standarta uygunluğun sağlanmasında, pasif ve aktif bina alt sistemlerine ilişkin elemanların

entegre performansına dayalı muhtemel tüketim düzeyleri üzerinde çalışmayı ve değerlendirmeyi gerektirmektedir. Ancak, değerlendirmenin amacı ve kapsamına bağlı olarak dikkate alınacak fiili alanların sayısı, değişkenlik göstermektedir [96,97].

Bina enerji standart ve yönetmeliklerinin gelişimi irdelendiğinde, pek çok ülkenin kuralcı yaklaşımı öncelikli olarak dikkate aldığı görülmektedir. Enerji etkinlik gereksiniminin artış göstermesi ve dolayısıyla daha fazla parametrenin dikkate alınması gerekliliği, performans yaklaşımını esas alan yönetmelik ve standartların gelişimine olan yönelimi artırmıştır. Bu bağlamda, bina enerji ve yönetmeliklerinin çoğunda enerji etkinlik gereksinimleri, yerel ve ulusal ölçekte uyumlu hale getirilmiş ise de, geçen on yıllık süre içerisinde uluslararası enerji etkinlik gereksinimleri ve standartlarının oluşturulmasına yönelik ülkeler üstü işbirliğinin gösterilmesine dair giderek artan bir eğilim söz konusudur. Bu kapsamda, Amerika ve Kanada da kullanılan Enerji Etkinlik Standartları (IECC 200415 ve ASHRAE 200416) ve Avrupa Birliğine üye ülkeler için zorunlu kılınan Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD) örnek olarak verilebilir [98].

2.2.3.1 Avrupa Birliği'nde konut enerji performansının değerlendirilmesine ilişkin mevzuatlar

Binalar, Avrupa Birliği (AB) nihai enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını ve sera gazı salımının ise %36'sını oluşturmaktadır [99,100]. Binalarda nihai enerji tüketiminin %66'sından ve CO₂ salımının ise yaklaşık %23'ünden konut binaları sorumludur [99]. Enerji tasarrufu açısından ikinci en büyük yararlanılmayan ve maliyet etkin bir potansiyelin binalarda mevcut olmasından dolayı AB enerji etkinlik politikalarının esasını, binalar oluşturmaktadır. Bu bağlamda, AB'nin mevcut enerji bağımlılığını ve Kyoto Protokolü'ne uygun olarak CO₂ salımını azaltabilmesinde ve sürdürülebilir dönüşüm ve büyümeyi sağlayan kaynak etkin bir ekonominin oluşturulmasında, binalarda enerji tüketiminin minimize edilmesi ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artırılması, diğer bir deyişle bina enerji performansının iyileştirilmesi çok önemli bir rol oynamaktadır.

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından konut ve konut dışı binalarda enerji tüketiminin azaltılması amacı ile enerji kullanımına ilişkin farkındalığı artıran, minimum enerji performans gereksinimlerini zorunlu kılan ve önemli aktif bina alt

sistemlerin denetlenmesini şart koşan Binalarda Enerji Performansı Direktifine ilişkin iki versiyon kabul edilmiştir.

1997 yılında BMİDÇS kapsamında imzalan Kyoto Protokolü ile AB'nin sera gazı salımlarını %8 oranında, diğer bir deyişle 2008-2012 yılları arasında yıllık salımlarını 330 milyon tona kadar azaltması zorunlu kılınmaktadır. Bu hedefe yönelik olarak 2002 yılı Aralık ayında Binalarda Enerji Performansı Direktifi 2002/91/EC, kabul edilmiştir. Bu Direktif ile AB'deki mevcut 160 milyon binaya ilişkin CO₂ salımlarının 2010 yılına kadar 45 milyon ton civarında azaltımının mümkün olduğu tahmin edilmektedir [101].

Avrupa Konseyi'nin 2007 yılında kabul ettiği 2020 yılına ilişkin enerji ve iklim değişikliği hedefleri kapsamında sera gazı salımlarınının %20 oranında azaltılması ve eğer koşullar iyi olur ise bu oranın %30'a yükseltilmesi, yenilenebilir enerji payınının %20 artırılması ve enerji etkinliğinde ise %20 oranında bir iyileştirmenin sağlanması yer almaktadır [102].

Fraunhofer Enstitüsü ve ortakları tarafından 2009 yılında yapılan çalışma sonucunda binalarada enerji tasarrufu sağlayan önlemlerin uygulanması ile AB kapsamındaki yapılaşmış çevrede yakıt tüketiminin 2005 yılı verilerine kıyasla, 2020 yılına kadar %22, 2030 yılına kadar ise %46 oranında azaltımı mümkündür [103]. Ecofys tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, yenilenebilir enerji sistemleri ile birlikte en yüksek enerji tasarruf düzeyinin sağlanması sonucunda sera gazı salımları için 2005 yılı verilerine kıyasla, 2020 yılına kadar %44, 2030 yılına kadar ise %60 oranında azaltımın mümkün olduğu belirtilmektedir [104].

Ancak, EPBD ile 45 milyon ton CO₂ salım azaltımı beklenirken AB toplam sera gazı salımının yalnızca %1'i kadar azaltım sağlanabilmiş olup yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji teminine katkısı ise %8 olarak gerçekleşebilmiştir. EPBD ile belirlenen hedeflere ulaşılamaması ve üye ülkelerde EPBD'ye ilişkin farklı uygulamaların gerçekleşmesi sonucunda oluşan değişken yapıyla daha fazla devam edilememesi nedeni ile Direktif hükümlerinin kuvvetlendirilmesi ve bu hükümlerin tam ve hızlı bir şekilde uygulanabilmesi gerekliliği doğmuştur. Bu nedenle de, 2010 yılı Mayıs ayında Yeniden Düzenlenmiş Binalarda Enerji Performansı Direktifi 2010/31/EU (EPBD recast) yürürlüğe girmiştir [101].

Binalarda enerji performansı direktifi (EPBD)

Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2002/91/EC, EPBD), enerji kaynaklarının tedbirli ve makul kullanımı sağlamak ve binalarda enerji kullanımının çevre üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla birtakım farklı önlemleri ve araçları gerekli kılmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda, dış iklimsel ve yerel koşullar ile birlikte iç iklimsel konfor gereksinimleri ve maliyet etkinliğin de dikkate alındığı bütüncül bir yaklaşım kapsamında binalarda enerji etkinliğin ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılması diğer bir deyişle bina enerji performansının iyileştirilmesi öngörülmektedir.

Bina enerji performansının iyileştirilmesine yönelik Direktif kapsamında belirtilen dört ana düzenleme;

- hesaplama yöntemi,
- minimum enerji performans gereksinimleri (yeni binalar ve toplam kullanım alanı $>1000\text{m}^2$ 'den büyük olan ve büyük iyileştirmelerin gerçekleştirileceği mevcut binalar için),
- bina enerji sertifikası,
- sıcak su ve iklimlendirme sistemlerinin denetimidir.

EPBD ile bina enerji performansının hesaplanmasına yönelik ulusal ya da bölgesel ölçekte uygulanacak yönteme ilişkin genel bir çerçeve tanımlanmaktadır. Bu çerçeveye uygun ele alınan yöntem kapsamında binanın ısı özellikleri (bina kabuğu ve iç bölmeler, vs.), hava sızdırmazlığı, ısıtma ve sıcak su sistemi ve bu sistemlere ilişkin yalıtım düzeyleri, iklimlendirme sistemi, dış iklimsel koşullara bağlı olarak binanın yeri ve yönlendirilmesi, aydınlatma sistemi (daha çok konut dışı binalarda), pasif güneş sistemleri ve güneşten koruma, doğal havalandırma ve iç iklimsel koşullar değerlendirilmektedir. Ayrıca, aktif güneş sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı ısıtma ve elektrik sistemleri, birleşik ısı ve güç (kojenerasyon) sistemleri ile üretilen elektrik, bölgesel ya da blok ölçeğinde ısıtma ve soğutma sistemleri ve doğal aydınlatmanın bina enerji performansı üzerindeki olumlu etkileri de hesaplamalarda dikkate alınmaktadır.

Bina enerji performansının değerlendirilmesine ilişkin hesaplama yöntemi bina ve bina kapsamında tanımlı sistemlerin özelliklerine dayalıdır. Bu nedenle, bina enerji performansının hesaplanabilmesi için binaların kullanım amaçlarına uygun olarak

sınıflandırılmaları gerekmektedir. Direktif kapsamında dikkate alınan bina sınıfları, tek aile konutları, apartman blokları, ofisler, eğitim binaları, hastaneler, otel ve restoranlar, spor yapıları, ticari hizmet binaları ve diğer enerji tüketen bina tipleridir [3].

Direktif kapsamında genel çerçevesi belirtilen hesaplama yönteminin uygulanmasına yönelik bölgesel ölçekte oluşabilecek farklılıkları önlemek, ulaşılabilirliği, şeffaflığı ve objektifliği sağlamak amacıyla pek çok standarta gereksinim duyulmuştur. Bu bağlamda, Avrupa standartları (EN) tarafından bina enerji performansının geniş kapsamlı değerlendirilmesine ilişkin ilgili materyal ve hesaplama yöntemleri tanımlanarak EPBD'nin uygulanmasına yönelik gerekli destek sağlanmıştır.

Standartların birçoğu hesaplama ile ilgili bina kabuğundan kaynaklanan kayıplar, aydınlatma amaçlı enerji kullanımı, sistem performansı gibi belirli hususlar ile ilgili olup bu hususlar aşağıda belirtilen standartlar kapsamında ele alınmaktadır [105]:

- *EN ISO 13790* ile binalarda ısıtma ve soğutma amaçlı enerji ihtiyacının belirlenmesine ilişkin tüm ısı kayıp ve kazançların dikkate alındığı hesaplama yöntemleri tanımlanmaktadır.
- *EN 15603* ile bina enerji performansının değerlendirilmesi (ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma amaçlı enerji kullanımı) ve enerji derecelendirme tanımlamaları açıklanmaktadır.
- *EN 15217* ile bina enerji performansının (enerji sertifikası için) ve gereksinimlerinin (düzenlemeler için) tanımlanmasına ilişkin yöntemler ve enerji performansı sertifikası ile ilgili içerik ve format ifade edilmektedir.
- *EN 15378* ile sıcak su kazanlarına ilişkin denetim açıklanmaktadır.
- *EN 15240* ile iklimlendirme sistemlerinin denetimi açıklanmaktadır.

Belirtilen bu standartlar dikkate alınarak pek çok AB üye ülkesinde Direktife uygun ulusal hesaplama yöntemleri geliştirilmektedir. Bu hesaplama yöntemleri kapsamında bina enerji performansının aşağıda belirtildiği şekilde üç düzeyde değerlendirilmesi esas alınmaktadır:

- Binaların ısıtılması ve soğutulması için ihtiyaç duyulan net enerji miktarının hesaplanması,
- Isıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma için binaya iletilmesi gereken enerji miktarının (delivered energy) hesaplanması,

- Enerji performans göstergelerinin hesaplanması (birincil enerji, CO₂ salımı, vs.).

Bina enerji performansının değerlendirilmesinde binaların ısıtılması ve soğutulması için ihtiyaç duyulan enerji miktarının hesaplanmasına ilişkin EN ISO 13790 ile basit aylık/mevsimsel statik hesaplama yöntemi, basit saatlik dinamik hesaplama yöntemi ve detaylı dinamik hesaplama yöntemleri önerilmektedir. Bu hesaplama yöntemlerinin seçiminde, bina ve bina alt sistemlerinin tipi ya da karmaşıklık derecesi gibi ilgili kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Yapılan hesaplamalarda, tanımlanmış iç iklimsel ve dış iklimsel sınır koşullar esas alınmaktadır [106].

Sonuç olarak, EPBD ile bina enerji performansının değerlendirilmesine ilişkin genel bir çerçeve tanımlanmakta ve AB üye ülkelerinden standart bir binanın enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik iletilmesi gereken maksimum enerji miktarının belirlenmesi istenmektedir. Ancak, Direktif kapsamında istenilenlerin yerine getirilmesine ilişkin herhangi bir şart ya da yönlendime belirtilmemektedir. Bu nedenle, bir çok üye ülkede bina enerji mevzuatı, bina gelenekleri, politik süreçler ve pazar koşulları açısından değişkenlik gösteren yaklaşımların dikkate alınması ile geliştirilmektedir. Geliştirilen bina mevzuatları kapsamında öncelikli olarak hedeflenen düzeylerin farklı olması ile birlikte birçok durumda maliyet optimum prensibinin ileri hedefleri elde etmede etkin olduğu belirtilmektedir [107,108].

Bu bağlamda, binalarda minimum enerji performans gereksinimlerinin optimum maliyet düzeyini sağlayacak şekilde belirlenmesini dikkate alan Yeniden Düzenlenmiş Enerji Performansı Direktifi 2010 yılında yürürlüğe girmiştir.

Yeniden düzenlenmiş binalarda enerji performansı direktifi (EPBD recast)

Avrupa Komisyonu tarafından Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2010/31/EU, EPBD recast) ile belirli hükümlerin açıklığa kavuşturulması ve basitleştirilmesi, Direktif kapsamının genişletilmesi, bazı hükümlerin güçlendirilerek etkilerinin daha etkili olmasının sağlanması ve kamu sektörünün lider rolünün hesaba katılmasının amaçlandığı belirtilmektedir [109].

EPBD recast kapsamında tüm AB üye ülkelerden istenenler;

- binalar, bina elemanları ve aktif bina alt sistemleri için minimum enerji performans gereksinimlerinin tanımlanması ve

- bu gereksinimlerin binanın yaşam döngüsü maliyetlerini dikkate alan maliyet optimum yöntemine dayalı olarak belirlenmesi,
- 2020 yılından itibaren sadece sıfır enerjili binaların inşa edilmesi

olarak sıralanmaktadır.

Ayrıca, bu düzenleme kapsamında, bina kabuğunun bir parçası olan ve optimum maliyet düzeyini sağlamak amacıyla değiştirildiğinde ya da iyileştirildiğinde bina kabuğu enerji performansını önemli ölçüde etkileyen bina elemanları için tanımlanmış minimum enerji performans gereksinimlerini sağlayan önlemlerin üye ülkeler tarafından ele alınması gerekmektedir.

Maliyet optimum düzey, tahmini ekonomik yaşam döngüsü süresince en düşük maliyeti sağlayan enerji performans düzeyi olarak tanımlanmaktadır. Yatırım maliyeti, bakım ve işletim maliyetleri ve enerji tasarrufu gibi bir dizi maliyetler dikkate alınarak maliyet optimum düzeyin belirlenmesi gerekmektedir. Ekonomik yaşam döngüsü ile ise, bina ya da bina elemanına ilişkin tahmini yaşam döngüsü kastedilmekte olup her bir üye ülke tarafından tanımlanması esastır. Maliyet optimum çözümler tanım gereği aynı zamanda maliyet etkin olarak da kabul edilmektedir.

Maliyet optimum düzeyin karşılaştırmalı yöntemle uygun olarak hesaplanması gerekmektedir. Karşılaştırmalı yöntem çerçevesinde dikkate alınması gerekenler aşağıda belirtilmektedir:

- İklimsel koşul ve işlevselliğe bağlı olarak karakterize edilmiş temsili referans binalar tanımlanmalıdır. Referans binalar kapsamında konut ve konut dışı binalara ilişkin yeni ve mevcut binalar dikkate alınmalıdır.
- Referans binalar kapsamında değerlendirilecek binanın tümü, bina elemanları ya da bina elemanları kombinasyonuna yönelik enerji etkin önlemler tanımlanmalıdır.
- Ele alınan farklı önlemler kombinasyonunun (package) bina enerji performansı üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak referans binanın nihai ve birincil enerji ihtiyacı belirlenmelidir.
- Referans binaya uygulanan enerji etkin önlemlere ilişkin yatırım maliyetleri, bakım ve işletim maliyetleri ile birlikte referans bina kapsamında üretilen enerjiden elde edilen kazançlar da dikkate alınarak tahmini ekonomik yaşam

döngüsü süresince oluşabilecek maliyetler (örn. net güncel değer) hesaplanmalıdır.

EPBD kapsamında üye ülkelerden Komisyon tarafından yayınlanan karşılaştırmalı yöntem kullanılarak güncel minimum enerji performans gereksinimleri ile hesaplanmış maliyet optimum düzeyler arasında kıyaslama yapılarak elde edilen sonucun rapor edilmesi istenmektedir. Yürürlükteki minimum enerji performans gereksinimleri ile ulusal minimum enerji performans gereksinimlerine ilişkin hesaplanmış maliyet optimum düzeyler arasındaki farklılığın %15'i aşmaması gerektiği belirtilmektedir [4].

Karşılaştırmalı yöntem çerçevesine ilişkin yasal doküman olarak Komisyonun Maliyet-Optimum İkincil Mevzuatı (Cost-Optimal Delegated Regulation) 2012 yılında yürürlüğe girmiştir [110]. Bu mevzuat ile birlikte maliyet optimum performans düzeyinin hesaplanabilmesine ilişkin çerçevenin nasıl uygulanacağını ana hatlarıyla belirten Kılavuz İlkeler (Guidelines) de yayınlanmıştır [111]. Maliyet optimum yöntem oluşturulurken EPBD'nin uygulanmasını desteklemek amacıyla geliştirilmiş Avrupa CEN standartları da esas alınmaktadır.

2.2.3.2 Türkiye'de konut enerji performansının değerlendirilmesine ilişkin mevzuatlar

Binalar, Türkiye'nin nihai enerji tüketiminin yaklaşık %36'sını ve CO₂ salımının ise %32'sini oluşturmaktadır [112]. Mevcut bina stoğu içerisinde konut binaları %75'lik bir oranı teşkil etmektedir [113,114]. Türkiye'de hızlı nüfus artışı ile birlikte 2011 yılında kentleşme oranı %76.8'e yükselmiş olup bu oranın 2023 yılında %84.0 civarında olması öngörülmektedir. Kentleşme oranına ilişkin bu öngörü ile birlikte yaklaşık 18 milyon civarındaki mevcut konut stoğunun 2023 yılı itibariyle 25.56 milyona ulaşacağı tahmin edilmektedir [115]. Bununla birlikte, toplam nihai enerji tüketimi açısından ikinci sırada yer alan binalar için yapılan pek çok çalışma kapsamında, maliyet etkin enerji ve CO₂ salım tasarrufunun sağlanmasına yönelik %30-50 civarında yüksek bir potansiyelin mevcut olduğu belirtilmektedir [5,112,116].

Bu nedenle, enerji arz güvenliğinin sağlanması, yüksek dışa bağımlılık risklerinin azaltılması, enerji maliyetlerinin sürdürülebilir kılınması, çevrenin korunması ve iklim değişikliği ile mücadelede etkinliğin artırılması gibi Türkiye açısından büyük

önem taşıyan ulusal strateji hedeflerine ulaşmada, binaların enerji performansının iyileştirilmesine yönelik çalışma ve uygulamalar büyük önem taşımaktadır.

Diğer taraftan, Türkiye'nin AB'ye katılım süreci ve BMİDÇS'ye taraf olması nedeni ile ilgili yükümlülükleri yerine getirmesi, Kyoto Protokolü'nün birinci (2008-2012) ve ikinci (2013-2020) yükümlülük dönemine ilişkin sera gazı azaltım taahhüdü bulunmamasına karşın ileriki dönemlerde Protokolün gelişiminde aktif rol alması açısından son yıllarda Türkiye'de binalarda enerji performansının iyileştirilmesine yönelik birçok yasal düzenleme gerçekleştirilmektedir.

Bu kapsamda, 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amaçlanmaktadır [6]. AB mevzuatı uyum süreci çerçevesinde EPBD gerekliliklerine paralel olarak ve Enerji Verimliliği Kanunu gereğince 2008 yılında Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği yayınlanmıştır [9]. Yeni ve mevcut binaların enerji tüketimi ve sera gazı salımlarının sınırlandırılması, çevrenin korunmasının düzenlenmesi amacıyla yayınlanan BEP yönetmeliği 2009 yılında yürürlüğe girmiş, 2010 yılında ise ciddi bir revizyona tabi tutularak yeniden yayınlanmıştır. Yönetmelik kapsamında binalar için Enerji Kimlik Belgesi (EKB)'nin hazırlanmasına yönelik bina enerji performansı ulusal hesaplama yöntemi (Bep-Tr) geliştirilmiş ve 2010 yılı sonunda tamamlanmıştır [10].

Türkiye'nin enerji etkinlik düzeyinin artırılması ve dolayısıyla sera gazı salımlarının azaltılmasına yönelik olarak yol haritasının belirlenmesi amacıyla iki strateji belgesi yayınlanmıştır.

Strateji belgelerinden ilki, 2010 yılında Başbakanlık Yüksek Planlama Kurulu tarafından onaylanan Türkiye'nin BMİDÇS'ye ilişkin yükümlülüklerini yerine getirmek ve özel koşulları çerçevesinde iklim değişikliği etkilerini azaltmak için gösterilen çabalara katkı sağlamak amacıyla yayınlanan Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi'dir [117]. Strateji kapsamında ele alınan sektörler için sera gazı salımlarının kontrolü ve azaltılmasına ilişkin kısa, orta ve uzun vadeli hedeflerin belirlendiği bir yol haritası oluşturulmaktadır. İklim Değişikliği Strateji Belgesi'nin ardından Temmuz 2011'de İklim Değişikliği Eylem Planı (İDEP) yayınlanmıştır.

İDEP kapsamında sektörlere ilişkin amaçlar, hedefler ve eylem planları tanımlanmış olup bina sektörü için;

- binalarda enerji etkinliğin artırılması,
- binalarda yenilenebilir enerji kullanımının artırılması,
- yerleşmelerden kaynaklanan sera gazı salımlarının sınırlandırılması

amaçlanmaktadır.

İDEP ile 2017 yılından itibaren yeni binaların yıllık enerji ihtiyacının en az yüzde 20'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilmesi, 2023 yılında en az 1 milyon konut ile toplam kullanım alanı 10 bin metrekare ve üzeri olan ticari binalarda ısı yalıtımı ve enerji tasarrufunun sağlanması, toplu konut projelerinde yerinde enerji üretiminin yaygınlaştırılması, BEP yönetmeliğinin etkin bir şekilde uygulanması ve 2017 yılına kadar tüm binalara enerji kimlik belgesinin verilmesi öngörülmektedir [11].

2012 yılında yayınlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ile ise, 2012-2023 dönemine ilişkin enerji verimliliğinin etkinleştirilmesine yönelik bir yol haritasının oluşturulması amaçlanmaktadır. Belge ile 2023 yılında Türkiye'nin gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedeflenmektedir. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi kapsamında bina sektörüne ilişkin tanımlanmış stratejik amaçlar ise;

- bina enerji talepleri ve karbon salımlarının azaltılması ve
- yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaların yaygınlaştırılmasıdır.

Strateji kapsamında, yürürlükteki mevzuatın AB uygulamaları paralelinde revize edilmesi ile binanın fonksiyonuna, bulunduğu bölgenin iklim koşullarına, mimari tasarımına ve yürürlükteki zorunlu standartlara uygun inşaa edilme durumuna göre ısıtma, soğutma ve aydınlatma ihtiyacını kapsayan azami yıllık enerji talebinin ve söz konusu enerji talebinin enerji verimli ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından ve teknolojilerinden karşılanması esas alınarak azami CO₂ salım miktarının belirlenmesi ve mevcut binaların iyileştirilmesi kapsamında bu sınır değerlerin dikkate alınması öngörülmektedir [12].

Binalarda enerji performansı (BEP) yönetmeliği

Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği ile dış iklim şartları, iç mekan gereksinimleri, yerel şartlar ve maliyet etkinliğine dikkate alınarak bir binanın tüm enerji kullanımının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesi, birincil enerji tüketimi ve karbondioksit (CO₂) salımı açısından sınıflandırılması, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereksinimlerinin belirlenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolü, sera gazı salımlarının sınırlandırılması, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesi ve çevrenin korunması amaçlanmaktadır [9].

BEP kapsamında, yeni ve mevcut binalar için Bep-TR hesaplama yöntemi kullanılarak belirlenen bina enerji performans düzeyinin A,B,C,D,E,F ve G olarak etiketlenmesi suretiyle enerji tüketimi ve sera gazı salımları açısından 2017 yılı sonuna kadar enerji kimlik belgelerinin düzenlenmesi öngörülmektedir.

Bina enerji performansı hesaplama yöntemi, binanın enerji tüketimine etki eden tüm değişkenlerin, binaların enerji verimliliğine etkisini değerlendirmek ve enerji performans sınıfını belirlemek için geliştirilmektedir. Hesaplama yöntemi konutlar, ofisler, eğitim binaları, sağlık binaları, oteller ile alışveriş ve ticaret merkezleri gibi bina tipolojilerindeki mevcut ve yeni binaların enerji performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Bu hesaplama yöntemi ile tasarım evresinde binalar için üretilen çeşitli alternatiflere ilişkin enerji performanslarının karşılaştırılması, mevcut binaların enerji performansının standartlaştırılmış düzeyinin belirtilmesi, mevcut binaların enerji ihtiyacının hesaplanması ile bu binalara ilişkin enerji etkin önlemlerin uygulanması ve uygulanmaması durumlarının değerlendirilmesi, bina stoğunu temsil edecek nitelikteki tipik binaların enerji kullanımlarının hesaplanması ile bölgesel, ulusal ve uluslararası ölçekte gelecekteki enerji kaynağı ihtiyacı konusunda öngörülebilir bulunması, zaman içerisinde tanımlanan bileşenlerden milli bileşen kütüphanesi oluşturma gibi ulusal veritabanlarının geliştirilmesi gibi çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

BEP-TR hesaplama yöntemi, EN 13790 standardı esas alınarak oluşturulmuş olup basit saatlik dinamik hesaplama yöntemidir. Bu hesaplama yöntemi, bina enerji performansını değerlendirirken;

- binaların ısıtılması ve soğutulması için binanın ihtiyacı olan net enerji miktarının hesaplanmasını,
- net enerjiyi karşılayacak kurulu sistemlerden olan kayıpları ve sistem verimlerini de göz önünde bulundurarak binanın toplam ısıtma-soğutma enerji tüketiminin belirlenmesini,
- havalandırma enerjisi tüketiminin belirlenmesini,
- binalarda günışığı etkileri dikkate alınarak, günışığından yararlanılmayan süre ve günışığının etkili olmadığı alanlar için aydınlatma enerji ihtiyacının ve tüketiminin hesaplanmasını,
- sıhhi sıcak su için gerekli enerji tüketiminin hesaplanmasını

kapsamaktadır.

Hesaplama sonucunda binanın yıllık ısıtma, soğutma, sıcak su, aydınlatma ve havalandırma amaçlı enerji tüketimleri birincil enerji olarak belirlenmekte ve birincil enerji tüketimlerine dayalı olarak CO₂ salım değerleri hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar kapsamında, tanımlı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da dikkate alınmaktadır. Yapılan hesaplama sonucunda elde edilen birincil enerji tüketim ve CO₂ salım değerleri, referans binaya ilişkin değerler ile karşılaştırılarak bina enerji sınıfı belirlenmektedir [118].

BEP-TR'de oluşturuluan referans binanın, enerji kimlik belgesi üretilen bina ile benzer konum ve forma sahip olduğu, ancak aktif bina alt sistemler ve bina kabuğunun termofiziksel özellikleri açısından mevcut bina yönetmeliklerine minimum uygunluk gösterdiği kabul edilmektedir.

Türkiye açısından BEP yönetmeliği, bina tiplerine ilişkin referans değerlerin belirlenmesi ve enerji sertifikasyonunun uygulanabilir bir yöntem ile yapılmasını sağlaması açısından önemli olup geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu bağlamda, özellikle EPBD recast kapsamında öngörülen ve yayınlanan strateji belgelerinde de önemle durulan yenilenebilir enerji kaynaklarının binalarda kullanımının artırılması amacıyla yönelik olarak binaya ilişkin hazırlanan enerji kimlik belgesinde yenilenebilir enerji kaynağının toplam enerji tüketimini karşılama oranı

belirtilmektedir. Böylelikle, BEP-TR veri bankasında bu konu ile ilgili oluşan veriler değerlendirilerek binalarda yıllara göre yenilenebilir enerji kaynağı kullanım oranının artırılması hedeflenmektedir [119].

2.3 Konutlarda Maliyet Etkinliği

Maliyet, üretim kapsamında tüketilen girdilerin değeri, diğer bir deyişle bir ürün ya da hizmetin elde edilmesi amacıyla katlanılan fedakarlıkların parasal toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bina maliyeti ise, binanın tasarım evresi ile başlayan ve binanın ömrünü tamamlaması ile biten süreç kapsamındaki tüm evrelerde harcanan değerlerin parasal toplamıdır.

Günümüzde, kıt olan kaynakların rasyonel kullanımının sağlanabilmesi amacıyla konutların enerji etkin üretilmesi ya da iyileştirilmesi kapsamındaki tüm evrelere ilişkin ekonomik performansın değerlendirilmesinin önemi giderek artmaktadır. Ekonomi, kıt koşullar altında alternatif kullanımlar için kaynakların tahsisi olarak tanımlanmakta olup gerek bina üretim süreci gerekse binaların iyileştirilmesi kapsamında da bu kıt kaynakların uygun şekilde paylaşılmasında önemli bir etkidir. Dolayısıyla, ekonomik durum açısından maliyet, binanın üretimi ya da iyileştirilmesine yönelik alınacak kararların şekillendirilmesinde etkin rol oynayan bir unsur olarak kabul edilmektedir.

Diğer taraftan, yatırım etkinliğinin ölçülmesi ve aynı performans sonucunu veren alternatif tasarımlar ya da önlemlerin karşılaştırılması amacıyla kullanılan başlıca kriterlerden biri de maliyettir. Dolayısıyla, konutlarda enerji etkinliğin sağlanmasına yönelik ele alınan önlemlerin değerlendirilmesinde ve seçiminde önemli bir araç olan maliyet etkinliği, enerji etkin iyileştirmelerin istenilen hedeflere ulaşmadaki kapasitesinin ölçümü olarak da kabul edilebilir.

Bina tasarımı ya da iyileştirilmesine ilişkin alternatiflerin etkinliğinin değerlendirilmesinde, binaların uzun süreli yatırımlar olduğu ve dolayısıyla binanın ekonomik ömrü süresince oluşabilecek çeşitli maliyetler ile birlikte binanın kullanımından elde edilebilecek faydaların da uzun bir zaman dilimine yayılabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu bağlamda, tasarım alternatiflerine ilişkin gerek güncel gerekse ileriye dönük maliyet ve faydaların, diğer bir deyişle ekonomik etkilerinin

karşılaştırılabilmesi için uygun ekonomik performans değerlendirme yöntemlerinin dikkate alınması gerekmektedir.

2.3.1 Ekonomik performans değerlendirme yöntemleri

Bina tasarımı ya da iyileştirilmesine ilişkin alternatiflerin ekonomik etkilerinin karşılaştırılmasına yönelik pek çok yöntem mevcuttur. Ancak, tüm bu yöntemlerin esasını, seçmeli gelir ya da ödeme akışının eşdeğer sermaye değerine dönüştürülmesi oluşturmaktadır. Bu bağlamda, ekonomik performans değerlendirme yöntemleri;

- net bugünkü değer yöntemi (net present value, NPV),
- net fayda yöntemi (net benefits, NB),
- yıllık (eş) değer yöntemi ((equivalent uniform) annual worth),
- tasarruf/yatırım oranı yöntemi (savings/investment ratio, SIR),
- iç kârlılık oranı yöntemi (internal rate of return),
- iskonto edilmiş geri ödeme süresi (discounted payback period) ve
- duyarlılık analizleri (sensitivity analysis)

olarak ele alınabilir [120].

Net bugünkü değer yöntemi

Bir projenin net bugünkü değeri, projeye ilişkin gelecekteki nakit akışlarının belirli bir iskonto oranına göre indirgenmiş değerlerinin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Gelecekte öngörülen nakit akışlarının bir kısmını giderler, geri kalanını gelirler oluşturuyor ise, ele alınan yaklaşım net bugünkü değer olarak kabul edilir ve bu yöntem kapsamında en yüksek net bugünkü değere sahip olan alternatif seçilir. Ancak, gelecekteki nakit akışlarının tümünün gider olması muhtemel ise, bu yaklaşım bugünkü değer yaşam döngüsü maliyet analizi olarak ifade edilir ve bu durumda en düşük yaşam döngüsü maliyetine sahip olan alternatifin tercih edilmesi gereklidir [120].

Net fayda yöntemi

Net fayda yöntemi, bugünkü değer yönteminin bir çeşitlemesi olup en önemli farklılık ise gelecekteki nakit akışlarının belirli bir iskonto oranına göre indirgenmeden önce çıkartılarak karşılaştırma yapılmasıdır. Bu yöntemin en önemli avantajı ise, iki yerine sadece bir kez iskonto faktörü ile çarpılması işlemini

gerektirmesidir. Yatırımın kabul edilebilir olması için toplam net faydaların pozitif olması gerekmektedir [120].

Yıllık (eş) değer yöntemi

Yıllık değer yöntemi, net bugünkü değer yöntemi ile birlikte eşdeğerlik kavramına dayalı iki temel yöntemden birisi olup gerçek nakit akışlarını bugünkü nakit akış toplamına çevirmek yerine eşdeğer formatta yıllık miktarlara dönüştürür. Bu yöntem ile proje ve alternatiflerinin yıllık olarak eşit dağılımlı getirisi ya da maliyeti ifade edilir. Bu yöntem kapsamında, en yüksek yıllık değere sahip olan alternatif tercih edilir [120-121].

Tasarruf/yatırım oranı yöntemi

Tasarruf/yatırım oranı (SIR) yöntemi, net fayda yönteminin bir çeşitlemesi olup iki yatırım alternatifine ilişkin gelecekteki nakit akışlarının belirli bir iskonto oranına göre indirgenmesinden önce çıkartılıp karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Ancak, SIR yönteminde nakit akışları, yatırıma ilişkin maliyetler ve yatırımın yapılması sonucunda elde edilen tasarruflar olmak üzere iki kategoride ele alınmaktadır. Bu yöntem kapsamında, ele alınan iki alternatife ilişkin farklı tasarrufların bugünkü değerleri, bu alternatiflere ilişkin farklı maliyetlerinin bugünkü değerlerine bölünerek hesaplama yapılmaktadır. Diğer bir deyişle, SIR yöntemi binaya yapılan iyileştirmenin yaşam süresince binanın mevcut enerji tüketiminde sağlanan toplam enerji tasarrufunun (bugünkü değeri) iyileştirme maliyetine bölünmesini dikkate almaktadır [120,122].

İç kârlılık oranı yöntemi

İç kârlılık yöntemi, net bugünkü değer yöntemine benzer bir yöntem olup sadece iskonto oranı açısından farklılık göstermektedir. Net bugünkü değer yönteminde belirli bir iskonto oranı kullanılarak nakit giriş ve çıkışları indirgenmeye çalışılırken iç kârlılık oranı yönteminde ise, nakit giriş ve çıkışlarının bugünkü değerlerini birbirine eşitleyen oran aranmaktadır. İç kârlılık oranı, yatırımın gerektireceği nakit çıkışı ile ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişini eşit kılan diğer bir deyişle, bir yatırım projesinin NBD'sini sifıra eşitleyen iskonto oranı olarak tanımlanmaktadır [123].

İskonto edilmiş geri ödeme süresi yöntemi

İskonto edilmiş geri ödeme süresi yöntemi, projenin net bugünkü değerini sıfıra eşitleyen yıl sayısının belirlendiği yöntemdir. Basit geri ödeme süresi yönteminin aksine, bu yöntem kapsamında yatırımın yaşam ömrü süresince sağlayacağı yıllık nakit girişleri belirli bir iskonto oranına göre indirgenerek tek tek hesaplanır. Bu hesaplamalar sonrasında elde edilen değer, yatırımın toplam maliyetine bölünerek iskonto edilmiş geri ödeme süresi belirlenir. Bu yöntem çerçevesinde kendisini en kısa sürede ödeyen yatırım, risk düzeyi en düşük yatırım olarak kabul edilir. Diğer bir deyişle, bu yöntem, yatırımın kendisini finanse edebilmesi için gerekli olan süreyi daha gerçekçi bir şekilde hesaplamaktadır.

Duyarlılık analizi

Duyarlılık analizi, projeye ilişkin değişkenlerin değişebilirliğini belirlemede kullanılan bir yöntemdir [124]. Bu yöntem, proje alternatiflerinin sıralanması için herhangi bir koşul oluşturmamaktadır [125]. Duyarlılık analizi, projenin net bugünkü değerini (NBD) oluşturan temel değişkenlerdeki değişikliğe bağlı olarak NBD'nin ne ölçüde değiştiğini ölçmeye yarayan bir risk analiz tekniği olarak kabul edilmektedir [126]. Bu bağlamda duyarlılık analizi, proje verimliliğindeki potansiyel riskin belirlenmesi ve tahmin edilmesinde kullanılan bir yöntem olup risk değerini belirlemenin ötesinde değişkenlerin NBD üzerindeki etkilerinin tahmini için kullanılmaktadır [127].

2.3.2 Ekonomik performansın değerlendirilmesinde gereksinim duyulan veriler

Ekonomik performansın değerlendirilebilmesi için gereksinim duyulan veriler,

- ekonomik değişkenler,
- maliyet verileri ve
- diğer gerekli veriler

olarak ele alınabilir.

Ekonomik değişkenler

Ekonomik performansın değerlendirilmesinde en etkin rol oynayan ekonomik değişkenler olarak iskonto oranı, enerji fiyatlarına ilişkin öngörüler ve zaman ölçeği dikkate alınmaktadır.

İskonto oranı, enflasyon, faiz gibi etkenlerin dikkate alınarak gelecekte oluşacak maliyetlerin bugüne indirgenmesi sonucunda yatırıma ilişkin belirlenen minimum verim oranı, diğer bir deyişle yatırımın kârlılığıdır.

Enerji fiyatlarının genel fiyat enflasyonundan farklı bir oranda arttığı ya da azaldığı kabul edilmektedir. Enerji fiyatlarına ilişkin yapılacak öngörüler kapsamında gelecek enerji maliyetlerinin hesaplanabilmesi için farklı enerji fiyat gelişimleri dikkate alınmaktadır.

Zaman ölçeği ile ekonomik performans değerlendirmesi çerçevesinde esas alınacak yaşam ömrü ifade edilmektedir. Bu bağlamda, binanın belirli gereksinimleri yerine getirebildiği yaşam süreleri, aşağıdaki gibi ele alınabilir [128]:

- *Ekonomik yaşam ömrü*, gereksinim duyulan fonksiyonel hedefin karşılanmasında en az maliyetin gerçekleştirilebileceği kullanım süresidir.
- *Fonksiyonel yaşam ömrü*, binanın yapımından işlevini kaybedeceği zamana kadar geçen süredir.
- *Yasal yaşam ömrü*, bir bina ya da bina elemanının yasal olarak tanımlanmış gereksinimleri karşılayabildiği süredir.
- *Fiziksel yaşam ömrü*, bir bina ya da bina elemanı için fiziksel bozulmanın muhtemel olduğu süredir.
- *Sosyal yaşam ömrü*, kullanıcı tarafından binaya ilişkin değişikliklerin yapılmasının öngörüldüğü süredir.
- *Teknolojik yaşam ömrü*, bir bina ya da bina elemanının alternatifleri karşısında teknik olarak üstün olamadığı süredir.

Diğer taraftan, zaman ölçeği, dikkate alınan bileşen, sistem ya da bina için öngörülen yaşam ömrü ve değerlendirme süresi olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır [129]. Bir binanın yaşam ömrü, binanın tasarımı, yapımı ve tüm yaşam ömrü süresince bakımlarının uygun şekilde gerçekleştirilmesi ile teorik olarak süresizdir. Bu nedenle uygulamada, binaya ilişkin yaşam ömrü fiziksel bozulma ve diğer birçok nedenden ötürü daha kısa alınmaktadır. Dolayısıyla, yapılan ekonomik analizlerde değerlendirme süresi olarak yukarıda belirtilen yaşam ömürlerinden ekonomik ve fonksiyonel yaşam ömürleri dikkate alınmaktadır [130].

Maliyet verileri

Bina maliyeti kavramı, genellikle binanın tasarımı ve yapımı için gereksinim duyulan tüm giderler olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, pek çok bina tasarım ve iyileştirme kararlarına ilişkin ekonomik performansın değerlendirilebilmesinde bina maliyetinde etkin rol oynayan verilerin dikkate alınması gerekmektedir. Binaya ilişkin maliyetler, genellikle aşağıda belirtildiği şekilde ele alınmaktadır.

İlk yatırım maliyeti

İlk yatırım maliyeti kapsamında tüm girdilerin maliyetinin toplamı diğer bir deyişle binanın tasarımı ve yapımı için gereksinim duyulan arsa, iş gücü, teçhizat ve malzemeler gibi tüm üretim faktörlerinin toplamı ele alınmaktadır.

Kullanım maliyeti

Binanın yaşam ömrünü tamamladığı diğer bir deyişle kullanılamaz duruma geldiği zamana kadar ki tüm enerji, işletme ve bakım-onarım maliyetleri, kullanım maliyeti kapsamında ele alınmaktadır.

- *Enerji maliyeti* çerçevesinde, bina içerisinde istenilen iklimsel konfor koşullarının ve diğer gereksinimlerin sağlanabilmesi amacıyla tüketilen yakıt cinsine ilişkin giderler dikkate alınmaktadır.
- *İşletme maliyeti* kapsamında, binanın kullanılış amacına uygun olarak optimum hizmet edebilmesi kapsamında enerji maliyetleri hariç tüm giderler ele alınmaktadır.
- *Bakım-onarım maliyeti* çerçevesinde, binadan beklenen performans düzeyinin binanın yaşam ömrü süresince korunabilmesi ve sürdürülebilmesi amacıyla yürütülen faaliyetlere ilişkin giderler dikkate alınmaktadır.

Yenileme maliyeti

Bina için öngörülen yaşam ömründen daha kısa yaşam ömrüne sahip olan bina alt sistem elemanlarının yenilenmesine ilişkin maliyetleri kapsamaktadır.

Hurda ya da kalıntı değeri

Binanın yaşam ömrü sonunda taşınmış olduğu parasal değerdir.

Diğer gerekli veriler

Diğer gerekli veriler kapsamında fiziksel, kullanım süresi ve kaliteye ilişkin veriler dikkate alınabilir. Bu ilgili veriler ile tamamlanmayan maliyet verilerinin belirsiz değerlere sahip olacağı belirtilmektedir [129]. Fiziksel veriler, binaya ilişkin döşeme,

duvar alanı gibi ölçülebilir fiziksel özellikler ile ilgili olup tüm maliyet tahmin modellerinde kullanılması gerekmektedir. Aynı amaç için kullanılan farklı binaların fiziksel özelliklerinden ötürü kullanım (enerji) maliyetleri değişkenlik gösterdiğinden maliyet verilerinin, ayrıca fiziksel verilere dayalı yorumlanması gerekmektedir. Kullanım süresi kapsamında, binanın kullanıldığı saatler ve kullanım profili dikkate alınmaktadır. Diğer taraftan, kalite ve performansa ilişkin veriler de, dikkate alınacak önlemlerin belirlenmesinde etkili rol oynamaktadır. Performansa ilişkin verilerin eksik, dağılmış ve yapılanmamış olması durumunda kaliteye ilişkin verilerin öznel olabileceği de vurgulanmaktadır [130].

2.3.3 Ekonomik performansın değerlendirilmesinde etkili olan stratejiler

Ekonomik performansın değerlendirilmesinde temel sorun binaya ilişkin bilgilerin organize edilmesi için uygun yöntemin belirlenmesidir. Belirlenen yöntem kapsamında, binanın tasarımına bağlı olarak değişkenlik gösteren detayların basitleştirilmesi, düzenlenmesi ve binaya ilişkin alınan tasarım ya da iyileştirme kararlarına göre yaklaşımın uyarlanabilmesi önemlidir. Bu açıdan, binanın mevcut ya da gelecekteki durumuna ilişkin önerilerin, özellikle maliyetler üzerinde önemli etkiye sahip faktörlere dayalı olarak analiz edilebilmesini sağlayacak bir modelin geliştirilmesinde;

- tasarım sınırlarının tanımlanması,
- binaya ilişkin verilerin düzenlenmesi,
- ekonomik performans değerlendirme modellerinin tanımlanması,
- ekonomik performansın iyileştirilmesine ilişkin stratejilerin kullanılması,
- bina sistemleri arasındaki bağlantının dikkate alınması,
- maliyet-fayda karşılaştırmalarının yapılması

gibi stratejiler dikkate alınmaktadır [120].

Tasarım sınırlarının tanımlanması

Ekonomik performans değerlendirmesi kapsamında ele alınan alternatiflerden istenilen sonuca ulaştıran alternatiflere ilişkin çözüm aralığında yapılacak bir daraltma ile karar verme sürecinin karmaşıklık düzeyinin azaltılması da mümkün

olabilmektedir. Söz konusu çözüm aralığı, ele alınan alternatifler çerçevesinde dikkate alınan değişkenlerin maksimum ve minimum değerlerinin dikkate alınması ile daraltılabilmektedir.

Binaya ilişkin verilerin düzenlenmesi

Ekonomik performans değerlendirmesi çerçevesinde, binalarda dikkate alınacak verilerin miktar ve maliyetinin belirlenebilmesi için karmaşık yapıda olan çok fazla verinin sistematik bir şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, verilerin hiyerarşik bir yapıda düzenlenmesi ile alt sistemlerin maliyetlerinin ayrı ayrı belirlenmesini ve sistemler ölçeğinde iyileştirmelerin yapılabilmesini sağlayan fonksiyonel elemanlara dayalı sınıflandırma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sınıflandırma sistemleri kapsamında, BCIS, CEEC ya da CSI UNIFORMAT gibi sistemler yer almaktadır.

Ekonomik performans değerlendirme modellerinin tanımlanması

Ekonomik performans değerlendirmesi çerçevesinde bina tasarımı ya da iyileştirme çalışmalarında sorun oluşturabilecek alanların tanımlanabilmesi ya da araştırma süreci kapsamında gereksinim duyulan bilgilerin elde edinebilmesi için uygun ekonomik modellerin tanımlanması gerekmektedir. Geleneksel olarak yapılan maliyet analizleri, esasen ilk yatırım maliyetlerin değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Daha kapsamlı maliyet analizi yaklaşımı çerçevesinde ise, ilk yatırım maliyeti, ortalama maliyetler, marjinal maliyetler, fırsat maliyetleri, yaşam döngüsü maliyetler gibi pek çok farklı maliyetin değerlendirilmesi öngörülmektedir. Bu bağlamda, dikkate alınacak maliyet türlerinin belirlenebilmesi için ilk olarak bina sistemlerinin nispi ekonomik performanslarının tanımlanması gerekmektedir. Yapılan bu tanımlama sonucunda, binanın ekonomik performansı üzerinde yüksek etki düzeyine sahip olan bina elemanlarının tasarımı ya da iyileştirilmesine yoğunlaşılabilmesi mümkün olmaktadır.

Ekonomik performansın iyileştirilmesine yönelik stratejilerin kullanılması

Ekonomik performansın iyileştirilmesine yönelik basit ikame ve sistemler arasında ikame olmak üzere iki strateji kullanılmaktadır.

Basit ikame (yerine koyma)

Tasarım ve iyileştirme çalışmalarında amaçlanan performans gereksinimlerine uygun olarak en düşük toplam maliyete sahip olan bina elemanlarının belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, bina performansını etkilemeden bina elemanlarının yerine

koyulabilecek alternatifler araştırılmaktadır. Örneğin bir dış duvar sistemi için önerilen olası dış duvar tasarım alternatifleri ele alınmakta ve maliyetleri açısından karşılaştırılmaktadır. Bu yöntem, oldukça basit bir yapı çerçevesinde uygulanmakla birlikte yapılan karşılaştırmalar, ilk yatırım maliyetinin değerlendirilmesinden yaşam döngüsü kapsamında önemli maliyetlerin dikkate alınmasına kadar genişletilebilmektedir.

Sistemler arasında ikame

Ekonomik tasarıma ilişkin daha kapsamlı bir amaç çerçevesinde, etkin belirli sistemler ile birlikte yapım sınıfları üzerinde de ekonomik kaynak dağılımının sağlanması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, bina tasarımının iyileştirilmesine yönelik ele alınan bina sistemlerinin maliyetleri karşılaştırılarak mevcut bütçenin en iyi şekilde kullanılmasına ilişkin sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bina sistemleri arasındaki bağlantının dikkate alınması

Binanın bir sistemine ilişkin maliyetler azaltılırken bina sistemleri arasındaki bağlantılı yapı nedeniyle tüm binaya ilişkin maliyetler artış gösterebilmektedir. Bu nedenle, binanın bir sistemine ilişkin tasarım kararları oluşturulur iken öngörülen bu kararın diğer sistemler üzerindeki etkisi de dikkate alınmalıdır.

Maliyet-fayda karşılaştırmalarının yapılması

Karar verme sürecinde bina elemanlarına ilişkin performans özellikleri önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, uygun bina sisteminin belirlenmesinde sadece sisteme ilişkin maliyet değerlerinin dikkate alınması yeterli olmamaktadır. Dolayısıyla, performans ölçümüne ilişkin pek çok yöntem mevcut olmakla birlikte bazı durumlarda performans doğrudan ekonomik faktörlere (örn. enerji kullanımına) dayalı ekonomik analizler çerçevesinde değerlendirilmektedir. Diğer durumlarda ise performans, ölçülebilir yöntemler (örn. bir duvar tipinin akustik performansı) ya da sadece öznel tespitler aracılığıyla değerlendirilmektedir.

3. KONUTLARDA YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE EKONOMİK PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Binalar, dünya genelinde büyük miktarda kaynak ve enerji tüketmeleri ve dolayısıyla CO₂ salımları üzerinde de önemli etkilere sahip olmaları nedeni ile çevresel etki, iklim değişikliği sorunlarının çözümünde öncelikli olarak ele alınmaktadır. Küresel enerji tüketiminin %40'ı, CO₂ salımının %30'u ve yaklaşık olarak toplam malzeme kullanımının ise %44'ü binalardan kaynaklanmaktadır [131-133].

Bina ve inşaat malzemeleri arasında dikkat edilmesi gereken sosyoekonomik bir bağlantı olup bina ve inşaat sektörü, çevresel etkilerin sınırlandırılması ile birlikte sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin başarılmasında da gerekli önlemlerin uygulanabildiği en önemli sektörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, sürdürülebilir kalkınmaya ilişkin sosyal, ekonomik ve çevresel göstergeler de, gerek gelişmiş ve gerekse gelişmekte olan ülkelerde oldukça aktif bir konumda olan ve küresel olarak gelişmeye devam eden bina ve inşaat sektörüne dikkati çekmektedir [134,135].

Gelişen kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanabilmesine yönelik binaların üretiminde geleneksel tasarım yaklaşımı ve yapım yöntemlerinin kullanımına devam edilmesi sonucunda, doğal kaynakların tükenmesi, küresel ısınma gibi çevresel sorunların artması ile sürdürülemez bir yapının oluşması söz konusudur. Uluslararası Bina ve Yapım Araştırma ve Yenilikler Konseyi (CIB) tarafından 1999 yılında yayınlanan "Sürdürülebilir Yapım için Gündem 21 (Agenda 21 on Sustainable Construction)" konulu çalışmada, hammaddelerin çıkarımı ve malzemelerin üretiminden binaların tasarım, yapım, kullanım ve bakım, yeniden kullanım (reuse) ya da yıkım (disposal) evrelerine kadar ki yaşam döngüsü içerisinde binaların toplam ekonomik ve çevresel etki ve performanslarını dikkate alan bütüncül bir süreç tanımlanmaktadır [134,136].

Bütüncül süreç aracılığı ile geçmişte bina ve binaya ilişkin strüktürel bileşenler üzerinde çevrenin etkisi birincil olarak dikkate alınarak binaların uzun dönem stabilitesinin sağlanması ön planda tutulurken, günümüzde buna ek olarak binaların

çevre üzerindeki etkisi de dikkate alınmaya başlanmıştır. Dolayısıyla, binaların tasarımı ya da iyileştirilmesinde, binanın tüm yaşam döngüsüne ilişkin enerji, ekonomik ve çevresel performansının optimize edilmesi ile kullanıcı gereksinimlerinin karşılanmasını esas alan bir yaşam döngüsü anlayışının geliştirilmesi önem kazanmaktadır.

Bu kapsamda, binalarda yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performansının diğer bir deyişle binaların sürdürülebilirlik düzeyinin geliştirilmesi amacı doğrultusunda;

- önerilen tasarım ya da iyileştirme alternatiflerinin binaya ilişkin gelecekteki enerji maliyetlerine etkisinin,
- çevresel etki düzeylerinin ve
- enerji etkin iyileştirme kapsamında ele alınan alternatifler arasından bina yaşam döngüsü performansı açısından en etkili olanının

belirlenebilmesi için uygun değerlendirme araçların kullanılması gerekmektedir.

Bu amaca yönelik olarak önerilen alternatiflere ilişkin enerji ya da maliyet verilerinin karşılaştırılması ile en etkin alternatifin belirlenmesinde yaşam döngüsü analizleri dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda, iklim değişikliğine ilişkin iki ana çevresel gösterge olarak kabul edilen enerji kullanımı ve CO₂ salımının dikkate alındığı yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) (Life cycle assessment, LCA) yöntemi ve sürdürülebilirliğin değerlendirmesi esasına dayalı muhtemel tasarım ya da iyileştirme alternatiflerine ilişkin ekonomik etkilerin ele alındığı yaşam döngüsü maliyet (YDM) (life cycle cost, LCC) yöntemi yaygın şekilde kullanılmaktadır.

3.1 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)

Yaşam Döngüsü Değerlendimesi (YDD), malzeme ve enerji akışı ve bu akışın çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde sistematik bir yaklaşımı dikkate alan ve çok kapsamlı kullanım potansiyeline sahip olan bir yöntemdir.

YDD süreci, çevre yönetimini ele alan uluslararası standartlar dizisi ISO 14000 kapsamında tanımlanmaktadır. ISO 14040 standartına göre YDD, “bir ürün sistemine ilişkin yaşam döngüsü süresince girdi, çıktı ve olası çevresel etkilerinin derlenmesi ve değerlendirilmesi” olarak ifade edilmektedir [137].

Çevresel Toksikoloji ve Kimya Topluluğu (SETAC) tarafından yayınlanan Uygulama Esasları kapsamında YDD, “bir ürün, süreç ya da faaliyete ilişkin çevresel yüklerin değerlendirilmesi için kullanılan enerji ve malzemelerin ve çevreye salınan atıkların saptanması ve miktarlarının belirlenmesi süreci” olarak tanımlanmıştır [138]. Çevre Koruma Ajansı (EPA) ise YDD’yi “endüstriyel sistemlerin değerlendirilmesi amacıyla bir ürünün yaşamı sürecindeki tüm evreleri dikkate alan beşikten mezara (cradle-to-grave) yaklaşım” olarak ifade etmektedir [139].

YDD, aynı performans düzeyine sahip olan ancak, çevresel sonuçlar açısından farklılık gösteren birtakım alternatif çözümlerin karşılaştırılmasında özellikle dikkate alınan bir yöntemdir. Binalar açısından yaşam döngüsü çevresel etkiler irdelendiğinde, bu etkilerin genellikle binaların kullanım evresi süresince ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimlerinden kaynaklandığı görülmektedir. Geleneksel binalarda, kullanılan malzemelerin 50 yıllık yaşam ömrü süresince tüketilen toplam enerjinin %10’u ile %25’ini oluşturduğu saptanmıştır [140]. Diğer taraftan, günümüzde düşük enerjili binalarda kullanım evresi enerji tüketimi azalırken binaların üretimi evresinde harcanan enerji miktarı artmaktadır. Gelişmiş düşük enerjili binalarda, üretim evresinde tüketilen enerji miktarının toplam enerji tüketiminin %50’sini teşkil eden düzeylere ulaştığı saptanmıştır [141,142]. Sera gazı salımları açısından geleneksel binalar irdelendiğinde ise, 50 yıllık yaşam ömrü süresince binaların toplam sera gazı salımlarının %10’u ile %20’sinin kullanılan malzemelerden kaynaklı olduğu belirtilmiş olup ısıtma yükünün daha az, malzeme kullanımının daha fazla olduğu düşük enerjili binalarda ise bu oranın %50’yi aştığı belirlenmiştir [143,142]. Dolayısıyla, binaların enerji performansının iyileştirilmesine yönelik ele alınan enerji etkin alternatifler içerisinde optimum alternatifin belirlenmesinde alternatiflere ilişkin yaşam döngüsü çevresel etkilerin dikkate alınması gerekli olmakla birlikte kullanım enerjisinin azaltılması sonucunda gömülü enerji, gömülü CO₂ salımları ve yaşam döngüsü malzeme akışına ilişkin harcamalar önem kazanmaktadır.

Bu açıdan YDD, karar desteğine ilişkin her bir ana süreç için;

- sorunun açık bir şekilde ifade edilmesi,
- alternatiflerin oluşturulması,
- en uygun alternatifin değerlendirilmesi,

- seçilen alternatifin uzun dönem izlenmesi için değerlendirilecek göstergenin belirlenmesi

yönünde katkıda bulunmaktadır [144].

ISO 14040'ta öngörülen YDD strüktürü, dört ana adım kapsamında ele alınabilir:

Amaç ve kapsamın tanımlanması

YDD çalışmalarının ilk adımını oluşturan amaç ve kapsamın tanımlanmasında çalışmanın amacı, kapsamı ve detay derecesi açık bir şekilde ifade edilmelidir. Bu kapsamda, öncelikli olarak yaşam döngüsünün tanımlanması, fonksiyonel birimin belirlenmesi, sistem sınırlarının tayin edilmesi ve veri kalitesinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Envanter analizi

YDD çalışmalarının esasını oluşturan bu adım, çalışmanın amacı ve kapsamını karşılayacak nitelikte verilerin toplanmasını ve sürece ilişkin girdi ve çıktıların nicelendirilmesi için gerekli hesaplama yöntemlerini kapsamaktadır.

Etki değerlendirmesi

Bu adımda, çalışmanın amacı ve kapsamı doğrultusunda envanter analizinde dikkate alınan veriler esas alınarak çevresel etkilerin sınıflandırılması, nitelendirilmesi ve elde edilen bulgulara dayandırılarak çalışmanın değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yorumlama

Envanter analizi ve etki değerlendirmesi adımlarında elde edilen sonuçlara göre çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik yapılacak iyileştirme çalışmaları ve bu yönde alınması gerekli kararları kapsamaktadır. Bu nedenle, yapılan tahmin ve var olan belirsizliklerin YDD kapsamında açık bir şekilde ifade edilmesi gerekmektedir.

YDD, mimar ve diğer ilgili karar vericilerin binanın yaşam döngüsü süresince enerji tüketimi ve çevresel etkileri ilgili gerekli bilgilere ulaşabilmesinde kullanılan bir araçtır. Bu nedenle, bir binanın yaşam döngüsü süresince harcadığı enerjinin belirlenebilmesi için yapı malzemelerinin üretiminden binanın yıkımına kadar olan tüm evrelerin dikkate alınması gerekmektedir. CEN TC 350 Standartına göre, bir binanın yaşam döngüsü evreleri, ürün evresi, yapım evresi, kullanım evresi ve yaşam evresi sonu olarak tanımlanmış ve Çizelge 3.1'de belirtilmiştir [145].

Çizelge 3.1 : Bir binaya ilikin yaşam döngüsü evreleri [145].

Evre	Modül
Ürün evresi	Hammadde temini Taşıma Üretim
Yapım evresi	Taşıma Yerinde yapım / montaj süreci
Kullanım evresi	Bakım Tamir & değiştirme Yenileme Kullanım enerjisi : ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma
Yaşam sonu evresi	Yıkım Taşıma Geri dönüştürme / yeniden kullanım Yok etme

Binalarda YDD'nin kullanımına yönelik her bir bina tasarımının özgün bir karaktere sahip olduğunu, sistemlerin tanımlanmasındaki zorluğu ve ilişkili kararları dikkate alan bir dizi yol gösterici esaslara gereksinim duyulmaktadır. İnşaat sektörü kapsamında yapım, kullanım ve yıkım evrelerinde kullanılan malzemeler değişkenlik göstermekle birlikte binalara ilişkin çevresel kriterler potansiyel olarak çok fazladır. Bu açıdan YDD yöntemi, çoğu kez fazla karmaşık, yoğun bilgi ve veri gerektiren ve zaman alıcı olarak görülmektedir [146]. Ayrıca, yöntem çerçevesinde elde edilen karmaşık sonuçlar, yetersiz doğruluk dereceleri, sonuçların yorumlanmasına ilişkin problemler ve yöntemin uygulanmasına ilişkin maliyetler nedeniyle bu yöntemin uygulanmasına yönelik bazı kaygılar da söz konusudur [147,148].

Bu nedenle, YDD değerlendirme yönteminin gelişim süreci içerisinde binaların tasarımı, kullanımını ve iyileştirme evrelerinde yaşam döngüsü yaklaşımının uygulanmasını kolaylaştırmak ve elde edilecek sonuçların karar verme sürecinde etkin kullanımını sağlamak amacıyla daha az detaylı, basitleştirilmiş YDD yöntemleri önerilmektedir.

Bu yöntemler çerçevesinde, yaşam döngüsü çevresel etkiler göz ardı edilmeden çevresel etkilerin kabaca hesaplanmasına yönelik YDD yöntemi kapsamında aşağıda belirtilen olası basitleştirmeler dikkate alınmaktadır [149-151,147]:

- Büyük bina elemanlarının esas alınması, taşımanın ihmal edilmesi gibi hususlar göz önünde bulundurularak binaya ilişkin verilerin edinimi basitleştirilebilir.

- Etki kategorisi açısından en önemli paya sahip olan malzemenin dikkate alınması, binanın yaşam sonu evresinin ihmal edilmesi, sadece genel salım verilerinin kullanımı gibi kriterler esas alınarak envanter analizi kolaylaştırılabilir.
- Bir kaç etki kategorisi dikkate alınarak hesaplamalar sadeleştirilebilir.
- Gelişmiş CAD uygulamalarının kullanımı ile binaya ilişkin verilerin ediniminde harcanan zaman azaltılabilir.

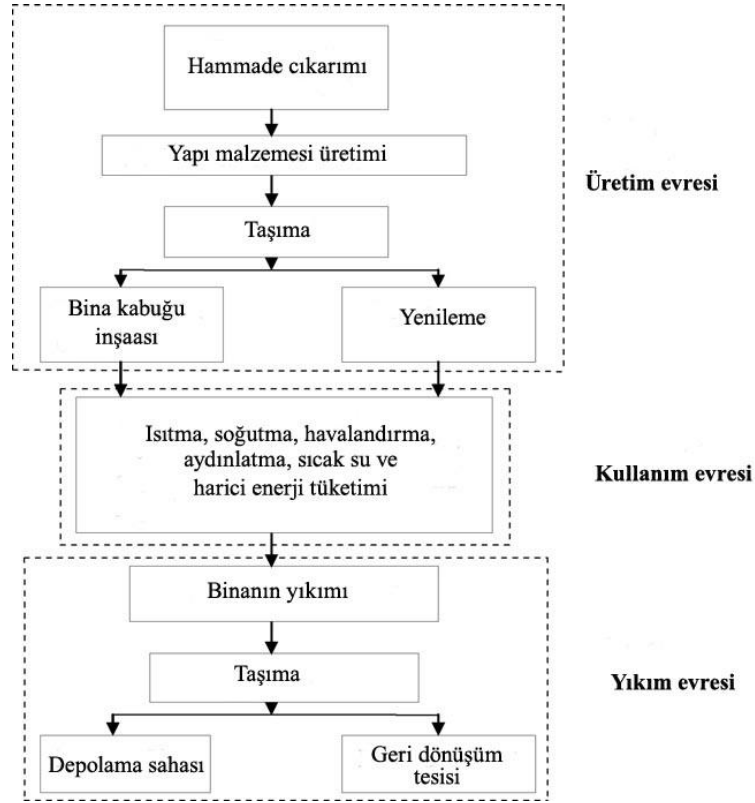
YDD yöntemi kapsamında çalışmanın sonuçları, kullanılan verilerin nitelik ve niceliği ya da yapılan tercih ve varsayımlara bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu çerçevede, YDD çalışmalarına dayandırılarak alınan kararların bu olası farklılıkları da içermesi de kaçınılmazdır. Bu nedenle, YDD bir karar destek mekanizması niteliğinde olup mutlak değişmez doğruları yansıtmak durumunda değildir [152,153].

Bu tez çalışması kapsamında, konutların yaşam döngüsü enerji performansının ve enerji performansına ilişkin yaşam döngüsü CO₂ salımı göz önünde bulundurularak çevresel performansının da değerlendirilmesi amaçlandığından, konutların mevcut durumlarının iyileştirilmesine yönelik optimum alternatifin belirlenmesine destek sağlamak için YDD yöntemi çerçevesinde konut binalarının tüm yaşam döngüsü süresince tükettiği enerji ve enerji tüketimine bağlı neden olduğu CO₂ salım verileri öncelikli olarak dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda, YDD yöntemi esas alınarak geliştirilen Yaşam Döngüsü Enerji Analizi (YDEA) (Life cycle energy analysis, LCEA) ve Yaşam Döngüsü CO₂ Analizi (YDCO₂) (Life cycle CO₂ analysis, LCCO₂) çalışma kapsamında irdelenmektedir.

3.2 Yaşam Döngüsü Enerji (YDE) Analizi

Yaşam döngüsü enerji (YDE) analizi, YDD yöntemi esasına dayandırılarak geliştirilen ve çevresel etki kriteri olarak sadece enerji kullanımını dikkate alan bir yöntemdir. Bu yöntem ile amaçlanan, YDD yöntemi gibi geniş kapsamlı çevresel değerlendirme yöntemlerinin yerine geçmekten ziyade binaların yaşam döngüsü süresince enerji etkinliğinin sağlanmasına yönelik gerekli kararların alınmasını kolaylaştırmaktır [154].

YDE analizi, bir binanın yaşam döngüsü süresince binaya ilişkin tüm enerji girdilerini dikkate alan bir yaklaşımdır. Bu analiz çerçevesinde sistem sınırları, enerji kullanımının gerçekleştiği üretim, kullanım ve yıkım (yaşam sonu) evrelerini içermektedir. Üretim evresi kapsamında yapı malzemelerinin üretimi ve taşınması ile birlikte bu malzemelerin yapım ve yenileme süreçleri çerçevesinde kullanımları da dikkate alınmaktadır. Kullanım evresi, binanın yaşam ömrü süresince iç ortam konfor koşullarının sağlanması, sıcak su temini, aydınlatma gibi binanın kullanımına ilişkin tüm gereksinimleri kapsamaktadır. Yaşam sonu evresi ise, binanın yıkımı ve yıkım sonrası malzemelerin depolama sahaları ya da geri dönüşüm tesislerine taşınmasını içermektedir (Şekil 3.1) [155].



Şekil 3.1 : Yaşam döngüsü enerji analizi için sistem sınırı [155].

Binaya ilişkin toplam yaşam döngüsü enerjisi, gömülü enerji ve kullanım enerjisini kapsamaktadır [156,157].

Gömülü enerji (GE)

Yapı malzemelerinin üretimi, inşaatta kullanımı, yıkımı ve yok edilmesi süreçlerinde diğer bir deyişle “beşikten-mezara” (cradle-to-grave) süreci kapsamında ihtiyaç duyulan enerji miktarıdır. Gömülü enerji, ilk (initial) ve yinelenen (recurring) gömülü enerji olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. İlk gömülü enerji ile binanın

inşaatı sırasında kullanılan malzemelere ilişkin gömülü enerji değerleri tanımlanmaktadır. Yenilenen gömülü enerji ile ise, binanın yenileme ve bakım evreleri kapsamında kullanılan malzemelere ilişkin gömülü enerji değerleri ifade edilmektedir.

Kullanım enerjisi (KE)

Binalarda konfor koşullarının sağlanması ve binaya ilişkin gerekli bakım ve onarımların gerçekleşmesi için gereksinim duyulan enerji miktarıdır. Kullanım enerjisi kapsamında ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su ve harici enerji değerleri dikkate alınmakta olup bu değerler, tanımlanan konfor koşulları, dış iklim koşulları ve binanın kullanım saatlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

YDE analizinde enerjinin temel ölçüm birimi olması nedeni ile enerjinin formu kesinlikle belirtilmelidir. Enerji, birincil (primary) ve ikincil (secondary) enerji olmak üzere iki grupta ele alınabilir.

- Birincil enerji, herhangi bir dönüşüm ya da değişim sürecinden geçmemiş enerji olarak ifade edilir. Petrol, doğalgaz, kömür, odun gibi doğrudan tüketilebilen enerji kaynakları birincil enerji kapsamında değerlendirilmektedir.
- İkincil enerji, birincil kaynaklardan kullanılabilir formlara dönüştürülen elektrik, fuel oil, mazot gibi enerji türleri olarak tanımlanmaktadır.

Bina enerji performansının değerlendirilmesinde, binada gereksinim duyulan konfor koşullarının sağlanabilmesi amacıyla sistem sınırları kapsamında binanın teknik sistemlerine temin edilen her bir enerji taşıyıcısı diğer bir deyişle kullanıcılar tarafından tüketilen enerji, iletilen enerji (delivered energy) olarak tanımlanır. Binaya iletilen enerjinin yaşam döngüsü dikkate alındığında, iletilen enerjinin elde edilmesinde önemli miktarda enerji tüketilmekte olup tüketilen enerji miktarı kullanılan yakıt türüne (elektrik, gaz vb.) ve enerjinin elde edilme biçimine (kömür ya da su ile çalışan enerji santralleri) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda, kullanım enerjisi ile gömülü enerji arasında geçerli bir karşılaştırmanın yapılabilmesi ve toplam yaşam döngüsü enerji performansının doğru değerlendirilebilmesi için her iki enerji değerinin birincil enerji cinsinden belirlenmesi gerekmektedir [154].

Binalar, doğrudan ya da dolaylı olarak yaşam döngüsünün tüm evrelerinde “beşikten mezara” süreci çerçevesinde enerji tüketmekte ve binaların enerji tükettiği evreler arasında gerek gömülü enerji gerekse kullanım enerjisi açısından karşılıklı bir etkileşim söz konusu olmaktadır [155]. Bu nedenle, binanın gömülü enerjisi ve kullanım enerjisi değerlerinin karşılaştırılabilmesi ile potansiyel yaşam döngüsü enerji etkinlik ve korunumu önlemleri belirlenebilmektedir. Benzer biçimde, YDE kavramı, bir binanın kullanım enerjisi ya da gömülü enerjisi değerlerinin optimize edilmesi amacıyla ele alınan önlemlerin yaşam döngüsü faydalarının gösterilmesi için de kullanılabilir [154]. Dolayısıyla, binalarda yaşam döngüsü yaklaşımının, enerji ve diğer doğal kaynakların kullanımı ile birlikte çevresel etkilerinin de analiz edilebilmesi açısından uygun bir yöntem olduğu belirtilmektedir [158].

3.3 Yaşam Döngüsü CO₂ (YDCO₂) Analizi

Yaşam döngüsü CO₂ (YDCO₂) analizi, YDD yöntemi esas alınarak geliştirilen ve kapsam olarak sadece CO₂ salımlarını dikkate alan bir yöntemdir [159]. Bu yöntem ile binanın tüm yaşam döngüsü evrelerine ilişkin CO₂ salım ve enerji tüketimleri nicel olarak değerlendirilebilmektedir [160].

YDCO₂ analizinde bir binanın yaşam döngüsü süreci, YDE analizindeki gibi üretim, kullanım ve yaşam sonu evrelerini kapsamaktadır [161]. Dolayısıyla, binaya ilişkin toplam yaşam döngüsü CO₂ salımı çerçevesinde, gömülü karbon ve kullanım karbonu dikkate alınmaktadır [162].

Gömülü karbon (GK)

Yapı malzemelerinin üretimi, inşaatta kullanımı, yıkımı ve yok edilmesi süreçlerindeki karbondioksit (CO₂) salımı ya da gerek CO₂ gerekse küresel ısınma potansiyeli (global warming potential, GWP) açısından önem arz eden diğer sera gazlarını kapsayan eşdeğer karbondioksit (carbon dioxide equivalents, CO₂e) salım miktarıdır [163]. Son yıllarda, yapı malzemelerine ilişkin “gömülü karbon” terimi, “karbon ayakizi” terimi ile eş anlamlı olarak kabul edilmekte olup gömülü karbon değerlendirmesi pek çok YDD çalışmasının alt adımı olarak ele alınmaktadır [164]. Gömülü karbon, ilk (initial) ve yinelenen (recurring) gömülü karbon olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. İlk gömülü karbon ile binanın inşaatı sırasında kullanılan malzemelere ilişkin gömülü karbon değerleri tanımlanmaktadır. Yinelenen gömülü

karbon ile ise, binanın yenileme ve bakım evreleri kapsamında kullanılan malzemelere ilişkin gömülü karbon değerleri ifade edilmektedir.

Kullanım karbonu (KK)

Bir binanın kullanım evresi süresince gerçekleşen CO₂ salım miktarıdır. Binalarda ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su ve harici enerji kapsamında kullanılan yakıt tipine bağlı olarak binanın kullanım evresine ilişkin CO₂ salım değeri değişkenlik göstermektedir. Fosil yakıt esaslı enerji kullanımı ile yüksek CO₂ salımları gerçekleşebilirken yerinde yenilenebilir enerji kullanımı ile ise CO₂ salımının azaltılması mümkün olabilmektedir.

YDE ve YDCO₂ analizleri kapsamında ele alınan enerji ve karbon terimleri, özellikle CO₂ salımlarının enerji tüketimi ile yakından ilgili olması nedeniyle hatalı olarak birbirlerinin yerine kullanılmaktadır. Kullanım evresi CO₂ salım miktarının, enerji tüketiminde kullanılan yakıt tipine bağlı olarak farklılaşması ve böylelikle binaya ilişkin kullanım enerjisi ve karbonunun temin edilen yakıt tipine göre orantılı bir düzeye sahip olması, kullanım enerjisi ve karbonunun birbirlerinin yerine kullanımını olanaklı kılmaktadır. Diğer taraftan, malzeme üretim süreci çerçevesinde gerek karbon salımı gerekse karbon tutulumunun gerçekleşmesi nedeni ile gömülü enerji ve gömülü karbon arasında doğrudan bir ilişkinin var olduğunu söylemek zorlaşmaktadır. Bu nedenle, bir binanın kullanım evresi etkilerine karşın gömülü etkileri tanımlanırken karbon ve enerjinin ayrı olarak ele alınması önemli bir rol oynamaktadır. Karbon ve enerji terimlerine ilişkin farklılıklar, özet bir şekilde Çizelge 3.2’de belirtilmiştir [165].

Bina sektörü kapsamında gerçekleşen enerji tüketimi ve bu enerji tüketimine bağlı CO₂ salımlarının artış göstermesi, iklim değişikliği probleminin çözümünde binaların öncelikli olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla, yapma ve doğal çevrenin korunumu amacı ile binaların minimum çevresel etkiye sahip olacak düzeyde tasarlanması, yapılması ve yenilenmesi gerekmektedir. Bu açıdan, binaların kullanım evresine ilişkin CO₂ salımlarının azaltılmasına yönelik önlemlerin ele alınması ile artış gösteren gömülü CO₂ salımları arasındaki ilişki dikkate alınmalı ve toplam yaşam döngüsü CO₂ salımlarının azaltılabilmesi için gömülü ve kullanım karbonu açısından bina performansının iyileştirilmesi gereklidir.

Çizelge 3.2 : Enerji ve karbon terimleri arasındaki ayırım [165].

Gömülü enerji	Kullanım enerjisi
Enerji kullanımı: <ul style="list-style-type: none">• Hammadde çıkarımı• Malzeme üretim süreçleri• Ürün bileşenlerinin birleştirilmesi• Her adıma ilişkin taşıma işlemi• Yapım evresi• Yıkım evresi• Yok etme evresi	Elektrik, buhar ve doğalgazın kullanımı: <ul style="list-style-type: none">• Binaların kullanım evresi (ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma amaçlı vs.)
Gömülü karbon	Kullanım karbonu
Karbon salımı: <ul style="list-style-type: none">• Gömülü enerji kullanımına bağlı olup herbir enerji tüketimine ilişkin kullanılan yakıt karışımı dikkate alınmalıdır.• Kimyasal reaksiyonlar• Karbon sekestrasyonu (absorbe edilmiş karbon)	Karbon salımı: <ul style="list-style-type: none">• Kullanım enerjisinden kaynaklı olup tüm binada kullanılan yakıt karışımı dikkate alınmalıdır.

3.4 Yaşam Döngüsü Maliyet (YDM) Analizi

Yaşam Döngüsü Maliyet (YDM) analizi, bir binanın tüm yaşam ömrüne ilişkin ekonomik performansının değerlendirildiği ve bina tasarımının ya da kullanımının iyileştirilmesi amacıyla uygun ekonomik ilkelerin dikkate alındığı bir yöntemdir. YDM analizinin YDD yöntemi ile benzerlikleri olup YDD yönteminde esas alınan yaşam döngüsü süreci de göz önünde bulundurulmaktadır. YDD yöntemi kapsamında gereksinim duyulan pek çok teknoloji tanımı ve akışı YDM çerçevesinde de dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, her iki değerlendirme yönteminin aynı zamanda ele alınması uygun olmakla birlikte YDM ve YDD yöntemi arasında paranın zaman değeri, maliyetlere ilişkin farklı perspektifler ve maliyet ve fiyatların tanımlanmasında esas alınan noktalar gibi önemli ayrımlar da söz konusudur [166].

YDM analizi ile binaya ilişkin ilk yatırım maliyetleri ile birlikte binanın kullanımı için öngörülen uzun dönem maliyetler arasındaki denge sağlanarak tasarım alternatifleri, bileşenler ve malzeme seçimlerine ilişkin nicelik belirlenebilmektedir. YDM analizi, talep edilen ihtiyaçları karşılayabilen, kabul edilebilir performans düzeylerini sağlayabilen ve ilk yatırım, kullanım, bakım maliyetleri ve olası farklı yaşam döngülerine ilişkin maliyetler açısından değişkenlik gösteren birçok bina tasarım alternatifleri kapsamında yapılan kabullere dayandırılmaktadır. Belirli bir tasarım için, YDM analizi çerçevesinde binanın yapım evresi ile kullanım ve bakım maliyetleri hesaplanmaktadır. Farklı tasarım alternatiflerine ilişkin yaşam döngüsü

maliyetlerinin karşılaştırılması sonucunda, YDM analizi kapsamında düşük ilk yatırım maliyetleri ve uzun dönem maliyet tasarrufları arasındaki ödünleşim (trade off) saptanabilmekte, bu açıdan maliyet etkin olan sistem ya da önlem tanımlanabilmekte ve bu sistem ya da önleme ilişkin öngörülen ilk yatırım maliyetini ne kadar sürede geri ödeyebileceği belirlenebilmektedir [167].

YDM analizi kapsamında çeşitli yaklaşımlar mevcut olmakla birlikte genellikle dikkate alınan süreç aşağıda belirtilmektedir [120].

Hedeflerin tanımlanması

Yaşam döngüsü maliyet hedefleri, çalışmanın odak noktasının geliştirilebilmesi, çalışma sonucunda etkilenecek grubun tanımlanabilmesi ve önerilen alternatiflerin etkinlik düzeylerinin değerlendirilebilmesi açısından net ve ölçülebilir kriterlerin belirlenmesini kapsamaktadır.

Ekonomik analize ilişkin kriterlerin belirlenebilmesinde proje için yapılacak yatırım kararı türünün tanımlanması yardımcı olmaktadır. Bu açıdan, binalarda enerji etkinliğin sağlanmasına ilişkin tanımlanabilecek başlıca beş yatırım kararı türü aşağıda belirtilmiştir [168]:

- Tek bir proje ya da sistem alternatifinin kabul edilmesi ya da reddedilmesi (örn. PV sistemin kurulması, mevcut tek cam yüzeyli pencerelere ikinci bir camın eklenmesi) ,
- Bir bina sistemi için optimum etkinlik düzeyinin seçilmesi (örn. dış duvar bileşenindeki ısı yalıtımının U değerinin belirlenmesi, PV sistemin yüzey alanının belirlenmesi),
- Ele alınan alternatifler içerisinde optimum sistem türünün seçilmesi (örn. dış duvar tipinin (taş ya da ahşap çerçeve) belirlenmesi, ısıtma ya da soğutma sistem tiplerinin belirlenmesi),
- Bağımlı sistemlere ilişkin optimum kombinasyonun seçilmesi (örn. bina kabuğunda kullanılan ısı yalıtım malzemesinin U değeri ile ısıtma ve soğutma sistemlerinin etkinliğinin belirlenmesi),
- Sınırlı bir bütçenin pay edilmesine ilişkin alternatiflerin sıralanmasıdır (örn. devlet kurum ya da enstitüleri tarafından önerilen çok sayıdaki maliyet etkin projelerin seçilmesi).

Alternatiflerin tanımlanması

YDM analizi, ele alınan alternatiflerin analizini ön plana almakta olup bu alternatiflerin nasıl üretileceğine dair herhangi bir yönlendirmede bulunmamaktadır. Alternatiflerin üretilmesi tasarım ya da yönetim ekibine ait olmakla birlikte bazı kriterler, uygun alternatiflerin üretilmesinde yol gösterici olarak dikkate alınabilmektedir. Bu kapsamda, tanımlanan probleme ilişkin fonksiyonel, bütçeye yönelik ve bina mevzuatı ile bağlantılı kısıtlamalar göz önünde bulundurularak üretilen alternatiflerin olası çözümler sunabilmesi ve karşılaştırılan alternatiflerin ekonomi dışı faktörler açısından yaklaşık olarak aynı düzeyde olması gerekmektedir. Yaşam döngüsü performansının sadece ekonomik faktörleri değerlendirmesi nedeniyle ekonomi dışı faktörlerin genel hatlarıyla eşit düzeyde olması YDM analizlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Eğer böyle bir durum söz konusu değil ise, net bugünkü ve yıllık değer yöntemlerinin YDM analizi kapsamında kullanımı uygun olmamaktadır.

Kabullerin tanımlanması

Pek çok tahmin yöntemlerinde olduğu gibi, YDM analizi çerçevesinde de geleceğe ilişkin kabullerin yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla, doğru bir şekilde YDM analizinin gerçekleştirilebilmesi için açık ve net bir şekilde analize ilişkin gerekli kabuller yapılmalı ve kabullerde değişiklik yapılması durumunda elde edilen analiz çıktıları değerlendirilmelidir. YDM analizi kapsamında özellikle değerlendirme süresi ve kabul edilebilir minimum kârlılık oranına ilişkin kabuller önemli rol oynamaktadır.

Değerlendirme süresi, yaşam döngüsü maliyet analizlerinin sonuçlarını iki şekilde etkilemektedir. İlk olarak, değerlendirme süresi uzadıkça ilk yatırım maliyetini karşılayacak yıllık tasarruflar düşmektedir. Diğer bir deyişle, bina yaşam ömrünün daha kısa olarak ele alınması yaşam döngüsü maliyetlerin azaltılmasına yönelik yapılacak ilk yatırım maliyetlerini daha az değerli kılmaktadır.

İkinci olarak ise, daha yüksek iskonto oranının dikkate alınması ile ilk yatırım maliyetini karşılayacak daha büyük yıllık tasarruflar elde edilebilmektedir. Diğer bir deyişle, iskonto oranının daha yüksek olarak ele alınması yaşam döngüsü maliyetlerin azaltılmasına yönelik yapılacak ilk yatırım maliyetlerini daha az değerli kılmaktadır [169,120].

Maliyet ve faydaların değerlendirilmesi

YDM analizi kapsamında binanın satın alınımı, edinimi ve kullanımına ilişkin farklılık gösteren tüm maliyetlerin dikkate alınması gerekmektedir. Faydaların ölçülebilir olmaması durumunda, faydalar ayrı bir süreç kapsamında değerlendirilmelidir [170].

Diğer ekonomik değerlendirme yöntemlerinde olduğu gibi, YDM analizi kapsamında da maliyet verilerinin ulaşılabilirliği ve güvenilirliği çok önemli etkenlerdir. YDM analizleri çerçevesinde maliyet bileşenleri, genellikle yinelenen maliyetler (recurring costs) ve yinelenmeyen maliyetler (nonrecurring costs) olarak iki grupta ele alınmaktadır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 : Yinelenmeyen ve yinelenen maliyetler [120].

Yinelenmeyen maliyetler	Yinelenen maliyetler
İlk yatırım maliyeti	Değişken maliyetler
<ul style="list-style-type: none">Arsa maliyetiTasarım ücretleriYapım maliyetleri	<ul style="list-style-type: none">Enerji (gaz, petrol, elektrik)Bakım (önleyici bakım, koruyucu)Güvenlik
Finansman	<ul style="list-style-type: none">Yönetim ve yasal ücretlerHizmet maliyetleri (su, pis su)İşlevsel kullanım maliyetleriGelir vergileriFırsat maliyetleri
<ul style="list-style-type: none">Kredi muamele harçlarıYapım finansmanıİzinler ve diğer ücretler	Sabit maliyetler
Değişimler ve yenilemeler	<ul style="list-style-type: none">Emlak vergisiSigortaYatırım indirimiFinansal kiralama (leasing) masrafları
İlaveler	
Onarımlar	
<ul style="list-style-type: none">PlanlanmışPlanlanmamış	
Hurda (yaşam ömrü sonunda yeniden satışı)	

Yinelenmeyen maliyetler

Yinelenmeyen maliyetler, zaman içerisinde bir noktada gerçekleşen maliyetlerdir. YDM analizinin amacına bağlı olarak maliyetlerin gerçekleştiği nokta ile gerek gelecek gerekse bugün kastedilmektedir. Tüm geçmiş maliyetler, gelecekteki kararlar ile ilişkisiz olup batık maliyet (sunk cost) olarak sınıflandırılmaktadır. Pek çok inşaat projesi oldukça kısa süreli olup yapıma ilişkin ilk yatırım maliyetinin genellikle zaman içerisinde bir noktada gerçekleştiği kabul edilmektedir. Bu nedenle, en açık yinelenmeyen maliyet, yapıma ilişkin ilk yatırım maliyetleridir. İlk yatırım maliyeti kapsamında yapıma ilişkin finansman maliyetleri, arsa maliyetleri ve tasarım ücretleri yer almaktadır.

Diğer taraftan, bazı büyük projeler için yapım evresinin yıllara yayılması nedeni ile ilk yatırım maliyetlerine ilişkin zaman modeli, çok önemli bir faktör olmakta ve dolayısıyla, bu analizler kapsamında dikkate alınması gerekmektedir. Yapım evresi kapsamında dönemsel hakedişlerin mevcut olması durumunda ise ilk yatırım maliyetleri, yinelenen maliyetler olarak sınıflandırılmalıdır.

Yinelenen maliyetler

Bina yaşam ömrü süresince belirli aralıklarla ödenen maliyetler yinelenen maliyetler olarak tanımlanmaktadır. Yinelenen maliyetler gerek değişken gerekse sabit olarak sınıflandırılabilir. Değişken maliyetler, kısmen yönetim kararlarına bağlı olarak farklı olabilirken sabit maliyetler bina tasarımına göre değişkenlik göstermemektedir.

Alternatiflerin değerlendirilmesi ve uygun alternatifin belirlenmesi

YDM analizi çerçevesinde klasik yaklaşım, proje önerilerinin karşılaştırılması için bugünkü değer (ya da yıllık değer) yönteminin kullanılmasıdır. Diğer ilgili yöntemler ise, iç kârlılık oranı ve iskonto edilmiş geri ödeme süresi yöntemleridir. Geleceğin tahmin edilmesi ile ilişkili belirsizliklerin mevcut olması nedeniyle yapılan kabullerdeki değişimlerin etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla duyarlılık analizleri de gerçekleştirilmelidir.

Her bir durumun kendine özgün gereksinimlerinden ötürü, tüm durumlarda kullanımı uygun olan tek bir yaşam döngüsü maliyet modeli mevcut değildir. Ancak, spesifik amaçlar için spesifik modeller geliştirilmekte olup bu modellere örnek olarak da enerji maliyetlerinin düşürülmesine ilişkin geliştirilmiş yaşam döngüsü maliyet modelleri verilebilmektedir. Bununla birlikte, erken karar alma evresinde her bir maliyet sınıfına ilişkin önemin tanımlanması açısından ilk yatırım modeli, yıllık kullanım maliyeti (enerji ve bakım), dönemsel yenilemeler, ilave ve değişimleri içeren kapsamlı bir modelin kullanımının uygun olacağı vurgulanmaktadır.

YDM analizi çerçevesinde en son adım, alternatiflerden uygun olanının belirlenmesidir. Genellikle, “en düşük yaşam döngüsü maliyetine sahip olan alternatif” uygun alternatif olarak kabul edilmektedir. Diğer taraftan, risk minimizasyonu, uygulama kolaylığı gibi kriterler uygun alternatifin belirlenmesi sürecinde önem arz edebilmektedirler. Dolayısıyla, karmaşık konuların ve alternatifler arasında önemli uyumsuzlukların söz konusu olduğu durumlarda, nihai

karar sürecine yardımcı olabilecek karar analizi gibi yöntemler de dikkate alınmaktadır.

YDM analizi ile belirli bir bina fonksiyonuna, bina sistemine ya da değerlendirme süresi içerisinde ilgili başka bir projeye ilişkin tüm maliyetler dikkate alınmaktadır. Genellikle, YDM analizlerinde önerilen alternatife ilişkin ilave maliyetler ile binanın mevcut durumu ile karşılaştırıldığında kullanım, bakım ve onarım maliyetlerinde (enerji maliyetlerinin de dikkate alındığı) edinilen azaltım arasında belirli bir dengenin sağlanıp sağlanmadığı saptanabilmektedir. Bu bağlamda, YDM analizi esasına dayalı olarak bir projenin değerlendirilmesinde, ele alınan alternatiflerin belirli minimum performans gereksinimlerini karşılaması ve aynı değerlendirme süresi çerçevesinde hesaplamaların yapılarak en düşük YDM'ye sahip iki ya da daha fazla alternatifin belirlenebilmesi önemli rol oynamaktadır [168].

4. YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN KONUT BİNALARININ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

Bu bölümde, farklı iklim koşulları için yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının performanslarının değerlendirilmesinde kullanılacak, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen bir yaklaşım açıklanmaktadır.

4.1 Yaklaşımın Amacı

Yaklaşımın amacı, konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan önlemlerin farklı iklim bölgeleri için geliştirilmesi ve geliştirilen iyileştirme önlemlerine ilişkin konut binalarının enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme ile;

- mevcut konut stoğunun enerji ve maliyet etkinliğinin artırılmasına yönelik olarak ülke kaynakları ve karar vericiler açısından optimum faydanın elde edilebileceği sonuçlara ulaşılması ve ayrıca,
- yaklaşımın yeni tasarlanacak konutlara uygulanması ile tasarım aşamasında enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren konutların üretilmesi ve sürdürülebilir çevrelerin sağlanması amaçlanmaktadır.

4.2 Yaklaşımın Adımları

Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından farklı iklim bölgeleri için konut binalarının performanslarının değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen yaklaşımın adımları, aşağıdaki gibidir:

- Referans konut binasının tanımlanması,
- İyileştirme önlemlerinin tanımlanması,
- Referans konut binasının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi,

- Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından farklı iklim bölgeleri için optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesi ve optimum iyileştirme kombinasyonlarının tanımlanması,
- Optimum iyileştirme kombinasyonlarının referans konut binasına göre yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin belirlenmesi.

Şekil 4.1’de yukarıda belirtilen adımlar şematik olarak açıklanmaktadır.

4.2.1 Referans konut binasının tanımlanması

Referans konut binasının tanımlanmasında, mevcut ulusal yönetmeliklerin konut üretimi üzerindeki etkisini yansıtan ve yaygın kullanılan yapım teknolojilerini ve tasarım kriterlerini barındıran mevcut bir konut binası dikkate alınmaktadır. Böylelikle, yapılan analiz çalışmaları sonucunda çok fazla sayıda binaya hizmet edebilecek genel sonuçlara ulaşılabilmesi mümkün olacaktır.

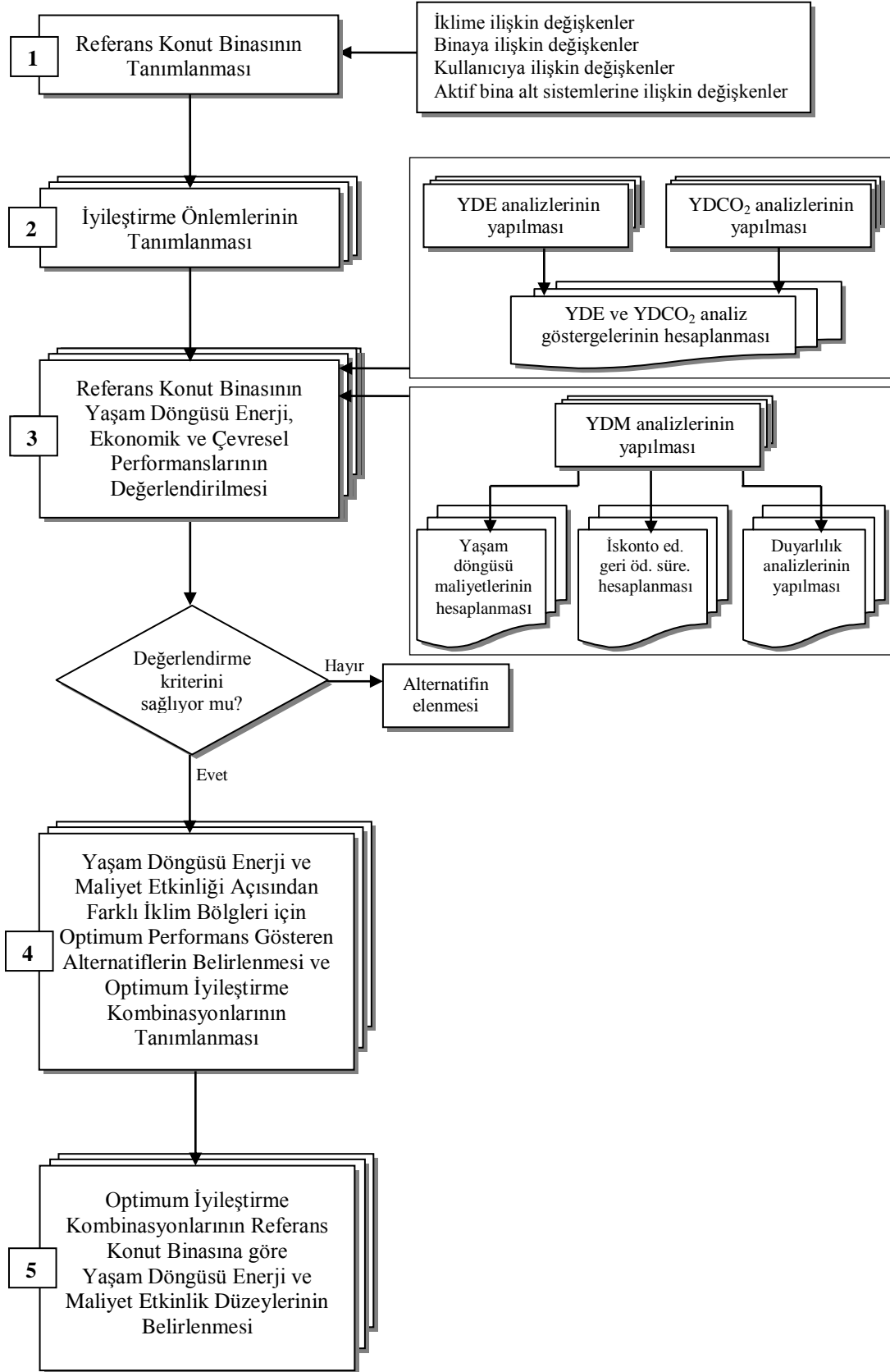
Referans konut binasının tanımlanması iklime ilişkin değişkenler, binaya ilişkin değişkenler, kullanıcıya ilişkin değişkenler ve aktif bina alt sistemlerine ilişkin değişkenler aracılığıyla yapılmaktadır.

4.2.1.1 İklimle ilişkin değişkenler

İklimle ilişkin değişkenler, Bölüm 2.2.1.1’de belirtildiği üzere dış ve iç iklime ilişkin değişkenler olarak ele alınmaktadır.

Dış iklime ilişkin değişkenler kapsamında güneş ışıınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, rüzgar gibi bina dışı çevrede geçerli olan iklimi oluşturan ve insan konforunu etkileyen iklim elemanlarına ilişkin verilerin derlenmesi gerekmektedir. Dış iklim elemanlarına ait veriler, Meteonorm 7.0 isimli iklim verileri elde etme programı yardımıyla belirlenebilmektedir.

İç iklime ilişkin değişkenler çerçevesinde ise, iç hava sıcaklığı, yüzey sıcaklığı, hava hareketi hızı, havanın nemi gibi iç iklimsel çevreyi meydana getiren ve insanın konfor hissini etkileyen değişkenler, iklimsel konfor açısından ilgili konfor standartlarında istenilen değerlere bağlı olarak belirlenmektedir.



Şekil 4.1 : Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının performanslarının değerlendirilmesinde kullanılacak yaklaşımın şematik açıklaması.

4.2.1.2 Binaya ilişkin değişkenler

Binaya ilişkin değişkenler, Bölüm 2.2.1.2’de belirtildiği üzere referans konut binasının bulunduğu yer, bina aralıkları, binanın yönlendiriliş durumu, bina formu ve bina dış kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri gibi ısı kayıplarının azaltılmasında dolayısıyla enerji tasarrufunda etkili olan bina ölçeğindeki yapma çevre değişkenleridir.

4.2.1.3 Kullanıcıya ilişkin değişkenler

Kullanıcıya ilişkin değişkenler kapsamında aktivite düzeyi ve giysilerin türü, istenilen iç iklimsel koşullara (iklimsel konfor koşullara) göre belirlenmektedir.

4.2.1.4 Aktif bina alt sistemlerine ilişkin değişkenler

Aktif bina alt sistemlerine ilişkin özellikler, sistem tipleri (ısıtma, soğıtma, sıcak su temini), sistemlere ilişkin performans değerleri ve kullanılan enerji türleri (yakıt cinsi) olarak ele alınmaktadır.

4.2.2 İyileştirme önlemlerinin tanımlanması

İyileştirme önlemlerinin tanımlanmasında, ele alınan referans konut binasının mevcut durumu ve tasarım esnekliği ile birlikte binanın amaçlanan etkinliğine etki eden minimum performans gereksinimlerine ilişkin güncel mevzuat göz önünde bulundurularak uygulanabilir alternatiflerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışması çerçevesinde iyileştirme önlemlerinin tanımlanmasına ilişkin izlenen yaklaşım, referans konut binası için ele alınabilecek uygun iyileştirme önlemlerinin tanımlanmasını ve iyileştirme önlemlerinin çok amaçlı optimizasyonunun gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. İzlenen yaklaşım ile;

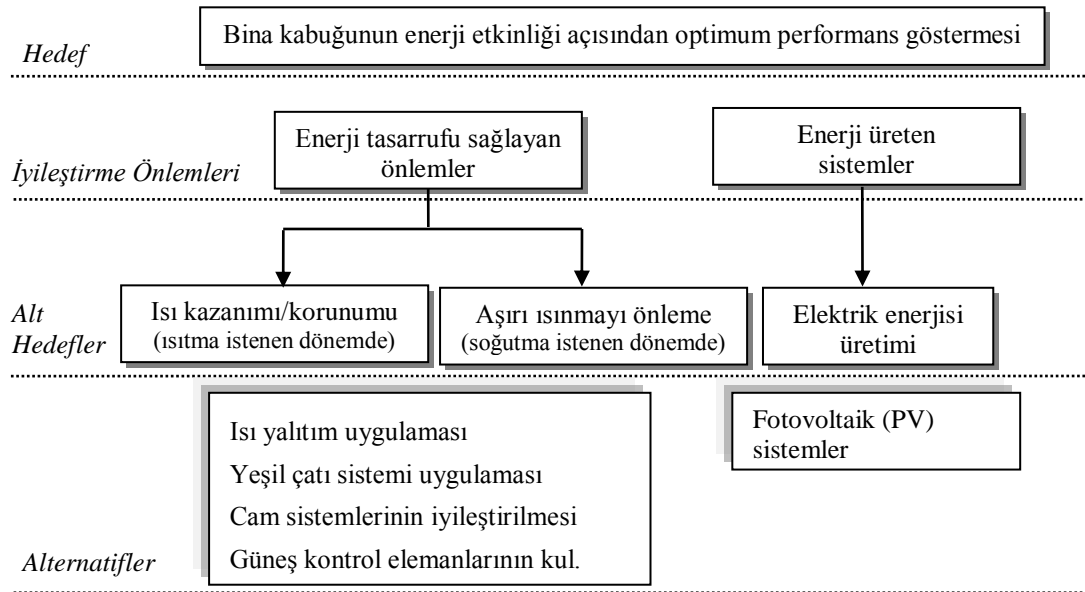
- ele alınacak iyileştirme önlemlerinin temel düzeyinin tanımlanması,
- iyileştirme önlemlerinin bina enerji tüketimlerini ve CO₂ salımlarını azaltacak düzeyde geliştirilmesi,
- iyileştirme önlemleri kapsamında geliştirilen alternatifler için yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performansın elde edilebildiği düzeyin belirlenmesi

hedeflenmektedir.

Bu açıdan, mevcut konut performansının enerji etkin olarak iyileştirilmesi ve aktif bina alt sistemlerin kullanımının minimize edilmesi için dış çevreden iç çevreye doğru ısı geçişini etkileyen ve iç ortamda ısı konfor koşullarının sağlanmasında önemli bir etkiye sahip olan bina kabuğunun optimal performans gösteren enerji etkin pasif sistem ögesi olarak geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, iyileştirme önlemlerinin;

- enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve
- enerji üreten sistemler

olarak ele alınması ve bina kabuğunun enerji etkin optimizasyonuna ilişkin bu iki ana grup çerçevesinde alternatiflerin geliştirilmesi öngörülmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Bina kabuğunun enerji etkin optimizasyonuna ilişkin iyileştirme önlemleri.

Uygun iyileştirme önlemlerinin geliştirilebilmesi için binaya ilişkin değişkenler ve değişkenlere bağlı kısıtlamaların dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca, iyileştirme önlemlerinin bina enerji performansı, dolayısıyla çevresel ve ekonomik performansı üzerinde doğrudan ya da dolaylı bir etkiye sahip olup olmadıklarının belirlenebilmesi için iyileştirme önlemlerine ilişkin tüm parametrelerin tanımlanması önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, referans konut binasına ilişkin optimum performans düzeyinin belirlenebilmesi için minimum performans gereksinimleri karşılayan önlemlerin de dikkate alınması gerekmektedir.

4.2.3 Referans konut binasının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi

Referans konut binasının yaşam döngüsü enerji ve çevresel performanslarının değerlendirilebilmesi için yaklaşım kapsamında, Bölüm 3.1.1 ve 3.1.2’de açıklanan yaşam döngüsü enerji (YDE) ve yaşam döngüsü CO₂ (YDCO₂) analizleri dikkate alınmaktadır. Referans konut binasının yaşam döngüsü ekonomik performansının değerlendirilmesinde ise, Bölüm 3.1.2’te açıklanan yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi kullanılmaktadır.

4.2.3.1 Yaşam döngüsü enerji (YDE) analizi

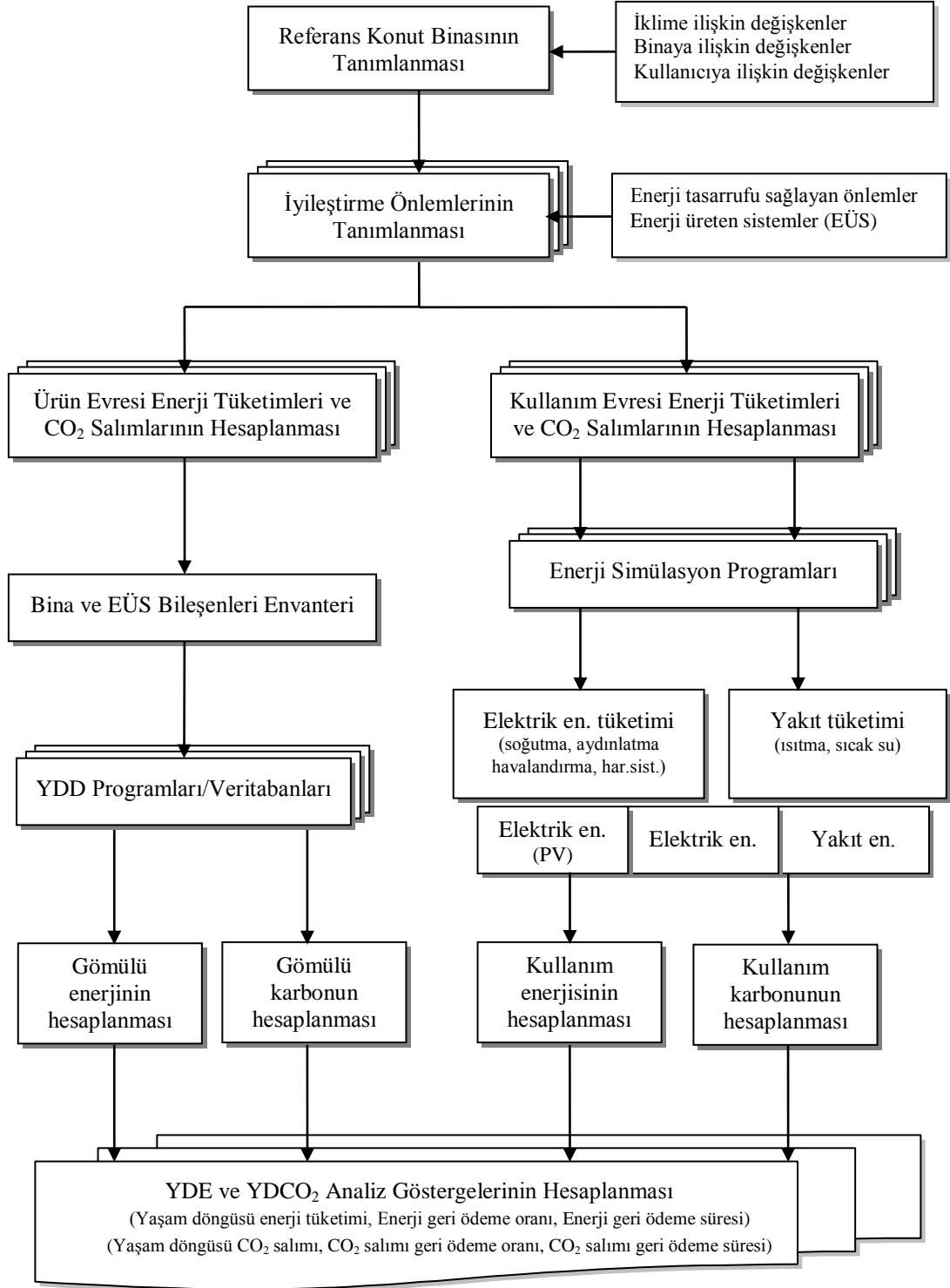
Referans konut binasının yaşam döngüsü süresince enerji etkinliğinin sağlanabilmesine ilişkin ele alınan iyileştirme önlemlerinin değerlendirilebilmesi ve en etkin iyileştirme önleminin belirlenebilmesi amacıyla yaşam döngüsü enerji (YDE) analizi kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, en etkin iyileştirme önleminin ya da iyileştirme önlemlerine ilişkin alternatiflerin belirlenmesinde izlenilecek süreç, Şekil 4.3’te belirtilmektedir.

YDE analizi kapsamında bir binanın yaşam döngüsü süresince binaya ilişkin tüm enerji girdileri dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla, referans konut binasının yaşam döngüsü süresince harcadığı enerjinin belirlenebilmesi için yapı malzemelerinin üretiminden binanın yıkımına kadar ki tüm evrelerin dikkate alınması gerekmektedir. CEN TC 350 Standartına göre, bir binanın yaşam döngüsü evreleri, ürün evresi, yapım evresi, kullanım evresi ve yaşam sonu evresi olarak tanımlanmaktadır (Çizelge 3.1) [145].

Yıkım ve malzemelerin yaşam sonu evresine ilişkin yeterli verinin olmaması nedeniyle bu evreler, nadiren yaşam döngüsü çalışmaları kapsamında ele alınmaktadır [148]. Ayrıca, yaşam sonu evresine ilişkin etki düzeyi, kullanım evresi ile bağlantılı etki düzeyinin %5’inden fazlasını oluşturmamakta ve geri dönüşüm kredilerinden ötürü de negatif olarak değerlendirilmektedir [171]. Yapım evresinin ise, binanın yaşam ömrü süresince harcadığı toplam enerjinin yaklaşık %1’ini oluşturduğu, diğer bir deyişle binanın toplam enerji tüketimi üzerinde çok az bir etki düzeyine sahip olduğu belirtilmektedir [172]. Bu nedenle, geliştirilen yaklaşım çerçevesinde, yapım ve yaşam sonu evrelerine ilişkin etkiler ihmal edilmiş olup referans konut binasına ilişkin enerji tüketimlerinin hesaplanmasında;

- ürün evresi enerji tüketimleri ve
- kullanım evresi enerji tüketimleri

dikkate alınmaktadır.



Şekil 4.3 : Referans konut binasının yaşam döngüsü enerji ve çevresel performanslarının değerlendirmesine ilişkin akış şeması.

Ürün evresi enerji tüketimlerinin hesaplanması

Yaklaşım çerçevesinde referans konut binasına ilişkin ürün evresi enerji tüketimlerinin hesaplanmasında aşağıda belirtilen adımlar izlenmektedir:

- bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerine ilişkin verilerin derlenmesi ve sistematik bir şekilde düzenlenmesi,
- bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerine ilişkin gömülü enerji değerlerinin (birincil enerji) hesaplanması.

YDE analizinin amacına uygun olarak bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerine ilişkin verilerin derlenmesi ve sistematik bir şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, verilerin hiyerarşik bir yapıda düzenlenebilmesini ve dolayısıyla alt sistemlere ilişkin veri ve ilgili gömülü enerji değerlerinin ayrı ayrı belirlenmesini ve sistemler bazında iyileştirmelerin yapılabilmesini sağlayan fonksiyonel elemanlara dayalı sınıflandırma sistemleri (örn. BCIS, CSI UNIFORMAT gibi) kullanılabilir. Bina kabuğu bileşenlerine ilişkin mevcut katman detayları ve miktarlar, mimari proje yardımı ile belirlenebilmekte olup iyileştirme önlemleri çerçevesinde yapılan kabullere bağlı verilerde oluşabilecek değişimler de dikkate alınmalıdır.

Yapı malzemelerinin üretimine ilişkin sistem sınırları çerçevesinde, hammadde temini, taşıma ve üretim aşamaları diğer bir deyişle “beşikten-kapıya” (cradle-to-gate) süreci dikkate alınmaktadır. Bu süreç kapsamında tüketilen enerji miktarını ifade eden gömülü enerji değeri, ilk gömülü enerji ve yinelenen gömülü enerji olarak ele alınmakta ve aşağıda belirtilen eşitlikler yardımı ile hesaplanabilmektedir [155]:

$$GE_i = \sum m_i M_i \quad (4.1)$$

GE_i ile binaya ilişkin ilk gömülü enerji değeri (kWh), m_i ile yapı malzemesinin miktarı (kg), ve M_i ile ise birim miktar malzemenin içerdiği enerji miktarı (kWh/kg) tanımlanmaktadır.

$$GE_y = \sum m_i M_i [(L_b/L_{mi}) - 1] \quad (4.2)$$

GE_y ile binaya ilişkin yinelenen gömülü enerji değeri (kWh), L_b ile binanın yaşam ömrü (yıl), ve L_{mi} ile ise malzemenin yaşam ömrü (yıl) tanımlanmaktadır.

Kullanım evresi enerji tüketimlerinin hesaplanması

Yaklaşım çerçevesinde referans konut binasına ilişkin kullanım evresi enerji tüketimlerinin hesaplanması başlıca üç sürece dayandırılmaktadır:

- nihai enerji tüketimlerinin hesaplanması (ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su, harici enerji) (kWh/y),
- nihai enerji üretimlerinin hesaplanması (elektrik enerjisi –PV) (kWh/y),
- kullanım enerjisinin (birincil enerji) hesaplanması (kWh/y).

Nihai enerji tüketimlerinin hesaplanması

Nihai enerji tüketimlerinin hesaplanması sürecinde öncelikli olarak konut enerji performansında etkili olan iklime ilişkin değişkenler, binaya ilişkin değişkenler, kullanıcıya ilişkin değişkenler ve aktif bina alt sistemlerine ilişkin değişkenler dikkate alınmaktadır.

Referans konut binası ve dikkate alınan iyileştirme önlemlerinin nihai enerji tüketimlerinin hesaplanabilmesi için EN 13790’da tanımlanan detaylı dinamik hesaplama yöntemi dikkate alınmaktadır. Detaylı dinamik hesaplama yöntemini temsilen DesignBuilder simülasyon programı araç olarak seçilmiştir. DesignBuilder simülasyon programı, performans verilerinin üretiminde EnergyPlus dinamik simülasyon motorunu kullanmakta olup program aracılığı ile sanal bina modelleri üzerinde çalışılabilecek çevreler modellenebilmekte ve enerji tüketimi, karbon salımı, konfor koşulları, maksimum yaz dönemi sıcaklıkları, HVAC bileşen boyutları gibi pek çok çevresel performans verileri elde edilebilmektedir (Ek A1).

Nihai enerji üretimlerinin hesaplanması

Nihai enerji üretimlerinin hesaplanması sürecinde çerçevesinde öncelikli olarak PV sistemlerin enerji performansında etkin rol oynayan iklime ilişkin değişkenler, binaya ilişkin değişkenler ve PV sisteme ilişkin değişkenler dikkate alınmaktadır.

Nihai enerji tüketimlerinin hesaplanması sürecinde dikkate alınan iklime ve binaya ilişkin değişkenler, nihai enerji üretimlerinin hesaplanması süreci için de benzerdir.

PV sisteme ilişkin değişkenler, PV sistem uygulama tipi (şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız), PV modül tipi, PV modül güç çıkışındaki azalma, PV modüllerin yönlendirilmesi, PV modüllerin eğim açısı ve PV modül dizileri arasındaki gölgeleme mesafeleri olarak tanımlanmaktadır.

PV sistemlerden maksimum düzeyde enerji üretiminin gerçekleştirilebilmesinde, PV modül yüzeyine gelen güneş ışınım miktarının artırılması ve gölgelenmeden kaynaklı kazanç kayıplarının minimize edilmesi gerekmektedir. Bu açıdan, optimum düzeyde çalışan PV sistemlerin tasarlanması sürecinde;

- optimum PV modül eğim açısı (β),
- PV modüllerin optimum yönlendirilmesi,
- PV modül dizileri arasındaki optimum gölgeleme mesafeleri,

belirlenmektedir.

Bu değişkenlere ilişkin optimum değerlerin elde edilebilmesi için duyarlılık analizleri gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen duyarlılık analizleri kapsamında tasarlanan PV sistem performanslarının değerlendirilebilmesi için nihai PV sistem kazancı (final PV system yield, Y_f), referans kazanç (Y_r) ve performans oranı (performance ratio, PR) gibi uygun performans göstergeleri dikkate alınmaktadır [173-177]. Bu performans göstergeleri, aşağıda belirtilen eşitlikler yardımı ile hesaplanabilmektedir [175].

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \quad (4.3)$$

$$Y_f = \frac{E_{PV}}{P_0} \quad (4.4)$$

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (4.5)$$

H_i ile yatay düzlem üzerindeki günlük ışınım değeri ($\text{kWh/m}^2.\text{d}$), G_{STC} ile standart test koşulları altındaki referans ışınım değeri (1kWh/m^2), E_{PV} ile net enerji üretimi (kWh) ve P_0 ile ise pik güç (Wp) tanımlanmaktadır.

PV modül dizileri arasındaki minimum gölgeleme mesafeleri, 21 Aralık (kış gündönümü) tarihi 10.00 ile 14.00 saatleri esas alınarak aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanabilmektedir [178].

$$d = h \times \frac{\cos(\text{azimut açısı})}{\tan(\text{yükseliş açısı})} \quad (4.6)$$

$$h = b \times \sin \beta \quad (4.7)$$

d ile PV modül dizileri arası mesafe (m), h ile PV sistemin yüksekliği (m), b ile PV panelin genişliği (m) ve β ile ise PV sistemin eğim açısı tanımlanmaktadır.

PV sisteme ilişkin değişkenlerin tanımlanması sonucunda PV sistemin üretebileceği elektrik enerjisi değeri, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [27,179,180]:

$$E_{PV} = I \times A \times \eta_{gh} \times \eta_{BOS} \times n_{PV} \times (1 - \delta) \quad (4.8)$$

E_{PV} ile PV sistemden üretilen yıllık enerji miktarı (kWh/y), I ile güneş ışıınım değeri (kWh/m²/y), A ile PV modülün alanı (m²), η_{gh} ile güneş hücresi etkinliği (%), η_{BOS} ile ise sistem dengeleyici bileşenlerin etkinliği (%), n_{PV} ile ise PV modül dizisi sayısı ve δ ile ise PV modül güç çıkışındaki azalma (degradasyon) (%) tanımlanmaktadır.

$$I = f(\phi, a, \lambda, d) \quad (4.9)$$

Güneş ışıınım değerinin (I) hesaplanmasında, PV sistemlerin kurulacağı bölgenin enlem açısı (ϕ), hava kütlesi değeri (a), güneş ışıınımlarının PV modül yüzeyine geliş açısı (λ) ve yaygın güneş ışıınım değeri (d) dikkate alınmaktadır [180].

Ayrıca, PV sistemlerin referans konut binasına olan entegrasyon düzeyini tanımlayabilmek, diğer bir deyişle PV sistemler ile üretilen enerji miktarının referans konut binasının mevcut elektrik enerjisi tüketimlerini karşılayabilme oranını belirlemek amacıyla enerji kapsama faktörü (energy cover factor) (C_{PV}) dikkate alınmakta ve aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [181,182]:

$$C_{PV} = \frac{E_{PV}}{E_{T,e}} \times 100 \quad (4.10)$$

E_{PV} ile PV sistem ile üretilen yıllık enerji miktarı (kWh/y) ve $E_{T,e}$ ile ise referans konut binasına ilişkin yıllık elektrik enerjisi tüketimi (kWh/y) tanımlanmaktadır.

PV sistem uygulamasının dikkate alındığı iyileştirme önleminin nihai enerji üretimlerinin hesaplanabilmesi için detaylı dinamik hesaplama yöntemini temsilen PV*SOL Expert simülasyon programı araç olarak seçilmiştir. PV*SOL Expert simülasyon programı, şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız PV sistemlerin tasarımı ve optimizasyonu için kullanılan dinamik simülasyon programı olup program kapsamında PV modüllerin yerleştirilmesi, kablolama sistemlerinin düzenlenmesi, detaylı gölgeme analizlerinin yapılması ve çalışmaların görselleştirilmesi mümkündür (Ek A2).

Kullanım enerjisinin hesaplanması

Kullanım enerjisinin hesaplanmasında, nihai enerji tüketimlerine bağlı birincil enerji tüketimleri ve nihai enerji üretimlerine bağlı birincil enerji tasarrufları dikkate alınmaktadır.

Referans konut binasının mevcut durumu ve dikkate alınan iyileştirme önlemleri için kullanım enerjisi (KE) değerleri (kWh/y), aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [183]:

$$KE = \sum(E_{T,yakıt} \times f_{p,yakıt}) - \sum(E_{PV} \times f_{p,PV}) \quad (4.11)$$

$E_{T,yakıt}$ ile yakıt cinsine göre yıllık enerji tüketimi (kWh/y), E_{PV} ile PV sistemden yıllık üretilen enerji miktarı (kWh/y), $f_{p,yakıt}$ ile ise yakıt cinsine göre birincil enerji dönüşüm katsayısı ve $f_{p,PV}$ ile ise PV sistemden üretilen elektrik enerjisine ilişkin birincil enerji dönüşüm katsayısı tanımlanmaktadır.

YDE analiz göstergeleri

Ürün evresi ve kullanım evresine ilişkin enerji performans analiz sonuçlarından yararlanılarak alternatiflerin yaşam döngüsü enerji etkinliği açısından değerlendirilmeleri mümkün olmaktadır. Bu amaçla, enerji performans analiz sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için kullanılacak YDE analiz göstergelerini;

- yaşam döngüsü enerji tüketimi (YDET),
- enerji geri ödeme oranı (EGO),
- enerji geri ödeme süresi (EGS)

olarak ele almak mümkündür.

Kullanım enerjisi ile gömülü enerji arasında geçerli bir karşılaştırmanın yapılabilmesi ve toplam yaşam döngüsü enerji performansının doğru değerlendirilebilmesi için her iki enerji değeri birincil enerji cinsinden belirlenmektedir.

Yaşam döngüsü enerji tüketimi (YDET)

Yaşam döngüsü enerji tüketimi (kWh), aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [154]:

$$YDET = GE_i + (GE_y + KE) \times L_b \quad (4.12)$$

Enerji geri ödeme oranı (EGO)

Enerji geri ödeme oranı, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [184,185]:

$$EGO = \frac{\Delta KE_T}{\Delta GE_T} \quad (4.13)$$

EGO ile iyileştirme önlemine ilişkin enerji geri ödeme oranı, ΔKE_T ile iyileştirme önleminin uygulanması sonucunda yaşam döngüsü süresince toplam kullanım enerjisindeki değişim (azaltım) değeri (kWh) ve ΔGE_T ile ise dikkate alınan iyileştirme önlemi ile birlikte yaşam döngüsü süresince toplam gömülü enerji değerinde gerçekleşen değişim (artış) değeri (kWh) tanımlanmaktadır.

Enerji geri ödeme süresi (EGS)

Enerji geri ödeme süresi, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [184,185]:

$$EGS = \frac{\Delta GE_T}{\Delta KE} \quad (4.14)$$

EGS ile iyileştirme önlemine ilişkin enerji geri ödeme süresi (yıl), ΔGE_T ile ise dikkate alınan iyileştirme önlemi ile birlikte yaşam döngüsü süresince toplam gömülü enerji değerinde gerçekleşen değişim (artış) değeri (kWh) ve ΔKE ile iyileştirme önleminin uygulanması sonucunda yıllık kullanım enerjisindeki değişim (azaltım) değeri (kWh/yıl) tanımlanmaktadır.

4.2.3.2 Yaşam döngüsü CO₂ (YDCO₂) analizi

Referans konut binasının yaşam döngüsü enerji etkinliğinin sağlanabilmesine yönelik olarak en etkin iyileştirme önleminin belirlenebilmesinde, çevresel performansın da değerlendirilmesi amacıyla yaşam döngüsü CO₂ (YDCO₂) analizi kullanılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, YDE analizine entegre YDCO₂ analizi destek analiz aracı olarak devreye girmekte olup bu çerçevede izlenen süreç, Şekil 4.3'te belirtilmektedir.

YDCO₂ analizi ile binanın tüm yaşam döngüsü evrelerine ilişkin CO₂ salım ve enerji tüketimleri nicel olarak değerlendirilebilmektedir. YDE analizindeki gibi, YDCO₂ analizi çerçevesinde de referans konut binasına ilişkin CO₂ salımlarının hesaplanmasında;

- ürün evresi CO₂ salımları ve
- kullanım evresi CO₂ salımları

dikkate alınmaktadır.

Ürün evresi CO₂ salımlarının hesaplanması

Yaklaşım çerçevesinde referans konut binasına ilişkin ürün evresi CO₂ salımlarının hesaplanmasında aşağıda belirtilen adımlar izlenmektedir:

- bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerine ilişkin verilerin derlenmesi ve sistematik bir şekilde düzenlenmesi,
- bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerine ilişkin gömülü karbon değerlerinin hesaplanması.

YDCO₂ analizinin amacına uygun olarak YDE analizindeki gibi bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerine ilişkin verilerin derlenmesi, hiyerarşik bir yapıda düzenlenmesi ve dolayısıyla alt sistemlere ilişkin veri ve ilgili gömülü karbon değerlerinin ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir.

Yapı malzemelerinin üretimine ilişkin sistem sınırları çerçevesinde, hammadde temini, taşıma ve üretim aşamaları diğer bir deyişle “beşikten-kapıya” (cradle-to-gate) süreci dikkate alınmaktadır. Bu süreç kapsamındaki CO₂ salımını ifade eden gömülü karbon değeri, ilk gömülü karbon ve yinelenen gömülü karbon olarak ele alınmakta ve aşağıda belirtilen eşitlikler yardımı ile hesaplanabilmektedir [161]:

$$GK_i = \sum m_i K_i \quad (4.15)$$

GK_i ile binaya ilişkin ilk gömülü karbon değeri (kgCO₂), m_i ile yapı malzemesinin miktarı (kg), ve K_i ile ise birim miktar malzemenin içerdiği CO₂ miktarı (kgCO₂/kg) tanımlanmaktadır.

$$GK_y = \sum m_i K_i [(L_b/L_{mi}) - 1] \quad (4.16)$$

GK_y ile binaya ilişkin yinelenen gömülü enerji değeri (kgCO₂), L_b ile binanın yaşam ömrü (yıl), ve L_{mi} ile ise malzemenin yaşam ömrü (yıl) tanımlanmaktadır.

Kullanım evresi CO₂ salımlarının hesaplanması

Yaklaşım çerçevesinde referans konut binasına ilişkin kullanım evresi CO₂ salımlarının hesaplanabilmesi için IPCC Rehber Dökümanında belirtilen Tier 2 (T2)

yöntemi esas alınmaktadır. T2 yöntemi çerçevesinde referans konut binasına ilişkin kullanım karbonu, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [186]:

$$KK = \sum(E_{T,yakit} \times f_{CO_2,yakit}) - \sum(E_{PV} \times f_{CO_2,PV}) \quad (4.17)$$

KK ile kullanım karbonu ($kgCO_2/y$), $E_{T,yakit}$ ile yakıt cinsine göre yıllık enerji tüketimi (kWh/y), E_{PV} ile PV sistemden üretilen yıllık enerji miktarı (kWh/y), $f_{co_2,yakit}$ ile ise yakıt cinsine göre CO_2 salımı dönüşüm katsayısı ($kgCO_2/kWh$) ve $f_{co_2,PV}$ ile ise PV sistemden üretilen elektrik enerjisine dayalı olarak önlenilen CO_2 salımına ilişkin dönüşüm katsayısı ($kgCO_2/kWh$) tanımlanmaktadır.

YDCO₂ analiz göstergeleri

Ürün evresi ve kullanım evresine ilişkin CO_2 salımı analiz sonuçlarından yararlanılarak iyileştirme önlemlerinin yaşam döngüsü çevresel performanslarının değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla, CO_2 salım analiz sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için kullanılacak YDCO₂ analiz göstergelerini;

- yaşam döngüsü CO_2 salımı (YDCO₂),
- CO_2 salımı geri ödeme oranı (KGO),
- CO_2 salımı geri ödeme süresi (KGS)

olarak ele almak mümkündür.

Yaşam döngüsü CO_2 salımı (YDCO₂)

Yaşam döngüsü CO_2 salımı ($kgCO_2$), aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [160,161]:

$$YDCO_2 = GK_i + (GK_y + KK) \times L_b \quad (4.18)$$

CO_2 salımı geri ödeme oranı (KGO)

CO_2 salımı geri ödeme oranı, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir:

$$KGO = \frac{\Delta KK_T}{\Delta GK_T} \quad (4.19)$$

KGO ile iyileştirme önlemine ilişkin CO_2 salımı geri ödeme oranı, ΔKK_T ile iyileştirme önleminin uygulanması sonucunda yaşam döngüsü süresince toplam kullanım karbonundaki değişim (azaltım) değeri ($kgCO_2$) ve ΔGK_T ile ise dikkate

alınan iyileştirme önlemleri ile birlikte yaşam döngüsü süresince toplam gömülü karbon değerinde gerçekleşen değişim (artış) değeri (kgCO₂) tanımlanmaktadır.

CO₂ salımı geri ödeme süresi (KGS)

CO₂ salımı geri ödeme süresi, aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [187,188]:

$$KGS_{CO_2} = \frac{\Delta GK_T}{\Delta KK} \quad (4.20)$$

KGS ile ele alınan alternatife ilişkin CO₂ salımı geri ödeme süresi (yıl), ΔGK_T ile ise dikkate alınan iyileştirme önlemleri ile birlikte yaşam döngüsü süresince toplam gömülü karbon değerinde gerçekleşen değişim (artış) değeri (kgCO₂) ve ΔKK ile iyileştirme önlemlerinin uygulanması sonucunda yıllık kullanım karbonundaki değişim (azaltım) değeri (kgCO₂/y) tanımlanmaktadır.

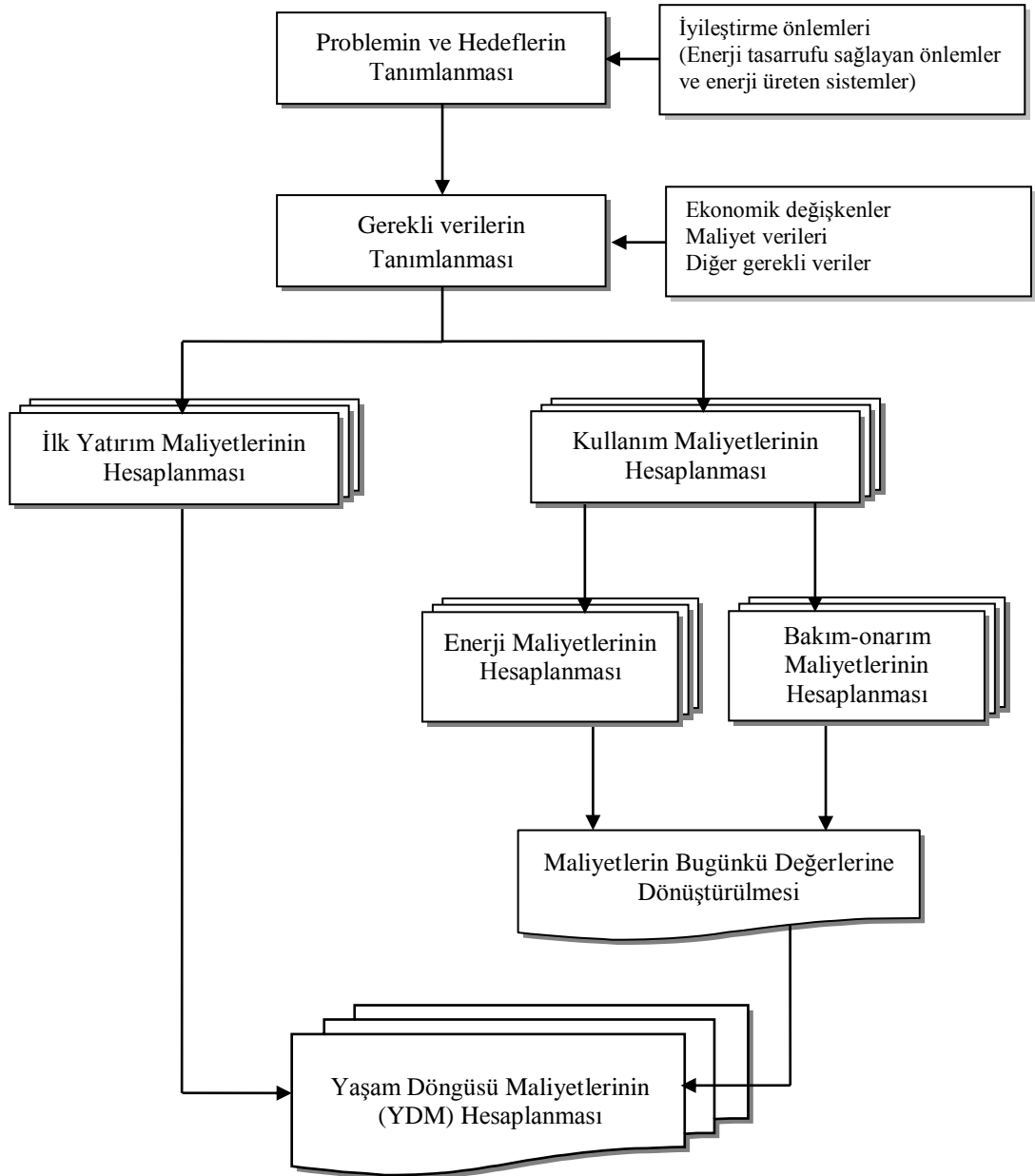
4.2.3.3 Yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi

Referans konut binasının yaşam döngüsü süresince enerji etkinliğinin sağlanabilmesine ilişkin ele alınan iyileştirme önlemlerine dayalı ekonomik performanslarının değerlendirilebilmesi ve yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenebilmesi amacıyla YDM analiz modeli araç olarak kullanılmaktadır. Bu analiz ile binanın yapım ve kullanım evrelerine ilişkin toplam maliyetler belirlenerek ele alınan iyileştirme önlemlerinin,

- uygunluğunun değerlendirilmesi ve
- optimum etkinlik düzeyinin belirlenmesi

amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda izlenilecek süreç, Şekil 4.4'te belirtilmektedir.

Yaklaşım çerçevesinde dikkate alınan iyileştirme önlemlerinin enerji performans analizlerine entegre ekonomik performans analizlerinin gerçekleştirilmesi öngörülmektedir. Bu açıdan, ekonomik performans değerlendirmesinde gereksinim duyulan ekonomik değişkenlerin, maliyet verilerinin ve diğer gerekli verilerin tanımlanması gerekmektedir.



Şekil 4.4 : Referans konut binasının yaşam döngüsü ekonomik performansının değerlendirmesine ilişkin akış şeması.

Ekonomik değişkenler, iskonto oranı, enerji fiyatlarının gelişimi (eskalasyon oranları), zaman ölçeği (bina bileşenlerinin yaşam ömürleri ve değerlendirme süresi) ve maliyet hesaplamalarına ilişkin başlangıç yılı olarak tanımlanmaktadır.

Maliyet verileri, ilk yatırım maliyeti ve kullanım maliyeti olarak iki ana grupta ele alınmakta olup kullanım maliyeti kapsamında enerji ve bakım-onarım maliyetleri değerlendirilmektedir.

Diğer gerekli veriler, fiziksel veriler (binaya ilişkin döşeme, duvar alanı gibi), kullanım süresi ve kaliteye ilişkin verilerdir.

İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanması

İyileştirme önlemlerine ilişkin ilk yatırım maliyetlerinin hesaplanabilmesi için bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerinin m² cinsinden malzeme analizlerinin yapılması ve birim maliyetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, aşağıda belirtilen eşitlikten yararlanılmaktadır:

$$\dot{I}M = \sum A_i M_{b,i} \quad (4.21)$$

$\dot{I}M$ ile iyileştirme önlemine ilişkin ilk yatırım maliyeti (TL), A_i ile yapı malzemesi ya da bileşenin alanı (m²), ve $M_{b,i}$ ile ise malzeme ya da bileşene ilişkin birim maliyet (TL/m²) tanımlanmaktadır.

Kullanım maliyetlerinin hesaplanması

Kullanım maliyeti çerçevesinde enerji maliyeti ve bakım onarım maliyeti dikkate alınmakta olup aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir:

$$KM = EM + B\&OM \quad (4.22)$$

KM ile kullanım maliyeti (TL/y), EM ile enerji maliyeti (TL/y) ve $B\&OM$ ile ise bakım-onarım maliyeti (TL/y) tanımlanmaktadır.

İyileştirme önlemlerine ilişkin enerji maliyetlerinin belirlenebilmesi için,

- yakıt türlerine ilişkin enerji tüketimleri,
- yakıt türlerine ilişkin birim maliyetler,
- PV sistemlere ilişkin nihai enerji üretimi,
- PV sistemlerden üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti

dikkate alınmakta ve aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir:

$$EM = \sum (E_{T,yakıt} \times M_{b,yakıt}) - \sum (E_{PV} \times M_{b,PV}) \quad (4.23)$$

EM ile enerji maliyeti (TL/y), $E_{T,yakıt}$ ile yakıt cinsine göre enerji tüketimi (kWh/y), E_{PV} ile PV sistemden üretilen enerji değeri (kWh/y), $M_{b,yakıt}$ ile ise yakıt cinsine göre birim maliyet (TL/kWh) ve $M_{b,PV}$ ile ise PV sistemden üretilen elektrik enerjisine ilişkin birim maliyet (şebekeye satış tarifesi (mahsuplaşma)) (TL/kWh) tanımlanmaktadır.

Bakım-onarım maliyetleri (B&OM) çerçevesinde ise temizlik maliyetleri ve ele alınan önlemlere ilişkin periyodik bakım masrafları dikkate alınmaktadır.

Kullanım maliyeti, referans konut binasının yaşam döngüsü süresince yinelenen maliyettir. Bu nedenle, toplam kullanım maliyetinin doğru hesaplanabilmesi için güncel enerji ve bakım-onarım maliyetlerine bağlı olarak yaşam döngüsü süresince oluşacak yıllık maliyetlerin bugünkü değer faktörü (BDF) ile çarpılarak güncel (bugünkü) değerlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. BDF değeri, iskonto oranı ve zamana bağlı olarak aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır [189]:

$$BDF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (4.24)$$

BDF ile bugünkü değer faktörü, *i* ile iskonto oranı (%) ve *n* ile yaşam döngüsü (yıl), tanımlanmaktadır.

Bu doğrultuda, kullanım maliyetini bugünkü değerine dönüştürebilmek için aşağıda belirtilen eşitlikten yararlanılmaktadır [189]:

$$KM_B = (EM \times \sum_{n=1}^t \frac{1}{(1+i)^n}) + (B\&OM \times \sum_{n=1}^t \frac{1}{(1+i)^n}) \quad (4.25)$$

$$KM_B = EM_B + B\&OM_B \quad (4.26)$$

KM_B ile kullanım maliyetinin bugünkü değeri (TL), *EM_B* ile enerji maliyetinin bugünkü değeri (TL) ve *B&OM_B* ile bakım-onarım maliyetinin bugünkü değeri (TL) tanımlanmaktadır.

Yaşam döngüsü maliyetlerinin hesaplanması

İyileştirme önlemlerine ilişkin yaşam döngüsü maliyetlerinin (YDM) hesaplanmasında, ilk yatırım maliyetlerini ve yaşam döngüsü kullanım maliyetlerinin bugünkü değerlerini dikkate alan eşitlik kullanılmakta olup aşağıda belirtilmektedir:

$$YDM = \dot{I}M + KM_B \quad (4.27)$$

YDM ile yaşam döngüsü maliyeti (TL), *İM* ile ilk yatırım maliyeti (TL) ve *KM_B* ile kullanım maliyetinin bugünkü değeri (TL) tanımlanmaktadır.

İskonto edilmiş geri ödeme sürelerinin hesaplanması

İyileştirme önlemlerinin ekonomik performanslarının değerlendirilmesinde, YDM analizi çerçevesinde tanımlanan veri ve kabullere dayalı olarak ek yöntemlerin kullanılması mümkündür. Bu açıdan yaklaşım çerçevesinde, YDM analizine ek yöntem olarak iskonto edilmiş geri ödeme süresi yöntemi dikkate alınmaktadır.

Böylelikle, iyileştirme önlemlerine ilişkin ilk yatırım maliyetlerini geri ödeme süreleri paranın zaman değeri dikkate alınarak belirlenebilmektedir. İyileştirme önlemlerine ilişkin iskonto edilmiş geri ödeme süresi (İGS), aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir [168]:

$$\sum_{n=1}^t \frac{\Delta KM}{(1+i)^n} \geq \dot{I}M \quad (4.28)$$

ΔKM ile kullanım maliyetinde sağlanan tasarruf değeri (TL) ve $\dot{I}M$ ile ise iyileştirme önlemine ilişkin ilk yatırım maliyeti (TL) tanımlanmaktadır.

Duyarlılık analizlerinin yapılması

YDM analizi ile ekonomik değişkenlere ilişkin en iyi öngörülerde bulunmakta ve bu öngörüler kesinmiş gibi hesaplamalar yapılmaktadır. Ancak, enerji etkinliğin sağlanmasına yönelik yapılan yatırımların uzun süreli olması nedeniyle ekonomik performans değerlendirmesinde gereksinim duyulan veriler için bazı belirsizlikler söz konusu olabilmektedir. Bu açıdan, YDM analizlerine ilişkin belirsizliklerin değerlendirilmesi ve karar verme sürecinde YDM yöntemini tamamlamak amacıyla yaklaşım kapsamında duyarlılık analizi yöntemi dikkate alınmaktadır. Duyarlılık analizi çerçevesinde izlenen süreç;

- ekonomik performans değerlendirmesinde önemli etkiye sahip olan belirsiz verilerin tanımlanması,
- bu verilere ilişkin farklı değerlerin dikkate alınması,
- değiştirilen bu verilere dayalı olarak YDM analizlerinin yeniden yapılması,
- elde edilen sonuçlardaki değişimin incelenmesi

adımlarını kapsamaktadır.

4.2.4 Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesi ve optimum iyileştirme kombinasyonlarının tanımlanması

Konut enerji performansının iyileştirilmesi amacıyla farklı iklim bölgelerine uygun olarak tanımlanan alternatifler için ayrı ayrı YDE, YDCO₂ ve YDM analizleri gerçekleştirilmektedir. Analizler sonucunda, elde edilen değerlerden yararlanılarak yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren alternatifler belirlenebilmektedir.

Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren alternatifin belirlenmesinde, hesaplanan YDE ve YDCO₂ analiz göstergeleri ve YDM analizi çerçevesinde gerçekleştirilen maliyet duyarlılık analizleri sonuçları ön değerlendirmede dikkate alınmakta olup değerlendirme kriterini sağlayan alternatifler, “optimum performans gösteren alternatifler” olarak kabul edilmektedir. Değerlendirme kriteri olarak, iyileştirme önlemlerine ilişkin tanımlı alternatif grubu içerisinde en düşük yaşam döngüsü maliyetini sağlayan alternatif esas alınmaktadır. Değerlendirme kriteri çerçevesinde, aynı yaşam döngüsü maliyetine sahip alternatifler mevcut ise, alternatiflerden en düşük yaşam döngüsü enerji tüketimine ve dolayısıyla CO₂ salımına sahip alternatif dikkate alınmaktadır. Optimum performans gösteren alternatiflerin etkinlik düzeyleri, iyileştirme önlemine ilişkin tanımlı alternatif grubu içerisinde etkinlik düzeyi sıfır olarak kabul edilen diğer bir deyişle yaşam döngüsü süresince enerji tüketimi, CO₂ salımı ve maliyeti en yüksek olan alternatif ile karşılaştırılarak belirlenmektedir. Değerlendirme sonucunda, farklı iklim bölgeleri için optimum performans gösteren alternatiflerin birlikte ele alındığı optimum iyileştirme kombinasyonları tanımlanabilmektedir.

4.2.5 Optimum iyileştirme kombinasyonlarının referans konut binasına göre enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin belirlenmesi

Optimum iyileştirme kombinasyonlarının yaşam döngüsü enerji, çevresel ve ekonomik performanslarının değerlendirilmesi çerçevesinde, yaşam döngüsü enerji tüketimi, CO₂ salımı ve maliyeti açısından dikkate alınan iyileştirme önlemlerinin bir aradaki etkileri, yinelenen YDE, YDCO₂ ve YDM analizleri ile saptanabilmekte ve referans konut binasının mevcut performans düzeyi ile karşılaştırılabilmektedir. Böylelikle, tanımlanan optimum iyileştirme kombinasyonlarının referans konut binasının mevcut enerji, ekonomik ve çevresel performansına göre enerji ve maliyet etkinlik düzeyleri belirlenebilmektedir.

5. YAKLAŞIMIN TÜRKİYE’NİN FARKLI İKLİM BÖLGELERİ İÇİN UYGULANMASI

Türkiye’nin artan enerji talebini karşılamada dışa bağımlılığı ve dışa bağımlılığından kaynaklı risklerin çok yüksek düzeyde olması nedeni ile sürdürülebilir dönüşüm ve büyümeyi kapsayan kaynak etkin bir ekonominin oluşturulması gereklidir. Dolayısıyla, tüm sektörlerde ve özellikle en fazla enerji tasarruf potansiyelinin mevcut olduğu bina sektöründe gelişmiş enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin sağlanması zorunludur. Bu nedenle, yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının optimum performanslarının değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen yaklaşım, Türkiye’nin farklı iklim bölgeleri için uygulanmaktadır.

Uygulamada, konut binalarında optimum performansın sağlanmasına yönelik önlemler farklı iklim bölgeleri için geliştirilmekte ve geliştirilen önlemlere ilişkin konut binalarının enerji, ekonomik ve çevresel performansları yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirilmektedir.

5.1 Uygulama Çalışmasının Amacı

Bu uygulama çalışmasının amacı, farklı iklim bölgelerinde yer alan mevcut konut stoğunun enerji ve maliyet etkinliğinin artırılmasına yönelik olarak geliştirilen önlemlerin yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi, optimum performans gösteren, uygulanabilir çözümlerin belirlenmesi ve ülke kaynakları ve karar vericiler açısından maksimum faydanın elde edilebileceği sonuçlara ulaşılmasıdır.

5.2 Uygulama Çalışmasının Adımları

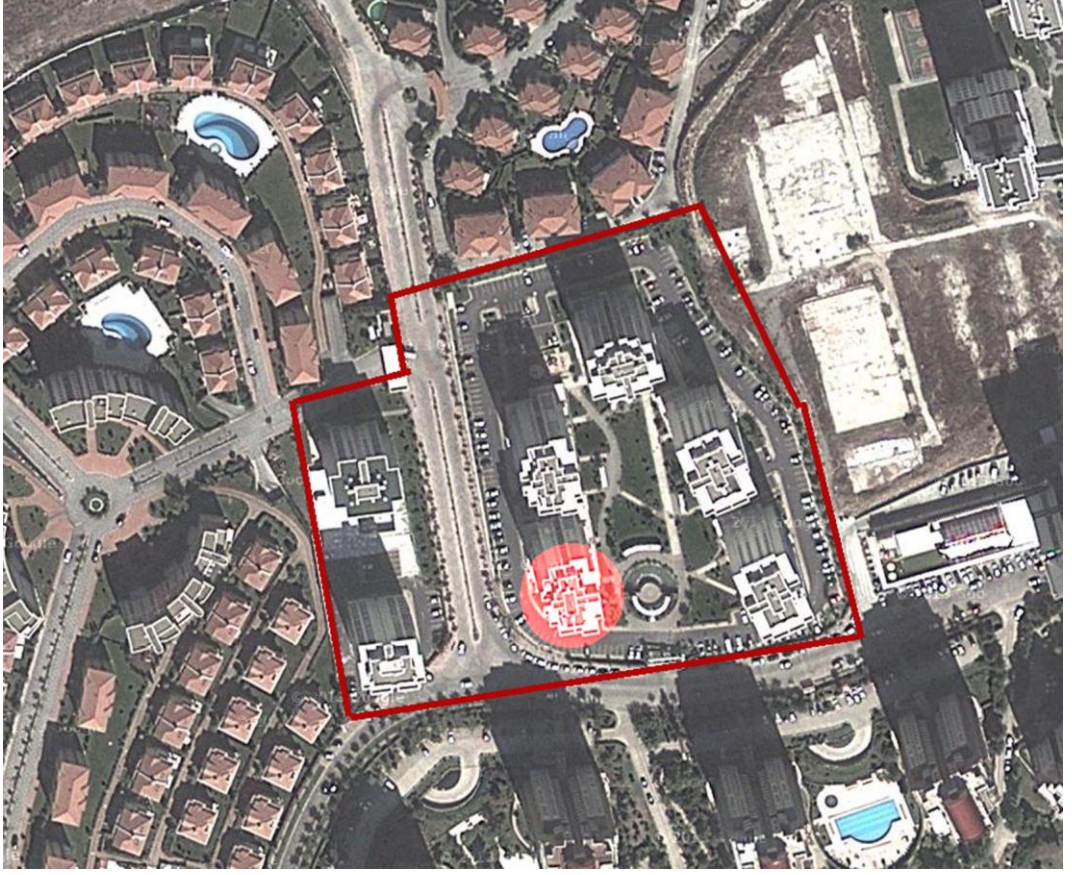
Bölüm 4’te geliştirilen yaklaşım çerçevesinde uygulama çalışmasında yapılan kabuller ve izlenen yol aşağıda belirtilmektedir.

5.2.1 Referans konut binasının tanımlanması

Referans konut binasının tanımlanabilmesi için detaylı analizlerin yapılması ve istatistik verilerine dayalı bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. Türkiye’de mevcut konut stoğu ile ilgili sınırlı sayıda istatistik verinin olması nedeniyle ulusal referans konut binasının belirlenmesi mümkün olmamaktadır.

Diğer taraftan, Türkiye’de 2006 yılından beri bina sektöründe yaşanan en önemli gelişmelerden biri, Toplu Konut İdaresi Başkanlığı’nın (TOKİ) yurt çapında yürüttüğü toplu konut yatırımlarıdır. Bu konut yatırımlarının gelişim süreci, pek çok Avrupa ülkesinde daha önce yaşanmış sürecin tekrarı niteliğinde olup kalite standartlarından daha ziyade yapım hızı ve konut sayısı ön planda tutulmaktadır. Üretilen konutların çoğunluğunu, çevresel standartların düşük oranda dikkate alındığı yüksek katlı binalar teşkil etmektedir [190]. Ayrıca, TOKİ’nin, “Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması” na ilişkin Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından yürütülen projenin uygulayıcı ortaklarından biri olması da, Türkiye’de konut üretiminin enerji etkin yaklaşımlara dayalı olarak şekillendirilmesi açısından çok büyük önem taşımaktadır [112].

Bu bağlamda, TOKİ’nin konut üretim tipolojisinin bina enerji performansına ve dolayısıyla da ülke enerji ekonomisine etkisinin irdelenmesi amacıyla bu çalışmada, güncel mevzuata uygun olarak TOKİ tarafından “kaynak geliştirme uygulaması” adı altında 2008 yılında İstanbul’da yapımı tamamlanmış bir toplu konut uygulaması ele alınmıştır. Bu toplu konut uygulaması, 25 dönüm alan üzerine kurulu 7 konut bloğu ve 408 konuttan oluşmaktadır (Şekil 5.1-5.2). Toplu konut uygulaması kapsamındaki konut bloklarından biri, referans konut binası olarak tanımlanmakta ve Türkiye’nin farklı iklim bölgelerini temsil eden beş ilde mevcut olduğu varsayılmaktadır. Böylelikle, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşımın farklı iklim bölgelerindeki referans konut binasına uygulanması ile gerek güncel mevzuata uygun uygulamalar gerekse TOKİ tarafından yapılan uygulamalar için yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans düzeylerinin değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir.



Şekil 5.1 : Mevcut toplu konut uygulamasının uydu görüntüsü.



Şekil 5.2 : Mevcut toplu konut uygulamasının genel görüntüsü.

Referans binasının tanımlanması kapsamında dikkate alınan iklime ilişkin değişkenler, binaya ilişkin değişkenler ve kullanıcıya ilişkin değişkenler aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

5.2.1.1 İklimle ilişkin değişkenler

İklimle ilişkin değişkenler, dış ve iç iklime ilişkin değişkenler olarak ele alınmaktadır.

Dış iklime ilişkin değişkenler

Referans konut binasına ilişkin enerji tüketim değerleri iklimsel farklılıklara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tez çalışması kapsamında, mevcut toplu konut uygulamasının Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yer aldığı kabul edilmektedir. Bu iklim bölgeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde gerçekleştirilmiş bilimsel araştırma proje sonuçları esas alınarak belirlenmiştir [49,48,52]. Bu iklim bölgeleri kapsamında dikkate alınan veriler, Çizelge 5.1'de belirtilmektedir.

Çizelge 5.1 : Türkiye'nin iklim bölgelerine ilişkin veriler.

İklim bölgesi [49,48,52]	Temsili il	Isıtma derece gün bölgesi [191]	Isıtma derece gün	Soğutma derece gün	Yatay düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddeti (kWh/m ² y)
Ilımlı nemli	İstanbul	2.Bölge	1886	2152	1465
Ilımlı kuru	Ankara	3.Bölge	3307	1338	1417
Sıcak nemli	Antalya	1.Bölge	972	3345	1798
Sıcak kuru	Diyarbakır	2.Bölge	2086	2843	1718
Soğuk	Erzurum	5.Bölge	4785	856	1555

Çalışma kapsamında ele alınan iller için dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, güneş ışınımı ve rüzgardan oluşan dış iklime ilişkin veriler, “Tipik Meteorolojik Yıl (TMY)” formatında Meteonorm 7.0 isimli iklim verileri elde etme programı yardımı ile oluşturulmuştur. Meteonorm 7.0 programı, enerji uygulamaları için gerekli dış iklime ilişkin her türlü verinin yer aldığı geniş bir veritabanına sahip olan kapsamlı bir meteorolojik programdır [192].

İç iklime ilişkin değişkenler

İç iklime ilişkin değişkenler kapsamında ısıtma istenen dönemde iç hava sıcaklığının hafta içi 07:00-09:00, 16:00-23:00, hafta sonu ise 07:00-23:00 saatleri için 21°C, diğer saatler için ise 16°C değerini sağladığı kabul edilmektedir. Kat holleri için ısıtma ayar sıcaklığı 18°C olarak dikkate alınmaktadır. Soğutma istenen dönemde ise, iç hava sıcaklığının hafta içi 07:00-09:00, 16:00-23:00, hafta sonu ise 07:00-23:00 saatleri için 25°C, diğer saatler için ise 28°C değerini sağladığı

varsayılmaktadır. Soğutma istenen dönemde ayrıca doğal havalandırmanın aktif konumda olacağı kabul edilmektedir. Kişi başına düşen minimum taze hava miktarı, 10 (l/s) olarak ele alınmaktadır [193,194].

5.2.1.2 Binaya ilişkin değişkenler

Binaya ilişkin değişkenler olarak referans konut binasının bulunduğu yer, bina aralıkları, binanın yönlendiriliş durumu, bina formu ve bina dış kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri gibi ısı kayıplarının azaltılmasında ve dolayısıyla enerji tasarrufunda etkili olan bina ölçeğindeki yapma çevre değişkenleri dikkate alınmaktadır. Dikkate alınan yapma çevre değişkenlerinden binanın bulunduğu yer ve bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri değişken olarak kabul edilmekte, diğerlerinin ise sabit olduğu varsayılmaktadır.

Binanın bulunduğu yer

Referans konut binasının çalışma kapsamında dikkate alınan iklim bölgelerini temsilen farklı illerde yer aldığı varsayılmaktadır. Bu çerçevede, ele alınan temsili illere ilişkin veriler, Çizelge 5.2’de belirtilmektedir.

Çizelge 5.2 : Temsili illere ilişkin veriler.

İklim bölgesi	Temsili il	Enlem –Boylam (°)	Denizden yükseklik (m)
Ilımlı nemli	Istanbul	40.97-28.82	37
Ilımlı kuru	Ankara	40.12-33.00	949
Sıcak nemli	Antalya	36.70-30.73	57
Sıcak kuru	Diyarbakir	37.88-40.20	677
Soğuk	Erzurum	39.95-41.17	1758

Bina aralıkları

Mevcut toplu konut uygulaması kapsamında referans konut binası ve diğer altı blok için bina aralıkları mimari proje esas alınarak tanımlanmaktadır. Toplu konut uygulamasının çevre binalar tarafından gölgelenmediği varsayılmaktadır.

Binanın yönlendiriliş durumu

Referans konut binası “kuzey-güney, doğu-batı” doğrultusunda konumlandırılmakta olup bina güney cephesi güney yönü ile 9°’lik açı yapacak şekilde yönlendirilmektedir (Ek B) .

Bina formu

Dikdörtgen formulu referans konut binası, 2 bodrum kat, zemin kat, 12 normal kat ve 13. katı dubleks olarak tasarlanmış 17 katlı bir yapı olup kat yüksekliği 2.79 m’dir.

Çatı tipi yürünebilir teras çatıdır. Biçim faktörü (plandaki bina uzunluğu/bina derinliği) 1.37, A/V oranı (toplam dış yüzey alanı / bina hacmi) 0.19, taban alanı 573 m² ve toplam bina yüksekliği ise 48.28 m'dir. Referans konut binasına ilişkin mimari çizimler (vaziyet planı, kat planları, görünüşler) ve toplu konut uygulaması kapsamındaki diğer apartman blokları için hazırlanan bina künyeleri, Ek B'de detaylı olarak verilmektedir.

Bina dış kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri

Bina kabuğu, sahip olduğu optik ve termofiziksel özelliklere bağlı olarak dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı etkileriyle birim alandan kazanılan ve yitirilen ısı miktarının belirlenmesinde önemli bir etkidir. Bu tez çalışması kapsamında, referans konut binasının dış kabuğuna ilişkin termofiziksel özellikler, aşağıda belirtilen yöntem izlenerek belirlenmektedir:

- Referans konut binası opak ve saydam bileşenlerinin sınıflandırılması,
- Opak ve saydam bileşenlere ilişkin katmanlaşma detaylarının belirlenmesi,
- Opak ve saydam bileşenlerin toplam ısı geçirme katsayısının hesaplanması,
- Referans konut binasına ilişkin saydamlık oranlarının belirlenmesidir.

Referans konut binası opak ve saydam bileşenlerine ilişkin çok sayıda verinin sistematik bir şekilde düzenlenebilmesi için ASTM standardı E1577'de tanımlı "*Bina Elemanlarına İlişkin Uniformat II Sınıflandırma Sistemi*" esas alınmaktadır [195]. Uniformat II sınıflandırma sistemi çerçevesinde bina elemanları, ana eleman grubu, eleman grupları ve bileşenler olarak üç düzeyde tanımlanmaktadır. Tanımlanan bu üç düzey kapsamında;

- Ana eleman grubu ile temel inşaatı (A), kabuk (B), iç kısım (C),
- Eleman grupları ile temeller (A10), bodrum kat yapımı (A20), üst yapı (B10), dış kabuk (B20), iç kısım yapımı (C10),
- Bileşenler ile toprağa temas eden döşeme (A1030), bodrum kat duvarları (A2020), iç döşeme (B1010), çatı döşemesi (B1020), dış duvarlar (B2010), dış pencereler (B2020), iç duvarlar (C1010)

olarak ele alınmaktadır. Sınıflandırma sistemi çerçevesinde, elde edilen mimari proje esas alınarak referans konut binası opak ve saydam bileşenlere ilişkin 29 farklı bileşen tipi tanımlanmaktadır (Çizelge B.6).

Tanımlanan opak ve saydam bileşen tiplerine ilişkin katmanlaşma detayları, referans konut binasının mevcut mimari projesine dayandırılarak belirlenmiştir. Opak ve saydam bileşen tiplerine ilişkin toplam ısı geçirme katsayısının ($U, W/m^2K$) hesaplanabilmesi için ise belirlenen katmanlaşma detayları kapsamında kullanılan malzemelere ait termofiziksel özellikler çeşitli kaynaklardan derlenmiştir [8,196]. Referans konut binasının opak ve saydam bileşen tiplerine ilişkin katmanlaşma detayları ve hesaplanan U değerleri, Çizelge B.6'da belirtilmektedir.

Referans konut binasına ilişkin bina kabuğu hava sızdırmazlık değeri "yüksek" ve doğal havalandırma hava değişim sayısı (n), (1/h) ise 0.5 olarak dikkate alınmaktadır [197]. Referans konut binası için hesaplanan saydamlık oranları değişimi yönlerine göre, kuzey ve güney cephesi için %15, doğu cephesi için %24, batı cephesi için ise %30'dur.

5.2.1.3 Kullanıcıya ilişkin değişkenler

Kullanıcıya ilişkin değişkenler, hesaplamalarda yaşama mekanı koşulları ve iklimsel konfor koşulları dikkate alınarak tanımlanmıştır. Referans binaya ilişkin kullanıcı yoğunluğu $25.9 m^2/kişi$ ve kullanıcı aktivite düzeyi ise, $110 W/kişi$ olarak tanımlanmaktadır. Kullanıcı giysi tipi, ısıtma istenen dönem için 1 clo, soğutma istenen dönemi için ise 0.5 clo olarak ele alınmaktadır.

5.2.1.4 Aktif bina alt sistemlerine ilişkin değişkenler

Aktif bina alt sistemleri kapsamında referans konut binasına ilişkin ısıtma sistemi, çatı katı yoğunmalı kazan tipli merkezi sistem ve kullanılan enerji türü doğalgazdır. Çalışmada 4.50 performans katsayısına (COP değerine) sahip soğutma sisteminin mevcut olduğu ve soğutma için elektrik enerjisinin kullanıldığı varsayılmaktadır. Referans konut binasına ilişkin sıcak su sistemi ise, bireysel şofben sistemi ve kullanılan enerji türü doğalgazdır.

5.2.2 İyileştirme önlemlerinin tanımlanması

Geliştirilen yaklaşım çerçevesinde, bina kabuğunun enerji etkinliği açısından optimum performans sağlaması amacına yönelik olarak iyileştirme önlemleri;

- enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve
- enerji üreten sistemler

olarak ele alınmaktadır (Çizelge 4.2).

Enerji tasarrufu sağlayan önlemlere ilişkin alt hedefler, mevcut konut performansının iklimle dengeli olarak iyileştirilmesi ve iç ortamda ısı konfor koşullarının sağlanmasında aktif bina alt sistemlerin kullanımının minimize edilmesi amacıyla ısı kazanımı ve korunumu (ısıtma istenen dönemde) ve aşırı ısınmayı önleme (soğutma istenen dönemde) olarak tanımlanmaktadır. Enerji üreten sistemler kapsamında dikkate alınan alt hedef ise, bina kabuğunda elektrik enerjisi üretiminin gerçekleştirilmesidir. Böylelikle, enerji tasarrufu sağlayan önlemler ile ihtiyaç duyulan enerji miktarında mümkün olduğu kadar azalma sağlandıktan sonra enerji üreten sistemler aracılığıyla üretilecek elektrik enerjisi ile de referans konut binasına iletilen enerjinin verimliliğinin artırılabilmesi mümkün olmaktadır.

Isı kazanımı ve korunumu (ısıtma istenen dönemde) ve aşırı ısınmayı önleme (soğutma istenen dönemde) alt hedefleri kapsamında referans konut binasının mevcut durumu korunarak opak ve saydam bileşenlerin optik ve termofiziksel özelliklerinin geliştirilmesi esas alınmaktadır. Bu doğrultuda;

- ısı yalıtım uygulaması,
- yeşil çatı sistemi uygulaması,
- cam sistemlerinin iyileştirilmesi ve
- güneş kontrol elemanları

gibi kullanımı yaygın önlemler dikkate alınmaktadır.

Elektrik enerjisi üretimi alt hedefi çerçevesinde ise, gerek Türkiye'nin sahip olduğu yüksek güneş enerjisi potansiyeli gerekse bina kabuğuna kolay uygulanabilirliği açısından enerji üreten sistem olarak fotovoltaik (PV) sistemler ele alınmaktadır.

Çalışma kapsamında dikkate alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin alternatiflerin tanımlanması sürecinde yapılan kabuller ve izlenen yöntem aşağıda açıklanmaktadır.

Isı yalıtım uygulaması

Bina kabuğundan kaynaklı ısı kayıplarının azaltılması amacı ile opak bina bileşenlerinden dış duvar, çatı ve toprağa temas eden döşeme bileşenlerinin mevcut ısı özelliklerinin geliştirilmesi esas alınmaktadır. Bu açıdan, opak bileşenlere ilişkin

mevcut katmanlaşma detayına bağlı kalınarak farklı ısı yalıtım düzeylerine sahip alternatifler tanımlanmaktadır. Tanımlanan alternatifler çerçevesinde;

- ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (IYD-0),
- ısı yalıtım katmanının referans bina kapsamındaki mevcut durumu (REF),
- ısı yalıtım katmanının TS 825 Standardında belirtilen maksimum toplam ısı geçirme katsayılarına ($U, W/m^2K$) uygun ve daha düşük U katsayılarını sağlayan durumlar (IYD-1)

değerlendirilmektedir.

Bina kabuğu opak bileşenlerine ilişkin mevcut katmanlaşma detaylarında ısı yalıtım malzemesi, dış duvar ve torağa temas eden döşeme bileşenlerinde ekstrüde polistren ısı yalıtım levhası (XPS, $\lambda: 0.035 W/mK$), çatı bileşenlerinde ise ekspande polistren ısı yalıtım levhası (EPS, $\lambda: 0.033 W/mK$) olarak tanımlanmaktadır.

Yeşil çatı sistemi uygulaması

Bina kabuğunun enerji etkin optimizasyonu kapsamında ısı korunumu ve aşırı ısınmayı önleme alt hedeflerine yönelik çatı bileşeninin mevcut ısıl özelliklerinin geliştirilmesinde yeşil çatı sistemi de dikkate alınmaktadır.

Yeşil çatı sistem tipi olarak ekstensif (seyrek) yeşil çatı sistemi tanımlanmaktadır. Tanımlanan yeşil çatı sistemi kapsamında katmanlaşma detayı (dıştan-içe) (YÇ-1);

- bitkiler (ekstensif yeşillendirme),
- bitki taşıyıcı katman (10cm),
- drenaj ve filtre tabakası,
- mekanik etkilere karşı koruyucu ve nem tutucu tabaka,
- ısı yalıtım levhası (XPS),
- su yalıtımı ve kök tutucu folyo,
- mevcut çatı konstrüksiyonu

olarak düzenlenmektedir [198].

Yeşil çatı sistem detayı çerçevesinde, TS 11758-2'de belirtildiği üzere mevcut çatı bileşeninde kullanılan EPS ısı yalıtım levhaları yerine IYD-1 düzeyine sahip XPS ısı yalıtım levhaları dikkate alınmaktadır [199].

Cam sistemlerinin iyileştirilmesi

Bina kabuğu saydam alanlarından kaynaklı ısı kazanımı ya da kaybının optimizasyonuna yönelik cam sistemleri için farklı ısı yalıtım düzeylerine sahip alternatifler tanımlanmaktadır. Tanımlanan alternatifler çerçevesinde;

- tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (CS-0),
- cam sisteminin referans bina kapsamındaki mevcut durumu (REF),
- cam sisteminin TS 825 Standardında belirtilen maksimum toplam ısı geçirme katsayılarına ($U, W/m^2K$) uygun ve daha düşük U katsayılarını sağlayan durumlar (CS-1)

değerlendirilmektedir.

Cam sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik tanımlanan alternatifler çerçevesinde, mevcut cam kalınlıkları (4mm+4mm), ara boşluk (12mm) ve doğrama sistemi (PVC) değiştirilmemiştir. Değiştirilen parametreler içerisinde, ara boşluk gazı (hava ya da argon gazı) ve farklı cam yüzeylerine (2. veya 3. yüzey) yapılan kaplama (ısı kontrol, ısı ve güneş kontrol) tipleri yer almaktadır. Alternatifler kapsamında dikkate alınan katmanlaşma detayları, camın ısı geçirme katsayısı (U_{cam}), çerçeve ve cam özelliklerine bağlı saydam bileşen ısı geçirme katsayısı (U_p) ve güneş ısı kazanım katsayısı ($SHGC$) değerleri, Çizelge 5.3'te belirtilmektedir.

Çizelge 5.3 : Cam sistemlerine ilişkin veriler [196,197].

Alternatif	Cam tipi	Ara Dolgu (mm)	U_{cam} (w/m^2K)	U_p (w/m^2K)	SHGC
Alt_27	Kaplamasız-tek cam	-	5.9	4.9	0.85
Alt_3	Kaplamasız-çift cam	12- hava	2.7	2.6	0.74
Alt_28	Isı kont.kapl.e2=0.04	12 - hava	1.7	1.8	0.44
Alt_29	Isı kont.kapl.e2=0.04	12 - argon	1.4	1.5	0.44
Alt_30	Isı kont.kapl.e3=0.03	12 - hava	1.7	1.8	0.51
Alt_31	Isı kont.kapl.e3=0.03	12 - argon	1.4	1.5	0.51
Alt_32	Isı-güneş kont.kapl.e2=0.02	12 - hava	1.6	1.8	0.30
Alt_33	Isı-güneş kont.kapl.e2=0.02	12 - argon	1.3	1.5	0.30

Güneş kontrol elemanlarının kullanımı

Bina kabuğunun güneş ışınımından kaynaklı ısı kazançlarının soğutma istenen dönem süresince azaltılması amacıyla güneş kontrol elemanlarının kullanımı dikkate alınmaktadır. Bu doğrultuda, güneş kontrol elemanlarının kullanımının değerlendirildiği alternatifte (GK-1) ilişkin kabuller, aşağıda belirtilmektedir:

- Referans konut binasının güney, doğu ve batı cephelerinde yer alan belirli saydam bileşenlerin dış yüzeyinde güneş kontrol elemanının kullanıldığı varsayılmaktadır.
- Güneş kontrol elemanı olarak dış jaluzi sistemi kullanılmaktadır. Dış jaluzi sistem tipi yatay, parça yüzeyi düz-opak gri alüminyum ve parça genişliği ise 60mm'dir.
- Referans konut binasının mevcut soğutma yükünün azaltılabilmesi amacıyla sadece soğutma istenen dönemde güneş kontrol elemanlarının aktif konumda olduğu varsayılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, İstanbul ve Erzurum için 21 Mayıs - 21 Eylül, Ankara için 21 Mayıs - 1 Ekim, Antalya için 21 Nisan - 21 Ekim, Diyarbakır için ise 21 Nisan - 21 Ekim tarihleri soğutma istenen dönem olarak dikkate alınmaktadır [48].
- Güneş kontrol elemanına ilişkin optimum faydanın elde edilebildiği parça eğim açıları ve gün içerisinde aktif konumda olduğu zaman aralıkları, iklim bölgelerini temsil eden iller ve güneş kontrol elemanının uygulandığı cepheler için, Olgay yöntemi kullanılarak belirlenmiştir [200-202]. Yöntem çerçevesinde yapılan analizler, DesignBuilder programı kullanılarak gerçekleştirilen simulasyonlar ile desteklenmiştir. Yapılan tüm analiz çalışmaları sonucunda güneş kontrol elemanına ilişkin dikkate alınan parça eğim açıları ve gün içerisinde aktif konumda olduğu zaman aralıkları, Çizelge 5.4'te belirtilmektedir.

Çizelge 5.4 : Parça eğim açıları (°) ve zaman aralıkları (saat).

Cephe	İstanbul	Ankara	Antalya	Diyarbakır	Erzurum
Doğu	10°	30°	0°	5°	60°
	05:00-12:00	07:00-12:00	05:00-12:00	05:00-12:00	09:00-12:00
Güney	45°	45°	35°	40°	60°
	09:00-15:00	09:00-15:00	09:00-15:00	09:00-15:00	09:00-15:00
Batı	0°	0°	0°	0°	0°
	12:00-19:00	12:00-19:00	12:00-19:00	12:00-19:00	12:00-19:00

Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması

Bina kabuğunda elektrik enerjisi üretimi alt hedefine yönelik fotovoltaik (PV) sistem uygulamalarının dikkate alındığı alternatifler tanımlanmaktadır. Tanımlanan alternatifler çerçevesinde şebekeye bağlı olduğu kabul edilen PV sistem uygulamaları;

- çatı PV sistemleri (PV-1),
- cephe PV sistemleri (PV-2)

olarak ele alınmaktadır.

Çatı PV sistemleri kapsamında referans konut binasının +39.06 ve +41.85 kotunda yer alan mevcut iki teras çatı alanı için iki alternatif (sırasıyla PV-11 ve PV-12) tanımlanmaktadır. Tanımlanan alternatiflere ilişkin kabuller, aşağıda belirtilmektedir:

- +39.06 ve +41.85 kotunda yer alan teras çatı alanlarının tümünde (sırasıyla, 510 m² ve 295m²) tasarlanan PV sistemler için çevre bina ve diğer engellerden (baca, asansör kulesi, ağaç gibi) kaynaklı gölgeleme etkisinin mevcut olmadığı kabul edilmektedir.
- Çatı PV sistemleri için kısıtlı alanda yüksek verimde çalışabilen tek kristalli (mono kristal) silikon PV modüller (190 Wp) kullanılmaktadır.
- PV modüller güneye yönlendirilmektedir.
- Çatı PV sistemlerine ilişkin optimum PV modül eğim açıları, PV*SOL Expert programı ile yapılan analizler sonucunda belirlenmektedir. Bu açıdan, PV*SOL Expert programı ile gerçekleştirilen analizlere dayalı olarak PV modülün eğim açısının farklı değerlerde olması durumunda PV sisteme ilişkin nihai PV sistem kazancı (Y_f , kWh/kWp) ve performans oranı (PR) değerlerindeki değişim incelenmektedir. Yapılan analiz çalışmaları sonucuna göre PV modüller için belirlenmiş optimum eğim açısı değerleri, İstanbul, Ankara ve Diyarbakır için 31°, Antalya için 32°, Erzurum için ise 30°'dir.
- Çatı PV sistemlerine ilişkin PV modül dizileri arasındaki optimum gölgeleme mesafeleri, PV*SOL Expert programı ile yapılan analizler sonucunda belirlenmektedir. Bu amaçla, öncelikle optimum PV modül eğim açıları dikkate alınarak PV modül dizilerine ilişkin minimum gölgeleme mesafeleri (21/12, 12:00) hesaplanmaktadır. Yapılan analiz çalışması çerçevesinde, minimum gölgeleme mesafeleri esas alınarak tanımlanan yüksek mesafe aralıkları ile nihai PV sistem kazancında (Y_f) artış sağlanırken kullanılan PV modül sayısındaki azalma nedeniyle PV sistemden üretilen enerji (E_{PV}) değerinde düşüş gözlemlenmektedir. Bu nedenle, gerek nihai PV sistem kazancının gerekse enerji üretiminin optimizasyonu açısından tüm iklim

bölgeleri için minimum gölgeleme mesafesinin %20 oranında artırıldığı mesafe değerleri, PV modül dizileri arasındaki optimum gölgeleme mesafeleri olarak dikkate alınmaktadır.

Cephe PV sistemleri kapsamında referans konut binasının güney ve doğu cephesi opak alanları için iki alternatif (sırasıyla PV-21, PV-22) tanımlanmaktadır. Tanımlanan alternatiflere ilişkin kabuller, aşağıda belirtilmektedir:

- Çephe PV sistemleri için düşük güneş ışınımı koşullarında yüksek verimde çalışabilen ince film (amorft kristal) PV modüller (340 Wp) kullanılmaktadır.
- PV modüller cephe yüzeyine paralel yerleştirilmektedir.
- Çatı ve cephe PV sistemleri için PV modüllerin güç çıkışlarında yıllık azalma (degradasyon) oranı ilk on yıl için %1, geri kalan yıllar için ise %0.5 olarak kabul edilmektedir.

Yukarıda belirtilen tüm kabuller doğrultusunda, çatı ve cephe PV sistemleri kapsamında tanımlanan alternatiflere ilişkin PV sistem yüzey alanı (m²) ve kurulu güç (kWp) değerleri, Çizelge 5.5'te belirtilmektedir.

Çizelge 5.5 : PV sistem yüzey alanı (m²) ve kurulu güç (kWp) değerleri.

İller	PV-12	PV-11	PV-21	PV-22
İstanbul	49.94/7.41	197.22/29.26	258.19/14.28	258.19/14.28
Ankara	52.51/7.79	197.22/29.26	258.19/14.28	258.19/14.28
Antalya	55.07/8.17	201.06/29.83	258.19/14.28	258.19/14.28
Diyarbakır	57.63/8.55	207.46/30.78	258.19/14.28	258.19/14.28
Erzurum	55.07/8.17	199.78/29.64	258.19/14.28	258.19/14.28

Tez çalışması kapsamında, ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin 44 farklı alternatif tanımlanmış olup, Çizelge 5.6'da belirtilmektedir.

5.2.3 Referans konut binasının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi

Referans konut binasının yaşam döngüsü enerji ve çevresel performanslarının değerlendirilebilmesi için yaşam döngüsü enerji (YDE) ve yaşam döngüsü CO₂ (YDCO₂) analizleri dikkate alınmakta olup yaşam döngüsü ekonomik performansının değerlendirilebilmesinde ise, YDE ve YDCO₂ analizlerine entegre olarak gerçekleştirilen yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizleri kullanılmaktadır.

Çizelge 5.6 : İyileştirme önlemlerine ilişkin alternatifler.

Alt. No.	Kod	U _{D1} , U _{D2} (W/m ² K)	U _T (W/m ² K)	U _{i1} , U _{i2} (W/m ² K)	U _p (W/m ² K)	SHGC	Yeşil çatı sist.	Güneş kont. elem.	PV sistem k.güç (kWp)
Alt_1	IYD-0D	0.79, 3.25	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_2	IYD-1D	0.42, 0.69	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_3	REF	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_4	IYD-1D	0.34, 0.49	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_5	IYD-1D	0.31, 0.43	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_6	IYD-1D	0.28, 0.39	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_7	IYD-1D	0.26, 0.35	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_8	IYD-1D	0.24, 0.32	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_9	IYD-1D	0.20, 0.25	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_10	IYD-1D	0.18, 0.22	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_11	IYD-1D	0.16, 0.18	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_12	IYD-1D	0.14, 0.17	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_13	IYD-0Ç	0.37, 0.58	3.61	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_14	IYD-1Ç	0.37, 0.58	0.41	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_15	IYD-1Ç, YÇ-1	0.37, 0.58	0.35	0.51,1.56	2.60	0.74	mevcut	-	-
Alt_16	IYD-1Ç	0.37, 0.58	0.37	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_17	IYD-1Ç, YÇ-1	0.37, 0.58	0.31	0.51,1.56	2.60	0.74	mevcut	-	-
Alt_18	IYD-1Ç	0.37, 0.58	0.30	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_19	IYD-1Ç, YÇ-1	0.37, 0.38	0.26	0.51,1.56	2.60	0.74	mevcut	-	-
Alt_20	IYD-1Ç	0.37, 0.58	0.21	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_21	IYD-1Ç, YÇ-1	0.37, 0.58	0.19	0.51,1.56	2.60	0.74	mevcut	-	-
Alt_22	IYD-0TD	0.37, 0.58	0.55	1.30,1.56	2.60	0.74	-	-	-
Alt_23	IYD-1TD	0.37, 0.58	0.55	0.60,0.65	2.60	0.74	-	-	-
Alt_24	IYD-1TD	0.37, 0.58	0.55	0.51,0.55	2.60	0.74	-	-	-
Alt_25	IYD-1TD	0.37, 0.58	0.55	0.40,0.42	2.60	0.74	-	-	-
Alt_26	IYD-1TD	0.37, 0.58	0.55	0.36,0.37	2.60	0.74	-	-	-
Alt_27	CS-0	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	4.90	0.85	-	-	-
Alt_28	CS-1	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	1.80	0.44	-	-	-
Alt_29	CS-1	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	1.50	0.44	-	-	-
Alt_30	CS-1	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	1.80	0.51	-	-	-
Alt_31	CS-1	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	1.50	0.51	-	-	-
Alt_32	CS-1	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	1.80	0.30	-	-	-
Alt_33	CS-1	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	1.50	0.30	-	-	-
Alt_34	GK-1	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	mevcut	-
Alt_35	PV-12	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	7.41
Alt_36	PV-12	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	7.79
Alt_37	PV-12	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	8.17
Alt_38	PV-12	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	8.55
Alt_39	PV-11	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	29.26
Alt_40	PV-11	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	29.64
Alt_41	PV-11	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	29.83
Alt_42	PV-11	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	30.78
Alt_43	PV-21	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	14.28
Alt_44	PV-22	0.37, 0.58	0.55	0.51,1.56	2.60	0.74	-	-	14.28

5.2.3.1 Yaşam döngüsü enerji (YDE) analizi

Referans konut binasının ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin yaşam döngüsü süresince harcadığı enerjinin belirlenmesini amaçlayan bu analiz, geliştirilen yaklaşım çerçevesinde yaşam döngüsü evrelerinden ürün ve kullanım evrelerini kapsamaktadır. Yaşam döngüsü enerji analizi çerçevesinde dikkate alınan hesaplama süresi, 30 yıldır [110].

Ürün evresi enerji tüketimlerinin hesaplanması

İyileştirme önlemlerine ilişkin ürün evresi enerji tüketimleri, bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerinin özelliklerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu bağlamda, iyileştirme önlemlerine ilişkin ürün evresi enerji tüketimlerinin hesaplanabilmesi için bina kabuğu ve PV sistem bileşenleri kapsamında kullanılan malzemelerin miktar ve gömülü enerji değerleri tanımlanmaktadır.

Bina kabuğu bileşenleri kapsamında kullanılan malzeme miktarları, gerek referans konut binasının mevcut mimari projesi ve gerekse ele alınan iyileştirme önlemlerinin katmanlaşma detayları esas alınarak belirlenmektedir. Bina kabuğu bileşenlerine ilişkin gömülü enerji değerlerinin hesaplanmasında gereksinim duyulan birim miktar malzemenin içerdiği enerji miktarı değerleri, GABI 6.0 yazılım programı ve The Inventory of Carbon and Energy (ICE) 2.0 veritabanı kullanılarak belirlenmektedir (Çizelge B.6). GABI 6.0 yazılım programı, yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin yaşam süreçleri boyunca değerlendirilmesini ve yapma ve çevresel ürün bildirelerine veri girdisi oluşturulmasını sağlamak için Stuttgart Üniversitesi Yapı Fiziği Kürsüsü Yaşam Döngüsü Mühendisliği Bölümü ve PE International GMBH firması ortaklığıyla geliştirilmiş ve kullanımı yaygın bir YDD programıdır [203]. ICE veritabanı 2.0 ise, Prof.Geoffrey Hammond ve Dr.Craig Jones (Bath Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü) tarafından pek çok yapı malzemesine ilişkin enerji yoğunluk ve karbon değerlerinin tanımlandığı, açık kaynak kodlu bir veritabanıdır [204].

PV sistem bileşenleri kapsamında ise, PV modül ve sistem dengeleyici bileşenlere (BOS) ilişkin veriler girdi olarak dikkate alınmaktadır. Sistem dengeleyici bileşenler olarak PV dizileri destekleyici alt strüktür, evirici (invertör) ve kablolama ele alınmaktadır. PV sistem bileşenleri kapsamında kullanılan malzeme miktarları, referans konut binasının çatı ve cephe alanlarında PV sistem uygulamasına ilişkin tanımlanan değişkenlere dayandırılarak belirlenmektedir (Çizelge 5.5). PV sistem bileşenlerinin gömülü enerji değerlerinin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan PV sistem bileşenlerine ilişkin brüt enerji gereksinimleri, çeşitli kaynaklardan derlenmektedir [205-207].

Bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerine ilişkin gereksinim duyulan verilerin belirlenmesi sonucunda ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin ürün evresi enerji tüketimleri diğer bir deyişle gömülü enerji değerleri, eşitlik 4.1'den yararlanılarak

belirlenmektedir. Çalışma kapsamında tanımlanan hesaplama süresince iyileştirme önlemlerine ilişkin herhangi bir yenileme öngörülmediği için yinelenen gömülü enerji değerleri hesaplamalarda dikkate alınmamaktadır.

Farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin ürün evresi enerji tüketimleri, Çizelge C.1-C.5'te belirtilmekte olup gömülü enerji değerlerindeki değişim ise, çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.1).

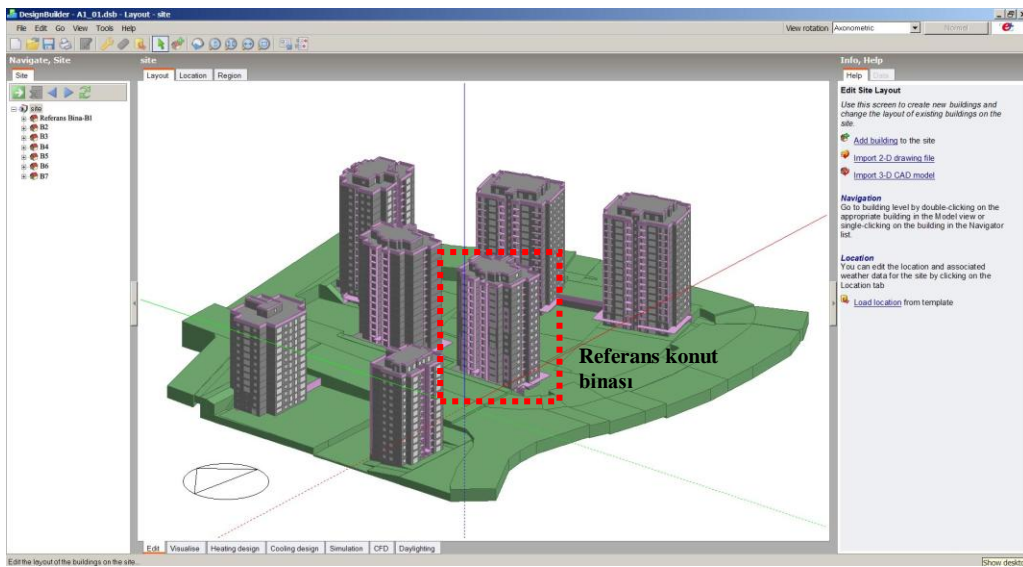
Kullanım evresi enerji tüketimlerinin hesaplanması

İyileştirme önlemlerine ilişkin referans konut binasının kullanım evresi enerji tüketimleri, geliştirilen yaklaşım çerçevesinde üç sürece dayandırılarak hesaplanmaktadır.

Nihai enerji tüketimlerinin hesaplanması

Referans konut binasının mevcut durumuna ve enerji tasarrufu sağlayan önlemlere ilişkin tanımlanan alternatiflerin nihai enerji tüketimleri, EnergyPlus termal simülasyon motorunun kapsamlı arayüzü DesignBuilder simülasyon programı kullanılarak hesaplanmaktadır.

DesignBuilder programının kullanımı ile gerçekleştirilen simülasyonlarda, zonlama kriteri açısından referans konut binasına ilişkin konut birimleri ve kat holleri bağımsız tek bir zon olarak kabul edilmektedir (Çizelge B.1). Çalışma kapsamında ele alınan toplu konut uygulamasının DesignBuilder programında oluşturulan modeli, Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3 : Mevcut toplu konut uygulamasının model görüntüsü.

DesignBuilder programında farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda elde edilen yıllık nihai enerji tüketimleri, Çizelge C.1-C5'te düzenlenmektedir. Ele alınan iyileştirme önlemleri çerçevesinde, illere ilişkin referans konut binasının yıllık nihai enerji tüketimlerindeki değişim, çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.2-C.6).

Nihai enerji üretimlerinin hesaplanması

Referans konut binasının çatı ve cephe alanlarında PV sistemlerin uygulanmasına ilişkin tanımlanan alternatiflerin nihai enerji üretimleri, detaylı dinamik hesaplama yöntemini temsilen PV*SOL Expert simülasyon programı kullanılarak hesaplanmaktadır. PV sistemler ile üretilen enerji miktarının referans konut binasının mevcut elektrik enerjisi tüketimlerini karşılayabilme oranını gösteren enerji kapsama faktörünün hesaplanması için eşitlik 4.10'dan yararlanılmaktadır.

Çizelge C.1-C.5'te farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda tanımlanan PV sistemlerden üretilen elektrik enerjisinin referans konut binasının yıllık nihai enerji tüketimleri üzerindeki etkisi görülmektedir. Ele alınan PV sistemler çerçevesinde, illere ilişkin elektrik enerjisi üretimi ve dolayısıyla enerji kapsama faktörlerindeki değişim, çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.7).

Kullanım enerjisinin hesaplanması

Referans konut binasına ilişkin kullanım enerjisi, eşitlik 4.11'den yararlanılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik kapsamında Türkiye için tüketilen yakıt cinsine ilişkin birincil enerji dönüşüm katsayıları, doğalgaz enerjisi için 1.00, elektrik enerjisi için ise 2.36 alınmaktadır [118]. PV sistemden üretilen elektrik enerjisine ilişkin birincil enerji dönüşüm katsayısı kapsamında, şebeke verimlilik düzeyine bağlı olarak 1kWh'lık enerji temini için ortalama 3.23 kWh'lık birincil enerji tüketiminin gerçekleştiği kabul edilmektedir [208-301].

Farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen kullanım enerjisi değerleri, Çizelge C.1-C.5'te görülmektedir. Ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin referans konut binasının yıllık kullanım enerjisindeki değişim, çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.8-C.12).

YDE analiz göstergelerinin hesaplanması

Geliştirilen yaklaşım çerçevesinde YDE analizi göstergeleri olarak dikkate alınan yaşam döngüsü enerji tüketimi, enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süresi eşitlik 4.12 - 4.14'ten yararlanılarak hesaplanmaktadır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için belirlenen YDE analiz göstergeleri, Çizelge C.1-C.5'te görülmektedir. Ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin referans konut binasının yaşam döngüsü süresince gömülü enerji, kullanım enerjisi ve yaşam döngüsü enerjisindeki değişim ve dolayısıyla enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süresi üzerindeki etkileri, karşılaştırmalı olarak çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.13-C.22).

5.2.3.2 Yaşam döngüsü CO₂ (YDCO₂) analizi

Referans konut binasının ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin yaşam döngüsü süresince saldığı CO₂ miktarının belirlenmesini amaçlayan bu analiz, geliştirilen yaklaşım çerçevesinde yaşam döngüsü evrelerinden ürün ve kullanım evrelerini kapsamaktadır. Yaşam döngüsü enerji analizine entegre olarak gerçekleştirilen YDCO₂ analizi için dikkate alınan hesaplama süresi, YDE analizi ile benzerdir.

Ürün evresi CO₂ salımlarının hesaplanması

İyileştirme önlemlerine ilişkin ürün evresi CO₂ salımları, YDE analizindeki gibi bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerinin özellikleri esas alınarak hesaplanmaktadır. Ürün evresi CO₂ salım değerlerinin hesaplanabilmesi için bina kabuğu ve PV sistem bileşenleri kapsamında kullanılan malzemelerin miktar ve gömülü karbon değerleri tanımlanmaktadır.

Bina kabuğu bileşenleri kapsamında kullanılan malzeme miktarları, gerek referans konut binasının mevcut mimari projesi ve gerekse ele alınan iyileştirme önlemlerinin katmanlaşma detayları esas alınarak belirlenmektedir. Bina kabuğu bileşenlerine ilişkin gömülü karbon değerlerinin hesaplanmasında gereksinim duyulan birim miktar malzemenin üretimi sürecindeki CO₂ salım değerleri, GABI 6.0 YDD programı ve ICE 2.0 veritabanı kullanılarak belirlenmektedir (Çizelge B.6) [203,204].

PV sistem bileşenleri kapsamında ise, YDE analizindeki gibi PV modül ve BOS'a ilişkin veriler girdi olarak dikkate alınmaktadır. PV sistem bileşenleri kapsamında

kullanılan malzeme miktarları referans konut binasının çatı ve cephe alanlarında PV sistem uygulamasına ilişkin tanımlanan değişkenlere dayandırılarak belirlenmektedir (Çizelge 5.5). PV sistem bileşenlerine ilişkin gömülü karbon değerlerinin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan PV sistem bileşenlerine ilişkin CO₂ salım değerleri, çeşitli kaynaklardan derlenmektedir [204,207].

Bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerine ilişkin gereksinim duyulan verilerin belirlenmesi sonucunda ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin ürün evresi CO₂ salımları diğer bir deyişle gömülü karbon değerleri, eşitlik 4.15'ten yararlanılarak belirlenmektedir. Çalışma kapsamında tanımlanan hesaplama süresince iyileştirme önlemlerine ilişkin herhangi bir yenileme öngörülmediği için yinelenen gömülü karbon değerleri hesaplamalarda dikkate alınmamaktadır.

Farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin ürün evresi CO₂ salımları, Çizelge C.1-C.5'te belirtilmekte olup gömülü karbon değerlerindeki değişim, çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.23).

Kullanım evresi CO₂ salımlarının hesaplanması

İyileştirme önlemlerine ilişkin referans konut binasının kullanım evresi enerji tüketimlerine bağlı CO₂ salımları, eşitlik 4.17'den yararlanılarak hesaplanmaktadır. Eşitlik kapsamında Türkiye için tüketilen yakıt cinsine ilişkin CO₂ salımı dönüşüm katsayıları, doğalgaz enerjisi için 0.20, elektrik enerjisi için ise 0.55 alınmaktadır [302]. PV sistemden üretilen elektrik enerjisine dayalı olarak önlenilen CO₂ salımına ilişkin dönüşüm katsayısı, 0.88 kgCO₂/kWh alınmaktadır [303].

Farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen kullanım karbonu değerleri, Çizelge C.1-C.5'te görülmektedir. Ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin referans konut binasının yıllık kullanım karbonundaki değişim, çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.24-C.28).

YDCO₂ analiz göstergelerinin hesaplanması

Geliştirilen yaklaşım çerçevesinde YDCO₂ analizi göstergeleri olarak dikkate alınan yaşam döngüsü CO₂ salımı, CO₂ salımı geri ödeme oranı ve CO₂ salımı geri ödeme süresi eşitlik 4.18 - 4.20'den yararlanılarak hesaplanmaktadır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için belirlenen YDCO₂ analiz göstergeleri, Çizelge C.1-C.5'te görülmektedir. Ele alınan

iyileştirme önlemlerine ilişkin referans konut binasının yaşam döngüsü süresince gömülü karbon, kullanım karbonu ve yaşam döngüsü CO₂ salımındaki değişim ve dolayısıyla CO₂ salımı geri ödeme oranı ve CO₂ salımı geri ödeme süresi üzerindeki etkileri, karşılaştırmalı olarak çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.29-C.38).

5.2.3.3 Yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizi

Yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizleri, referans konut binasının enerji performansının iyileştirilmesine ilişkin ele alınan önlemlerin uygunluğunun değerlendirilmesi ve yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesi amacıyla YDE ve YDCO₂ analizlerine entegre olarak gerçekleştirilmektedir.

YDM analizleri kapsamında gereksinim duyulan ekonomik değişkenler, maliyet verileri ve diğer gerekli veriler aşağıda belirtilmektedir.

Ekonomik değişkenler

Ekonomik değişkenler kapsamında tanımlanan veriler aşağıdaki gibidir:

İskonto oranı: %6 [304,305]

Enerji fiyatlarının gelişimi: Enerji fiyat gelişimlerine ilişkin düşük (%15) ve yüksek (%30) olmak üzere iki farklı alternatif dikkate alınmaktadır [306,307].

Değerlendirme süresi: 30 yıl [110]

Bina bileşenlerinin yaşam ömürleri: Ele alınan önlemlerin tahmini ekonomik yaşam ömürlerinin hesaplama kapsamında dikkate alınan değerlendirme süresine eşit olduğu kabul edilmektedir.

Hesaplama başlangıç yılı: 2013

Maliyet verileri

Maliyet verileri kapsamında ilk yatırım maliyeti ve kullanım maliyeti ele alınmaktadır. Yapılan çalışma çerçevesinde ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin maliyet hesaplamalarında;

- İyileştirme önlemleri kapsamında aynı olan maliyetler ve
- referans konut binasının enerji performansı üzerinde hiçbir etkisi olmayan bina elemanlarına ilişkin maliyetler

dikkate alınmamaktadır.

Çalışma kapsamında maliyet hesaplamalarında güncel vergiler ihmal edilmiş olup cari kur için Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB) tarafından yayınlanan döviz kuru esas alınmaktadır [308].

Diğer gerekli veriler

Diğer gerekli veriler kapsamında referans konut binasına ilişkin döşeme, duvar alanı gibi ölçülebilir fiziksel özellikler tanımlanmaktadır. Referans konut binasının mevcut mimari projesine dayandırılarak tanımlanan veriler, Çizelge B.6'da belirtilmektedir.

İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanması

İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanmasında ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin ilgili firmalardan edinilen fiyat tekliflerine dayalı güncel piyasa tabanlı birim maliyetler kullanılmaktadır (Çizelge 5.7). Kullanılan birim maliyetler, sadece malzeme fiyatlarını kapsamaktadır.

İyileştirme önlemlerine ilişkin ilk yatırım maliyetleri, eşitlik 4.21'den yararlanılarak hesaplanmaktadır. Farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin ilk yatırım maliyetleri, Çizelge C.6-C.10'da belirtilmekte olup ilk yatırım maliyetlerindeki değişim, çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.39).

Kullanım maliyetlerinin hesaplanması

Kullanım maliyetlerinin hesaplanmasında, bakım-onarım maliyetlerine ilişkin yeterli veri elde edilememesi nedeniyle sadece enerji maliyetleri dikkate alınmaktadır. Hesaplamalarda gereksinim duyulan verilere ilişkin yapılan kabuller, aşağıdaki gibidir:

Yakıt türlerine ilişkin enerji tüketimleri

Enerji performans analizleri kapsamında DesignBuilder programı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda, doğalgaz ve elektrik enerjisi tüketimlerine ilişkin belirlenen yıllık nihai enerji tüketimleri dikkate alınmaktadır.

Yakıt türlerine ilişkin birim maliyetler

Elektrik enerjisi birim fiyatı, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ) tarafından konutlar için tek zamanlı tarife bedeli olarak uygulanan 0.283900 TL/kwh'tir [309]. Doğalgaz enerjisi birim fiyatları ise, çalışma kapsamında ele alınan iklim bölgelerindeki doğalgaz dağıtım şirketleri tarafından uygulanan birim

Çizelge 5.7 : İyileştirme önlemlerine ilişkin birim maliyetler.

İyileştirme önlemleri	Alternatifler	Maliyet
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_1	-
	Alt_2	6.80 TL/m ²
	Alt_3	8.35 TL/m ²
	Alt_4	10.02 TL/m ²
	Alt_5	11.69 TL/m ²
	Alt_6	13.36 TL/m ²
	Alt_7	15.15 TL/m ²
	Alt_8	18.59 TL/m ²
	Alt_9	21.70 TL/m ²
	Alt_10	25.04 TL/m ²
	Alt_11	31.94 TL/m ²
	Alt_12	36.04 TL/m ²
Çatı bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_13	-
	Alt_3	9.45 TL/m ²
	Alt_14	13.23 TL/m ²
	Alt_16	15.12 TL/m ²
	Alt_18	18.90 TL/m ²
Yeşil çatı sistemi uygulaması (ısı yalıtım uygulaması dahil)	Alt_20	28.35 TL/m ²
	Alt_3	-
	Alt_15	99.33 TL/m ²
	Alt_17	103.09 TL/m ²
Toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_19	111.61 TL/m ²
	Alt_21	127.35 TL/m ²
	Alt_22	-
	Alt_23	5.48 TL/m ²
	Alt_3	7.51 TL/m ²
	Alt_24	7.51 TL/m ²
	Alt_25	10.43 TL/m ²
Cam sistemlerinin iyileştirilmesi	Alt_26	12.08 TL/m ²
	Alt_27	11.00 TL/m ²
	Alt_3	25.00 TL/m ²
	Alt_28	36.80 TL/m ²
	Alt_29	41.80 TL/m ²
	Alt_30	36.80 TL/m ²
	Alt_31	41.80 TL/m ²
	Alt_32	40.96 TL/m ²
Alt_33	45.96 TL/m ²	
Güneş kontrol elemanlarının kullanımı	Alt_34	16742.51 TL
PV sistem uygulaması	Alt_35 - Alt_44	3.90 TL/Wp

fiyatlar olup İstanbul ili için, 0.086229200 TL/kWh, Ankara ili için 0.08542300 TL/kWh, Antalya ili için 0.07532002 TL/kWh, Diyarbakır ili için 0.08093036 TL/kWh, Erzurum ili için ise 0.07532001 TL/kWh'tir [310-314].

PV sistemlere ilişkin nihai enerji üretimi

Enerji performans analizleri kapsamında PV*SOL Expert programı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda, PV sistemlere ilişkin belirlenen nihai enerji üretimleri dikkate alınmaktadır.

PV sistemlerden üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti

PV sistemlerden üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti diğer bir deyişle şebekeye satış tarifesi, Türkiye’de güneş enerjisine dayalı elektrik enerjisi üretimine uygulanan 13.3 ct/kWh’tir [315].

Geliştirilen yaklaşım çerçevesinde ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji maliyetleri, eşitlik 4.23’ten yararlanılarak hesaplanmaktadır. Yaşam döngüsü kullanım maliyetinin belirlenmesi için referans konut binasının farklı iklim bölgelerine yönelik olarak hesaplanan kullanım maliyetleri, eşitlik 4.24-4.26’dan yararlanılarak bugünkü değerlerine dönüştürülmektedir.

Farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen kullanım maliyeti değerleri, Çizelge C.6-C.10’da görülmektedir. Referans konut binasının ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin yıllık kullanım maliyetlerindeki değişim, çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.40-C.44).

Yaşam döngüsü maliyetlerinin (YDM) hesaplanması

İyileştirme önlemlerine ilişkin yaşam döngüsü maliyetleri (YDM), ilk yatırım maliyetleri ve yaşam döngüsü kullanım maliyetlerinin bugünkü değerleri dikkate alınarak eşitlik 4.27 yardımı ile hesaplanmaktadır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için belirlenen yaşam döngüsü maliyetleri, Çizelge C.6-C.10’da görülmektedir. Referans konut binasının yaşam döngüsü süresince ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin ilk yatırım maliyetleri, kullanım maliyetleri ve yaşam döngüsü maliyetlerindeki değişim, karşılaştırmalı olarak çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.45-C.49).

İskonto edilmiş geri ödeme sürelerinin hesaplanması

Çalışma kapsamında ele alınan iyileştirme önlemlerinin ekonomik performanslarının değerlendirilmesinde, YDM analizi çerçevesinde tanımlanan veri ve kabullere dayalı iskonto edilmiş geri ödeme süresi yöntemi, ek yöntem olarak kullanılmaktadır. İyileştirme önlemlerine ilişkin iskonto edilmiş geri ödeme süresi (İGS), eşitlik 4.28’den yararlanılarak hesaplanmaktadır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için belirlenen iskonto edilmiş geri ödeme süreleri, Çizelge C.6-C.10’da görülmektedir.

Referans konut binasının ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin ilk yatırım maliyetleri, yıllık kullanım maliyetlerinde sağlanan tasarruf değerleri ve iskonto edilmiş geri ödeme sürelerindeki değişim, karşılaştırmalı olarak çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.50-C.54).

Duyarlılık analizlerinin yapılması

Geliştirilen yaklaşım kapsamında, YDM analizine ilişkin belirsizliklerin değerlendirilmesi ve karar verme sürecinde YDM analizini tamamlamak amacıyla duyarlılık analizi yöntemi kullanılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, ekonomik performans değerlendirmesinde önemli etkiye sahip olan iskonto oranı, enerji fiyatlarının gelişimi, PV sistemlerden üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti (şebekeye satış tarifesi) ve karbon maliyetine (çevre hasarı maliyeti) ilişkin duyarlılık analizleri gerçekleştirilmektedir. Duyarlılık analizlerine ilişkin kabuller, Çizelge 5.8’de belirtilmektedir.

Çizelge 5.8 : Duyarlılık analizlerine ilişkin kabuller.

Kod	Değişken	YDM analizi	Duyarlılık analizi
DA1	Karbon maliyeti	0 TL/tonCO ₂	52.04 TL/tonCO ₂ , 2025’e kadar 91.07 TL/tonCO ₂ , 2030’a kadar 130.01 TL/tonCO ₂ , 2050 ötesi [111]
DA2	İskonto oranı	%6	%3 [111]
DA3	Enerji fiyat geliş. (düşük)	0	%15 [306,307]
DA4	Enerji fiyat geliş. (yüksek)	0	%30 [306,307]
DA5	Enerji fiyat geliş.&iskonto or.	0, %6	%15, %3
DA6	Şebekeye satış tarifesi (düşük)	0.26 TL/kWh	0.52 TL/kWh
DA7	Şebekeye satış tarifesi (yüksek)	0.26 TL/kWh	0.91 TL/kWh

Çizelge 5.8’de girdi verilerine ilişkin tanımlanan farklı değerler çerçevesinde gerçekleştirilen duyarlılık analizleri ile ele alınan iyileştirme önlemlerinin sıralanmasına yönelik herhangi bir koşul oluşturmadan referans konut binasının yaşam döngüsü maliyetinin değişim düzeyi ölçülebilmektedir.

Yapılan duyarlılık analizleri sonucunda ekonomik değişkenlere ilişkin tanımlanan farklı değerlerin referans konut binasının yaşam döngüsü maliyeti üzerindeki etkileri, Çizelge C.6-C10’da görülmektedir. Ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin referans konut binasının yaşam döngüsü maliyetinin ekonomik değişkenlere göre değişimi, karşılaştırmalı olarak çizilen grafikler yardımıyla değerlendirilebilmektedir (Şekil C.55-C.65).

5.2.4 Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından farklı iklim bölgeleri için optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesi ve optimum iyileştirme kombinasyonlarının tanımlanması

Yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesinde farklı iklim bölgelerine uygun olarak tanımlanan iyileştirme önlemleri için ayrı ayrı gerçekleştirilen YDE, YDCO₂ ve YDM analizleri sonucunda elde edilen değerlerden yararlanılmaktadır. Elde edilen analiz sonuçları çerçevesinde, Bölüm 4.2.4'te belirtilen değerlendirme kriteri esas alınarak optimum performans gösteren alternatifler belirlenmektedir. Farklı iklim bölgelerini temsil eden iller için ele alınan iyileştirme önlemlerinin referans konut binasının enerji, ekonomik ve çevresel performansları üzerindeki etkileri, Çizelge C.1-C.10, Şekil C.1-C.70'den yararlanılarak değerlendirilmektedir. Değerlendirme sonucunda, mevcut konut stoğunun yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliğinin artırılmasına yönelik olarak farklı iklim bölgeleri için belirlenen optimum performans gösteren alternatiflerin birlikte ele alındığı optimum iyileştirme kombinasyonları tanımlanmakta ve Çizelge 5.9'da belirtilmektedir.

Çizelge 5.9 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına (K_{opt}) ilişkin veriler.

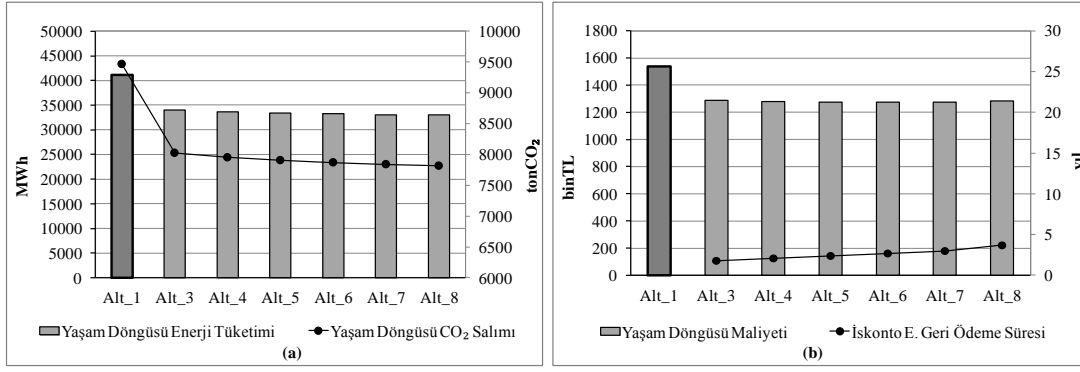
İl	Kod	U_{D1}, U_{D2} (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_{t1}, U_{t2} (W/m ² K)	U_p (W/m ² K)	SHGC	Yeşil çatı sist.	Güneş kont. elem.	PV sist. k. gücü (kWp)
İstanbul	$K_{opt,ist}$	0.28, 0.39	0.37	0.51,1.56	1.50	0.44	-	mevcut	29.26
Ankara	$K_{opt,ank}$	0.20, 0.25	0.30	0.51,1.56	1.50	0.44	-	-	29.26
Antalya	$K_{opt,ant}$	0.34, 0.49	0.41	0.51,1.56	1.50	0.30	-	mevcut	29.83
Diyarbakır	$K_{opt,diy}$	0.34, 0.49	0.37	0.51,1.56	1.50	0.44	-	mevcut	30.78
Erzurum	$K_{opt,erz}$	0.20, 0.25	0.21	0.51,1.56	1.50	0.51	-	-	29.64

Farklı iklim bölgeleri için optimum iyileştirme kombinasyonları kapsamında dikkate alınan optimum performans gösteren alternatifler, aşağıda açıklanmaktadır.

Ilımlı nemli iklim bölgesi-İstanbul

Ilımlı nemli iklim bölgesi temsili ili İstanbul için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin optimum performans gösteren alternatifler, aşağıda açıklanmaktadır.

Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, İstanbul ili için optimum performans gösteren alternatif, 8 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.28 W/m²K ve U_{D2} : 0.39 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_6 alternatifidir (Şekil 5.4).



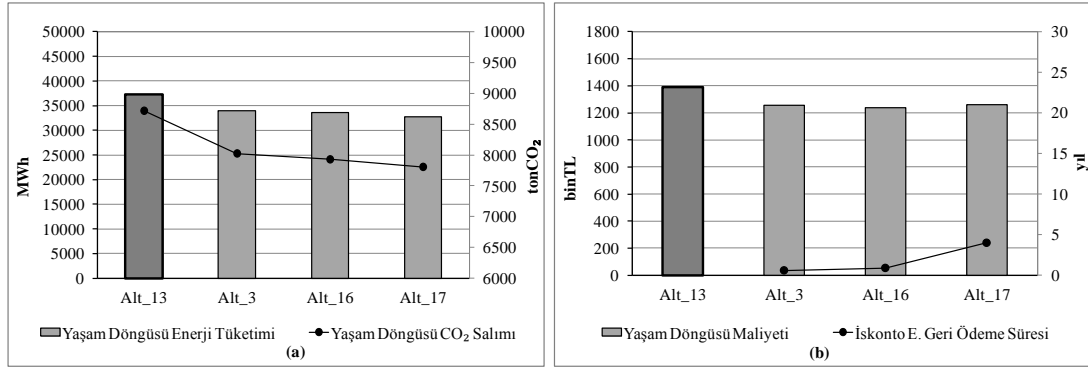
Şekil 5.4 : İstanbul ili için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_6 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_1) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %3 ve %1 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %32, yıllık kullanım enerjisinde %24, yıllık kullanım karbonunda %23, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %19 ve %17 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_6 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 36.32, enerji geri ödeme süresi 0.8 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 67.87 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 0.4 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_6 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_1) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %22, yaşam döngüsü maliyetinde ise %17 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_6 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 23,086.56 TL'lik tasarruf değeri ile 2.7 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları irdelendiğinde, DA1 (karbon maliyeti) ve DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizleri için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatifin, 9 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.26 W/m²K ve U_{D2} : 0.35 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_7 alternatifi olduğunu söylemek mümkündür. Diğer taraftan, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, optimum performans gösteren alternatif ise, 10 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.24 W/m²K ve U_{D2} : 0.32 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_8 alternatifidir.

Çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulaması çerçevesinde, İstanbul ili için optimum performans gösteren alternatif, 8 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_T : 0.37 W/m²K değerinin elde edildiği Alt_16 alternatifidir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : İstanbul ili için çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

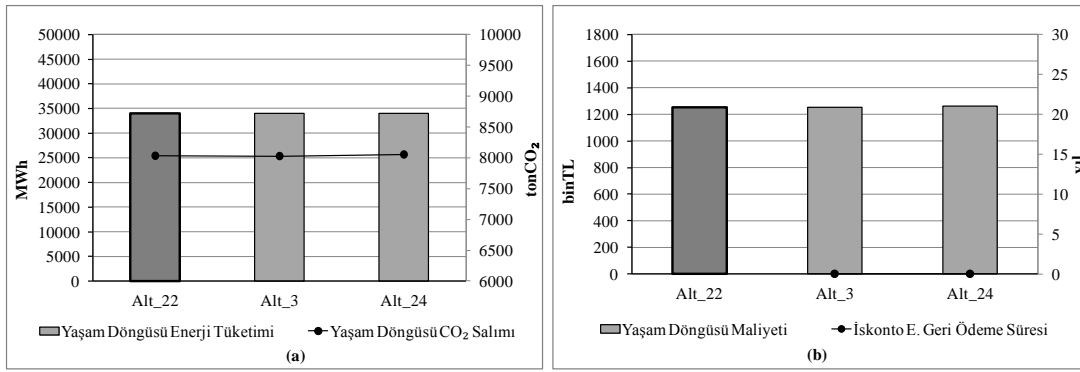
YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_16 alternatifi ile çatı bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_13) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %7 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %19, yıllık kullanım enerjisinde %14, yıllık kullanım karbonunda %13, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %10 ve %9 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_16 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 9.03, enerji geri ödeme süresi 3.3 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 15.96 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.9 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_16 alternatifi ile çatı bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_13) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %12, yaşam döngüsü maliyetinde ise %11 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_16 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 11,953.04 TL'lik tasarruf değeri ile 0.9 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları irdelendiğinde, çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif, DA1 (karbon maliyeti) ve DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizleri için değişmemekte olup Alt_16 alternatifidir. Diğer taraftan, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, optimum performans gösteren alternatifin, 8 cm ısı yalıtım kalınlığı

ve yeşil çatı sisteminin uygulandığı ve U_T : $0.31 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerlerinin elde edildiği Alt_17 alternatifi olduğunu söylemek mümkündür.

Toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, İstanbul ili için ele alınan alternatiflerin referans konut binasının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performansları üzerindeki etki düzeyleri, toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı duruma (Alt_22) kıyasla, çok düşük olmakla birlikte etkin sonucun, 4 cm ısı yalıtım kalınlığının irdelendiği Alt_3 alternatifi (U_{T1} : $0.51 \text{ W/m}^2\text{K}$, U_{T2} : $1.56 \text{ W/m}^2\text{K}$) ile elde edildiğini söylemek mümkündür (Şekil 5.6).

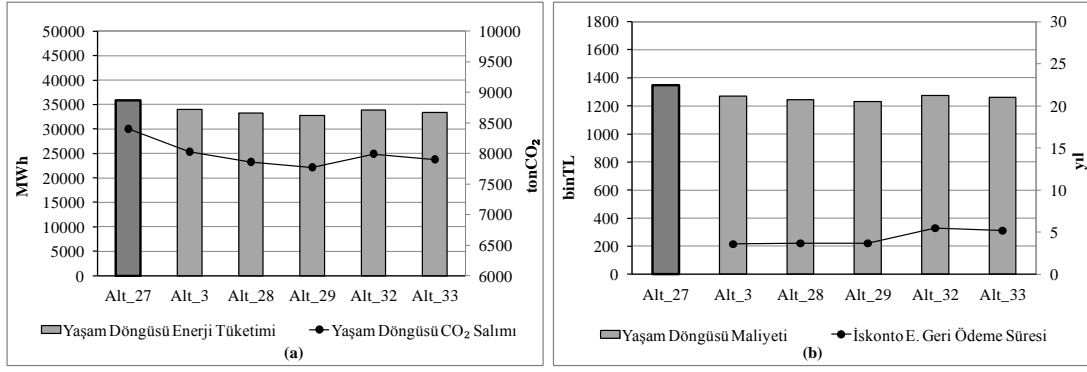


Şekil 5.6 : İstanbul ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, İstanbul ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_3 alternatifidir.

Cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde, İstanbul ili için optimum performans gösteren alternatif, ısı kontrol kaplamalı (e2:0.04, ara boşluk gazı argon) çift cam sisteminin irdelendiği ve saydam bileşenlerde U_p : $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve SHGC: 0.44 değerlerinin elde edildiği Alt_29 alternatifidir (Şekil 5.7).

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_29 alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (Alt_27) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %5 ve %4 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %15, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %12, yaşam



Şekil 5.7 : İstanbul ili için cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

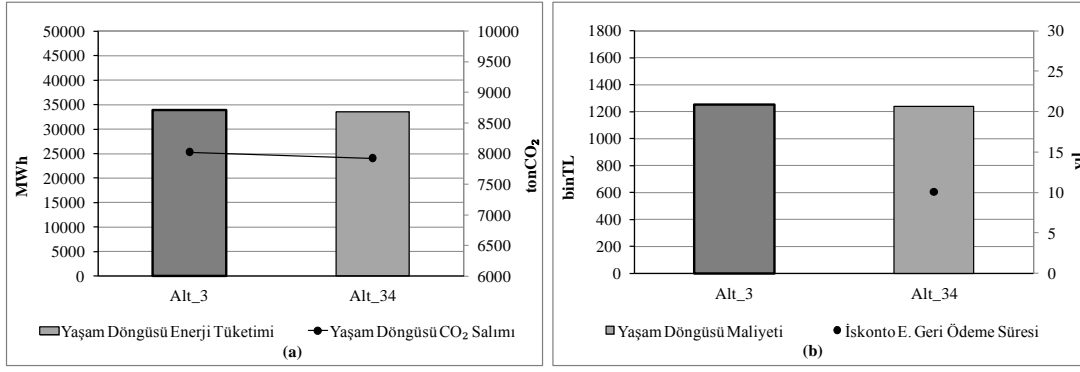
döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %9 ve %8 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_29 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 9.76, enerji geri ödeme süresi 3.1 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 9.18 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 3.3 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_29 alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (Alt_27) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %11, yaşam döngüsü maliyetinde ise %9 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_29 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 10,437.69 TL'lik tasarruf değeri ile 3.7 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde İstanbul ili için optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_29 alternatiftir.

Güneş kontrol elemanlarının kullanımı çerçevesinde, referans konut binasının güney, doğu ve batı cephelerinde dış jaluzi sisteminin tanımlandığı Alt_34 alternatifi ile İstanbul ili için referans konut binasının enerji, ekonomik ve çevresel performansı üzerinde düşük bir azalma sağlanmakla birlikte değerlendirme kriteri sağlanmıştır (Şekil 5.8).

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_34 alternatifi ile güneş kontrol elemanının mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %2 ve %1 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %1, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %2,

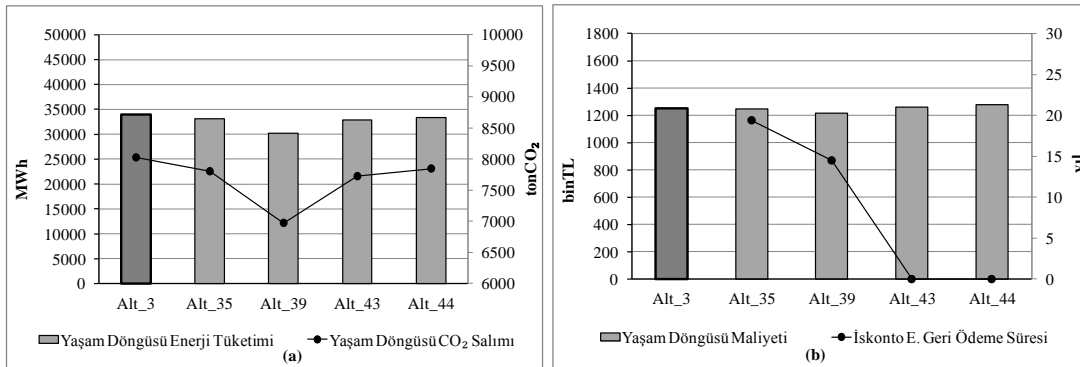


Şekil 5.8 : İstanbul ili için güneş kontrol elemanlarının kullanımına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise %1 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_34 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 3.40, enerji geri ödeme süresi 8.8 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 4.26 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 7.0 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_34 alternatifi ile güneş kontrol elemanının mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %3, yaşam döngüsü maliyetinde ise %1 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_34 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 2,261.87 TL'lik tasarruf değeri ile 10.01 yılda geri ödenebilmektedir.

Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması çerçevesinde, İstanbul ili için optimum performans gösteren alternatifin, 29.26 kWp kurulu güce sahip çatı PV sisteminin irdelendiği Alt_39 alternatifinin olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 : İstanbul ili için PV sistem uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_39 alternatifi ile PV sistemin mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon

değerlerinde sırasıyla %3 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %7, yıllık kullanım enerjisinde %17, yıllık kullanım karbonunda %22, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %11 ve %13 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_39 alternatifine ilişkin enerji kapsama faktörü %25, enerji geri ödeme oranı 16.71, enerji geri ödeme süresi 5.2 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 24.03 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 0.9 yıldır.

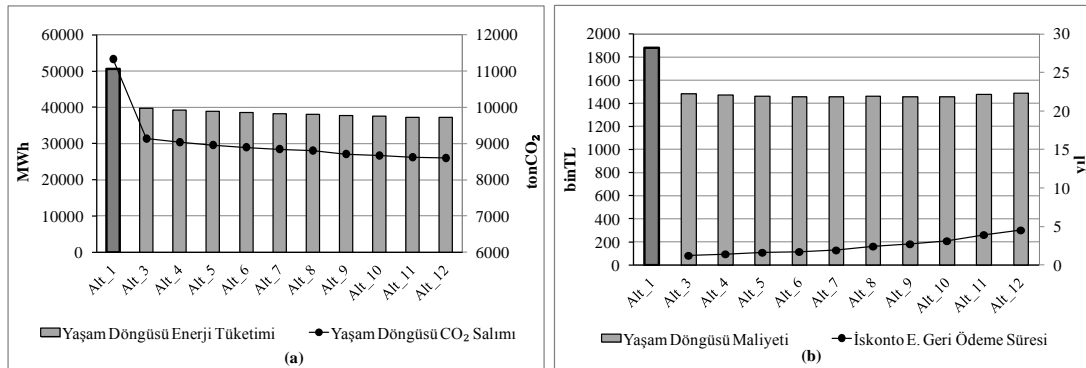
YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_39 alternatifi ile PV sistemin mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %13, yaşam döngüsü maliyetinde ise %3 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_39 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 12,029.46 TL'lik tasarruf değeri ile 14.5 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, PV sistem uygulaması çerçevesinde İstanbul ili için optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_39 alternatiftir.

Ilımlı kuru iklim bölgesi-Ankara

Ilımlı kuru iklim bölgesi temsili ili Ankara için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin optimum performans gösteren alternatifler, aşağıda açıklanmaktadır.

Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, Ankara ili için optimum performans gösteren alternatif, 13 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1}: 0.20 W/m²K ve U_{D2}: 0.25 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_9 alternatiftir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 : Ankara ili için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

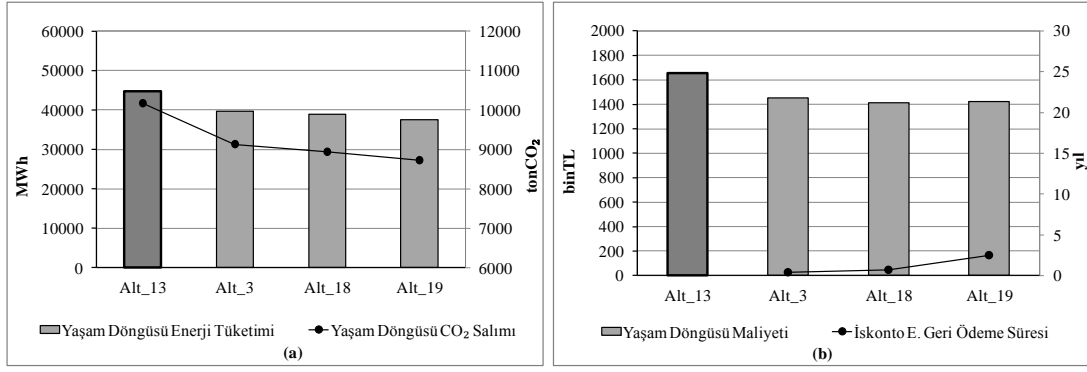
YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_9 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_1) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %5 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %37, yıllık kullanım enerjisinde %31, yıllık kullanım karbonunda %30, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %26 ve %23 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_9 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 36.63, enerji geri ödeme süresi 0.8 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 68.63 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 0.4 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_9 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_1) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %28, yaşam döngüsü maliyetinde ise %23 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_9 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 37,675.50 TL'lik tasarruf değeri ile 2.7 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları irdelendiğinde, dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif, DA1 (karbon maliyeti) ve DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizleri için değişmemekte olup Alt_9 alternatifidir. Diğer taraftan, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, optimum performans gösteren alternatifin, 20 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1}:0.14 W/m²K ve U_{D2}: 0.17 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_12 alternatifi olduğunu söylemek mümkündür.

Çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulaması çerçevesinde, Ankara ili için optimum performans gösteren alternatif, 10 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_T: 0.30 W/m²K değerinin elde edildiği Alt_18 alternatifidir (Şekil 5.11).

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_18 alternatifi ile çatı bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_13) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %8 ve %3 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %22, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %17, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise



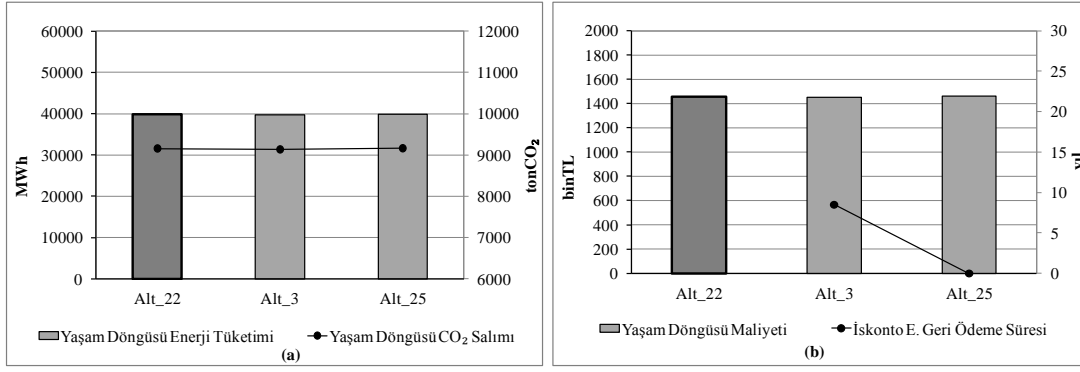
Şekil 5.11 : Ankara ili için çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

sırasıyla %13 ve %12 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_18 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 11.13, enerji geri ödeme süresi 2.7 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 19.77 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.5 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_18 alternatifi ile çatı bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_13) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyeti ve yaşam döngüsü maliyetinde %15 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_18 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 18,357.97 TL'lik tasarruf değeri ile 0.7 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları irdelendiğinde, çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif, DA1 (karbon maliyeti) duyarlılık analizi için değişmemekte olup Alt_18 alternatifidir. Diğer taraftan, DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, optimum performans gösteren alternatifin, 10 cm ısı yalıtım kalınlığı ve yeşil çatı sisteminin uygulandığı ve U_T : 0.26 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_19 alternatifi olduğunu söylemek mümkündür.

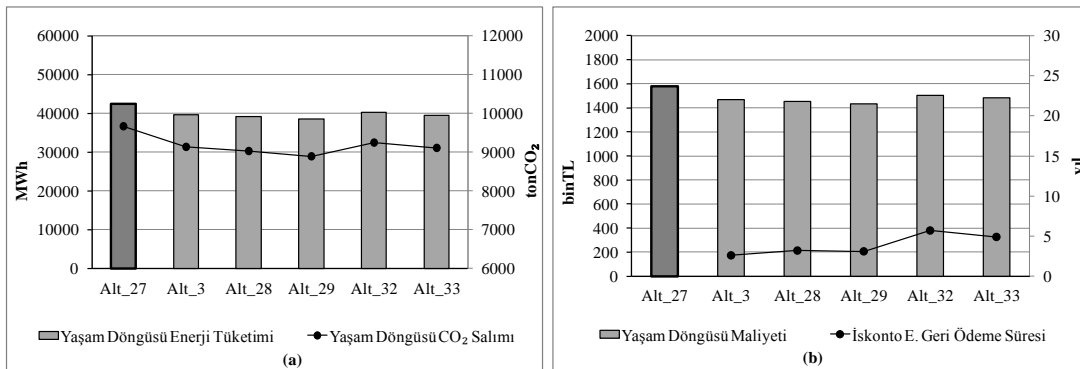
Toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, Ankara ili için ele alınan alternatiflerin referans konut binasının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performansları üzerindeki etki düzeyleri, toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı duruma (Alt_22) kıyasla, çok düşük olmakla birlikte etkin sonucun, 4 cm ısı yalıtım kalınlığının irdelendiği Alt_3 alternatifi (U_{t1} : 0.51 W/m²K, U_{t2} : 1.56 W/m²K) ile elde edildiğini söylemek mümkündür (Şekil5.12).



Şekil 5.12 : Ankara ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, Ankara ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_3 alternatiftir.

Cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde, Ankara ili için optimum performans gösteren alternatif, ısı kontrol kaplamalı (e2:0.04, ara boşluk gazı argon) çift cam sisteminin irdelendiği ve saydam bileşenlerde U_p : 1.5 W/m²K ve SHGC: 0.44 değerlerinin elde edildiği Alt_29 alternatiftir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 : Ankara ili için cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

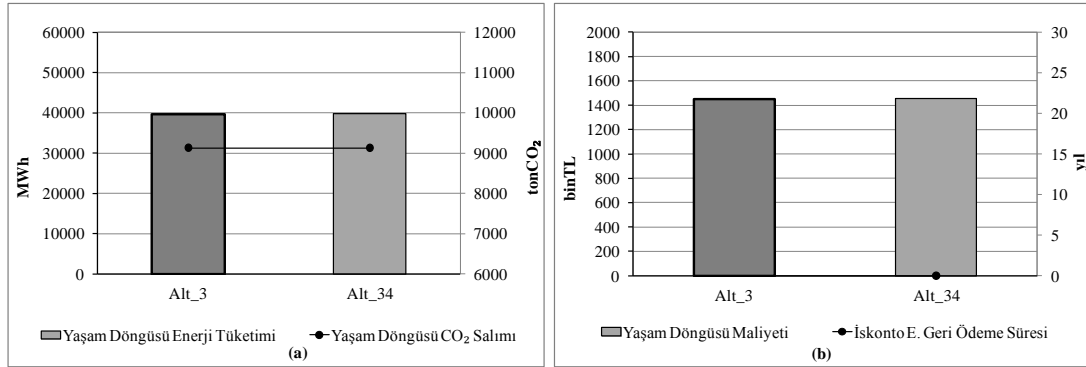
YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_29 alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (Alt_27) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %5 ve %4 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %15, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %12, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %9 ve %8 oranında azalma

sağlandığı görülmektedir. Alt_29 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 11.99, enerji geri ödeme süresi 2.5 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 11.10 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 2.7 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_29 alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (Alt_27) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %11, yaşam döngüsü maliyetinde ise %9 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_29 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 12,239.68 TL'lik tasarruf değeri ile 3.1 yılda geri ödenebilmektedir.

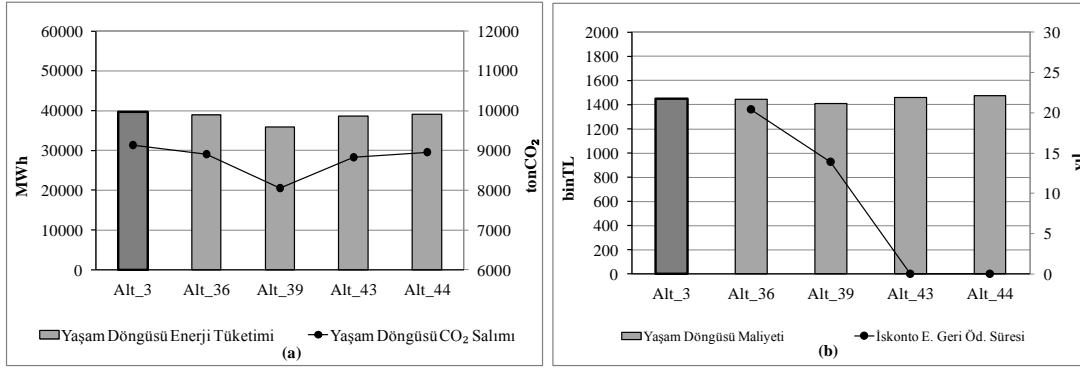
YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde Ankara ili için optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_29 alternatiftir.

Güneş kontrol elemanlarının kullanımı çerçevesinde, referans konut binasının güney, doğu ve batı cephelerinde dış jaluzi sisteminin tanımlandığı Alt_34 alternatifi ile Ankara ili için referans konut binasının enerji, ekonomik ve çevresel performansı üzerinde önemli bir değişim görülmemekle birlikte değerlendirme kriteri sağlanamamıştır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 : Ankara ili için güneş kontrol elemanlarının kullanımına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması çerçevesinde, Ankara ili için optimum performans gösteren alternatifin, 29.26 kWp kurulu güce sahip çatı PV sisteminin irdelendiği Alt_39 alternatifinin olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 : Ankara ili için PV sistem uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_39 alternatifi ile PV sistemin mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %3 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %6, yıllık kullanım enerjisinde %14, yıllık kullanım karbonunda %19, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %10 ve %12 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_39 alternatifine ilişkin enerji kapsama faktörü %29, enerji geri ödeme oranı 17.16, enerji geri ödeme süresi 5.0 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 24.68 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 0.9 yıldır.

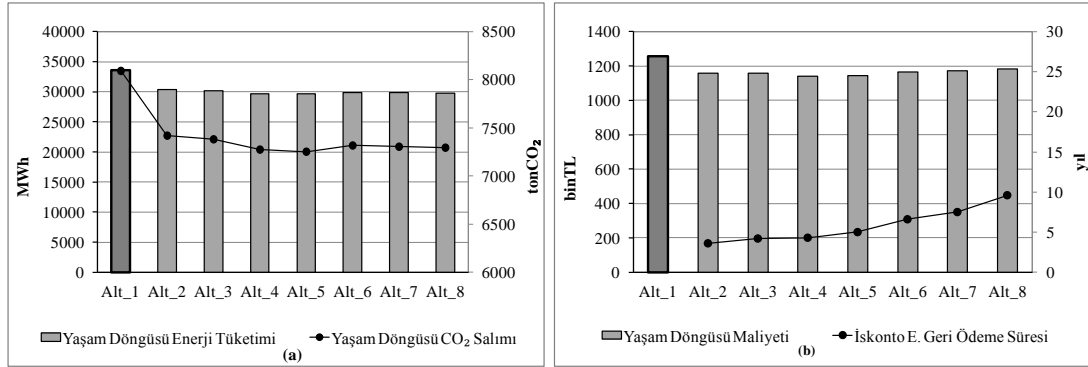
YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_39 alternatifi ile PV sistemin mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %12, yaşam döngüsü maliyetinde ise %3 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_39 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 12,355.75 TL'lik tasarruf değeri ile 13.9 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, PV sistem uygulaması çerçevesinde Ankara ili için optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_39 alternatifidir.

Sıcak nemli iklim bölgesi-Antalya

Sıcak nemli iklim bölgesi temsili ili Antalya için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin optimum performans gösteren alternatifler, aşağıda açıklanmaktadır.

Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, Antalya ili için optimum performans gösteren alternatif, 6 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.34 W/m²K ve U_{D2} : 0.49 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_4 alternatifidir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 : Antalya ili için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

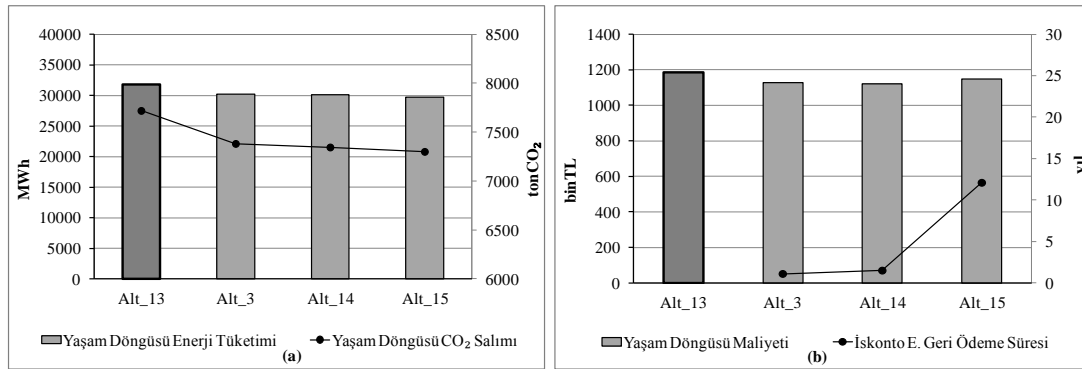
YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_4 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_1) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %2 ve %1 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %22, yıllık kullanım enerjisinde %16, yıllık kullanım karbonunda %15, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %12 ve %10 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_4 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 24.03, enerji geri ödeme süresi 1.2 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 46.70 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 0.6 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_4 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_1) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %13, yaşam döngüsü maliyetinde ise %9 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_4 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 11,377.74 TL'lik tasarruf değeri ile 4.3 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları irdelendiğinde, dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif, DA1 (karbon maliyeti) ve DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizleri için değişmemekte olup Alt_4 alternatifidir. Diğer taraftan, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, optimum

performans gösteren alternatifin, 7 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve $U_{D1}:0.31 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $U_{D2}: 0.43 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerlerinin elde edildiği Alt_5 alternatifi olduğunu söylemek mümkündür.

Çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulaması çerçevesinde, Antalya ili için optimum performans gösteren alternatif, 7 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve $U_T: 0.41 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerinin elde edildiği Alt_14 alternatifidir (Şekil 5.17).



Şekil 5.17 : Antalya ili için çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

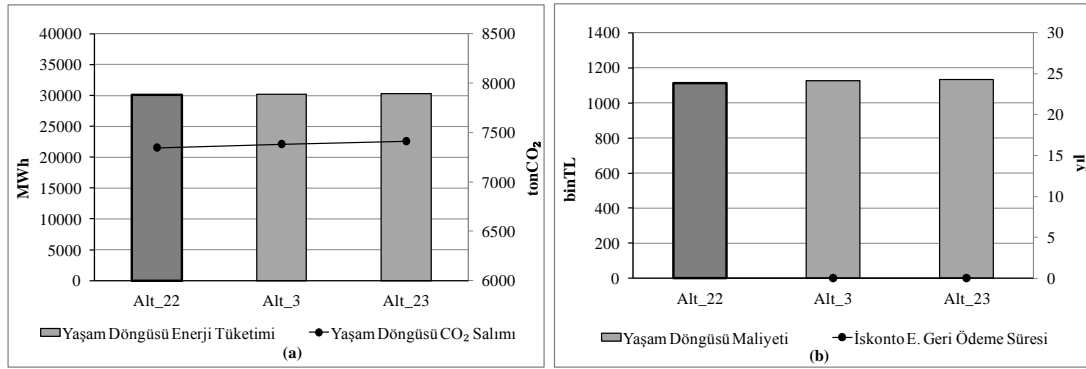
YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_14 alternatifi ile çatı bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_13) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %6 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %14, yıllık kullanım enerjisinde %9, yıllık kullanım karbonunda %8, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise %5 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_14 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 5.10, enerji geri ödeme süresi 5.9 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 9.09 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 3.3 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_14 alternatifi ile çatı bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_13) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyeti ve yaşam döngüsü maliyetinde %6 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_14 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 5,298.37 TL'lik tasarruf değeri ile 1.5 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları irdelendiğinde, çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif, DA1 (karbon maliyeti) ve DA2

(iskonto oranı) duyarlılık analizleri için değişmemekte olup Alt_14 alternatifidir. Diğer taraftan, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, optimum performans gösteren alternatifin, 7 cm ısı yalıtım kalınlığı ve yeşil çatı sisteminin uygulandığı ve U_T : 0.35 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_15 alternatifi olduğunu söylemek mümkündür.

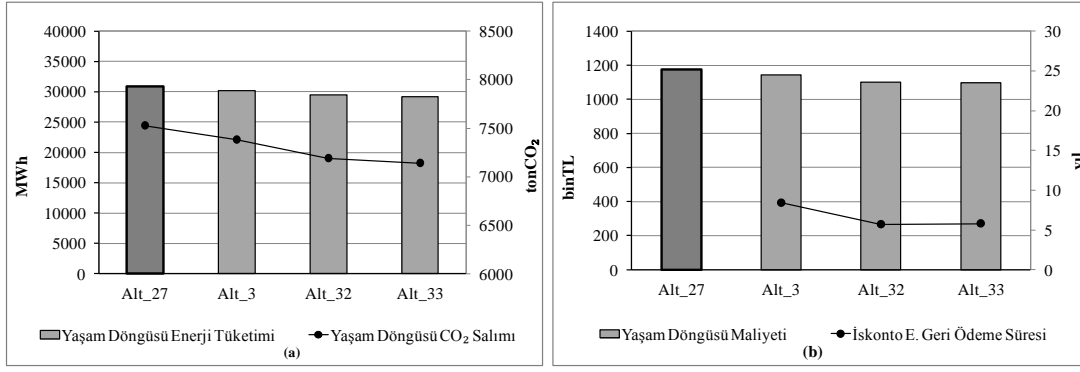
Toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, Antalya ili için ele alınan alternatiflerin referans konut binasının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performansları üzerindeki etki düzeyleri, toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı duruma (Alt_22) kıyasla, çok düşük olmakla birlikte etkin sonucun, 4 cm ısı yalıtım kalınlığının irdelendiği Alt_3 alternatifi (U_{T1} : 0.51 W/m²K, U_{T2} : 1.56 W/m²K) ile elde edildiğini söylemek mümkündür (Şekil5.18).



Şekil 5.18 : Antalya ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, Antalya ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_3 alternatifidir.

Cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde, Antalya ili için optimum performans gösteren alternatif, ısı ve güneş kontrol kaplamalı (e2:0.02, ara boşluk gazı argon) çift cam sisteminin irdelendiği ve saydam bileşenlerde U_p : 1.5 W/m²K ve SHGC:0.30 değerlerinin elde edildiği Alt_33 alternatifidir (Şekil 5.19).



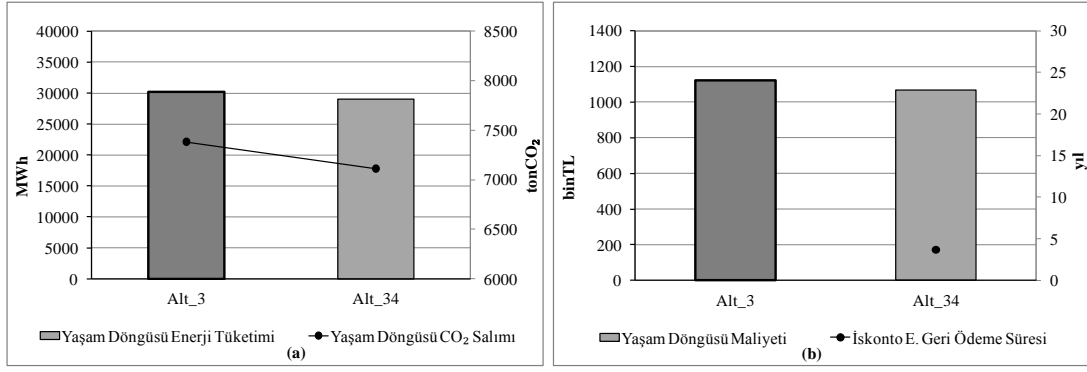
Şekil 5.19 : Antalya ili için cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_33 alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (Alt_27) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %5 ve %4 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %8, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %9, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %6 ve %5 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_33 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 5.76, enerji geri ödeme süresi 5.2 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 6.03 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 5.0 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_33 alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (Alt_27) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %9, yaşam döngüsü maliyetinde ise %7 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_33 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 7,651.47 TL'lik tasarruf değeri ile 5.8 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde Antalya ili için optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_33 alternatiftir.

Güneş kontrol elemanlarının kullanımı çerçevesinde, referans konut binasının güney, doğu ve batı cephelerinde dış jaluzi sisteminin tanımlandığı Alt_34 alternatifi ile Antalya ili için değerlendirme kriteri sağlanmıştır (Şekil 5.20).



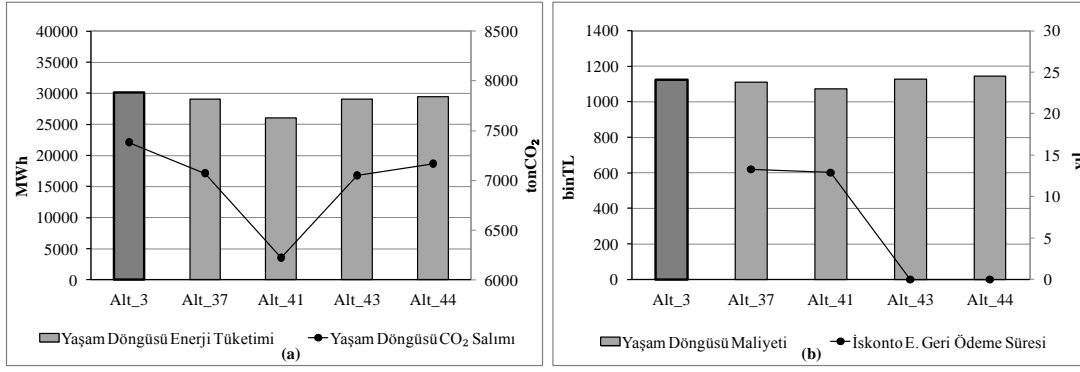
Şekil 5.20 : Antalya ili için güneş kontrol elemanlarının kullanımına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_34 alternatifi ile güneş kontrol elemanının mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %2 ve %1 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %4, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %6, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise %4 oranlarında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_34 alternatifi ile ilgili enerji geri ödeme oranı 7.83, enerji geri ödeme süresi 3.8 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 9.80 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 3.1 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_34 alternatifi ile güneş kontrol elemanının mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %6, yaşam döngüsü maliyetinde ise %5 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_34 alternatifi ile ilgili ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 5,206.91 TL'lik tasarruf değeri ile 3.7 yılda geri ödenebilmektedir.

Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması çerçevesinde, Antalya ili için optimum performans gösteren alternatifi, 29.83 kWp kurulu güce sahip çatı PV sisteminin irdelendiği Alt_41 alternatifi olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 5.21).

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_41 alternatifi ile PV sisteminin mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %3 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %12, yıllık kullanım enerjisinde %22, yıllık kullanım karbonunda %27, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %14 ve %16 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_41 alternatifi ile ilgili enerji kapsama faktörü



Şekil 5.21 : Antalya ili için PV sistem uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

%22, enerji geri ödeme oranı 18.03, enerji geri ödeme süresi 4.8 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 25.92 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.0 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_41 alternatifi ile PV sistemin mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %16, yaşam döngüsü maliyetinde ise %4 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_41 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 13,230.96 TL'lik tasarruf değeri ile 12.9 yılda geri ödenebilmektedir.

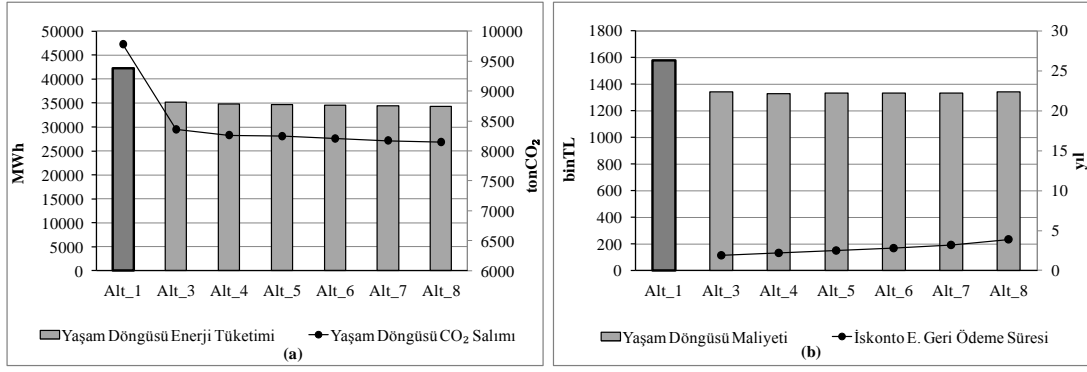
YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, PV sistem uygulaması çerçevesinde Antalya ili için optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_41 alternatifidir.

Sıcak kuru iklim bölgesi-Diyarbakır

Sıcak kuru iklim bölgesi temsili ili Diyarbakır için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin optimum performans gösteren alternatifler, aşağıda açıklanmaktadır.

Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, Diyarbakır ili için optimum performans gösteren alternatif, 6 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.34 W/m²K ve U_{D2} : 0.49 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_4 alternatifidir (Şekil 5.22).

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_4 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_1) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %2 ve %1 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %28, yıllık kullanım

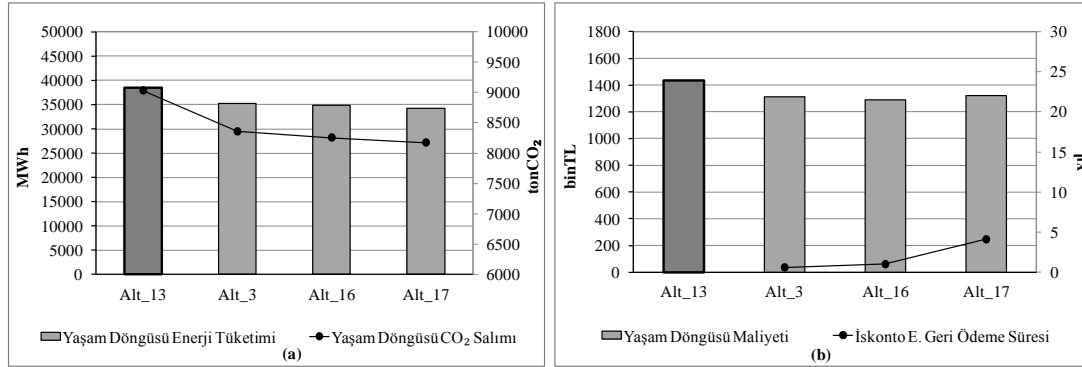


Şekil 5.22 : Diyarbakır ili için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

enerjisinde %22, yıllık kullanım karbonunda %21, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %18 ve %16 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_4 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 45.01, enerji geri ödeme süresi 0.7 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 85.84 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 0.3 yıldır. YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_4 alternatifini ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_1) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %19, yaşam döngüsü maliyetinde ise %16 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_4 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 21,276.06 TL'lik tasarruf değeri ile 2.2 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları irdelendiğinde, dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif, DA1 (karbon maliyeti) duyarlılık analizi için değişmemekte olup Alt_4 alternatifidir. Diğer taraftan, DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizi için optimum performans gösteren alternatif, 9 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.26 W/m²K ve U_{D2} : 0.35 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_7 alternatifidir. DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre ise, optimum performans gösteren alternatifin, 10 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.24 W/m²K ve U_{D2} : 0.32 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_8 alternatifini olduğunu söylemek mümkündür.

Çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulaması çerçevesinde, Diyarbakır ili için optimum performans gösteren alternatif, 8 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_T : 0.37 W/m²K değerinin elde edildiği Alt_16 alternatiftir (Şekil 5.23).



Şekil 5.23 : Diyarbakır ili için çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

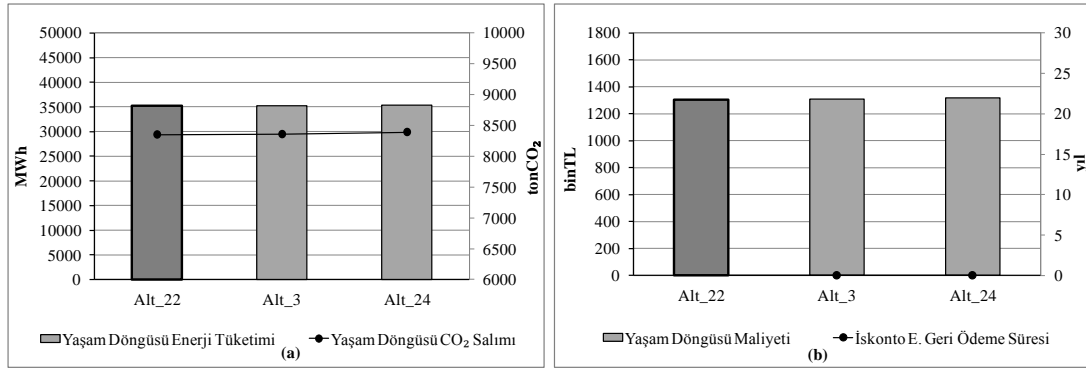
YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_16 alternatifi ile çatı bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_13) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %7 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %19, yıllık kullanım enerjisinde %13, yıllık kullanım karbonunda %12, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %10 ve %9 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_16 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 8.86, enerji geri ödeme süresi 3.4 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 15.73 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.9 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_16 alternatifi ile çatı bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_13) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %11, yaşam döngüsü maliyetinde ise %10 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_16 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 11,111.19 TL'lik tasarruf değeri ile 1.0 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları irdelendiğinde, çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif, DA1 (karbon maliyeti) ve DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizleri için değişmemekte olup Alt_16 alternatiftir. Diğer taraftan, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin

sonuçlarına göre, optimum performans gösteren alternatifin, 8 cm ısı yalıtım kalınlığı ve yeşil çatı sisteminin uygulandığı ve U_T : 0.31 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_17 alternatifi olduğunu söylemek mümkündür.

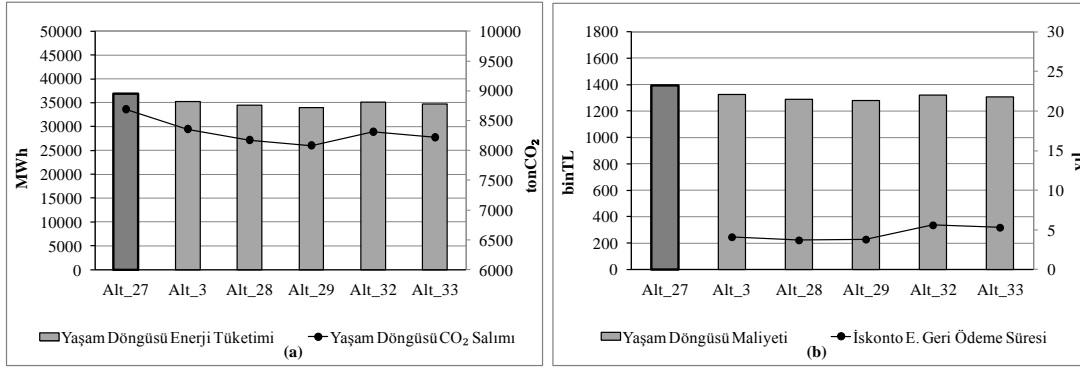
Toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, Diyarbakır ili için ele alınan alternatiflerin referans konut binasının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performansları üzerindeki etki düzeyleri, toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı duruma (Alt_22) kıyasla, çok düşük olmakla birlikte etkin sonucun, 4 cm ısı yalıtım kalınlığının irdelendiği Alt_3 alternatifi (U_{t1} : 0.51 W/m²K, U_{t2} : 1.56 W/m²K) ile elde edildiğini söylemek mümkündür (Şekil5.24).



Şekil 5.24 : Diyarbakır ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, Diyarbakır ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_3 alternatiftir.

Cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde, Diyarbakır ili için optimum performans gösteren alternatif, ısı kontrol kaplamalı (e2:0.04, ara boşluk gazı argon) çift cam sisteminin irdelendiği ve saydam bileşenlerde U_p : 1.5 W/m²K ve SHGC:0.44 değerlerinin elde edildiği Alt_29 alternatiftir (Şekil 5.25).



Şekil 5.25 : Diyarbakır ili için cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

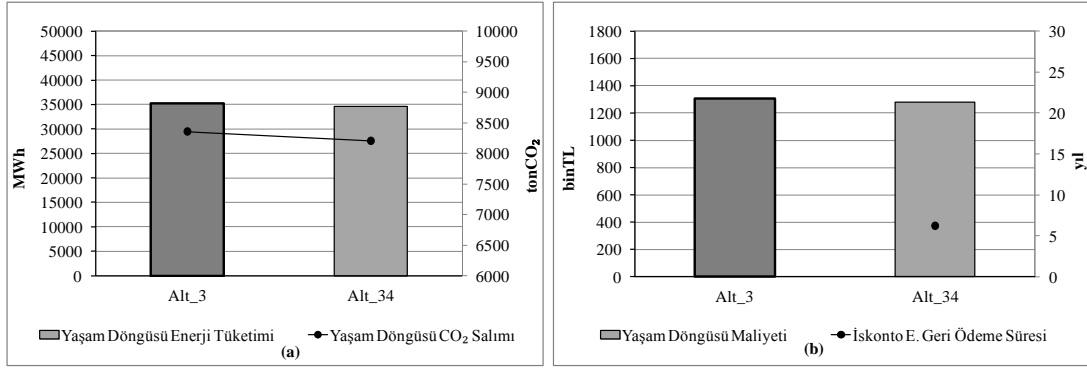
YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_29 alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (Alt_27) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %5 ve %4 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %12, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %11, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %8 ve %7 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_29 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 9.09, enerji geri ödeme süresi 3.3 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 8.88 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 3.4 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_29 alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (Alt_27) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %10, yaşam döngüsü maliyetinde ise %8 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_29 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 10,238.87 TL'lik tasarruf değeri ile 3.8 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde Diyarbakır ili için optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_29 alternatiftir.

Güneş kontrol elemanlarının kullanımı çerçevesinde, referans konut binasının güney, doğu ve batı cephelerinde dış jaluzi sisteminin tanımlandığı Alt_34 alternatifi ile Diyarbakır ili için değerlendirme kriteri sağlanmıştır (Şekil 5.26).

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_34 alternatifi ile güneş kontrol elemanının mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve

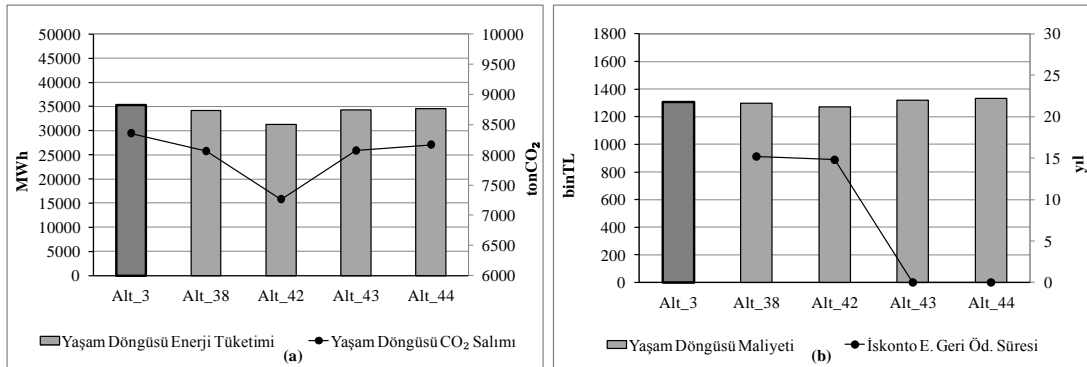


Şekil 5.26 : Diyarbakır ili için güneş kontrol elemanlarının kullanımına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %2 ve %1 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %1, yıllık kullanım enerjisinde ve kullanım karbonunda %3, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise %2 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_34 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 4.61, enerji geri ödeme süresi 6.5 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 5.97 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 5.0 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_34 alternatifi ile güneş kontrol elemanının mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %4, yaşam döngüsü maliyetinde ise %2 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_34 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 3,311.72 TL'lik tasarruf değeri ile 6.2 yılda geri ödenebilmektedir.

Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması çerçevesinde, Diyarbakır ili için optimum performans gösteren alternatifi, 30.78 kWp kurulu güce sahip çatı PV sisteminin irdelendiği Alt_42 alternatifinin olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 5.27).



Şekil 5.27 : Diyarbakır ili için PV sistem uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_42 alternatifi ile PV sistemin mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %3 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %8, yıllık kullanım enerjisinde %17, yıllık kullanım karbonunda %21, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %11 ve %13 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_42 alternatifine ilişkin enerji kapsama faktörü %22, enerji geri ödeme oranı 16.50, enerji geri ödeme süresi 5.2 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 23.73 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 0.9 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_42 alternatifi ile PV sistemin mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %13, yaşam döngüsü maliyetinde ise %3 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_42 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 12,494.83 TL'lik tasarruf değeri ile 14.8 yılda geri ödenebilmektedir.

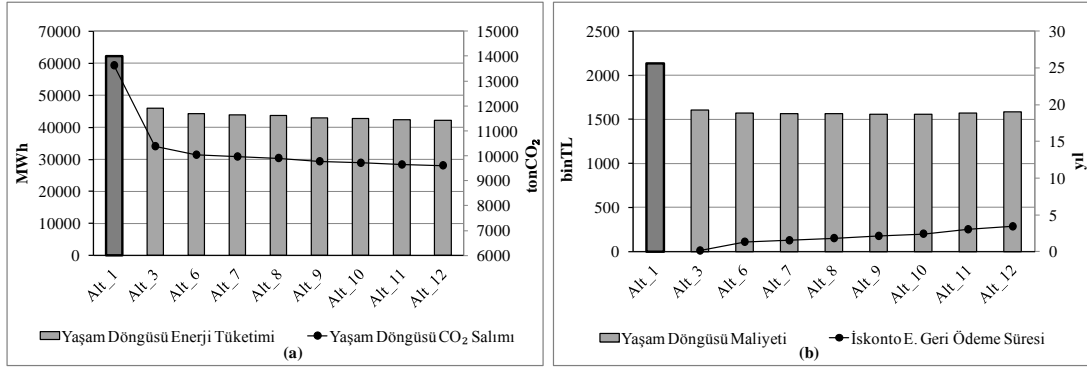
YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, PV sistem uygulaması çerçevesinde Diyarbakır ili için optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_42 alternatifidir.

Soğuk iklim bölgesi-Erzurum

Soğuk iklim bölgesi temsili ili Erzurum için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin optimum performans gösteren alternatifler, aşağıda açıklanmaktadır.

Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, Erzurum ili için optimum performans gösteren alternatif, 13 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1}: 0.20 W/m²K ve U_{D2}: 0.25 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_9 alternatifidir (Şekil 5.28).

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_9 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_1) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %5 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %41, yıllık kullanım enerjisinde %36, yıllık kullanım karbonunda %34, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %31 ve %28 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_9 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 53.48, enerji geri ödeme süresi 0.6



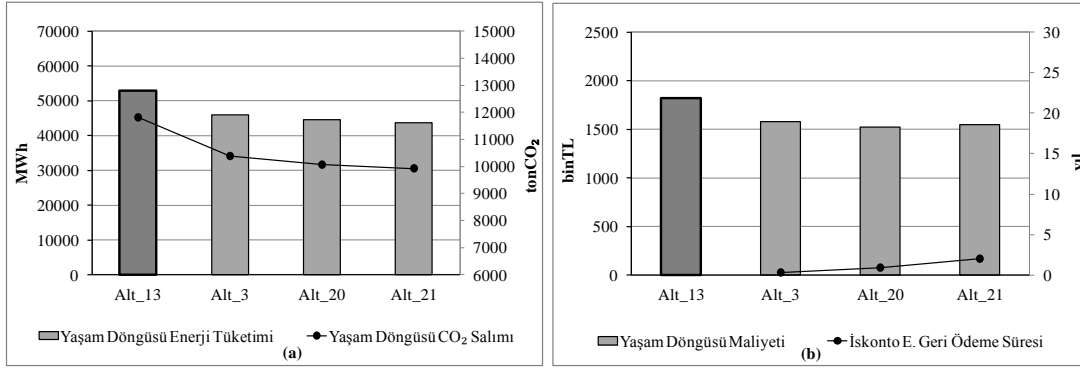
Şekil 5.28 : Erzurum ili için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 100.31 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 0.3 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_9 alternatifi ile dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_1) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %31, yaşam döngüsü maliyetinde ise %27 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_9 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 48,498.00 TL'lik tasarruf değeri ile 2.1 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları irdelendiğinde, DA1 (karbon maliyeti) ve DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizleri için dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatifin, 15 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.18 W/m²K ve U_{D2} : 0.22 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_10 alternatifi olduğunu söylemek mümkündür. Diğer taraftan, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, optimum performans gösteren alternatif ise, 20 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.14 W/m²K ve U_{D2} : 0.17 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_12 alternatifidir.

Çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulaması çerçevesinde, Erzurum ili için optimum performans gösteren alternatif, 15 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_T : 0.21 W/m²K değerinin elde edildiği Alt_20 alternatifidir (Şekil 5.29).



Şekil 5.29 : Erzurum ili için çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

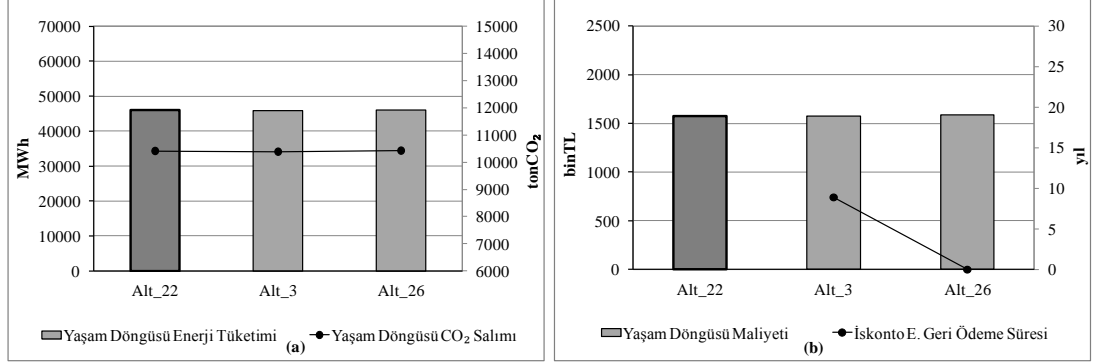
YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_20 alternatifi ile çatı bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_13) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %12 ve %4 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %24, yıllık kullanım enerjisinde %20, yıllık kullanım karbonunda %19, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %16 ve %15 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_20 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 10.53, enerji geri ödeme süresi 2.8 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 18.78 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.6 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_20 alternatifi ile çatı bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı durum (Alt_13) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %17, yaşam döngüsü maliyetinde ise %16 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_20 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 22,899.87 TL'lik tasarruf değeri ile 0.9 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları irdelendiğinde, çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif, DA1 (karbon maliyeti) ve DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizleri için değişmemekte olup Alt_20 alternatifidir. Diğer taraftan, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, optimum performans gösteren alternatifin, 15 cm ısı yalıtım kalınlığı ve yeşil çatı sisteminin uygulandığı ve U_T: 0.19 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_21 alternatifi olduğunu söylemek mümkündür.

Toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, Erzurum ili için ele alınan alternatiflerin referans konut binasının yaşam döngüsü

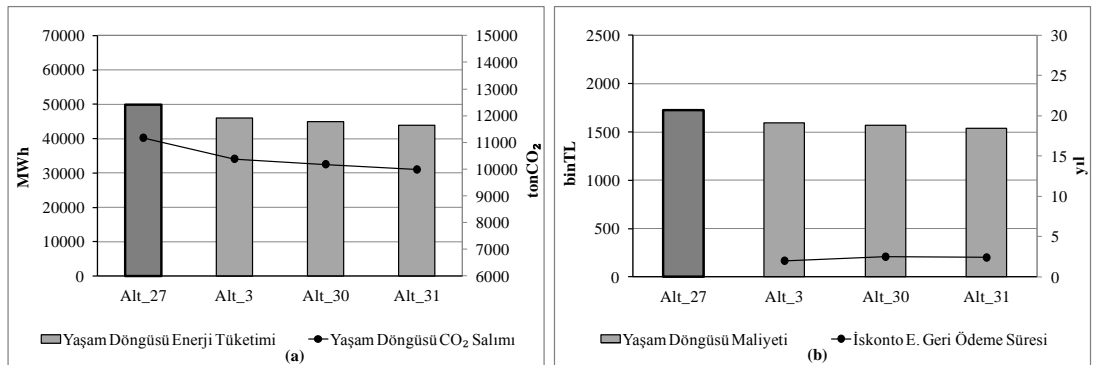
enerji, ekonomik ve çevresel performansları üzerindeki etki düzeyleri, toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım katmanının mevcut olmadığı duruma (Alt_22) kıyasla, çok düşük olmakla birlikte etkin sonucun, 4 cm ısı yalıtım kalınlığının irdelendiği Alt_3 alternatifi (U_{t1} : 0.51 W/m²K, U_{t2} : 1.56 W/m²K) ile elde edildiğini söylemek mümkündür (Şekil5.30).



Şekil 5.30 : Erzurum ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, Erzurum ili için toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulamasına ilişkin optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_3 alternatiftir.

Cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde, Erzurum ili için optimum performans gösteren alternatif, ısı kontrol kaplamalı (e3:0.03, ara boşluk gazı argon) çift cam sisteminin irdelendiği ve U_p : 1.5 W/m²K ve SHGC: 0.51 değerlerinin elde edildiği Alt_31 alternatiftir (Şekil 5.31).



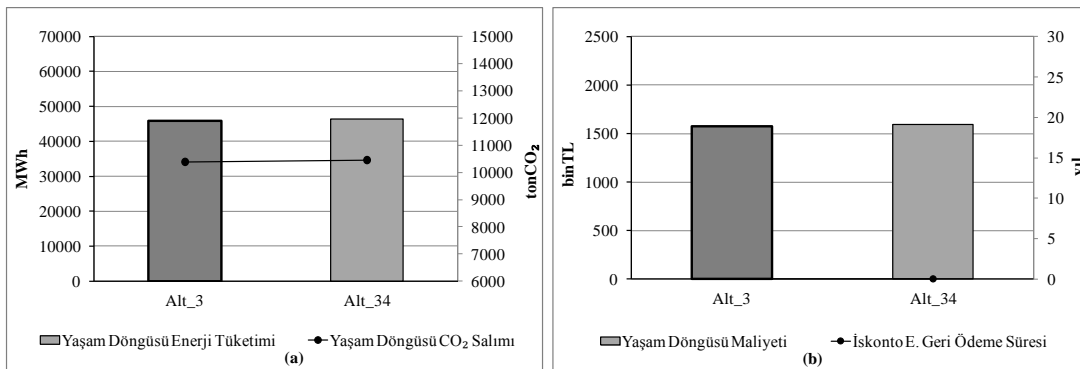
Şekil 5.31 : Erzurum ili için cam sistemlerinin iyileştirilmesine ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_31 alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (Alt_27) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %5 ve %4 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %18, yıllık kullanım enerjisinde %15, yıllık kullanım karbonunda %14, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %12 ve %11 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_31 alternatifine ilişkin enerji geri ödeme oranı 17.94, enerji geri ödeme süresi 1.7 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 16.45 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.8 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_31 alternatifi ile tek cam sisteminin mevcut olduğu durum (Alt_27) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %13, yaşam döngüsü maliyetinde ise %11 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_31 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 15,680.54 TL'lik tasarruf değeri ile 2.4 yılda geri ödenebilmektedir.

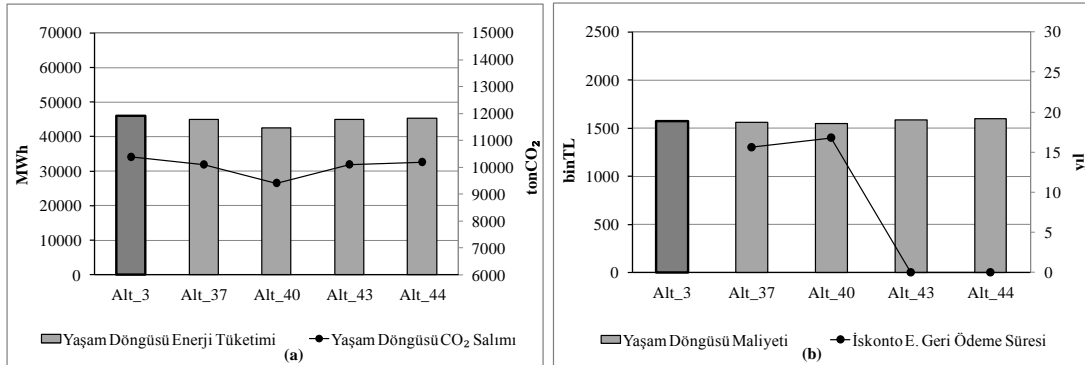
YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde Erzurum ili için optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_31 alternatifidir.

Güneş kontrol elemanlarının kullanımı çerçevesinde, referans konut binasının güney, doğu ve batı cephelerinde dış jaluzi sisteminin tanımlandığı Alt_34 alternatifi ile Erzurum ili için referans konut binasının enerji, ekonomik ve çevresel performansı üzerinde önemli bir değişim görülmemekle birlikte değerlendirme kriteri sağlanamamıştır (Şekil 5.32).



Şekil 5.32 : Erzurum ili için güneş kontrol elemanlarının kullanımına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması çerçevesinde, Erzurum ili için optimum performans gösteren alternatifin, 29.64 kWp kurulu güce sahip çatı PV sisteminin irdelendiği Alt_40 alternatifinin olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 5.33).



Şekil 5.33 : Erzurum ili için PV sistem uygulamasına ilişkin YDE, YDCO₂ (a) ve YDM (b) analiz sonuçları.

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, Alt_40 alternatifi ile PV sistemin mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %3 ve %2 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %4, yıllık kullanım enerjisinde %11, yıllık kullanım karbonunda %14, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %8 ve %9 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_40 alternatifine ilişkin enerji kapsama faktörü %26, enerji geri ödeme oranı 15.24, enerji geri ödeme süresi 5.7 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 21.92 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 0.8 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, Alt_40 alternatifi ile PV sistemin mevcut olmadığı durum (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %10, yaşam döngüsü maliyetinde ise %2 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. Alt_40 alternatifine ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 11,116.97 TL'lik tasarruf değeri ile 16.8 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen DA1 (karbon maliyeti), DA2 (iskonto oranı), DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)), DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, PV sistem uygulaması çerçevesinde Erzurum ili için optimum performans gösteren alternatif değişmemekte olup Alt_40 alternatiftir.

5.2.5 Optimum iyileştirme kombinasyonlarının referans konut binasına göre enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin belirlenmesi

Optimum iyileştirme kombinasyonlarının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilmesi çerçevesinde, dikkate alınan iyileştirme önlemlerinin yaşam döngüsü enerji tüketimi, CO₂ salımı ve maliyeti açısından bir aradaki etkileri, yinelenen YDE, YDCO₂ ve YDM analizleri aracılığıyla saptanmaktadır. Böylece, farklı iklim bölgeleri için tanımlanan optimum iyileştirme kombinasyonlarının referans konut binasının mevcut enerji, ekonomik ve çevresel performansına göre enerji ve maliyet etkinlik düzeyleri, yinelenen YDE, YDCO₂ ve YDM analiz sonuçlarının belirtildiği Çizelge C.11-C.12 ve Şekil C.71-C.78'den yararlanılarak belirlenebilmektedir.

Tanımlanan optimum iyileştirme kombinasyonların (K_{opt}), referans konut binasının mevcut enerji, ekonomik ve çevresel performansları (Alt_3) üzerindeki etkinlik düzeyi, diğer bir deyişle enerji ve maliyet etkin iyileştirilme oranı, çalışma kapsamında ele alınan iklim bölgeleri için aşağıda açıklanmaktadır.

Ilımlı nemli iklim bölgesi-İstanbul

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, $K_{opt,ist}$ iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %9 ve %5 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %21, yıllık kullanım enerjisinde %28, yıllık kullanım karbonunda %32, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %18 ve %20 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. $K_{opt,ist}$ iyileştirme kombinasyonuna ilişkin enerji kapsama faktörü %26, enerji geri ödeme oranı 9.85, enerji geri ödeme süresi 2.8 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 15.50 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.8 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, $K_{opt,ist}$ iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %23, yaşam döngüsü maliyetinde ise %8 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. $K_{opt,ist}$ iyileştirme kombinasyonuna ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 20,996.79 TL'lik tasarruf değeri ile 18.5 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, $K_{opt,ist}$ iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3)

karşılaştırıldığında, yaşam döngüsü maliyetinde, DA1 (karbon maliyeti) duyarlılık analizi ile %11, DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizi ile %12, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizleri ile %22, DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) duyarlılık analizi ile %23, DA6 (şebekeye satış tarifesi (düşük)) duyarlılık analizi ile %20 ve DA7 (şebekeye satış tarifesi (yüksek)) duyarlılık analizi ile ise %37 oranında azalma sağlandığını söylemek mümkündür.

Ilımlı kuru iklim bölgesi-Ankara

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, K_{opt,ank} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %11 ve %5 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %25, yıllık kullanım enerjisinde %30, yıllık kullanım karbonunda %33, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %21 ve %22 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. K_{opt,ank} iyileştirme kombinasyonuna ilişkin enerji kapsama faktörü %29, enerji geri ödeme oranı 11.40, enerji geri ödeme süresi 2.5 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 19.86 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.4 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, K_{opt,ank} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %25, yaşam döngüsü maliyetinde ise %11 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. K_{opt,ank} iyileştirme kombinasyonuna ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 20,460.65 TL'lik tasarruf değeri ile 14.5 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, K_{opt,ank} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, yaşam döngüsü maliyetinde, DA1 (karbon maliyeti) duyarlılık analizi ile %14, DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizi ile %15, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizleri ile %24, DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) duyarlılık analizi ile %25, DA6 (şebekeye satış tarifesi (düşük)) duyarlılık analizi ile %21 ve DA7 (şebekeye satış tarifesi (yüksek)) duyarlılık analizi ile ise %36 oranında azalma sağlandığını söylemek mümkündür.

Sıcak nemli iklim bölgesi-Antalya

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, K_{opt,ant} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %8 ve %4 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %16, yıllık kullanım enerjisinde %29, yıllık kullanım karbonunda %34, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %18 ve %20 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. K_{opt,ant} iyileştirme kombinasyonuna ilişkin enerji kapsama faktörü %24, enerji geri ödeme oranı 10.08, enerji geri ödeme süresi 2.7 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 16.00 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.7 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, K_{opt,ant} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %24, yaşam döngüsü maliyetinde ise %8 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. K_{opt,ant} iyileştirme kombinasyonuna ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 19,328.15 TL'lik tasarruf değeri ile 20 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, K_{opt,ant} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, yaşam döngüsü maliyetinde, DA1 (karbon maliyeti) duyarlılık analizi ile %11, DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizi ile %12, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)) duyarlılık analizi ile %22, DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) duyarlılık analizi ile %24, DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizi ile %23, DA6 (şebekeye satış tarifesi (düşük)) duyarlılık analizi ile %22 ve DA7 (şebekeye satış tarifesi (yüksek)) duyarlılık analizi ile ise %43 oranında azalma sağlandığını söylemek mümkündür.

Sıcak kuru iklim bölgesi-Diyarbakır

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, K_{opt,diy} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %9 ve %5 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %17, yıllık kullanım enerjisinde %26, yıllık kullanım karbonunda %30, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %17 ve %19 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. K_{opt,diy} iyileştirme kombinasyonuna ilişkin enerji kapsama faktörü %24, enerji geri ödeme oranı 10.19,

enerji geri ödeme süresi 2.7 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 15.97 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.7 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, K_{opt,diy} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %22, yaşam döngüsü maliyetinde ise %8 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. K_{opt,diy} iyileştirme kombinasyonuna ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 21,033.76 TL'lik tasarruf değeri ile 17.3 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, K_{opt,diy} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, yaşam döngüsü maliyetinde, DA1 (karbon maliyeti) duyarlılık analizi ile %11, DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizi ile %12, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)) ve DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizleri ile %21, DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) duyarlılık analizi ile %22, DA6 (şebekeye satış tarifesi (düşük)) duyarlılık analizi ile %20 ve DA7 (şebekeye satış tarifesi (yüksek)) duyarlılık analizi ile ise %37 oranında azalma sağlandığını söylemek mümkündür.

Soğuk iklim bölgesi-Erzurum

YDE ve YDCO₂ analiz sonuçlarına göre, K_{opt,erz} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinde sırasıyla %14 ve %6 oranında artış gerçekleştiği, yıllık nihai enerji tüketiminde %28, yıllık kullanım enerjisinde %30, yıllık kullanım karbonunda %32, yaşam döngüsü enerji tüketimi ve CO₂ salımında ise sırasıyla %22 ve %23 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. K_{opt,erz} iyileştirme kombinasyonuna ilişkin enerji kapsama faktörü %25, enerji geri ödeme oranı 10.25, enerji geri ödeme süresi 2.8 yıl, CO₂ salımı geri ödeme oranı 17.89 ve CO₂ salımı geri ödeme süresi ise 1.6 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre ise, K_{opt,erz} iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, yıllık kullanım maliyetinde %26, yaşam döngüsü maliyetinde ise %12 oranında azalma sağlandığı görülmektedir. K_{opt,erz} iyileştirme kombinasyonuna ilişkin ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyetinde sağlanan yıllık 29,499.25 TL'lik tasarruf değeri ile 12.8 yılda geri ödenebilmektedir.

YDM analizi kapsamında gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçlarına göre, $K_{opt,erz}$ iyileştirme kombinasyonu ile referans konut binasının mevcut durumu (Alt_3) karşılaştırıldığında, yaşam döngüsü maliyetinde, DA1 (karbon maliyeti) duyarlılık analizi ile %15, DA2 (iskonto oranı) duyarlılık analizi ile %16, DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük)) duyarlılık analizi ile %24, DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek)) duyarlılık analizi ile %26, DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı) duyarlılık analizi ile %25, DA6 (şebekeye satış tarifesi (düşük)) duyarlılık analizi ile %21 ve DA7 (şebekeye satış tarifesi (yüksek)) duyarlılık analizi ile ise %33 oranında azalma sağlandığını söylemek mümkündür.

6. SONUÇLAR

Konut binalarının, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de, enerji tüketimi ve enerji tüketimine bağlı CO₂ salımlarından yüksek oranda sorumlu olduğu bilinmektedir. Yeni konut binalarının tasarımında ya da mevcut konut binalarının iyileştirilmesinde enerji ve maliyet etkinliği ve çevresel etki değerlendirmelerinin çoğunlukla dikkate alınmadığı da açıktır. Ancak, Türkiye’nin sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında karşılaştığı enerji, ekonomik ve çevresel sorunların çözümünde konut binalarının enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin geliştirilmesi çok önemli bir rol oynamaktadır. Konut binalarının enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin geliştirilebilmesi için enerji tüketimlerinin minimize edilmesi, enerji üreten sistemlerin entegre edilmesi ile konut binalarında enerji verimliliğinin artırılması, diğer bir deyişle bina enerji performansının iyileştirilmesi gerekmektedir. Böylece, konut binalarında önemli oranda enerji tasarrufunun sağlanabileceği ve dolayısıyla daha az CO₂ salımına ve enerji giderlerine sahip yüksek etkinlikte yapılarla dönüştürülebileceği bilinen bir gerçektir.

Bu bağlamda, tüm dünyada bina enerji performansının iyileştirilmesine ilişkin çalışmalar, hammaddelerin çıkarımı ve malzemelerin üretiminden binaların tasarım, yapım, kullanım ve bakım, yeniden kullanım ya da yıkım evrelerine kadar yaşam döngüsü içerisinde binaların maliyet etkinliğinin de değerlendirilmesini hedeflemektedir. Değerlendirme çalışmaları kapsamında, ekonomik ve çevresel etki ve performanslarını dikkate alan bütüncül süreçlerin tanımlanması ve tanımlanan bütüncül süreçler çerçevesinde, binadan binaya değişkenlik gösteren bina alt sistemleri arasındaki karmaşık etkileşimlerin çözümlenebilmesine olanak sağlayan uygun yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Diğer taraftan, yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından konut binalarının performanslarının değerlendirilmesine ilişkin uygun yöntemlerin belirlenmesi, iklimsel koşullara, kullanıcı ihtiyaçlarına, yapma çevreye ilişkin değişkenlere ve yönetmeliklere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, konut binalarının performanslarının iyileştirilmesine yönelik düzenlenen yasal mevzuatlar aracılığı ile her ülke kendi

koşulları çerçevesinde uyulması gereken zorunlulukları belirlemekte, Türkiye’de de bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında konut binalarında enerji ve maliyet etkin çözüm önerilerinin geliştirilmesi giderek artan enerji talebi ve enerji fiyatları göz önünde bulundurulduğunda, ülke enerji ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu açıdan, ulusal ölçekte gerek mevcut gerekse yeni yapılacak konut binalarının performanslarının değerlendirilmesine ilişkin yapılacak çalışmalar kapsamında, daha önce uygulanmış yöntemlerin revize edilmesi ve/veya uygun yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle, bu tez çalışması kapsamında yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından farklı iklim bölgeleri için konut binalarının performanslarının değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımın amacı, konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan önlemlerin farklı iklim bölgeleri için geliştirilmesi ve geliştirilen iyileştirme önlemlerine ilişkin konut binalarının enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme ile;

- mevcut konut stoğunun enerji ve maliyet etkinliğinin artırılmasına yönelik olarak ülke kaynakları ve karar vericiler açısından optimum faydanın elde edilebileceği sonuçlara ulaşılması ve ayrıca,
- yaklaşımın yeni tasarlanacak konutlara uygulanması ile tasarım aşamasında enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren konutların üretilmesi ve sürdürülebilir çevrelerin sağlanması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, geliştirilen yaklaşımın öncelikli olarak Türkiye’de konut üretiminde etkin rol oynayan TOKİ tarafından inşa edilmiş, yaygın kullanılan yapım teknolojilerini ve tasarım kriterlerini barındıran mevcut bir toplu konut projesi için uygulanması gerçekleştirilmiştir. Toplu konut projesinde yer alan konut bloklarından biri, referans konut binası olarak tanımlanmış ve Türkiye’nin farklı iklim bölgelerini temsil eden beş ilde mevcut olduğu varsayılmıştır.

Uygulama çalışması kapsamında, ele alınan referans konut binasının mevcut durumu ve tasarım esnekliği ile birlikte binanın amaçlanan etkinliğine etki eden minimum performans gereksinimlerine ilişkin güncel mevzuat göz önünde bulundurularak uygulanabilir alternatiflerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu açıdan, mevcut konut performansının enerji etkin olarak iyileştirilmesi ve aktif bina alt sistemlerin

kullanımının minimize edilmesi için dış çevreden iç çevreye doğru ısı geçişini etkileyen ve iç ortamda ısı konfor koşullarının sağlanmasında önemli bir etkiye sahip olan bina kabuğunun optimal performans gösteren enerji etkin pasif sistem ögesi olarak geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, iyileştirme önlemleri;

- enerji tasarrufu sağlayan önlemler ve
- enerji üreten sistemler

olarak ele alınmıştır. Bina kabuğunun enerji etkin optimizasyonuna ilişkin enerji tasarrufu sağlayan önlemler çerçevesinde, ısı yalıtım uygulaması (dış duvar, çatı ve toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde), yeşil çatı uygulaması, cam sitemlerinin iyileştirilmesi, güneş kontrol elemanları gibi kullanımı yaygın önlemler dikkate alınmıştır. Enerji üreten sistemler kapsamında ise, gerek Türkiye'nin sahip olduğu yüksek güneş enerjisi potansiyeli gerekse bina kabuğuna sonradan uygulanabilirliği açısından fotovoltaik (PV) sistemler ele alınmıştır. Uygulama çalışması çerçevesinde, dikkate alınan kabul ve yöntemler sonucunda iyileştirme önlemlerine ilişkin 44 farklı alternatif tanımlanmıştır.

Tanımlanan alternatifler doğrultusunda, farklı iklim bölgeleri için referans konut binasının enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilebilmesi amacıyla;

- Yaşam Döngüsü Enerji (YDE),
- Yaşam Döngüsü CO₂ (YDCO₂) ve
- Yaşam Döngüsü Maliyet (YDM)

analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler kapsamında değerlendirme süresi, 30 yıl olarak alınmıştır.

YDE ve YDCO₂ analizleri çerçevesinde, ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin referans konut binasının yaşam döngüsü süresince harcadığı enerji ve CO₂ salımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, binanın toplam enerji tüketimi ve CO₂ salımı üzerinde çok az bir etki düzeyine sahip olduğu daha önce yapılmış çalışmalar sonucunda belirlenen yapım ve yaşam sonu evreleri ihmal edilmiş olup referans konut binasına ilişkin enerji tüketimi ve CO₂ salımının hesaplanmasında;

- ürün evresi,
- kullanım evresi

dikkate alınmıştır.

Ürün evresi enerji tüketimleri ve CO₂ salımlarının hesaplanmasında, öncelikli olarak bina kabuğu bileşenlerine ilişkin veriler, gerek referans konut binasının mevcut mimari projesi ve gerekse ele alınan iyileştirme önlemlerinin katmanlaşma detayları esas alınarak belirlenmiş ve ASTM standartı E1577’de tanımlı “*Bina Elemanlarına İlişkin Uniformat II Sınıflandırma Sistemi*” esas alınarak sistematik bir şekilde düzenlenmiştir. PV sistem bileşenlerine ilişkin veriler ise, referans konut binasının çatı ve cephe alanlarında PV sistem uygulamasına ilişkin tanımlanan değişkenlere dayandırılarak belirlenmiştir.

İkinci adım olarak ise, bina kabuğu ve PV sistem bileşenlerine ilişkin gömülü enerji (birincil enerji) ve gömülü karbon değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar kapsamında gereksinim duyulan birim miktar malzemenin içerdiği enerji miktarı ve birim miktar malzemenin üretimi sürecindeki CO₂ salım değerleri, bina kabuğu bileşenleri için GABI 6.0 yazılım programı ve The Inventory of Carbon and Energy (ICE) 2.0 veritabanı kullanılarak belirlenmiş olup PV sistem bileşenleri için ise çeşitli kaynaklardan derlenmiştir.

Kullanım evresi enerji tüketimleri ve CO₂ salımlarının hesaplanması çerçevesinde, referans konut binasına ilişkin kullanım evresi enerji tüketimleri;

- nihai enerji tüketimlerinin hesaplanması (ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su, harici enerji) (kWh/y),
- nihai enerji üretimlerinin hesaplanması (elektrik enerjisi –PV) (kWh/y),
- kullanım enerjisinin (birincil enerji) hesaplanması (kWh/y).

olmak üzere başlıca üç sürece dayandırılarak hesaplanmıştır.

Referans konut binasının mevcut durumuna ve enerji tasarrufu sağlayan önlemlere ilişkin tanımlanan alternatiflerin *nihai enerji tüketimleri*, EnergyPlus termal simülasyon motorunun kapsamlı arayüzü DesignBuilder simülasyon programı kullanılarak hesaplanmıştır. Referans konut binasının çatı ve cephe alanlarında PV sistemlerin uygulanmasına ilişkin tanımlanan alternatiflerin *nihai enerji üretimlerinin* hesaplanmasında ise, detaylı dinamik hesaplama yöntemini temsilen PV*SOL Expert

simülasyon programı kullanılmıştır. *Kullanım enerjisinin hesaplanmasında*, nihai enerji tüketimlerine bağlı birincil enerji tüketimleri ve nihai enerji üretimlerine bağlı birincil enerji tasarrufları dikkate alınmıştır.

Referans konut binasına ilişkin *kullanım evresi CO₂ salımlarının hesaplanabilmesi* için IPCC Rehber Dökümanında belirtilen Tier 2 (T2) yöntemi esas alınmıştır.

Ürün evresi ve kullanım evresine ilişkin enerji tüketimi ve CO₂ salımı analiz sonuçlarından yararlanılarak iyileştirme önlemlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla YDE ve YDCO₂ analiz göstergeleri dikkate alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda, farklı iklim bölgeleri kapsamında dikkate alınan her bir alternatif için YDE analiz göstergeleri olarak, yaşam döngüsü enerji tüketimi (YDET), enerji geri ödeme oranı (EGO), enerji geri ödeme süresi (EGS), YDCO₂ analiz göstergeleri olarak ise, yaşam döngüsü CO₂ salımı (YDCO₂), CO₂ salımı geri ödeme oranı (KGO) ve CO₂ salımı geri ödeme süresi (KGS) ayrı ayrı hesaplanmıştır.

YDM analizi çerçevesinde, ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin referans konut binasının yaşam döngüsü ekonomik performansı değerlendirilerek iyileştirme önlemlerinin uygunluğunun değerlendirilmesi ve optimum etkinlik düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, YDE ve YDCO₂ analizlerine entegre, YDM analizleri gerçekleştirilmiştir.

YDM analizi kapsamında, iyileştirme önlemlerine ilişkin yaşam döngüsü maliyetlerinin hesaplanmasında, ilk yatırım maliyetleri ve yaşam döngüsü kullanım maliyetlerinin bugünkü değerleri dikkate alınmıştır.

İlk yatırım maliyetlerinin hesaplanmasında, ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin ilgili firmalardan edinilen fiyat tekliflerine dayalı güncel piyasa tabanlı birim maliyetler kullanılmıştır.

Kullanım maliyetlerinin hesaplanmasında, bakım-onarım maliyetlerine ilişkin yeterli veri elde edilememesi nedeniyle sadece enerji maliyetleri dikkate alınmıştır. İyileştirme önlemlerine ilişkin enerji maliyetlerinin hesaplanmasında, yakıt türlerine ilişkin enerji tüketimleri, yakıt türlerine ilişkin birim maliyetler, PV sistemlere ilişkin nihai enerji üretimi, PV sistemlerden üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti kullanılmıştır.

İyileştirme önlemlerinin ekonomik performanslarının değerlendirilmesinde, YDM analizi çerçevesinde tanımlanan veri ve kabullere dayalı olarak iyileştirme önlemlerine ilişkin *iskonto edilmiş geri ödeme süreleri* hesaplanmıştır.

Geliştirilen yaklaşım kapsamında, YDM analizine ilişkin belirsizliklerin değerlendirilmesi amacıyla ekonomik performans değerlendirmesinde önemli etkiye sahip olan iskonto oranı, enerji fiyatlarının gelişimi, PV sistemlerden üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti (şebekeye satış tarifesi) ve karbon maliyetine (çevre hasarı maliyeti) ilişkin *duyarlılık analizleri (DA)* gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen YDE, YDCO₂ ve YDM analiz sonuçları kapsamında, yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından farklı iklim bölgeleri için optimum performans gösteren alternatifin belirlenmesinde, hesaplanan YDE ve YDCO₂ analiz göstergeleri ve YDM analizi çerçevesinde gerçekleştirilen maliyet duyarlılık analizleri sonuçları ön değerlendirmede dikkate alınmış olup değerlendirme kriterini sağlayan alternatifler, "*optimum performans gösteren alternatifler*" olarak kabul edilmiştir. Değerlendirme kriteri olarak, iyileştirme önlemlerine ilişkin tanımlı alternatif grubu içerisinde en düşük yaşam döngüsü maliyetini sağlayan alternatif esas alınmıştır. Değerlendirme kriteri çerçevesinde, aynı yaşam döngüsü maliyetine sahip alternatifler mevcut ise, alternatiflerden en düşük yaşam döngüsü enerji tüketimine ve dolayısıyla CO₂ salımına sahip alternatif, optimum performans gösteren alternatif olarak kabul edilmiştir.

Bu bağlamda, farklı iklim bölgeleri için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren alternatifler, aşağıdaki gibidir:

Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, optimum performans gösteren alternatifler;

- İstanbul ili için 8 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.28 W/m²K, U_{D2} : 0.39 W/m²K elde edildiği Alt_6 alternatifi,
- Ankara ve Erzurum illeri için 13 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.20 W/m²K ve U_{D2} : 0.25 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_9 alternatifi,

- Antalya ve Diyarbakır illeri için 6 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{D1} : 0.34 W/m²K ve U_{D2} : 0.49 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_4 alternatiftir.

Çatı bileşenlerinde ısı yalıtım ve yeşil çatı sistemi uygulaması çerçevesinde, optimum performans gösteren alternatifler;

- İstanbul ve Diyarbakır illeri için 8 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_T : 0.37 W/m²K değerinin elde edildiği Alt_16 alternatifi,
- Ankara ili için 10 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_T : 0.30 W/m²K değerinin elde edildiği Alt_18 alternatifi,
- Antalya ili için 7 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_T : 0.41 W/m²K değerinin elde edildiği Alt_14 alternatifi,
- Erzurum ili için 15 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_T : 0.21 W/m²K değerinin elde edildiği Alt_20 alternatiftir.

Toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması çerçevesinde, optimum performans gösteren alternatif, tüm iklim bölgelerini temsil eden iller için 4 cm ısı yalıtım kalınlığının uygulandığı ve U_{t1} : 0.51 W/m²K ve U_{t2} : 1.56 W/m²K değerlerinin elde edildiği Alt_3 alternatiftir.

Cam sistemlerinin iyileştirilmesi çerçevesinde, optimum performans gösteren alternatifler;

- İstanbul, Ankara ve Diyarbakır illeri için ısı kontrol kaplamalı (e2:0.04, ara boşluk gazı argon) çift cam sisteminin irdelendiği ve saydam bileşenlerde U_p :1.5 W/m²K ve SHGC: 0.44 değerlerinin elde edildiği Alt_29 alternatifi,
- Antalya ili için ısı ve güneş kontrol kaplamalı (e2:0.02, ara boşluk gazı argon) çift cam sisteminin irdelendiği ve saydam bileşenlerde U_p : 1.5 W/m²K ve SHGC: 0.30 değerlerinin elde edildiği Alt_33 alternatifi,
- Erzurum ili için ısı kontrol kaplamalı (e3:0.03, ara boşluk gazı argon) çift cam sisteminin irdelendiği ve U_p : 1.5 W/m²K ve SHGC: 0.51 değerlerinin elde edildiği Alt_31 alternatiftir.

Güneş kontrol elemanlarının kullanımı çerçevesinde, referans konut binasının güney, doğu ve batı cephelerinde dış jaluzi sisteminin tanımlandığı tek alternatif olan

Alt_34 alternatifi ile Ankara ve Erzurum illeri hariç, İstanbul, Antalya ve Diyarbakır illeri için değerlendirme kriteri sağlanmıştır.

Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması çerçevesinde, optimum performans gösteren alternatifler;

- İstanbul ve Ankara illeri için 29.26 kWp kurulu güce sahip çatı PV sisteminin irdelendiği Alt_39 alternatifi,
- Antalya ili için 29.83 kWp kurulu güce sahip çatı PV sisteminin irdelendiği Alt_41 alternatifi,
- Diyarbakır ili için 30.78 kWp kurulu güce sahip çatı PV sisteminin irdelendiği Alt_42 alternatifi,
- Erzurum ili için 29.64 kWp kurulu güce sahip çatı PV sisteminin irdelendiği Alt_40 alternatifidir.

Farklı iklim bölgeleri için iyileştirme önlemlerine ilişkin optimum performans gösteren alternatiflerin belirlenmesi sonucunda, belirlenen alternatiflerin birlikte ele alındığı optimum iyileştirme kombinasyonları tanımlanmış olup aşağıda açıklanmaktadır.

İstanbul ili için optimum iyileştirme kombinasyonu ($K_{opt,ist}$) kapsamında;

- dış duvar bileşenlerinde 8 cm ısı yalıtım uygulaması (U_{D1} : 0.28 W/m²K, U_{D2} :0.39 W/m²K),
- çatı bileşenlerinde 8 cm ısı yalıtım uygulaması (U_T : 0.37 W/m²K),
- toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde 4 cm ısı yalıtım uygulaması (U_{t1} :0.51 W/m²K, U_{t2} :1.56 W/m²K),
- ısı kontrol kaplamalı çift cam sistemi kullanımı (e_2 : 0.04, ara boşluk gazı argon, U_p : 1.5 W/m²K, SHGC: 0.44),
- dış jaluzi sistemi kullanımı (güney, doğu ve batı cephelerinde) ve
- çatı PV sistemi uygulaması (kurulu güç: 29.26 kWp)

olarak sıralanan alternatifler, birlikte ele alınmıştır.

Ankara ili için optimum iyileştirme kombinasyonu ($K_{opt,ank}$) kapsamında;

- dış duvar bileşenlerinde 13 cm ısı yalıtım uygulaması (U_{D1} :0.20 W/m²K, U_{D2} :0.25 W/m²K),
- çatı bileşenlerinde 10 cm ısı yalıtım uygulaması (U_T : 0.30 W/m²K),
- toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde 4 cm ısı yalıtım uygulaması (U_{t1} :0.51 W/m²K, U_{t2} :1.56 W/m²K),
- ısı kontrol kaplamalı çift cam sistemi kullanımı (e_2 : 0.04, ara boşluk gazı argon, U_p : 1.5 W/m²K, SHGC: 0.44) ve
- çatı PV sistemi uygulaması (kurulu güç: 29.26 kWp)

olarak sıralanan alternatifler, birlikte ele alınmıştır.

Antalya ili için optimum iyileştirme kombinasyonu ($K_{opt,ant}$) kapsamında;

- dış duvar bileşenlerinde 6 cm ısı yalıtım uygulaması (U_{D1} : 0.34 W/m²K, U_{D2} :0.49 W/m²K),
- çatı bileşenlerinde 7 cm ısı yalıtım uygulaması (U_T : 0.41 W/m²K),
- toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde 4 cm ısı yalıtım uygulaması (U_{t1} :0.51 W/m²K, U_{t2} :1.56 W/m²K),
- ısı ve güneş kontrol kaplamalı çift cam sistemi kullanımı (e_2 : 0.02, ara boşluk gazı argon, U_p : 1.5 W/m²K, SHGC: 0.30),
- dış jaluzi sistemi kullanımı (güney, doğu ve batı cephelerinde) ve
- çatı PV sistemi uygulaması (kurulu güç: 29.83 kWp)

olarak sıralanan alternatifler, birlikte ele alınmıştır.

Diyarbakır ili için optimum iyileştirme kombinasyonu ($K_{opt,diy}$) kapsamında;

- dış duvar bileşenlerinde 6 cm ısı yalıtım uygulaması (U_{D1} : 0.34 W/m²K, U_{D2} :0.49 W/m²K),
- çatı bileşenlerinde 8 cm ısı yalıtım uygulaması (U_T : 0.37 W/m²K),
- toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde 4 cm ısı yalıtım uygulaması (U_{t1} :0.51 W/m²K, U_{t2} :1.56 W/m²K),
- ısı kontrol kaplamalı çift cam sistemi kullanımı (e_2 : 0.04, ara boşluk gazı argon, U_p : 1.5 W/m²K, SHGC: 0.44),
- dış jaluzi sistemi kullanımı (güney, doğu ve batı cephelerinde) ve

- çatı PV sistemi uygulaması (kurulu güç: 30.78 kWp)

olarak sıralanan alternatifler, birlikte ele alınmıştır.

Erzurum ili için optimum iyileştirme kombinasyonu ($K_{opt,erz}$) kapsamında;

- dış duvar bileşenlerinde 13 cm ısı yalıtım uygulaması (U_{D1} : 0.20 W/m²K, U_{D2} :0.25 W/m²K),
- çatı bileşenlerinde 15 cm ısı yalıtım uygulaması (U_T : 0.21 W/m²K),
- toprağa temas eden döşeme bileşenlerinde 4 cm ısı yalıtım uygulaması (U_{t1} :0.51 W/m²K, U_{t2} :1.56 W/m²K),
- ısı kontrol kaplamalı çift cam sistemi kullanımı (e_3 : 0.03, ara boşluk gazı argon, U_p : 1.5 W/m²K, SHGC: 0.51) ve
- çatı PV sistemi uygulaması (kurulu güç: 29.64 kWp)

olarak sıralanan alternatifler, birlikte ele alınmıştır.

Tanımlanan optimum iyileştirme kombinasyonlarının yaşam döngüsü enerji, ekonomik ve çevresel performanslarının değerlendirilebilmesi için dikkate alınan iyileştirme önlemlerinin yaşam döngüsü enerji tüketimi, CO₂ salımı ve maliyeti açısından bir aradaki etkileri, yinelenen YDE, YDCO₂ ve YDM analizleri aracılığıyla saptanmıştır. Böylece, farklı iklim bölgeleri için tanımlanan optimum iyileştirme kombinasyonları ile referans konut binasının mevcut enerji, ekonomik ve çevresel performansı (Alt_3) karşılaştırılarak iyileştirme kombinasyonlarının enerji ve maliyet etkinlik düzeyleri belirlenmiş olup aşağıda açıklanmaktadır:

YDE analiz sonuçlarına göre;

- *Gömülü enerji değeri*, İstanbul ve Diyarbakır illeri için %9, Ankara ili için %11, Antalya ili için %8, Erzurum ili için ise %14 oranında artmıştır.
- *Nihai enerji tüketimi (yıllık)*, İstanbul ili için %21, Ankara ili için %25, Antalya ili için %16, Diyarbakır ili için %17, Erzurum ili için ise %28 oranında azalmıştır.
- *Kullanım enerjisi (yıllık)*, İstanbul ili için %28, Ankara ve Erzurum illeri için %30, Antalya ili için %29, Diyarbakır ili için ise %26 oranında azalmıştır.

- *Yaşam döngüsü enerji tüketimi*, İstanbul ve Antalya illeri için %18, Ankara ili için %21, Diyarbakır ili için %17, Erzurum ili için ise %22 oranında azalmıştır.
- *Enerji kapsama faktörü*, İstanbul ili için %26, Ankara ili için %29, Antalya ve Diyarbakır illeri için %24, Erzurum ili için ise %25'tir.
- *Enerji geri ödeme oranı*, İstanbul ili için 9.85, Ankara ili için 11.40, Antalya ili için 10.08, Diyarbakır ili için 10.19, Erzurum ili için ise 10.25'tir.
- *Enerji geri ödeme süresi*, İstanbul ve Erzurum illeri için 2.8 yıl, Ankara ili için 2.5 yıl, Antalya ve Diyarbakır illeri için ise 2.7 yıldır.

YDCO₂ analiz sonuçlarına göre;

- *Gömülü karbon değeri*, İstanbul, Ankara ve Diyarbakır illeri için %5, Antalya ili için %4, Erzurum ili için ise %6 oranında artmıştır.
- *Kullanım karbonu (yıllık)*, İstanbul ve Erzurum illeri için %32, Ankara ili için %33, Antalya ili için %34, Diyarbakır ili için ise %30 oranında azalmıştır.
- *Yaşam döngüsü CO₂ salımı*, İstanbul ve Antalya illeri için %20, Ankara ili için %22, Diyarbakır ili için %19, Erzurum ili için ise %23 oranında azalmıştır.
- *CO₂ salımı geri ödeme oranı*, İstanbul ili için 15.50, Ankara ili için 19.86, Antalya ili için 16.00, Diyarbakır ili için 15.97, Erzurum ili için ise 17.89'dur.
- *CO₂ salımı geri ödeme süresi*, İstanbul ili için 1.8 yıl, Ankara ili için 1.4 yıl, Antalya ve Diyarbakır illeri için 1.7 yıl, Erzurum ili için ise 1.6 yıldır.

YDM analiz sonuçlarına göre;

- *Kullanım maliyeti (yıllık)*, İstanbul ili için %23, Ankara ili için %25, Antalya ili için %24, Diyarbakır ili için %22, Erzurum ili için ise %26 oranında azalmıştır.
- *Yaşam döngüsü maliyeti*, İstanbul, Antalya ve Diyarbakır illeri için %8, Ankara ili için %11, Erzurum ili için ise %12 oranında azalmıştır.
- *İskonto edilmiş geri ödeme süresi*, İstanbul ili için 18.5 yıl (yıllık tasarruf değeri: 20,996.79 TL), Ankara ili için 14.5 yıl (yıllık tasarruf değeri: 20,460.65 TL), Antalya ili için 20 yıl (yıllık tasarruf değeri: 19,328.15 TL),

Diyarbakır ili için 17.3 yıl (yıllık tasarruf değeri: 21,033.76 TL), Erzurum ili için ise 12.8 yıldır (yıllık tasarruf değeri: 29,499.25 TL)

- *DA1 (karbon maliyeti)-yaşam döngüsü maliyeti*, İstanbul, Antalya ve Diyarbakır illeri için %11, Ankara ili için %14, Erzurum ili için ise %15 oranında azalmıştır.
- *DA2 (iskonto oranı)-yaşam döngüsü maliyeti*, İstanbul, Antalya ve Diyarbakır illeri için %12, Ankara ili için %15, Erzurum ili için ise %16 oranında azalmıştır.
- *DA3 (enerji fiyat gelişimi (düşük))-yaşam döngüsü maliyeti*, İstanbul ve Antalya illeri için %22, Ankara ve Erzurum illeri için %24, Diyarbakır ili için ise %21 oranında azalmıştır.
- *DA4 (enerji fiyat gelişimi (yüksek))-yaşam döngüsü maliyeti*, İstanbul ili için %23, Ankara ili için %25, Antalya ili için %24, Diyarbakır ili için %22, Erzurum ili için ise %26 oranında azalmıştır.
- *DA5 (enerji fiyat gelişimi & iskonto oranı)-yaşam döngüsü maliyeti*, İstanbul ili için %22, Ankara ili için %24, Antalya ili için %23, Diyarbakır ili için %21, Erzurum ili için ise %25 oranında azalmıştır.
- *DA6 (şebekeye satış tarifesi (düşük))-yaşam döngüsü maliyeti*, İstanbul ve Diyarbakır illeri için %20, Ankara ve Erzurum illeri için %21, Antalya ili için ise %22 oranında azalmıştır.
- *DA7 (şebekeye satış tarifesi (yüksek))-yaşam döngüsü maliyeti*, İstanbul ve Diyarbakır illeri için %37, Ankara ili için %36, Antalya ili için %43, Erzurum ili için ise %33 oranında azalmıştır.

Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin YDE, YDCO₂ ve YDM analizler ile elde edilen hesaplama sonuçları, enerji etkin iyileştirme önlemlerine ve iklim bölgelerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların tartışılmasında, uygulama çalışması kapsamında ele alınan referans konut binasının ısı yalıtım standartlarına uygun bir konut binası olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Türkiye’de ısı yalıtım standartlarına uygun olmayan mevcut konut stoğu dikkate alındığında tartışılacak farklılıkların önemli boyutlara ulaşacağı açıktır. Ayrıca, enerji etkin olarak belirlenen bazı iyileştirme önlemlerinin yaşam döngüsü maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda enerji etkin olarak nitelendirilemeyeceği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, gerek mevcut konut binalarının gerekse yeni

yapılacak konut binalarının enerji, ekonomik ve çevresel performansları, yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından bütüncül olarak değerlendirilmesi zorunludur.

Bu amaçla, tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşım ile konut enerji performansını iyileştirmede etkili olan önlemlerin yaşam döngüsü esasına dayalı olarak enerji, ekonomik ve çevresel performanslar üzerindeki karmaşık etkilerinin bütüncül bir çerçevede değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Böylelikle, yeni konut binalarının tasarımı ya da mevcut konut binalarının iyileştirilmesinde, konut binasının tüm yaşam döngüsüne ilişkin enerji, ekonomik ve çevresel performansının optimize edilmesi ile ilgili yönetmeliklere veri oluşturabilecek sonuçlar elde edilebilmekte ve ülke kaynakları ve karar vericiler açısından maksimum faydanın sağlanabileceği doğru kararların alınabilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, gerek mevcut gerekse yeni yapılacak konut binalarının enerji ve maliyet etkinlik düzeylerinin geliştirilmesinde ileride yapılacak çalışmalar için gereksinim duyulan teknik bilginin hazırlanmasına da destek sağlanmaktadır.

Geliştirilen yaklaşım ile konut üretim sektöründeki mevcut engellerin ortadan kaldırılması ve sadece, ilk yatırım maliyeti gibi görünen maliyetleri dikkate alan karar alma mekanizmasının değiştirilmesi için konut binalarına ilişkin uzun vadeli strateji ve politikaların üretilmesinde, yaşam döngüsü yaklaşımı entegre edilerek konut enerji ve çevresel performansının değerlendirilmesi daha gerçekçi bir yaklaşımla yapılabilmektedir.

Yaklaşım çerçevesinde, her bir iklim bölgesi için yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren önlemlerin belirlenmesi ile gerek güncel mevzuata uygun uygulamalar gerekse TOKİ tarafından yapılan uygulamaların yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Böylelikle, tüm konut stoğunun maliyet etkin enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik yaşam döngüsü enerji ve maliyet etkinliği açısından optimum performans gösteren konut modelleri tanımlanarak TOKİ'nin nitelikli konut üretme hedefine gerekli destek sağlanmakta ve dolayısıyla konut sektöründe bilinçli bir arz-talep dengesinin oluşturulması mümkün olmaktadır. Ülkemizde çok sayıda toplu konut uygulaması yapıldığı ve tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşımın yeni tasarlanacak binalara da uygulanabilirliği ile tasarım aşamasında enerji ve maliyet etkinliği açısından doğru kararlar alınabilecektir. Bu kararlar, özellikle çok sayıda

kullanıcıyı etkileyen toplu konutlarda uygulama aşamasında geri dönüşü olmayan hataların yapılmasına engel olunmasını ve dolayısıyla enerji ve maliyet etkin konutlar aracılığı ile sürdürülebilir konut çevrelerinin oluşturulmasını olanaklı kılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu.** (1987). *Our Common Future*. Report of the World Commission on Environment and Development (WCED), Oslo.
- [2] **IEA** (2011). *25 Energy Efficiency Policy Recommendations*. International Energy Agency.
- [3] **Directive 2002/91/EC.** (2002). *Official Journal of the European Communities*, L001, 4th January 2003.
- [4] **Directive 2010/31/EU.** (2010). *Official Journal of the European Union*, L 153, 18th June 2010.
- [5] **EİE** (2009). *Türkiye’de Enerji Verimliliği, Durum ve Gelecek Planlaması Raporu*. Ankara: Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü.
- [6] **Enerji Verimliliği Kanunu.** (2007). *T.C. Resmi Gazete*, 26510, 2 Mayıs 2007.
- [7] **Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik.** (2008). *T.C. Resmi Gazete*, 27035, 25 Ekim 2008.
- [8] **TS 825** (2008). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [9] **Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği.** (2008). *T.C. Resmi Gazete*, 27075, 5 Aralık 2008.
- [10] **Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ.** (2010). *T.C. Resmi Gazete*, 27778, 7 Aralık 2010.
- [11] **T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2011). *Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023*. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- [12] **Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023.** (2012). *T.C. Resmi Gazete*, 28215, 25 Şubat 2012.
- [13] **EPIQR** (1996). *Energy Performance, Indoor Environmental Quality, Retrofit*. (EU-Contract No. JOR3-CT96-0044 (DG12-WSME)).
- [14] **Uihlein, A., ve Eder, P.** (2010). Policy options towards an energy efficient residential building stock in the EU-27. *Energy and Buildings*, 42 (6), 791-798.
- [15] **Amstalden, R.W., Kost, M., Nathani, C. ve Imboden, D.M.** (2007). Economic potential of energy-efficient retrofitting in the Swiss residential building sector: the effects of policy instruments and energy price expectations. *Energy Policy*, 35 (3), 1819–1829.

- [16] **Morrissey, J. ve Horne, R.E.** (2011). Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings. *Energy and Buildings*, 43 (4), 915-924.
- [17] **Ramesh, T., Prakash, R. ve Shukla, K.K.** (2012). Life cycle energy analysis of a residential building with different envelopes and climates in Indian context. *Applied Energy*, 89 (1), 193-202.
- [18] **Waier, P.R., Babbitt, C., Baker, T., Balboni, B. ve Bastoni, R.A.** (2010). *RSMMeans Building Construction Cost Data* (68th ed.): RSMMeans.
- [19] **Energy Information Administration.** (1998). *Annual Energy Outlook With Projections to 2020* (DOE/EIA-0383(98)). Washington D.C.: U.S. Department of Energy.
- [20] **Fesanghary, M., Asadi, M.S. ve Geem, Z.W.** (2012). Design of low-emission and energy-efficient residential buildings using a multi-objective optimization algorithm. *Building and Environment*, 49, 245-250.
- [21] **EQUA. IDA.** (2011). Indoor climate and energy 3.0 [Computer software]. EQUA Simulation AB.
- [22] **Boverket.** (2010). Miljöklassadbyggnad e manual för befintlig byggnad (Version 2.0 ed.) [Computer software]: Swedish National Board of Housing Building and Planning.
- [23] **Malmqvist, T., Glaumann, M., Svenfelt, A., Carlson, P.O., Erlandsson, M., Andersson, J., Wintzell, H., Finnveden, G., Lindholm, T. ve Malmström, T.G.** (2011). A Swedish environmental rating tool for buildings. *Energy*, 36 (4), 1893-1899.
- [24] **Brown, N.W.O., Malmqvist, T., Bai, W. ve Molinari, M.** (2013). Sustainability assessment of renovation packages for increased energy efficiency for multi-family buildings in Sweden. *Building and Environment*, 61, 140-148.
- [25] **Bayod-Rujula, A.A., Ortega-Bielsa, A. ve Martinez-Gracia, A.** (2011). Photovoltaics on flat roofs: Energy considerations. *Energy*, 36, 1996-2010.
- [26] **Watt, M., Johnson, A., Ellis, M. ve Quthred, N.** (1998). Life cycle air emission from PV power systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 6 (2), 127-136.
- [27] **Nawaz, I. ve Tiwari, G.N.** (2006). Embodied energy analysis of photovoltaic (PV) system based on macro- and micro-level. *Energy Policy*, 34 (17), 3144-3152.
- [28] **NREL Homer.** (2005). Getting started guide for homer version 2.1. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- [29] **Queensland Government.** (2007). *Climate Smart 2050, Queensland Climate Change Strategy 2007: A Low-Carbon Future*. The state of Queensland: Queensland Government.
- [30] **Liu, G., Rasul, M.G., Amanullah, M.T.O. ve Khan, M.M.** (2012). Techno-economic simulation and optimization of residential grid-connected

PV system for the Queensland climate. *Renewable Energy*, 45, 146-155.

- [31] **DoEHLG (2010)**. *Statutory Instrument Building Regulations (Part L Amendment)*. Ireland: Department of Environment Heritage and Local Government.
- [32] **SEAI (2009)**. *The Light 2009 Part L, Building Energy Ratings and the Passive House Standard*. Ireland: Sustainable Energy Authority Ireland.
- [33] **SEAI (2010)**. *Low Energy, Low Carbon and Passive Houses: A Consumer Guide*. Ireland.
- [34] **SEAI, Passive House Academy (2010)**. *Passive house planning package - the essential passive house design tool*. Ireland: Sustainable Energy Authority Ireland.
- [35] **SEAI, CODEMA (2005)**. *Energy Performance Survey of Irish Housing (EPSIH) Database and Final Report*. Ireland: Sustainable Energy Authority Ireland.
- [36] **Spon (2008)**. *Spon's Irish Construction Price Book (3rd ed)*. United Kingdom: TJ International Limited.
- [37] **Spon (2011)**. *Spon's Mechanical & Electrical Services Price Book (42nd ed.)*. United Kingdom: Spon Press.
- [38] **Famuyibo, A.A., Duffy, A. ve Strachan, P. (2013)**. Achieving a holistic view of the life cycle performance of existing dwellings. *Building and Environment*, 70, 90-101.
- [39] **Sadineni, B. S., France, M. T. ve Boehm, F. R. (2011)**. Economic feasibility of energy efficiency measures in residential buildings. *Renewable Energy*, 36 (11), 2925-2931.
- [40] **Ristimäki, M., Säynäjoki, A., Heinonen, J. ve Junnila, S. (2013)**. Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design. *Energy*, 63, 168-179.
- [41] **Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. ve Meyer, L.A. (2007)**. *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press.
- [42] **IEA (2010)**. *Energy Performance Certification of Buildings: A Policy Tool to Improve Energy Efficiency*. International Energy Agency.
- [43] **ASHRAE (1999)**. *HVAC Applications Handbook*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- [44] **CIBSE (2004)**. *Energy Efficiency in Buildings: Guide F*. London: The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- [45] **ASTM (2011)**. *Building Energy Performance Assessment (BEPA) Standard E2797*.
- [46] **WBCSD (2009)**. *Energy Efficiency in Buildings: Transforming The Market*. Copenhagen: World Business Council for Sustainable Development.

- [47] **Kocaaslan, G.** (1991). *Hacimlerin pasif ısıtma sistemleri olarak değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [48] **Berköz, E., Küçükdoğu, M., Yılmaz, Z., Kocaaslan, G., Yıldız, E., Köknel, A., Unver, R., Ak, F., Enarun, D. ve Yıldız, D.** (1995). Enerji etkin konut ve yerleşme tasarımı (Tübitak-Intag 201). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [49] **Zeren, L., Berköz, E., Küçükdoğu, M. ve Yılmaz, Z.** (1987). Türkiye’de yeni yerleşmeler ve binalarda enerji tasarrufu amacıyla bir mevzuat modeline ilişkin çalışma. İstanbul: Çevre ve Şehircilik Uygulama-Araştırma Merkezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [50] **Yılmaz, Z., Oral, G.K. ve Manioğlu, G.** (2000). Isıtma enerjisi tasarrufu açısından bina kabuğu ısı yalıtım değerinin bina formuna bağlı olarak belirlenmesi (Proje No:985). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [51] **Berköz, E.** (1983). *Güneş ışınımı ve yapı dizaynı* (Profesörlük Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [52] **Yılmaz, Z., Lewis, O., Ok, V., Oral, G.K. ve diğ.** (2006). Türkiye ve İrlanda’daki binaların enerji etkin tasarım ve yapımı için sürdürülebilirlik stratejileri (Proje No:30657). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [53] **Koçlar, G.** (1998). Enerji korunumunu hedefleyen bina tasarımında gazbeton uygulamaları (Proje No:793). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [54] **Yılmaz, Z.** (1983). *İklimsel konfor sağlanması ve yoğuşma kontrolünde optimum performans gösteren yapı kabuğunun hacim konumuna ve boyutlarına bağlı olarak belirlenmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [55] **Olgyay, V.** (1969). *Design With Climate: Bioclimatic Approach To Architectural Regionalism*. New Jersey: Princeton University.
- [56] **TS 825** (1985). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [57] **ASHRAE** (1989). *Handbook of Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- [58] **ISO 7726** (1983). *Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort*. Geneva: International Standards Organisation.
- [59] **Arens, E., Zeren, L., Gonzalez, R., Berglund, L. ve McNall, P.E.** (1980). A New Bioclimatic Chart For Environmental Design, *Proceedings of International Congress on Building Energy Management (ICEBM)*, (pp.645-657). London.
- [60] **Olgyay, V.** (1963). *Design With Climate: Bioclimatic Approach To Architectural Regionalism*. New Jersey: Princeton University.
- [61] **Zeren, L.** (1978). Türkiye’de İklimle Dengeli Mimari Uygulama, *Tübitak VI. Bilim Kongresi Bildirileri*.

- [62] **BPIE** (2013). *A Guide To Developing Strategies For Building Energy Renovation: Delivering Article 4 Of The Energy Efficiency Directive*. Buildings Performance Institute Europe.
- [63] **Dascalaki, E. ve Santamouris, M.** (2002). On the potential of retrofitting scenarios for offices. *Building and Environment*, 37, 557-567.
- [64] **Oral, G.K. ve Manioğlu, G.** (2010). Bina Cephelerinde Enerji Etkinliği Ve Isı Yalıtımı, 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu Bildiriler Kitabı*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, 15-16 Nisan.
- [65] **Dağsöz, A.K.** (1995). *Türkiye’de Derece-Gün Sayıları, Ulusal Enerji Tasarruf Politikası Ve Yapılarda Isı Yalıtımı*. İstanbul: Alp Teknik Kitaplar.
- [66] **Bolattürk, A.** (2006). Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones of Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 26, 1301-1309.
- [67] **Gedik, G.Z.** (2010). Yapı kabuğunda ısı yalıtımı ve enerji verimliliği. *Ekonometri*, 39, 46-48.
- [68] **Smith, P.F.** (2005). *Architecture In A Climate Of Change: A Guide To Sustainable Design*. Oxford: Architectural Press.
- [69] **Gemi, A.M.** (2010). Çevre Dostu Çatılara Örnek Uygulamalı Bir Yaklaşım, 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu Bildiriler Kitabı*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, 15-16 Nisan.
- [70] **Url-1** <<http://www.yourhome.gov.au/technical/fs513.html>>, alındığı tarih:09.05.2012.
- [71] **Bliss, D.J., Neufeld, R.D. ve Ries, R.J.** (2009). Storm water runoff mitigation using a green roof. *Environmental Engineering Science*, 26, 407-417.
- [72] **Kosareo, L. ve Ries, R.** (2007). Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and Environment*, 42, 2606-2613.
- [73] **Myrans, K.** (2009). *Comparative energy and carbon assessment of three green technologies for a Toronto roof* (Yüksek Lisans Tezi). Toronto Üniversitesi, Toronto.
- [74] **Onduline Avrasya A.Ş.** (2010). *Sistem Ondugreen Yeşil Çatı Sistemi Broşürü*. İstanbul: Onduline Avrasya A.Ş.
- [75] **Halliday, S.** (2009). *Sustainable Construction*. Oxford: Butterworth-Heinemann publication.
- [76] **Url-2** <<http://www.greenspec.co.uk/building-design/energy-efficient-windows> > alındığı tarih: 09.05.2013.
- [77] **Ayçam, İ. Ve Utkutuğ, G.S.** (1999). Farklı Malzemelerle Üretilen Pencere Tiplerinin Isıl Performanslarının İncelenmesi Ve Enerji Etkin Pencere Sistemi, *IV.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, (pp.61-73). İzmir: TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 4-7 Kasım.
- [78] **Url-3** < <http://efficientwindows.org/shgc.php>>, alındığı tarih: 09.05.2013.
- [79] **Thorpe, D.** (2010). *Sustainable Home Refurbishment*. London: Earthscan expert series.

- [80] **Url-4** <<http://www.wbdg.org/resources/suncontrol.php>>, alındığı tarih: 22.05.2013.
- [81] **Berköz, E.** (1983). *Güneş Işınımı ve Yapı Dizaynı*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi.
- [82] **Yener, A.K.** (1996). *Pencerelere uygulanan gölgeleme araçlarının tasarımında iklimsel ve görsel konfor koşullarının sağlanması amacıyla kullanılacak bir yaklaşım* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [83] **Sarté, S.B.** (2010). *Sustainable Infrastructure: The Guide To Green Engineering And Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [84] **Yamashita, K., Miyazawa, A. ve Sannomiya, H.** (2006). Research and development on recycling and reuse treatment technologies for crystalline silicon photovoltaic modules. *IEEE Photovoltaic Energy Conversion*, 2, 2254–2257.
- [85] **Wang, Q. ve Qiu, H.N.** (2009). Situation and outlook of solar energy utilization in Tibet, China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2181–2186.
- [86] **Dinçer, F.** (2011). The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 713-720.
- [87] **Florensa, R.S. ve Cueva, R.L.** (2012). Architectural Integration of Solar Cells. In McEvoy, A., Markvart, T., Castaner, L. (Eds.), *Practical Handbook of Photovoltaics* (2nd ed., Chapter IIE-1, pp.917-941). USA: Elsevier.
- [88] **Ho, D.T., Frunt, J. ve Myrzik, J.M.A.** (2009). Photovoltaic energy in power market, *EEM 2009. Proceedings of 6th International Conference on the European*, (pp.1-5). Leuven: May 27-29.
- [89] **Dos Santos, İ.P. ve Rüther, R.** (2012). The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil. *Energy and Buildings*, 50, 290-297.
- [90] **Ren H., Gao, W. ve Yingjun, R.** (2009). Economic optimization and sensitivity analysis of photovoltaic system in residential buildings. *Renewable Energy*, 34, 883-889.
- [91] **Kwork, A.G. ve Grondzik, W.T.** (2007). *The Green Studio Handbook-Environmental Strategies For Schematic Design*. Oxford: Elsevier.
- [92] **Solar Energy International** (2009). *Photovoltaics Design and Installation Manual: Renewable Energy Education For A Sustainable Future*. Canada, SEI: New Society Publishers.
- [93] **Şişman, A.** (2011). *PV Güç Sistemleri, Yenilenebilir Enerji Teknolojileri* (Eğitim Notları). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.
- [94] **Chang, Y.P.** (2010). Optimal the tilt angles for photovoltaic modules in Taiwan. *Electrical Power and Energy Systems*, 32, 956-964.

- [95] **Janda, K.B. ve Busch, J.F.** (1994). Worldwide status of energy standards for buildings. *Energy*, 19, 27-44.
- [96] **Hui, S.C.M.** (2002). Using Performance-based Approach in Building Energy Standards and Codes, Proceedings of the Chongqing Hong-Kong Joint Symposium, (pp.A52-61). China: July 8-10.
- [97] **Url-5** <<http://www.wbdg.org/resources/energycodes.php>>, alındığı tarih: 28.07.2013.
- [98] **Laustsen, J.** (2008). *Energy Efficiency Requirements In Building Codes, Energy Efficiency Policies For New Buildings*. Paris: International Energy Agency (IEA).
- [99] **Eurostat** (2013). *Energy, Transport and Environment Indicators, Eurostat Pocketbooks*. Luxembourg: Publications of the European Union.
- [100] **European Commission** (2013). *Financial Support For Energy Efficiency in Buildings* (COM (2013) 225 final). Brussels: European Commission.
- [101] **Url-6** < <http://www.zerocarbonhub.org/energy-performance-buildings-directive>>, alındığı tarih: 18.01.2013.
- [102] **European Commission** (2011). *Energy 2020: A Strategy For Competitive, Sustainable And Secure Energy* (COM(2010) 639 final). Luxembourg: European Union.
- [103] **Eichhammer, W., Fleiter, T., Schloman, B., Faberi, S., Fioretto, M., Piccioni, N., Lechtenböhmer, S., Schüring, A. ve Resch, G.** (2009). *Study on Energy Savings Potential in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries Final Report* (TREN/D1/239-2006/S07.66640).
- [104] **Wesselink, B. ve Deng, Y.** (2009). *Sectoral Emission Reduction Potentials and Economic Costs For Climate Change (SERPEC-CC) Summary Report*. Netherlands: ECOFYS.
- [105] **CEN/BT/TF 173 EPBD** (2006). *Explanation of the General Relationship Between Various Standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD): umbrella document* (prCEN/TR 15615 : 2006 E). Brussels: The European Committee for Standardization.
- [106] **EN ISO 13790** (2008). *Energy Performance of Buildings - Calculation of Energy Use for Space Heating and Cooling* (ISO 13790:2008).
- [107] **Boermans, T., Petersdorff, C., Mikkers, E., Voskens, R., Horsley, A., Siembab, M. ve Maga, C.** (2007). *U-values for Better Energy Performance of Buildings*. Cologne: ECOFYS.
- [108] **Boermans, T., Bettgenhäuser, K., Hermelink A., Schimschar, S. ve diğ.** (2011). *Cost Optimal Building Performance Requirements-Calculation Methodology for Reporting on National Energy Performance Requirements on the Basis of Cost Optimality within the Framework of the EPBD*. Stockholm: European Council for an Energy Efficient Economy.
- [109] **Commission of the European Communities** (2008). *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy*

Performance of Buildings (recast) (COM (2008) 0780 final/2-COD (2008) 0223). Brussels: Commission of the European Communities.

- [110] **Commission Delegated Regulation (EU) 244/2012.** (2012). *Official Journal of the European Union, L81*, 21th March 2012.
- [111] **Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012.** (2012). *Official Journal of the European Union, C 115*, 19th April 2012.
- [112] **UNDP TR** (2011). *Promoting Energy Efficiency in Buildings in Turkey, United Nations Development Programme Turkey*. < http://www.tr.undp.org/content/turkey/en/home/operations/projects/poverty_reduction/promoting_energy_efficiency_in_buildings_in_turkey>, alındığı tarih: 09.08.2012.
- [113] **TÜİK** (2000). *Bina ve Nüfus İstatistikleri*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu.
- [114] **Keskin, T.** (2010). *Binalar Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu* (2.Taslak). < http://www.edsmenerji.com.tr/File/IDEP_Binalar_Sektoru_Mevcut_Durum_Değerlendirmesi_Raporu.pdf>, alındığı tarih: 09.06.2012.
- [115] **Gürlesel, C.F.** (2012). *2023 Vizyonunda Gayrimenkul Sektörü*. İstanbul: Gayrimenkul Yatırım Ortaklığı Derneği (GYODER).
- [116] **World Bank** (2011). *Tapping the Potential for Energy Savings in Turkey* (52210-TR). < <http://siteresources.worldbank.org/TURKEYEXTN/Resources/361711-1294661147811/TurkeyEE-en.pdf>>, alındığı tarih: 06.08.2012.
- [117] **T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2012). *Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi, 2010-2020*. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- [118] **BEP** (2010). *Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi*. < <http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/#.VLEkQyuUfEO>>, alındığı tarih: 05.04.2012.
- [119] **Url-7** < <http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/>>, alındığı tarih: 18.02.2013.
- [120] **Johnson, R.** (1990). *The Economics of Building: A practical Guide for the Design Professional*. USA: John Wiley & Sons.
- [121] **Supçiller, A.A.** (2011). *Yıllık (eş) Değer Analizi* (Ders Notları). Denizli, Pamukkale Üniversitesi.
- [122] **Stenftenagel, A., Galvis, S.** (2009). *The Economics of Green: Putting a Value on Your Green Investment*. < <http://www.sustainablybuilt.com/SustainablyBuiltBGBG-ROIIPresentation.pdf>>, alındığı tarih: 13.04.2012.
- [123] **Erkan, M.** (2008). *Sabit Varlıklarla Yatırım* (Ders Notları). Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- [124] **Şahin, H.** (1998). *Yatırım Projeleri Analizi*. Bursa: Ezgi Kitabevi Yayınları.
- [125] **Hawkins, C.J. ve Pearce, D.W.** (1977). *Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesi* (B. Ocağcıoğlu, Çev.). İstanbul: Ak Yayınları.
- [126] **Yükçü, S., Özkol, E., Durukan, B. M.** (1999). *Finansal Yönetim*. İzmir: Vizyon Yayınları.

- [127] **Uçkun, N. ve Girginer, N.** (2006). Yatırım projeleri riskinin belirlenmesinde duyarlılık analizi: özel bir sağlık kuruluşu yatırım projesi üzerinde örnek bir uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 32.
- [128] **Kelly, J., Hunter, K.** (2009). Life cycle costing of sustainable design. In Emmanuel, R. (Eds.), *Sustainable Buildings* (Vol. 3, pp.8-17). London: RICS.
- [129] **Flanagan, R., Norman, G., Meadows, J. ve Robinson, G.** (1989). *Life Cycle Costing - Theory and Practice*. Oxford: BSP Professional Books.
- [130] **Kishk, M., Al-Hajj, A., Pollock, R., Aouad, G., Bakis, N. ve Sun, M.** (2003). Whole life costing in construction-a state of the art review. *RICS Research papers*, 4 (18), pp.1-39.
- [131] **UNEP SBCI** (2009). *Buildings and Climate Change: Summary for Decision Makers*. Paris: United Nations Environment Programme.
- [132] **BYKR** (2000). *The Significant Environmental Aspects in Building Sector*. Stockholm: Swedish Building Eco-Cycle Council (BYKR).
- [133] **Erlandsson, M. ve Borg, M.** (2003). Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs. *Building and Environment*, 38, 919-938.
- [134] **Du Plessis, C.** (2002). *Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries*. Pretoria: CIB, UNEP-IETC.
- [135] **Ortiz, O., Castells, F. ve Sonnemann, G.** (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23, 28-39.
- [136] **CIB** (1999). *Agenda 21 on Sustainable Construction* (Report 237).Rotterdam: CIB Report Publication.
- [137] **ISO 14040** (2006). *Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework*. Geneva: International Standarts Organisation.
- [138] **SETAC** (1993). *Guidelines For Life Cycle Assessment: A Code of Practice*. Brussels: Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- [139] **EPA** (2006). *Life Cycle Assessment: Principles And Practice* (EPA/600/R-06/060). Ohio: U.S. Environmental Protection Agency.
- [140] **Kram, T.** (2001). *The Matter Project: Integrated Energy and Materials Systems for GHG Emission Mitigation* (ECN-C—01-017). Netherlands: ECN.
- [141] **Thormark, C.** (2007) Energy and Resources, Material Choice and Recycling Potential in Low Energy Buildings. *Proceedings of the International CIB Conference SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices Sustainable Technology*. Portugal: September 12-14.
- [142] **Berge, B.** (2009). *The Ecology of Building Materials* (2nd ed.). Oxford: Architectural Press.
- [143] **Gielen, D.J.** (1997) *Building Materials and CO₂- Western European Emission Strategies* (ECN-C-97-0651). Netherlands: ECN.

- [144] **Principi, I., Susani, L. ve Loiselle, S.** (2003). *Life Cycle Analysis and the Logistics Issues* (EVG1-CT-2001-00054). Florence: Innesso.
- [145] **CEN/TC 350** (2008). *Sustainability of Construction Works-Assessment of Buildings-Part 2: Framework for the Assessment of Environmental Performance* (prEN 15643-2). Brussels: The European Committee for Standardization.
- [146] **Blengini G.A. ve Di Carlo T.** (2010). The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. *Energy and Buildings*, 42, 869-880.
- [147] **Malmqvist, T., Glaumann, M., Scarpellini, S., Zabalza, I., Aranda, A., Llera, E. ve Díaz, S.** (2011). Life cycle assessment in buildings: the ENSLIC simplified method and guidelines. *Energy*, 36, 1900-1907.
- [148] **Wallhagen, M., Glaumann, M. ve Malmqvist, T.** (2011). Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change-case study on an office building in Sweden. *Building and Environment*, 46, 1863-1871.
- [149] **Adalberth, K.** (1997). Energy use during the life cycle of buildings: a method. *Building and Environment*, 32, 317-320.
- [150] **Kellenberger, D. ve Althaus, H.J.** (2009). Relevance of simplifications in LCA of building components. *Building and Environment*, 44, 818-825.
- [151] **Zabalza, I., Aranda, A. ve Scarpellini, S.** (2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44, 2510-2520.
- [152] **Tukker, A.** (2004). *Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards, Eco-Efficiency in Industry and Science*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- [153] **Demirer, G.** (2011). *Yaşam Döngüsü Analizi, Pratik Yaşam Döngüsü Analizi Klavuzu AB Sürecinde İşletmeler ve Kamu için Yaşam Döngüsü Analizi Yöntem ve Örnekleri*. Ankara: REC.
- [154] **Fay, R., Treloar, G. ve Iyer-Raniga, U.** (2000). Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. *Building&Research Information*, 28, 31-41.
- [155] **Ramesh, T., Prakash, R. ve Shukla, K.K.** (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42, 1592-1600.
- [156] **Crowther, P.** (1999). Design for Disassembly to Recover Embodied Energy. *Proceedings of the 16th Annual Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Brisbane.
- [157] **Dixit, M., K., Fernandez-Solis, J., L., Lavy, S. ve Culp, C.H.** (2012). Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3730-3743.
- [158] **Bekker, P.C.F.** (1982). A life cycle approach in building. *Building and Environment*, 17, 55-61.

- [159] **Bayer, C., Gamble M., Gentry, R. ve Joshi, S.** (2010). *AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*. New York: American Institute of Architects.
- [160] **Baek, C., Park, S.H., Suzuki, M. ve Lee, S.H.** (2013). Life cycle carbon dioxide assessment tool for buildings in the schematic design phase. *Energy and Buildings*, 61, 275-287.
- [161] **Taea, S., Shina, S., Wooc, J. ve Roha, S.** (2011). The development of apartment house life cycle CO₂ simple assessment system using standard apartment houses of South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1454-1467.
- [162] **Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S. ve diğ.** (2013). Operational vs. Embodied emissions in buildings – a review of current trends. *Energy and Buildings*, 66, 232-245.
- [163] **Url-8** < <http://www2.buildinggreen.com/article/embodied-carbon-measuring-how-building-materials-affect-climate-0>>, alındığı tarih: 18.06.2013.
- [164] **Url-9** < http://www.steelconstruction.info/Life_cycle_assessment_and_embodied_carbon >, alındığı tarih: 18.06.2013.
- [165] **Engin, A. ve Yang, F.** (2009). Zero carbon isn't really zero: why embodied carbon in materials can't be ignored. < http://www.di.net/articles/zero_carbon/>, alındığı tarih: 08.08.2012.
- [166] **Horne, R., Grant, T., Verghese, K.** (2009). *Life Cycle Assessment: Principles, Practice and Prospects*. Australia: Csiro Publishing.
- [167] **Reidy, R., Davis, M., Coony, R., Gould, S., Mann, C. ve Sewak, B.** (2005). *Guidelines for Life Cycle Cost Analysis*. California: Stanford University.
- [168] **Fuller, S.K. ve Petersen, S.R.** (1995). *Life-Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program*. Washington, D.C.: U.S Department of Energy.
- [169] **Haviland, D.** (1978). *Life Cycle Cost Analysis 2-Using It in Practice*. Washington, D.C.: American Institute of Architects.
- [170] **Sinden, J.A. ve Albert, C.W.** (1979). *Unpriced Values: Decisions Without Market Prices*. New York: Willey.
- [171] **Nemry, F., Uihlein, A., Colodel, C.M., Wetzal, C. ve diğ.** (2010). Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union - Potential and costs. *Energy and Buildings*, 42, 976-984.
- [172] **Sartori, I. ve Hestnes, A.G.** (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. *Energy and Buildings*, 39, 249-257.
- [173] **Blaesser, G. ve Munro, D.** (1997). *Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants- Document B, Analysis and Presentation of Monitoring Aata*. Ispra: Commission of the European Communities, Joint Research Centre.

- [174] **IEC 61724** (1998). *Photovoltaic System Performance Monitoring-Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis*. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- [175] **Jahn, U., Grimmig, B. ve Nasse, W.** (2000). *Analysis of Photovoltaic Systems* (Report IEA-PVPS T2-01). Germany: IEA.
- [176] **Haeberlin, H. ve Beutleri C.** (1995). Normalized Representation of Energy and Power for Analysis of Performance and Online Error Detection in PV Systems. *Proceeding of the 13th European PV Solar Energy Conference*, (pp.934-937). Nice: October 23-27.
- [177] **Jahn, U. ve Nasse, W.** (2004). Operational performance of grid connected PV systems on buildings in Germany. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 12, 441-448.
- [178] **Clean Energy Council** (2010). Tech info. *Energy Efficiency and Renewable Energy Bulletin*.
- [179] **Agrawal, B. ve Tiwari, G.N.** (2010). Optimizing energy and exergy of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems under cold climatic conditions. *Applied Energy*, 87, 417-426.
- [180] **Pacca, S., Sivaraman, D. ve Keoleian, G.A.** (2007). Parameters affecting the life cycle performance of PV technologies and systems. *Energy Policy*, 35, 3316-3326.
- [181] **Verbruggen, B., De Coninck, R., Baetens, R., Saelens, D., Helsen, L. ve Driesen, J.** (2011). Grid impact indicators for active building simulation. *Proceedings of the Innovation Smart Grid Technologies Conference*. Anaheim: January 17-19.
- [182] **Cellura, M., Di Gangi, A., Longo, S. ve Orioli, A.** (2012). Photovoltaic electricity scenario analysis in urban contexts: An Italian case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2041-2052.
- [183] **CEN/BT/WG 173** (2006). *Energy Performance of Buildings—Overall Energy Use, CO₂ Emissions and Definitions of Energy Ratings* (prEN 15203/15315, CEN TC228/WG4 N332_rev5). Brussels: The European Committee for Standardization.
- [184] **Leckner, M. ve Zmeureanu, R.** (2011). Life cycle cost and energy analysis of a net zero energy house with solar combisystem. *Applied Energy*, 88, 232-241.
- [185] **Berggren, B., Hall, M. ve Wall, M.** (2013). LCE analysis of buildings-Taking the steps towards net zero energy buildings. *Energy and Buildings*, 62, 381-391.
- [186] **IPCC** (2006). Energy. *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (Vol. 2).
- [187] **Hacker, J.N., Saulles, T.P., Minson, A.J. ve Holmes, M.J.** (2008). Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: a case study on effects of thermal mass and climate change. *Energy and Buildings*, 40, 375-384.

- [188] **Huang, Y., Niu, J. ve Chung, T.** (2012). Energy and carbon emission payback analysis for energy-efficient retrofitting in buildings-overhang shading option. *Energy and Buildings*, 44, 94-103.
- [189] **Morton, R. ve Jaggard, D.** (2003). *Design and the Economics of Building*. London: Spon Press.
- [190] **Kocabas, A.** (2013). The transition to low carbon urbanization in Turkey: Emerging policies and initial action. *Habitat International*, 37, 80-87.
- [191] **TS 825** (2013). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [192] **Remund, J., Müller S., Kunz, S., Huguenin-Land, B., Studer, C., Klausner, D. ve Schilter, C.** (2014). *Meteonorm Global Meteorological Database*. Bern: Meteotest.
- [193] **Çilingiroğlu, S.** (2010). İç hava kalitesi. *Tesisat Mühendisliği*, 115, 23-42.
- [194] **Url-10** <http://contractingbusiness.com/enewsletters/cb_imp_21488/>, alındığı tarih: 08.10.2012.
- [195] **Charette, R. P. ve Marshall, H. E.** (1999). *UNIFORMAT II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating and Cost Analysis* (NISTIR 6389). U.S.A.: U.S. Department of Commerce.
- [196] **DesignBuilder Software** (2013). *DesignBuilder 3.0.0.105 User Manual*. UK: DesignBuilder Software Ltd.
- [197] **BEP-TR** (2010). *Bina Enerji Performansı-Isıtma ve Soğutma için Net Enerji İhtiyacının Hesaplanması*. Bina enerji performansı hesaplama yöntemi.
- [198] **Gemi, A.M.** (2012). Kişisel görüşme.
- [199] **TS 11758-2** (2011). *Polimer Bitümlü Örtülerde Ürün ve Uygulama Kalitesinin Tanımı*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [200] **Olgyay, A., Olgyay, V.** (1957). *Solar Control & Shading Devices*. Princeton: Princeton University Press.
- [201] **Zeren, L.** (1962). *Türkiye'nin Tipik İklim Bölgelerinde En Sıcak Devre ve En Az Sıcak Devre Tayini, I.Mutedil Bölge (Sayı:3)*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Araştırma Kurumu.
- [202] **Zeren, L.** (1967). *Türkiye'nin Tipik İklim Bölgelerinde En Sıcak Devre ve En Az Sıcak Devre Tayini, II. Mutedil Bölge (Sayı:6)*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Araştırma Kurumu.
- [203] **GABI Software** (2013). *GABI 6.0 User Manual*. Germany: PE International.
- [204] **Hammond, G. ve Jones, C.** (2011). *Embodied Carbon-The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. UK: BSRIA.
- [205] **Alsema, E.A. ve de Wild-Scholten, M.J.** (2007). Reduction of the Environmental Impacts in Crystalline Silicon Module Manufacturing. *Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference*, (pp.829-836). Milan:September 3-7.

- [206] **Alsema, E.A.** (1998). Energy requirements of thin film solar cell modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2, 387–415.
- [207] **Alsema, E.A. ve de Wild-Scholten, M.J.** (2006). Environmental Impacts of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Production. *Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*. Leuven: 31 May- 2 June.
- [208] **TEİAŞ** (2013). *Türkiye ENTSO-E Bağlantı Raporu*. Ankara: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
- [209] **Alsema, E.A. ve de Wild-Scholten, M.J.** (2005). The Real Environmental Impacts of Crystalline Silicon PV Modules: An Analysis Based on up-to-date Manufacturers Data. *Proceedings of the 20th European PV Solar Conference*. Barcelona: June 6-10.
- [300] **IEA** (2006). *Compared Assessment of Selected Environmental Indicators of Photovoltaic Electricity in OECD Cities* (Report IEA-PVPS T10-01). International Energy Agency.
- [301] **Ecoinvent** (2005). Swiss Ecoinvent Database.
- [302] **Özkal, S.** (2013). Kişisel görüşme.
- [303] **GEMIS** (2013). *Global emissions model for integrated systems*. <<http://www.iinas.org/gemis.html>>, alındığı tarih: 19.06.2013.
- [304] **Url-11** <<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13559>>, alındığı tarih :19.08.2013.
- [305] **Url-12** <http://www.isbank.com.tr/content/TR/FiyatOranlar/Turk_Lirasi_Hazine_Bonosu_ve_Devlet_Tahvili_Fiyatlari.aspx>, alındığı tarih:19.08.2013.
- [306] **Url-13**< http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Electricity_and_natural_gas_price_statistics#Electricity_prices_for_household_consumers>, alındığı tarih:19.08.2013.
- [307] **Url-14** < http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Electricity_and_natural_gas_price_statistics#Electricity_prices_for_household_consumers>, alındığı tarih:19.08.2013.
- [308] **Url-15** <<http://www.tcmb.gov.tr/>>, alındığı tarih:19.08.2013.
- [309] **Url-16** <<http://www.tedas.gov.tr/BilgiBankasi/Sayfalar/ElektrikTarieleri.aspx>> alındığı tarih:19.08.2013.
- [310] **Url-17** <http://www.igdas.com.tr/Dynamic/Individual_Natural_Ga_Price_List.aspx?MI=2&CMI=228&MCI=150>, alındığı tarih:19.08.2013.
- [311] **Url-18** <<http://www.baskentdogalgaz.com.tr/inc/main.asp?id=tarifearsiv>>, alındığı tarih:19.08.2013.
- [312] **Url-19** <http://www.olimposgaz.com.tr/musteri_hizmetleri/detay.aspx?SectionID=GiLh%2bOY9AduxY4UEd6Vtxw%3d%3d&ContentId=g%2fOMDSXnOCEIFslqOQ1T3g%3d%3d> alındığı tarih:19.08.2013.
- [313] **Url-20** <<http://www.diyargaz.com.tr/fiyatlar.aspx>>, alındığı tarih:19.08.2013.

- [314] **Url-21** <<http://www.palen.com.tr/tr/main/icerik/p/120-guncel-satistarifesi>>, alındığı tarih:19.08.2013.
- [315] **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun.** (2011). *T.C. Resmi Gazete*, 27809, 8 Ocak 2011.
- [316] **PV*SOL Expert Software** (2013). *PV*SOL Expert 6.0 User Manual: Design and Simulation of Photovoltaic Systems*. Germany: Valentine Software GmbH.
- [317] **Url-22** <<http://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/55/pvsol>>, alındığı tarih : 19.09.2013.

EKLER

EK A: Çalışma kapsamında kullanılan simülasyon programlarının tanıtılması

EK B: Toplu konut uygulamasına ilişkin veriler

EK C: Uygulama çalışmasının sonuçlarına ilişkin çizelge ve şekiller

EK A: Çalışma kapsamında kullanılan simülasyon programlarının tanıtılması

A.1 DesignBuilder Simülasyon Programı

DesignBuilder simülasyon programı, kullanıcı dostu bir programdır. Bu program aracılığı ile sanal bina modelleri üzerinde çalışılabilecek çevreler modellenebilmekte ve enerji tüketimi, karbon salımı, konfor koşulları, maksimum yaz dönemi sıcaklıkları, HVAC bileşen boyutları gibi pek çok çevresel performans verileri elde edilebilmektedir. DesignBuilder simülasyon programı, performans verilerinin üretiminde EnergyPlus dinamik simülasyon motorunu kullanmaktadır.

DesignBuilder simülasyon programının kullanım amaçları;

- bina enerji tüketimlerinin hesaplanması,
- aşırı ısınma ve görsel görünüm açısından cephe seçeneklerinin değerlendirilmesi,
- aydınlatma kontrol sistemlerinin modellenmesi ve aydınlatma amaçlı tüketilen elektrik enerjisinde sağlanan tasarruf değerlerinin hesaplanması,
- yerleşim alanının ve güneşten korumanın görselleştirilmesi,
- ısıtma ve soğutma cihaz boyutlarının hesaplanması

olarak sıralanmaktadır.

DesignBuilder simülasyon programı ile;

- Çevresel performans verileri, harici modüllerin kullanımına ve veri alınmasına ihtiyaç duyulmadan görüntülenebilmekte ve verilerin üretilmesi için gereksinim duyulan simülasyonların her biri otomatik olarak başlatılabilmektedir.
- EnergyPlus “Kompakt HVAC” tanımlamaları ile yaygın olarak kullanılan ısıtma ve soğutma sistemlerinin detaylı analizleri kolaylaştırılabilmektedir.
- Doğal havalandırma, havalandırma için tanımlı ayar sıcaklığına bağlı olarak pencerelerin açılması seçeneği esas alınarak modellenebilmektedir.
- Günışığı modülü ile aydınlatma kontrol sistemleri modellenebilmekte ve aydınlatma amaçlı tüketilen elektrik enerjisinde sağlanan tasarruf değerleri hesaplanabilmektedir.

- Çeşitli güneş kontrol elemanlarının kullanımı ile gölgeleme etkisi analiz edilebilmektedir.
- Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda enerji tüketimi, iç ortam sıcaklıkları, iklim verileri, ısıtma ve soğutma yükleri, CO₂ salımı gibi pek çok veriler yıllık, aylık, günlük, saatlik ya da yarım saatlik aralıklarla kapsamlı olarak irdelenebilmektedir.
- Isıtma ve soğutma sistem boyutları, tasarım iklim verileri kullanılarak hesaplanabilmektedir.
- Parametrik analiz ekranları, tasarım değişkenlerine ilişkin tanımlanan farklılıkların bir dizi performans kriteri üzerindeki etkilerinin irdelenmesini olanaklı hale getirmektedir.
- EnergyPlus IDF dosyaları oluşturulabilmekte ve bu dosyalar ile DesignBuilder programı dışında EnergyPlus sistem işlevselliğine ulaşılabilir.

DesignBuilder programında oluşturulan modeller çerçevesinde basit bir hiyerarşi dikkate alınmakta olup Şekil A.1’de belirtilmektedir.



Şekil A.1 : Modele ilişkin veri hiyerarşisi.

Yeni bina modelinin tanımlanması süreci, genellikle aşağıda belirtilen sıralama çerçevesinde şekillenmektedir:

- Yapı alanının oluşturulması,
- Yeni bina modelinin oluşturulması,
- Bina formuna bağlı olarak bina bloklarının çizilmesi ve kullanılması,
- Bina modeline ilişkin ısı zonlarının tanımlanması,
- Modele ilişkin verilerin düzenlenmesi,
- Bina formu kapsamında “özel açıklıkların” yüzey düzleminde çizilerek eklenmesi,
- Isıtma ve soğutma sistemlerinin boyutlandırılması,

- Yaz ve kış dönemleri için gerçekleştirilen simülasyonlardan elde edilen saatlik verilere bağlı olarak tasarımın kontrol edilmesi,
- Kısa süreli simülasyonlar çerçevesinde kontrol edilen model için yıllık simülasyonların gerçekleştirilmesidir.

Bina modeline ilişkin veriler, yapı alanı haricinde, bina, blok, zon ve yüzey düzeyinde tanımlanabilmekte ve aktivite, yapım, açıklık, aydınlatma, HVAC, seçenekler ve CFD (Hesaplama akışkanlar dinamiği) sekmeleri ile düzenlenebilmektedir.

Aktivite sekmesi

Zon tipi, kullanıcı, metabolizma düzeyi, çevresel kontrol, sıcak su tüketim değerleri, ofis cihazlarından kaynaklı ve diğer kazançlara ilişkin veriler tanımlanabilmektedir.

Yapım sekmesi

Bina kabuğu opak ve saydam bileşenlerine ilişkin optik ve termofiziksel özellikler ve bina kabuğu sızdırmazlık değerinin tanımlanabildiği sekmedir.

Açıklık sekmesi

Bina modeline ilişkin pencere, kapı, boşluk ve hava delikleri gibi açıklıklar tanımlanabilmektedir.

Aydınlatma sekmesi

Genel aydınlatma, hedef aydınlatma, aydınlatma kontrolü ve dış aydınlatmaya ilişkin verilerin tanımlanabildiği sekmedir.

HVAC sekmesi

Mekanik havalandırma, ısıtma, soğutma, nem kontrolü, sıcak su, doğal havalandırma, harici enerji, hava sıcaklığı dağılımı ve plenumlara ilişkin veriler tanımlanabilmektedir.

Seçenekler sekmesi

Isıtma tasarımı çıktı seçenekleri, soğutma tasarımı çıktı seçenekleri ve simülasyon çıktı seçeneklerinden oluşmaktadır.

CFD sekmesi

Bu sekme kapsamında CFD hesaplamalarına ilişkin farklı sınır koşulları tanımlanabilmektedir.

DesignBuilder simülasyon programı kapsamındaki enerji simülasyonları,

- ısıtma tasarımı simülasyonları,
- soğutma tasarımı simülasyonları ve
- gerçek iklim verilerine dayalı simülasyonlar olarak sınıflandırılabilirlerdir.

Isıtma tasarımı simülasyonları

Isıtma tasarımı hesaplamaları, en soğuk kış tasarım iklim koşulları için yeterli olabilecek ısıtma sistem boyutlarının belirlenebilmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu tasarım hesaplamaları için ASHRAE ve CIBSE tarafından önerilen kararlı durum (steady-state) yöntemleri kullanılmaktadır. Isıtma tasarımı simülasyonları çerçevesinde EnergyPlus kullanılmakta olup aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmaktadır:

- Sabit (steady-state) dış hava sıcaklığı, kış tasarım dış hava sıcaklığını düzenlemektedir.
- Rüzgar hızı ve yönü tasarım değerlerini şekillendirmektedir.
- Güneşten pasif kazanç ve iç kazançlar (aydınlatma, cihaz, kullanıcı kaynaklı) dikkate alınmamaktadır.
- Isıtılan zonlar, tanımlanan ısıtma ayar sıcaklığının sağlanması amacıyla basit konvektif ısıtma sistemi kullanılarak sürekli ısıtılmaktadır.
- Farklı sıcaklıklara sahip zonlar arasındaki ısı iletimi ve taşınımı dikkate alınmaktadır.

Soğutma tasarımı simülasyonları

Soğutma tasarımı hesaplamaları, en sıcak yaz tasarım iklim koşulları için yeterli olabilecek mekanik soğutma sistem boyutlarının belirlenebilmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu tasarım hesaplamaları için ASHRAE ve CIBSE tarafından önerilen kararlı durum (steady-state) yöntemleri kullanılmaktadır. Soğutma tasarımı simülasyonları çerçevesinde EnergyPlus kullanılmakta olup aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmaktadır:

- Periyodik sabit dış hava sıcaklıkları maksimum ve minimum tasarım yaz iklim koşulları dikkate alınarak hesaplanmaktadır.
- Rüzgar etkisi ihmal edilmektedir.

- Pencere aracılığı ile güneşten elde edilen pasif kazanç ve planlanmış doğal havalandırma dikkate alınmaktadır.
- Kullanıcılar, aydınlatma ve diğer cihazlardan kaynaklı iç kazançlar hesaplamalara dahil edilmektedir.
- Farklı sıcaklıklara sahip zonlar arasındaki ısı iletimi ve taşınımı hesaplamalarda dikkate alınmaktadır.

Gerçek iklim verilerine dayalı simülasyonlar

Gerçek iklim verilerine dayalı simülasyonlar aracılığı ile bina enerji performansına ilişkin detaylı veriler elde edilebilmektedir. Simülasyonlar çerçevesinde EnergyPlus kullanılmakta olup aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmaktadır:

- Gereksinim duyulan iklim verileri saatlik iklim verileri dosyalarından elde edilmektedir.
- Farklı sıcaklıklara sahip zonlar arasındaki ısı iletimi ve taşınımı hesaplamalarda dikkate alınmaktadır.
- Pencere aracılığı ile güneşten elde edilen pasif kazanç hesaplamalara dahil edilmektedir.
- HVAC ekipmanlarına ilişkin simülasyonlar yapılabilmektedir.
- Binanın ısı kütlesi içerisinde doğru sıcaklık dağılımının sağlanması ve simülasyonun başlatılması için bir ya da daha fazla “ısınma” günleri dikkate alınmaktadır. Isınma her bir zon içerisinde sıcaklık/ısı akışının yakınsadığı noktaya kadar devam eder. Eğer bu yakınsama gerçekleşmez ise, simülasyon hesaplama seçenekleri çerçevesinde tanımlanan maksimum gün sayısı için devam eder [196].

A.2 PV*SOL Expert Simülasyon Programı

PV*SOL Expert simülasyon programı, şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız fotovoltaik (PV) sistemlerin tasarımı ve optimizasyonu için kullanılan dinamik simülasyon programıdır. Program kapsamındaki 3D modülü sayesinde PV sistemlerin uygulanacağı alanların PV modüller ile kaplanması ya da bu alanlara PV sistem destek yapılarının kullanımı ile PV modüllerin yerleştirilmesi, kablolama

sistemlerinin düzenlenmesi, detaylı gölgeme analizlerinin yapılması ve bu çalışmaların görselleştirilmesi mümkündür.

PV*SOL Expert simülasyon programı kapsamında gerçekleştirilen hesaplamaların esasını, ışınım işlemcisi, PV modüllerin güç çıkışları, invertör, lineer sıcaklık modeli, dinamik sıcaklık modeli, üretim kayıpları, değerlendirme değişkenleri, maliyet etkinliğin hesaplanması ve tasarıma ilişkin öneriler oluşturmaktadır. Programa ilişkin bileşenleri ise, PV modüller, şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız sistemler için invertörler, aküler, maksimum güç noktası izleyicileri, elektrik yükü için yük profilleri, elektrik teçizatı, sistemin kurulacağı yere ilişkin iklim verileri, enerji temini ya da enerji satışına ilişkin tarife değerleri, şebekeden alınan elektrik enerjisi ve sağlanan enerji tasarrufuna ilişkin kirlenici karışımı ve krediler olarak sıralanabilmektedir [316].

Program çerçevesindeki otomatik konfigürasyon sayesinde maksimum 100,000 modülü içeren bir PV sistem için uygun invertör ile birlikte tasarlanabilecek kombinasyonlar saniyeler içerisinde kullanıcıya sunulabilmektedir. Buna ek olarak, PV sistemler kapsamında farklı yönlendirilmelere sahip çok sayıda modül dizisine ilişkin simülasyonlar çok kısa bir sürede gerçekleştirilebilmektedir.

PV*SOL Expert programına ilişkin özellikler, akü sistemi ile birlikte şebekeye bağlı PV sistemlerin tasarlanması, modül konfigürasyonun optimizasyonu, bileşen veritabanı, iklim verileri modülü: Meteosyn, fotoğraf boyutlandırma modülü: foto plan, detaylı akım diyagramları, AC ve DC kablo sisteminin boyutlandırılması, simülasyon, ekonomik etkinliğin hesaplanması, sonuçların kazanç ve tüketim diyagramları ile birlikte açık olarak sunulması olarak sıralanabilmektedir [317].

Akü sistemi ile birlikte şebekeye bağlı PV sistemlerin tasarlanması

Program çerçevesinde öngörülen tasarıma ilişkin akü sistemi hızlı bir şekilde planlanabilmekte ve şarj stratejisi ve invertörler tanımlanabilmektedir. Alternatif olarak, tasarıma ilişkin dikkate alınan lider üreticilerin tüm akü depolama sistemlerinin program modülüne yüklenmesi mümkündür. Tasarlanan PV sistemlere ilişkin güvenilir ve geçerliliği kabul edilmiş simülasyon modellerinin oluşturulması ile öz tüketim ve öz yeterlilik oranları açısından daha kesin önermeler sunulabilmektedir.

Modül konfigürasyonunun optimizasyonu

Modül konfigürasyonu, otomatik olarak gerçekleştirilebileceği gibi manuel olarakta yapılabilmektedir. Birçok modül alanının konfigürasyonunda tek bir invertörün kullanımı mümkün olduğu gibi her bir modül alanı için ayrı bir invertör seçimi de yapılabilmekte ya da her iki seçenek birleştirilerek konfigürasyon sonuçlandırılabilir. Konfigürasyon sekmesi kapsamında tasarlanan PV sistemin mevcut durumunun kontrolü amacıyla herbir invertör ve MPP izleyicisi sürekli olarak çalışma ekranında görülebilmektedir. Böylelikle, tanımlanan konfigürasyona ilişkin toleranslı ya da sınırlı alanların izlenimi mümkündür. Ayrıca, “konfigürasyon önerme” seçeneği sayesinde tasarım kapsamında seçilen invertöre uygun konfigürasyonların tanımlanması, hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Konfigürasyon sonrasında ise, PV dizileri içerisinde modüllerin yerleşimi tek tek ayarlanabilmektedir.

Bileşen veritabanı

Program kapsamında sürekli güncellenen ve yaklaşık 13,000 modül ve 3,100 invertöre ilişkin verinin yer aldığı kapsamlı bir bileşen veritabanı mevcuttur. Modül ve invertörlere ilişkin veriler, ilgili üreticiler tarafından direkt olarak idame ettirilmektedir.

İklim verileri modülü

Meteosyn iklim veritabanı, Almanya için 1981-2010 yıllarının ortalaması alınarak Alman Hava Servisi tarafından düzenlenmiş 450 veri seti ile birlikte Meteonorm 7.0'a dayalı 1986-2005 yıllarının ortalaması alınarak hazırlanmış 8,000'in üzerinde global veri setinden oluşmaktadır. Modül kapsamındaki interaktif harita aracılığı ile kolaylıkla iklim verileri seçilebilmektedir. Ayrıca, mevcut ölçülmüş değerlerin enterpolasyonu ile ya da aylık ortalama verilerine dayandırılarak yeni iklim verileri de oluşturulabilmektedir.

Fotoğraf boyutlandırma modülü

Programda entegre fotoğraf boyutlandırma modülü Foto plan, çatı alanının hızlı ve kolay bir şekilde resmedilmesini sağlayan bir araçtır. Belirlen referans boyutlara bağlı olarak çatı alanı tasarlanan PV sistem ile birlikte fotoğraflanabilmekte ve çatı ile ilgili ihtiyaç duyulan ölçümler resim üzerinden yapılabilmektedir.

Detaylı akım diyagramları

Akım diyagramı sayfası ile standardize edilmiş akım sembollerinin PV sistem ile birlikte gösterimi sağlanabilmektedir. Akım diyagramı DXF formatına da dönüştürülebilmektedir.

AC ve DC kablo sisteminin boyutlandırılması

Gerçek sonuçların elde edilebilmesi amacıyla program kapsamında, dizgi kablosu kayıpları ile birlikte her bir invertör için AC ve DC kablo kayıpları da hesaplamalarda dikkate alınmaktadır. Kablo sayfası ile kablo uzunlukları ve kesitleri tanımlanabilmekte ve böylelikle standart test koşulları altında PV dizisinin enerji üretiminde gerçekleşen kayıplar da hesaplanabilmektedir. Buna ek olarak, farklı dağıtıcılar aracılığıyla DC tipolojisi ve elektrikli koruma cihazlarının boyutlandırılması mümkündür. Ön planlama evresinde, standart test koşulları altındaki toplam kayıplar da programa veri olarak girilebilmektedir.

Simülasyon

PV*SOL Expert programı ile tanımlanan verilere dayalı olarak kazanç simülasyonları gerçekleştirilebilmektedir. Bu simülasyonlar çerçevesinde veritabanında yer alan her bir PV modüle ilişkin karakteristik eğrinin yeniden oluşturulmasını sağlayan matematiksel model esas alınmaktadır. PV sistem içerisindeki farklı tip ve yönlendirilmelere sahip modüller, havuz modül grupları kapsamında fotovoltaik kısmi üreticisi olarak dikkate alınmaktadır.

Ekonomik etkinliğin hesaplanması

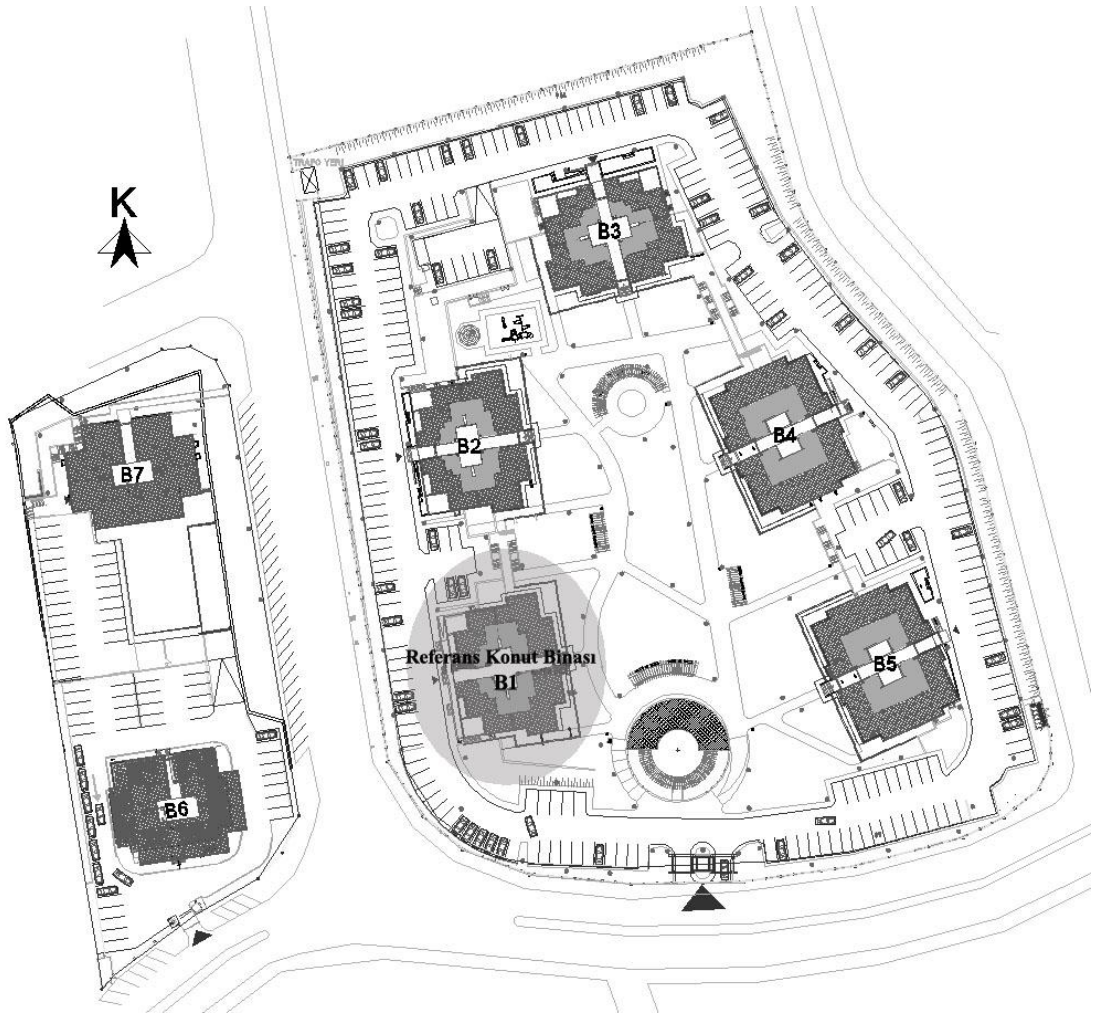
PV*SOL Expert programı çerçevesinde modüllere, invertörlere ve montaja ilişkin detaylı maliyetler tanımlanabilmektedir. İskontoları dikkate alan krediler, amortisman ve vergi ödemeleri de hesaplamalar kapsamında göz önünde bulundurulmaktadır. 30 kW ve üstü sistemler için AB'nin değişkenlik gösteren ödemeler programı, çatı, cephe ve açık alanlardaki sistemlere ilişkin kademelendirilmiş oranlar maliyet hesaplamalarına entegre edilebilmekte ve ihtiyaç duyulursa değiştirilebilmektedir. PV*SOL Expert programı kapsamında sermaye maliyetine ek olarak elektrik üretim maliyeti ve geri ödeme süreleri VDI kılavuzu 2067'ye dayandırılarak hesaplanmaktadır. Çeşitli şebekeye satış tarifelerinin seçimi ile birlikte tarife koşullarının paralel, ardışık ya da dengeleme olarak tanımlanması da mümkündür. Ayrıca, program kullanıcılarına yönelik yıllık degradasyon değerlerinin tanımlanması, değişken hizmet süresi içerisinde bireysel kalemlere

dayalı olarak yıllık harcamaların düzenlenmesi, Almanya ve İspanya'da geçerli tarifelerin önceden hazırlanmış dosyalar aracılığıyla kullanılması, başka tarifelerin oluşturulması, bir dizi grafik ve tablolar aracılığıyla sonuçların elde edilmesi gibi seçenekler tanımlanmaktadır.

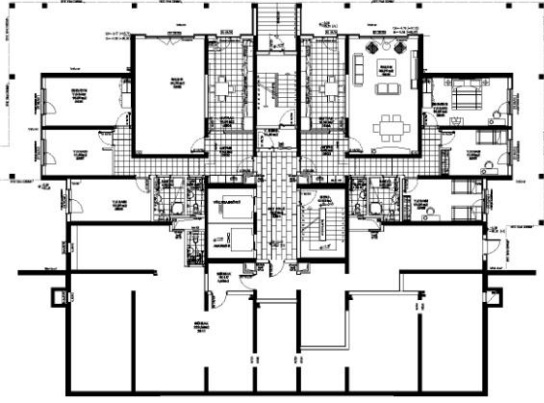
Sonuçların sunulması

Detaylı sonuçların genel değerlendirmesi, simülasyon sonuçlarının sunumunu kapsamaktadır. Detaylı ekonomik analiz, nakit akışı tablosunu ve kâr ve kayıplara ilişkin değerlerin yer aldığı detaylı enerji dengelemesini içermektedir. Tüm simülasyon sonuçları, Excel programına saatlik çözümler formatında aktarılabilmektedir.

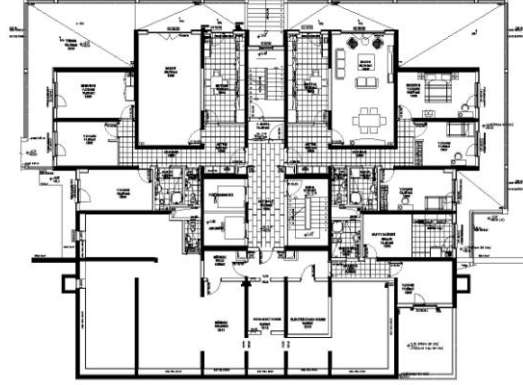
EK B: Toplu konut uygulamasına ilişkin veriler



Şekil B.1 : Mevcut toplu konut uygulamasının vaziyet planı.



(a)



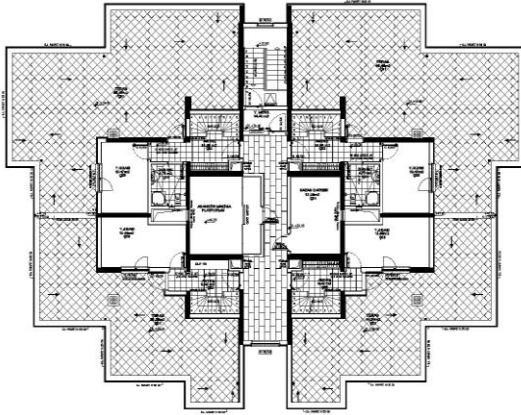
(b)



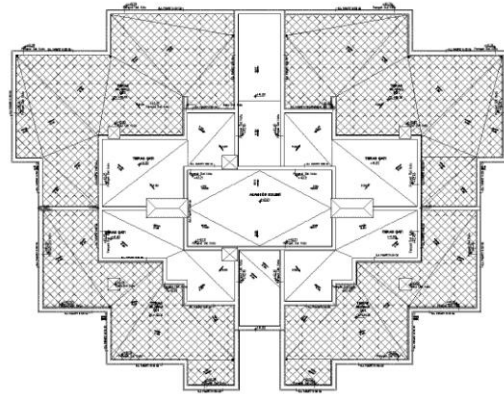
(c)



(d)

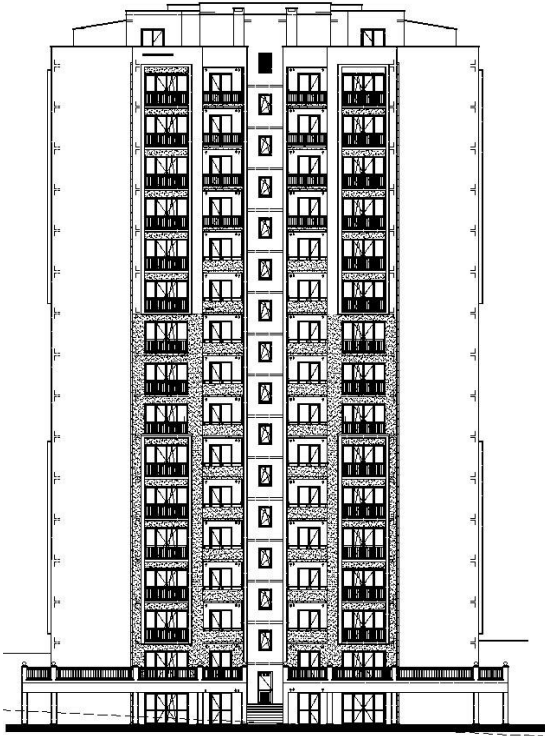


(e)

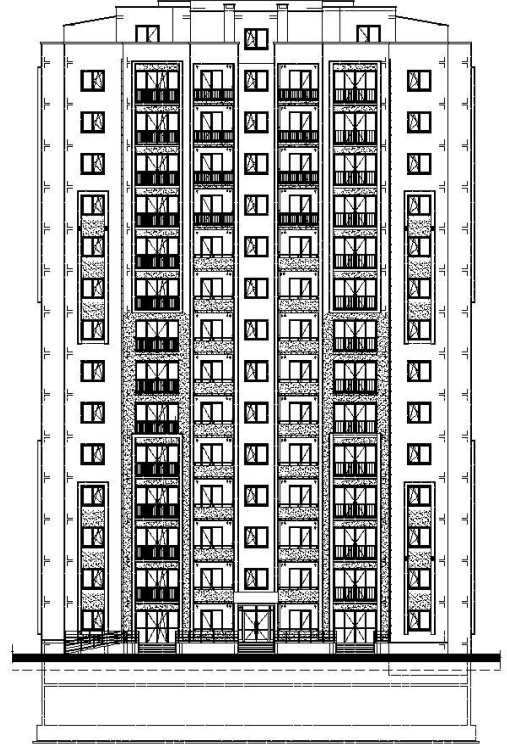


(f)

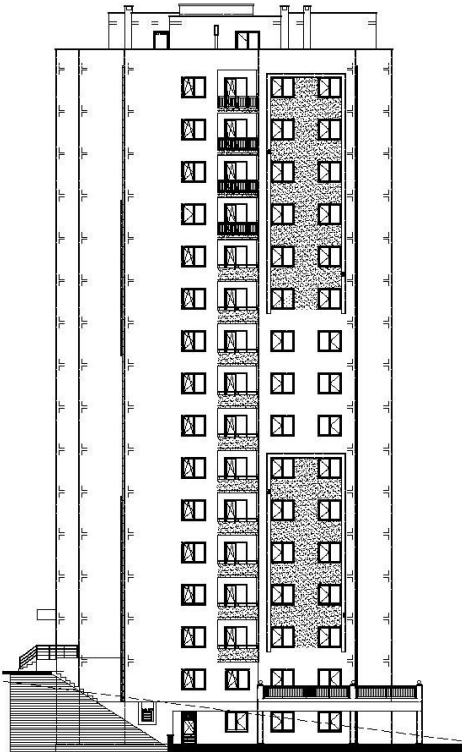
Şekil B.2 : Referans konut binasının kat planları: (a) 2.bodrum kat. (b)1.bodrum kat. (c)zemin kat. (d) normal kat. (e) dubleks kat. (f) çatı planı.



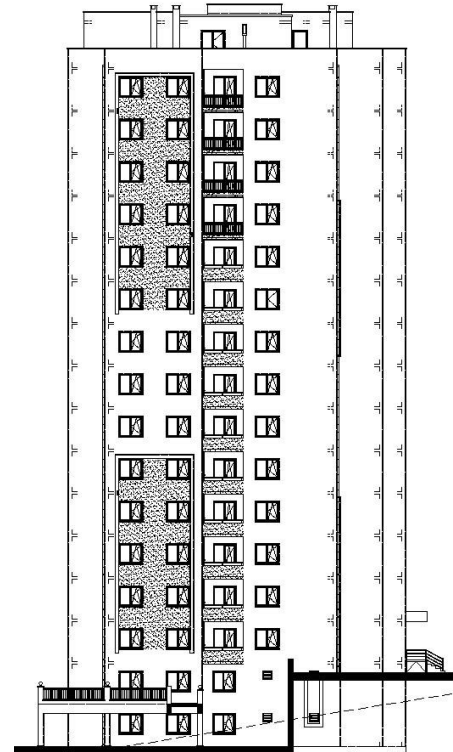
(a)



(b)



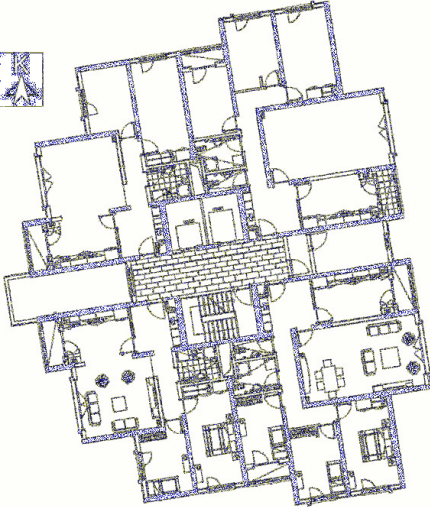
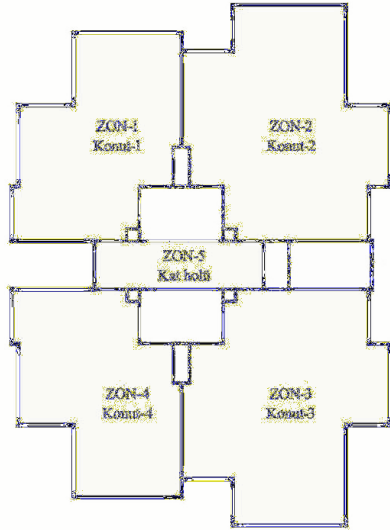
(c)



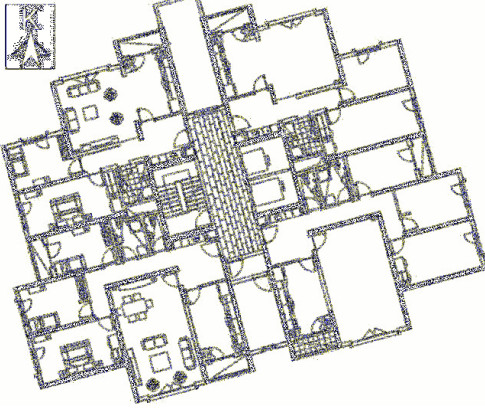
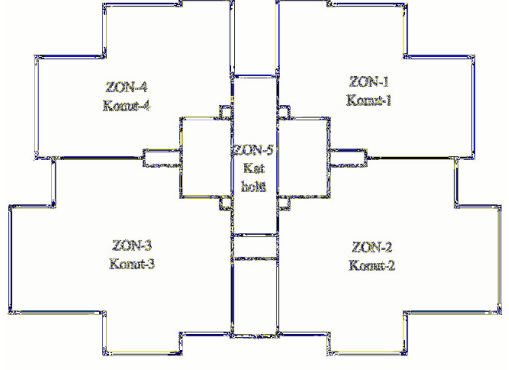
(d)

Şekil B.3 : Referans konut binasının cephe görünüşleri: (a) doğu cephesi. (b) batı cephesi. (c) güney cephesi. (d) kuzey cephesi.

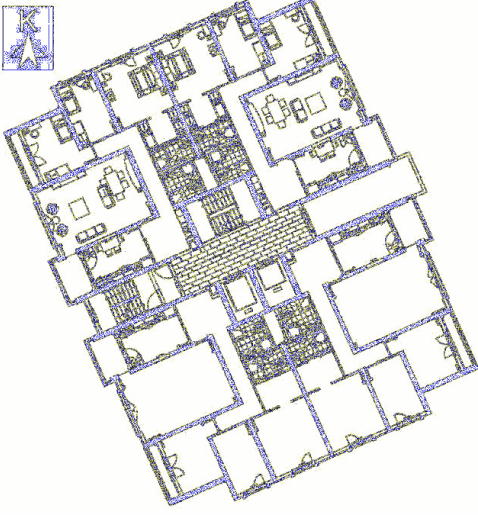
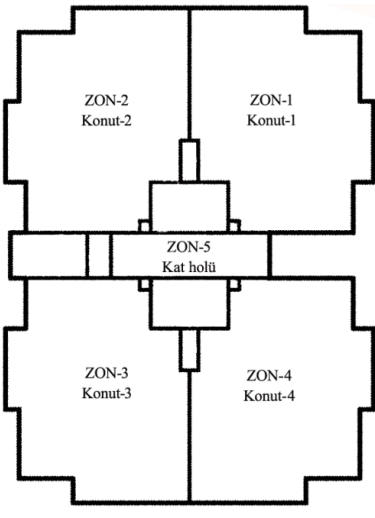
Çizelge B.1 : Referans konut binası ve konut bloğu B-2'ye ilişkin veriler.

REFERANS KONUT BİNASI B-1 ve KONUT BLOĞU B-2	
Bina Formu ve Yönlendiriliş Durumu	
	
Normal Kat Planı	Normal Kat Zon Planı
Bina Kabuğu	
Bina Taban Alanı	573.27m ²
Toplam Duvar Alanı	4779.84m ²
Bina Yüksekliği	48.28m
Kat Sayısı	17 kat (2 bodrum kat)
Normal Kat Alanı	509.13m ²
Döşemeden Tavana ol. Yüks.	2.65m
Döşemeden Döşemeye Yüks.	2.79m
Cam Sistemi	Yalıtım camı ünitesi (4mm+12mmhava+4mm)
Saydırlık Oranları	Kuzey cephesi %15, Güney cephesi %15, Doğu cephesi %24, Batı cephesi %30
Yönlendirme	9° (güney cephesinin güney yönü ile yaptığı açı)
Kaplama	Grenli dış cephe boyası


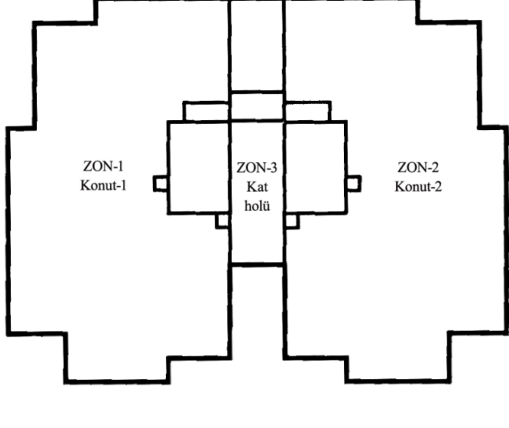
Çizelge B.2 : Konut bloğu B-3'e ilişkin veriler.

KONUT BLOĞU B-3	
Bina Formu ve Yönlendiriliş Durumu	
	
Normal Kat Planı	Normal Kat Zon Planı
Bina Kabuğu	
Bina Taban Alanı	573.27m ²
Toplam Duvar Alanı	5058.24m ²
Bina Yüksekliği	51.07m
Kat Sayısı	18 kat (2 bodrum kat)
Normal Kat Alanı	509.13m ²
Döşemeden Tavana ol. Yüks.	2.65m
Döşemeden Döşemeye Yüks.	2.79m
Cam Sistemi	Yalıtım camı ünitesi (4mm+12mmhava+4mm)
Saydırlık Oranları	Kuzey cephesi %31, Güney cephesi %24, Doğu cephesi %15, Batı cephesi %15
Yönlendirme	15° (güney cephesinin güney yönü ile yaptığı açı)
Kaplama	Grenli dış cephe boyası

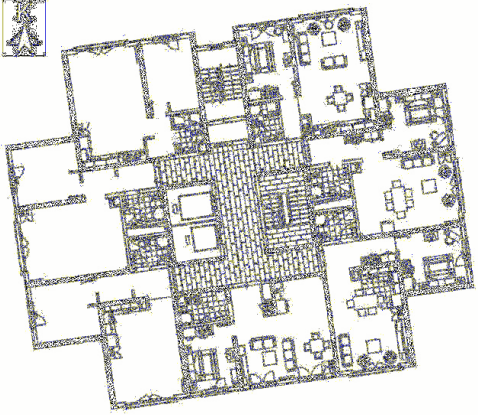
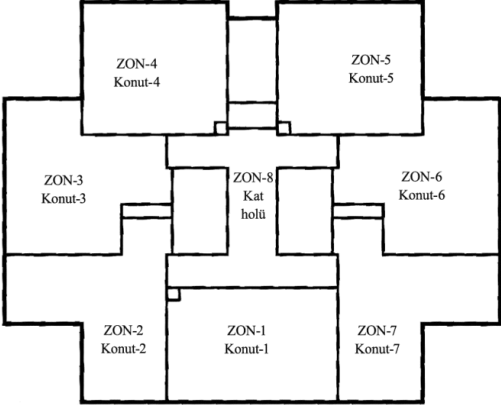
Çizelge B.3 : Konut bloğu B-4 ve B-5'e ilişkin veriler.

KONUT BLOĞU B-4 ve B-5	
Bina Formu ve Yönlendiriliş Durumu	
	
Normal Kat Planı	Normal Kat Zon Planı
Bina Kabuğu	
Bina Taban Alanı	627.60m ²
Toplam Duvar Alanı	4817.88m ²
Bina Yüksekliği	48.28m
Kat Sayısı	17 kat (2 bodrum kat)
Normal Kat Alanı	622.14m ²
Döşemeden Tavana ol. Yüks.	2.65m
Döşemeden Döşemeye Yüks.	2.79m
Cam Sistemi	Yalıtım camı ünitesi (4mm+12mmhava+4mm)
Saydımlık Oranları	Kuzey cephesi %13, Güney cephesi %13, Doğu cephesi %34, Batı cephesi %32
Yönlendirme	24° (güney cephesinin güney yönü ile yaptığı açı)
Kaplama	Grenli dış cephe boyası

Çizelge B.4 : Konut bloğu B-6'ya ilişkin veriler.

KONUT BLOĞU B-6	
Bina Formu ve Yönlendiriliş Durumu	
	
Normal Kat Planı	Normal Kat Zon Planı
Bina Kabuğu	
Bina Taban Alanı	432.72m ²
Toplam Duvar Alanı	3630.91m ²
Bina Yüksekliği	42.65m
Kat Sayısı	15 kat (1 bodrum kat)
Normal Kat Alanı	418.47m ²
Döşemeden Tavana ol. Yüks.	2.65m
Döşemeden Döşemeye Yüks.	2.79m
Cam Sistemi	Yalıtım camı ünitesi (4mm+12mmhava+4mm)
Saydırlık Oranları	Kuzey cephesi %28, Güney cephesi %35, Doğu cephesi %8, Batı cephesi %8
Yönlendirme	8° (güney cephesinin güney yönü ile yaptığı açı)
Kaplama	Grenli dış cephe boyası

Çizelge B.5 : Konut bloğu B-7'ye ilişkin veriler.

KONUT BLOĞU B-7	
Bina Formu ve Yönlendiriliş Durumu	
	
Normal Kat Planı	Normal Kat Zon Planı
Bina Kabuğu	
Bina Taban Alanı	511.46m ²
Toplam Duvar Alanı	3351.27m ²
Bina Yüksekliği	39.65m
Kat Sayısı	14 kat (1 bodrum kat)
Normal Kat Alanı	511.46m ²
Döşemeden Tavana ol. Yüks.	2.65m
Döşemeden Döşemeye Yüks.	2.79m
Cam Sistemi	Yalıtım camı ünitesi (4mm+12mmhava+4mm)
Saydımlık Oranları	Kuzey cephesi %22, Güney cephesi %29, Doğu cephesi %16, Batı cephesi %16
Yönlendirme	8° (güney cephesinin güney yönü ile yaptığı açı)
Kaplama	Grenli dış cephe boyası

Çizelge B.6 : Referans konut binası bileşenlerine ilişkin veriler.

Bileşen adı	Bileşen tipi	Katmanlaşma	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg/m ³)	Alan (m ²)	Gömülü enerji (kWh/kg)	Gömülü karbon (kgCO ₂ /kg)	
TOPRAĞA TEMAS EDEN DOSEME (A1030)	A1030_A1	Laminat Parke	0.08	0.01	600	242.63	7.78	1.46	
		Katkılı şap	1.40	0.05	2000	242.63	0.44	0.18	
		Koruma betonu	1.65	0.03	2200	242.63	0.36	0.19	
		Isı yalıtım levhası (XPS)	0.035	0.04	35	242.63	23.6	2.51	
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	242.63	0.36	0.19	
		Temel Betonu	2.50	1.00	2400	242.63	0.55	0.20	
		U (W/m²K)	0.51	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				361.82	130.02
	A1030_A2	Renkli mermer kaplama	3.50	0.03	2800	32.30	0.56	0.12	
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	32.30	0.36	0.19	
		Koruma betonu	1.65	0.03	2200	32.30	0.36	0.19	
		Isı yalıtım levhası (XPS)	0.035	0.04	35	32.30	23.6	2.51	
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	32.30	0.36	0.19	
		Temel Betonu	2.50	1.00	2400	32.30	0.55	0.20	
		U (W/m²K)	0.55	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				47.52	17.18
	A1030_A3	Mermer pirinçli plakalar	1.30	0.03	1750	15.80	0.42	0.17	
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	15.80	0.36	0.19	
		Koruma betonu	1.65	0.03	2200	15.80	0.36	0.19	
		Isı yalıtım levhası (XPS)	0.035	0.04	35	15.80	23.6	2.51	
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	15.80	0.36	0.19	
		Temel Betonu	2.50	1.00	2400	15.80	0.55	0.20	
		U (W/m²K)	0.55	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				22.85	8.39
	A1030_A4	Karomozaik döşeme kapl.	2.30	0.03	2700	242.34	0.42	0.17	
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	242.34	0.36	0.19	
		Temel Betonu	2.50	1.00	2400	242.34	0.55	0.20	
		U (W/m²K)	1.56	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				333.90	122.70
	A1030_A5	Temel Betonu	2.50	1.00	2400	19.50	0.55	0.20	
		U (W/m²K)	1.64	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				25.74	9.36
	BODRUM KAT DUVARLARI (A2020)	A2020_A1	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	125.91	0.56	0.12
Perde duvar			2.50	0.20	2400	125.91	0.55	0.20	
2 kat su izolasyonu			0.30	0.006	1200	125.91	27.40	3.08	
Isı yalıtım levhası (XPS)			0.035	0.05	35	125.91	23.60	2.51	
PVC drenaj levhası			0.19	0.005	1200	125.91	22.80	3.27	
U (W/m²K)			0.57	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				82.21	18.27
A2020_A2		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	101.23	0.56	0.12	
		Tuğla duvar	0.45	0.40	1000	101.23	0.53	0.23	
		Perde duvar	2.50	0.20	2400	101.23	0.55	0.20	
		2 kat su yalıtımı (EPDM)	0.30	0.006	1200	101.23	27.40	3.08	
		Isı yalıtım levhası (XPS)	0.035	0.05	35	101.23	23.60	2.51	
		PVC drenaj levhası	0.19	0.005	1200	101.23	22.80	3.27	
		U (W/m²K)	0.377	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				87.55	24.00

Çizelge B.6 (devam): Referans konut binası bileşenlerine ilişkin veriler.

Bileşen adı	Bileşen tipi	Katmanlaşma	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg/m ³)	Alan (m ²)	Gömülü enerji (kWh/kg)	Gömülü karbon (kgCO ₂ /kg)
İÇ DÖŞEME (B1010)	B1010_A1	Laminat parke	0.08	0.01	600	5575.90	7.78	1.46
		Katkılı şap	1.40	0.05	2000	5575.90	0.44	0.18
		Ses yalıtım şiltesi	0.04	0.005	40	5575.90	25.40	2.72
		Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	5575.90	0.55	0.20
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	5575.90	0.56	0.12
		U (W/m²K)	1.54	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				1639.31
	B1010_A2	Renkli mermer kaplama	3.50	0.03	2800	396.20	0.56	0.12
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	396.20	0.36	0.19
		Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	396.20	0.55	0.20
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	396.20	0.56	0.12
		U (W/m²K)	2.55	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				106.59
	B1010_A3	Mermer piriçli plakalar	1.30	0.03	1750	106.30	0.42	0.17
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	106.30	0.36	0.19
		Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	106.30	0.55	0.20
		Dış sıva	1.60	0.03	2000	106.30	0.16	0.09
		U (W/m²K)	2.59	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				25.53
	B1010_A4	Karomozaik dök. kapl.	2.30	0.03	2700	224.10	0.42	0.17
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	224.10	0.36	0.19
		Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	224.10	0.55	0.20
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	224.10	0.56	0.12
		U (W/m²K)	2.52	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				57.37
	B1010_A5	Laminat parke	0.08	0.01	600	122.10	7.78	1.46
		Katkılı şap	1.40	0.05	2000	122.10	0.44	0.18
		Hasırlı beton	2.50	0.06	2400	122.10	0.55	0.20
		Dolgu	0.17	0.20	450	122.10	0.20	0.03
		Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	122.10	0.55	0.20
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	122.10	0.56	0.12
		U (W/m²K)	0.58	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				47.15
B1010_A6	Renkli mermer kaplama	3.50	0.03	2800	5.50	0.56	0.12	
	Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	5.50	0.36	0.19	
	Hasırlı beton	2.50	0.06	2400	5.50	0.55	0.20	
	Dolgu	0.17	0.20	450	5.50	0.20	0.03	
	Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	5.50	0.55	0.20	
	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	5.50	0.56	0.12	
	U (W/m²K)	0.63	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				2.01	0.68
B1010_A7	Mermer piriçli plakalar	1.30	0.03	1750	7.60	0.42	0.17	
	Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	7.60	0.36	0.19	
	Hasırlı beton	2.50	0.06	2400	7.60	0.55	0.20	
	Dolgu	0.17	0.20	450	7.60	0.20	0.03	
	Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	7.60	0.55	0.20	
	Dış sıva	1.60	0.03	2000	7.60	0.16	0.09	
	U (W/m²K)	0.63	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)				2.56	0.96

Çizelge B.6 (devam): Referans konut binası bileşenlerine ilişkin veriler.

Bileşen adı	Bileşen tipi	Katmanlaşma	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg/m ³)	Alan (m ²)	Gömülü enerji (kWh/kg)	Gömülü karbon (kgCO ₂ /kg)
İÇ DÖŞEME (B1010)	B1010_A8	Karomozaik dök. kapl.	2.30	0.03	2700	13.80	0.42	0.17
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	13.80	0.36	0.19
		Hasırlı beton	2.50	0.06	2400	13.80	0.55	0.20
		Dolgu	0.17	0.20	450	13.80	0.20	0.03
		Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	13.80	0.55	0.20
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	13.80	0.56	0.12
		U (W/m²K)	0.63	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			4.87	1.77
	B1010_A9	Renkli mermer kaplama	3.50	0.03	2800	5.70	0.56	0.12
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	5.70	0.36	0.19
		Hasırlı beton	2.50	0.06	2400	5.70	0.55	0.20
		Dolgu	0.17	0.20	450	5.70	0.20	0.03
		Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	5.70	0.55	0.20
		Dış sıva	1.60	0.03	2000	5.70	0.16	0.09
		U (W/m²K)	0.64	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			2.07	0.72
ÇATI DÖŞEMESİ (B1020)	B1020_A1	Seramik kaplama	1.30	0.01	2300	58.40	1.22	0.24
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	58.40	0.36	0.19
		Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	58.40	0.55	0.20
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	58.40	0.56	0.12
		U (W/m²K)	3.83	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			14.60	5.16
	B1020_A2	Seramik kaplama	1.30	0.01	2300	8.50	1.22	0.24
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	8.50	0.36	0.19
		Keçe serilmesi	0.19	0.0017	960	8.50	21.60	1.92
		Isı yalıtım levhası (EPS)	0.033	0.05	30	8.50	354.00	39.30
		2 kat su yalıtımı	0.30	0.006	1200	8.50	27.40	3.08
		Meyil betonu	1.65	0.04	2200	8.50	0.36	0.19
		Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	8.50	0.55	0.20
		Dış sıva	1.60	0.03	2000	8.50	0.16	0.09
	U (W/m²K)	0.55	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			8.85	1.63	
	B1020_A3	Çakıl	0.36	0.01	1840	194.80	0.01	0.00
		Keçe serilmesi	0.19	0.0017	960	194.80	21.60	1.92
		Isı yalıtım levhası (EPS)	0.033	0.05	30	194.80	354.00	39.30
		2 kat su yalıtımı	0.30	0.006	1200	194.80	27.40	3.08
		Meyil betonu	1.65	0.04	2200	194.80	0.36	0.19
		Betonarme döşeme	2.50	0.14	2400	194.80	0.55	0.20
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	194.80	0.56	0.12
	U (W/m²K)	0.55	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			193.56	33.40	
	B1020_A4	Seramik kaplama	1.30	0.01	2300	289.30	1.22	0.24
		Tesviye tabakası	1.65	0.03	2200	289.30	0.36	0.19
		Keçe serilmesi	0.19	0.0017	960	289.30	21.60	1.92
		Isı yalıtım levhası (EPS)	0.033	0.05	30	289.30	354.00	39.30
		2 kat su yalıtımı	0.30	0.006	1200	289.30	27.40	3.08
		Meyil betonu	1.65	0.04	2200	289.30	0.36	0.19
Betonarme döşeme		2.50	0.14	2400	289.30	0.55	0.20	
Alçı sıva		0.51	0.02	1200	289.30	0.56	0.12	
U (W/m²K)	0.55	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			302.40	54.89		

Çizelge B.6 (devam): Referans konut binası bileşenlerine ilişkin veriler.

Bileşen adı	Bileşen tipi	Katmanlaşma	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	Kalınlık (m)	Yoğunluk (kg/m ³)	Alan (m ²)	Gömülü enerji (kWh/kg)	Gömülü karbon (kgCO ₂ /kg)
DİŞ DUVARLAR (B2010)	B2010_A1	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	2120.30	0.56	0.12
		Bims duvar	0.193	0.20	580	2120.30	0.96	0.43
		Isı yalıtım levhası (XPS)	0.035	0.05	28	2120.30	23.60	2.51
		Dış sıva	1.60	0.03	2000	2120.30	0.16	0.09
		U (W/m²K)	0.37	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			355.02	130.77
	B2010_A2	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	1839.60	0.56	0.12
		Perde duvar	2.50	0.20	2400	1839.60	0.55	0.20
		Isı yalıtım levhası (XPS)	0.035	0.05	28	1839.60	23.60	2.51
		Dış sıva	1.60	0.03	2000	1839.60	0.16	0.09
		U (W/m²K)	0.58	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			588.82	198.30
PENCERELER (B2020)	B2020_A1	Düz cam	1.00	0.004	2500	800.36	4.42	0.96
		Hava boşluğu	-	0.012	1.29	800.36	-	-
		Düz cam	1.00	0.004	2500	800.36	4.42	0.96
		PVC çerçeve	0.17	0.060	1390	239.07	39.8	7.23
		U (W/m²K)	2.60	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			864.30	159.52
İÇ DUVARLAR (C1010)	C1010_A1	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	705.50	0.56	0.12
		Bims duvar	0.19	0.10	720	705.50	0.96	0.43
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	705.50	0.56	0.12
		U (W/m²K)	1.16	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			67.73	25.91
	C1010_A2	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	1022.20	0.56	0.12
		Bims duvar	0.223	0.15	550	1022.20	0.96	0.43
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	1022.20	0.56	0.12
		U (W/m²K)	0.99	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			108.43	42.15
	C1010_A3	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	1392.60	0.56	0.12
		Bims duvar	0.193	0.20	580	1392.60	0.96	0.43
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	1392.60	0.56	0.12
		U (W/m²K)	0.73	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			192.51	77.48
	C1010_A4	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	2994.90	0.56	0.12
		Perde duvar	2.50	0.20	2400	2994.90	0.55	0.20
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	2994.90	0.56	0.12
		U (W/m²K)	2.39	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			871.16	304.76
	C1010_A5	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	8.70	0.56	0.12
		Perde duvar	2.50	0.20	2400	8.70	0.55	0.20
		Tuğla duvar	0.45	0.40	1000	8.70	0.53	0.23
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	8.70	0.56	0.12
		U (W/m²K)	0.77	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			4.38	1.69
	C1010_A6	Alçı sıva	0.51	0.02	1200	1145.50	0.56	0.12
		Perde duvar	2.50	0.30	2400	1145.50	0.55	0.20
		Alçı sıva	0.51	0.02	1200	1145.50	0.56	0.12
U (W/m²K)		2.18	GE_i - GK_i - (MWh - tonCO₂)			484.41	171.55	

EK C: Uygulama çalışmasının sonuçlarına ilişkin çizelge ve şekiller

Çizelge C.1 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDE ve YDCO₂ analiz sonuçları.

ÖNLEMLER		YASAM DÖNGÜSÜ ENERJİ ve YASAM DÖNGÜSÜ CO ₂ ANALİZ SONUÇLARI												
Alternatifler	Alt. No.	Gömülü Enerji (MWh)	Gömülü Karbon (tonCO ₂)	Nihai Enerji Tüketimi (MWh/y)	Kullanım Enerjisi (MWh/y)	Kullanım Karbonu (tonCO ₂ /y)	Enerji Kap. Faktörü (%)	Yaşam Döngüsü Enerji Tüketimi (MWh)	Enerji Geri Ödeme Oranı	Enerji Geri Ödeme Süresi (y)	Yaşam Döngüsü CO ₂ Salımı (tonCO ₂)	CO ₂ Salımı Geri Öd. Oranı	CO ₂ Salımı Geri Öd. Süresi (y)	
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_1	7401.80	2291.84	877.30	1124.61	239.11	-	41140.23	-	-	9465.06	-	-	
	Alt_3	7542.01	2306.76	627.66	880.51	190.60	-	33957.24	52.23	0.6	8024.86	97.58	0.3	
	Alt_4	7570.05	2309.74	615.09	867.81	188.06	-	33604.49	45.79	0.7	7951.46	85.58	0.4	
	Alt_5	7598.10	2312.72	606.60	859.61	186.43	-	33386.40	40.50	0.7	7905.70	75.69	0.4	
	Alt_6	7626.14	2315.71	599.76	853.01	185.13	-	33216.57	36.32	0.8	7869.54	67.87	0.4	
	Alt_7	7654.18	2318.69	594.09	847.55	184.05	-	33080.58	32.93	0.9	7840.06	61.54	0.5	
	Alt_8	7682.23	2321.67	589.36	842.99	183.14	-	32971.80	30.13	1.0	7815.98	56.29	0.5	
	Alt_13	7280.44	2277.72	752.79	1001.85	214.66	-	37336.05	-	-	8717.37	-	-	
Çatı bileş. ısı yalıtım - yeşil çatı uyg.	Alt_3	7542.01	2306.76	627.66	880.51	190.60	-	33957.24	13.92	2.2	8024.86	24.85	1.2	
	Alt_16	7749.96	2330.44	607.19	860.46	186.62	-	33563.67	9.03	3.3	7928.95	15.96	1.9	
	Alt_17	7326.85	2279.89	592.64	847.90	184.22	-	32763.98	99.53	0.3	7806.52	420.87	0.1	
	Alt_22	7525.50	2302.01	633.22	883.03	190.93	-	34016.35	-	-	8030.00	-	-	
T.t.e. döşeme bileş. ısı yalıt. uyg.	Alt_3	7542.01	2306.76	627.66	880.51	190.60	-	33957.24	4.58	6.6	8024.86	2.08	14.4	
	Alt_24	7561.53	2313.82	628.39	883.10	191.23	-	34054.52	-	-	8050.67	-	-	
	Alt_27	7188.25	2229.92	704.56	956.03	205.63	-	35869.19	-	-	8398.78	-	-	
	Alt_3	7542.01	2306.76	627.66	880.51	190.60	-	33957.24	6.40	4.7	8024.86	5.87	5.1	
Cam sistemlerinin iyileştirilmesi	Alt_28	7542.01	2306.76	613.31	855.77	185.06	-	33215.20	8.50	3.5	7858.58	8.03	3.7	
	Alt_29	7542.03	2306.76	597.90	840.88	182.11	-	32768.36	9.76	3.1	7770.10	9.18	3.3	
	Alt_32	7542.01	2306.76	630.30	876.81	189.50	-	33846.43	6.72	4.5	7991.79	6.30	4.8	
	Alt_33	7542.03	2306.76	614.93	861.56	186.46	-	33388.84	8.01	3.7	7900.48	7.49	4.0	
	Alt_3	7542.01	2306.76	627.66	880.51	190.60	-	33957.24	-	-	8024.86	-	-	
Güneş kont. elem. kul.	Alt_34	7706.93	2337.51	620.01	861.84	186.24	-	33562.03	3.40	8.8	7924.61	4.26	7.0	
	Alt_3	7542.01	2306.76	627.66	880.51	190.60	-	33957.24	-	-	8024.86	-	-	
	Alt_35	7602.67	2318.33	617.76	848.56	181.84	5.32	33164.22	14.07	6.1	7802.26	20.24	0.8	
	Alt_39	7781.56	2352.45	581.28	730.71	149.51	24.94	30194.46	16.71	5.2	6972.70	24.03	0.9	
Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması	Alt_43	7699.97	2336.75	613.67	835.32	178.21	7.52	32907.95	7.64	11.3	7723.70	11.04	0.4	
	Alt_44	7699.97	2336.75	618.85	852.07	182.80	4.74	33555.41	4.81	17.9	7846.44	6.95	0.3	

Çizelge C.2 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDE ve YDCO₂ analiz sonuçları.

ÖNLEMLER		YAŞAMI DÖNGÜSÜ ENERJİ VE YAŞAMI DÖNGÜSÜ CO ₂ ANALİZ SONUÇLARI											
Alternatifler	Alt. No.	Gömülü Enerji (MWh)	Gömülü Karbon (tonCO ₂)	Nihai Enerji Tüketimi (MWh/y)	Kullanım Enerjisi (MWh/y)	Kullanım Karbonu (tonCO ₂ /y)	Enerji Kap. Faktörü (%)	Yaşam Döngüsü Enerji Tüketimi (MWh)	Enerji Geri Ödeme Oran	Enerji Geri Ödeme Süresi (y)	Yaşam Döngüsü CO ₂ Salımı (tonCO ₂)	CO ₂ Salımı Geri Öd. Oran	CO ₂ Salımı Geri Öd. Süresi (y)
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_1	7401.80	2291.84	1219.25	1442.07	301.19	-	50663.77	-	-	11327.61	-	-
	Alt_3	7542.01	2306.76	845.15	1072.10	227.44	-	39704.92	79.16	0.4	9129.82	148.38	0.2
	Alt_4	7570.05	2309.74	827.81	1055.10	224.06	-	39223.06	68.99	0.4	9031.41	129.31	0.2
	Alt_5	7598.10	2312.72	814.14	1041.71	221.39	-	38849.45	61.18	0.5	8954.54	114.66	0.3
	Alt_6	7626.14	2315.71	803.10	1030.90	219.25	-	38553.18	54.98	0.5	8893.07	103.03	0.3
	Alt_7	7654.18	2318.69	793.96	1021.95	217.47	-	38312.74	49.94	0.6	8842.68	93.57	0.3
	Alt_8	7682.23	2321.67	786.21	1014.37	215.96	-	38113.29	45.75	0.7	8800.45	85.73	0.3
	Alt_9	7766.36	2330.62	768.40	996.95	212.50	-	37674.82	36.63	0.8	8705.54	68.63	0.4
	Alt_10	7822.44	2336.58	760.09	988.82	210.88	-	37487.00	32.32	0.9	8663.05	60.56	0.5
	Alt_11	7906.57	2345.53	750.63	979.58	209.05	-	37294.10	27.49	1.1	8616.97	51.49	0.6
	Alt_12	7962.66	2351.50	745.72	974.79	208.10	-	37206.35	24.99	1.2	8594.37	46.82	0.6
	Çatı bileş. ısı yalıtım - yeşil çatı uyg.	Alt_13	7280.44	2277.72	1026.83	1250.84	263.02	-	44805.60	-	-	10168.17	-
Alt_3		7542.01	2306.76	845.15	1072.10	227.44	-	39704.92	20.50	1.5	9129.82	36.76	0.8
Alt_18		7866.99	2343.43	805.64	1033.32	219.72	-	38866.68	11.13	2.7	8935.11	19.77	1.5
Alt_19		7345.06	2281.88	778.05	1007.53	214.67	-	37571.05	112.95	0.3	8721.92	348.27	0.1
Alt_22		7525.50	2302.01	851.88	1077.18	228.36	-	39840.75	-	-	9152.71	-	-
Alt_3		7542.01	2306.76	845.15	1072.10	227.44	-	39704.92	9.23	3.3	9129.82	5.83	5.1
Alt_25		7570.34	2314.75	846.55	1074.99	228.10	-	39819.93	1.46	20.5	9157.70	-	-
Alt_27		7188.25	2229.92	949.42	1174.31	247.76	-	42417.51	-	-	9662.71	-	-
Alt_3		7542.01	2306.76	845.15	1072.10	227.44	-	39704.92	8.67	3.5	9129.82	7.94	3.8
Alt_28		7542.01	2306.76	834.00	1055.78	223.88	-	39215.53	10.05	3.0	9023.07	9.33	3.2
Cam sistemlerinin iyileştirilmesi	Alt_29	7542.03	2306.76	810.79	1032.95	219.33	-	38530.56	11.99	2.5	8886.72	11.10	2.7
	Alt_32	7542.01	2306.76	862.13	1090.28	231.14	-	40250.54	7.13	4.2	9241.03	6.49	4.6
	Alt_33	7542.03	2306.76	839.12	1067.38	226.57	-	39563.39	9.07	3.3	9103.76	8.27	3.6
	Alt_3	7542.01	2306.76	845.15	1072.10	227.44	-	39704.92	-	-	9129.82	-	-
	Alt_34	7706.93	2337.51	847.31	1068.26	226.32	-	39754.59	-	-	9127.19	1.09	27.6
	Alt_3	7542.01	2306.76	845.15	1072.10	227.44	-	39704.92	-	-	9129.82	-	-
	Alt_36	7605.79	2318.93	835.02	1039.39	218.47	-	38894.74	13.70	6.3	8902.26	19.71	0.7
Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması	Alt_39	7781.56	2352.45	797.51	918.24	185.24	28.55	35833.57	17.16	5.0	8047.88	24.68	0.9
	Alt_43	7699.97	2336.75	830.87	1025.99	214.79	8.56	38630.86	7.80	11.1	8821.86	11.27	0.4
	Alt_44	7699.97	2336.75	836.36	1043.71	219.65	5.27	39104.48	4.80	18.0	8951.78	6.94	0.3

Çizelge C.3 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDE ve YDCO₂ analiz sonuçları.

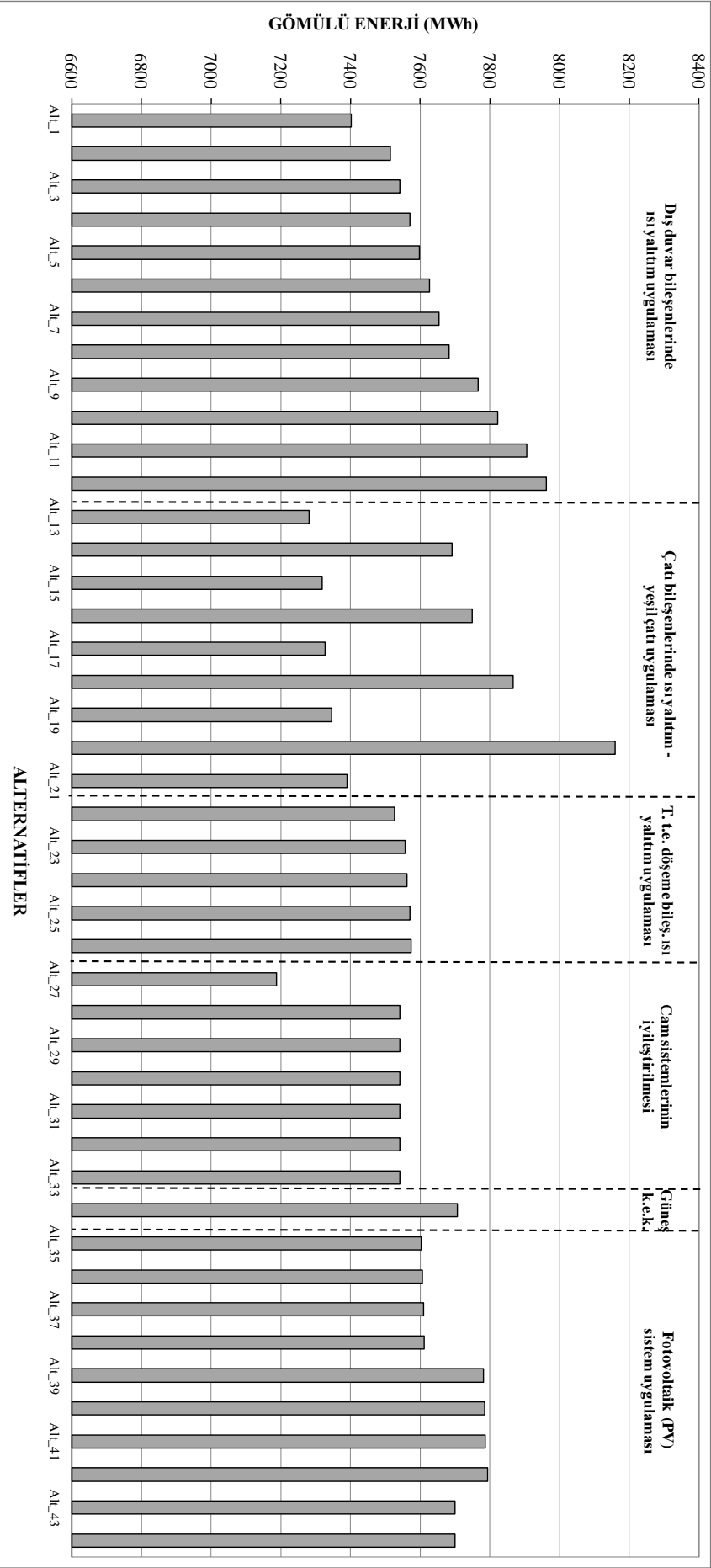
ÖNLEMLER		YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ ve YAŞAM DÖNGÜSÜ CO ₂ ANALİZ SONUÇLARI										
Alt. No.	Alt. Enerji (MWh)	Gömülü Karbon (tonCO ₂)	Nihai Enerji Tüketimi (MWh/y)	Kullanım Enerjisi (MWh/y)	Kullanım Karbonu (tonCO ₂ /y)	Enerji Kıp. Faktörü (%)	Yaşam Döngüsü Enerji Tüketimi (MWh)	Enerji Geri Ödeme Oranı	Enerji Geri Ödeme Süresi (y)	Yaşam Döngüsü CO ₂ Salımı (tonCO ₂)	CO ₂ Salımı Geri Öd. Oranı	CO ₂ Salımı Geri Öd. Süresi (y)
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması												
Alt_1	7401.80	2291.84	547.12	873.22	193.35	-	33598.44	-	-	8092.25	-	-
Alt_2	7513.97	2303.78	444.05	761.57	170.52	-	30361.10	29.86	1.0	7419.52	57.39	0.5
Alt_3	7542.01	2306.76	437.62	754.79	169.15	-	30185.63	25.34	1.2	7381.19	48.68	0.6
Alt_4	7570.05	2309.74	428.06	738.44	165.49	-	29723.33	24.03	1.2	7274.44	46.70	0.6
Alt_5	7598.10	2312.72	424.24	734.35	164.66	-	29628.56	21.22	1.4	7252.38	41.23	0.7
Alt_6	7626.14	2315.71	426.17	742.76	166.71	-	29909.00	17.45	1.7	7317.00	33.49	0.9
Alt_7	7654.18	2318.69	423.71	740.19	166.19	-	29859.99	15.81	1.9	7304.40	30.35	1.0
Alt_8	7682.23	2321.67	421.64	738.04	165.75	-	29823.40	14.46	2.1	7294.29	27.75	1.1
Alt_13	7280.44	2277.72	498.71	815.86	181.36	-	31756.33	-	-	7718.58	-	-
Alt_3	7542.01	2306.76	437.62	754.79	169.15	-	30185.63	7.00	4.3	7381.19	12.62	2.4
Alt_14	7691.44	2323.94	429.22	745.95	167.36	-	30070.05	5.10	5.9	7344.62	9.09	3.3
Alt_15	7317.74	2278.89	425.69	745.20	167.36	-	29673.63	56.84	0.5	7299.81	358.39	0.1
Alt_22	7525.50	2302.01	439.66	751.26	168.12	-	30063.37	-	-	7345.72	-	-
Alt_3	7542.01	2306.76	437.62	754.79	169.15	-	30185.63	-	-	7381.19	-	-
Alt_23	7557.13	2313.35	438.58	757.96	169.91	-	30295.90	-	-	7410.63	-	-
Alt_27	7188.25	2229.92	467.97	790.38	176.57	-	30899.57	-	-	7526.91	-	-
Alt_3	7542.01	2306.76	437.62	754.79	169.15	-	30185.63	3.02	9.9	7381.19	2.90	10.4
Alt_32	7542.01	2306.76	439.89	730.50	162.77	-	29457.15	5.08	5.9	7189.82	5.39	5.6
Alt_33	7542.03	2306.76	432.46	722.41	161.11	-	29214.47	5.76	5.2	7140.15	6.03	5.0
Alt_3	7542.01	2306.76	437.62	754.79	169.15	-	30185.63	-	-	7381.19	-	-
Alt_34	7706.93	2337.51	419.77	711.75	159.10	-	29059.53	7.83	3.8	7110.41	9.80	3.1
Alt_3	7542.01	2306.76	437.62	754.79	169.15	-	30185.63	-	-	7381.19	-	-
Alt_37	7608.90	2319.52	423.93	710.59	157.02	5.87	29071.50	17.66	4.9	7069.99	25.39	1.0
Alt_41	7786.22	2353.34	386.61	590.03	123.96	21.87	26027.76	18.03	4.8	6220.27	25.92	1.0
Alt_43	7699.97	2336.75	422.27	705.21	155.55	6.58	29018.80	8.39	10.3	7047.79	12.12	0.5
Alt_44	7699.97	2336.75	427.26	721.33	159.97	4.44	29449.52	5.66	15.2	7165.93	8.18	0.3
Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması												

Çizelge C.4 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDE ve YDCO₂ analiz sonuçları.

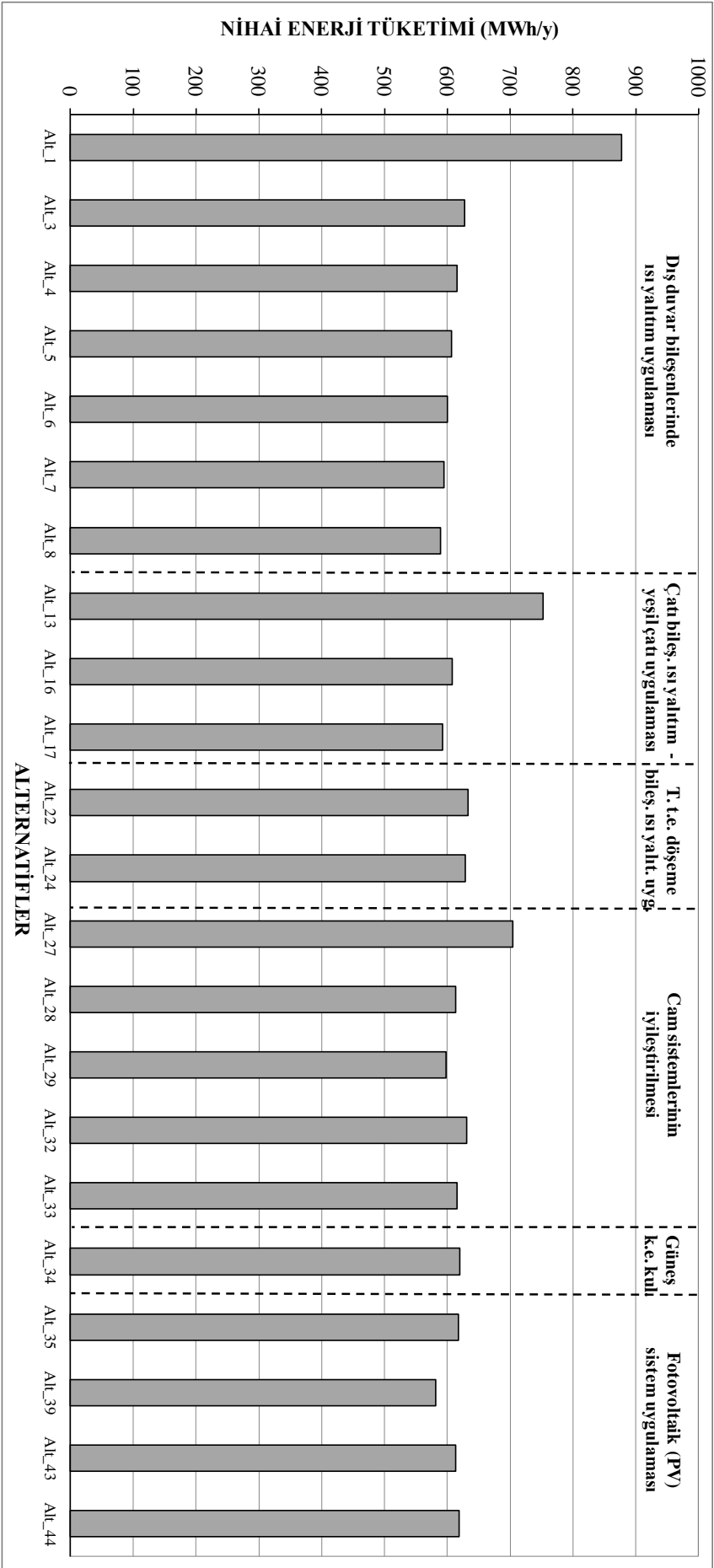
ÖNLEMLER		YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ ve YAŞAM DÖNGÜSÜ CO ₂ ANALİZ SONUÇLARI											
Alternatifler	Alt. No.	Gömülü Enerji (MWh)	Gömülü Karbon (tonCO ₂)	Nihai Enerji Tüketimi (MWh/y)	Kullanım Enerjisi (MWh/y)	Kullanım Karbonu (tonCO ₂ /y)	Enerji Kap. Faktörü (%)	Yaşam Döngüsü Enerji Tüketimi (MWh)	Enerji Geri Ödeme Oranı	Enerji Geri Ödeme Süresi (y)	Yaşam Döngüsü CO ₂ Salımı (tonCO ₂)	CO ₂ Salımı Geri Öd. Oranı	CO ₂ Salımı Geri Öd. Süresi (y)
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_1	7401.80	2291.84	855.06	1160.47	249.61	-	42215.89	-	-	9780.14	-	-
	Alt_3	7542.01	2306.76	627.79	923.46	201.65	-	35245.77	50.71	0.6	8356.23	96.48	0.3
	Alt_4	7570.05	2309.74	614.95	908.00	198.41	-	34810.16	45.01	0.7	8261.99	85.84	0.3
	Alt_5	7598.10	2312.72	608.61	903.79	197.69	-	34711.87	39.23	0.8	8243.36	74.61	0.4
	Alt_6	7626.14	2315.71	601.77	896.80	196.28	-	34530.15	35.26	0.9	8204.13	67.05	0.4
	Alt_7	7654.18	2318.69	596.13	891.02	195.12	-	34384.88	32.03	0.9	8172.22	60.90	0.5
	Alt_8	7682.23	2321.67	591.36	886.14	194.13	-	34266.45	29.35	1.0	8145.71	55.80	0.5
	Alt_13	7280.44	2277.72	747.45	1041.38	225.14	-	3821.98	-	-	9031.78	-	-
Çatı bileş. ısı yalıtım - yeşil çatı uyg.	Alt_3	7542.01	2306.76	627.79	923.46	201.65	-	35245.77	13.53	2.2	8356.23	24.26	1.2
	Alt_16	7749.96	2330.44	607.06	902.68	197.49	-	34830.28	8.86	3.4	8255.13	15.73	1.9
	Alt_17	7326.85	2279.89	598.84	896.79	196.45	-	34230.54	93.48	0.3	8173.28	396.73	0.1
	Alt_22	7525.50	2302.01	632.31	924.29	201.60	-	35254.16	-	-	8350.11	-	-
	Alt_3	7542.01	2306.76	627.79	923.46	201.65	-	35245.77	1.51	19.9	8356.23	-	-
	Alt_24	7561.53	2313.82	629.14	927.26	202.55	-	35379.26	-	-	8390.31	-	-
	Alt_27	7188.25	2229.92	690.16	990.25	215.26	-	36895.87	-	-	8687.78	-	-
Cam sistemlerinin iyileştirilmesi	Alt_3	7542.01	2306.76	627.79	923.46	201.65	-	35245.77	5.66	5.3	8356.23	5.32	5.6
	Alt_28	7542.01	2306.76	620.69	898.01	195.51	-	34482.33	7.82	3.8	8171.98	7.71	3.9
	Alt_29	7542.03	2306.76	605.82	883.04	192.51	-	34033.29	9.09	3.3	8082.00	8.88	3.4
	Alt_32	7542.01	2306.76	641.78	920.58	200.10	-	35159.28	5.91	5.1	8309.90	5.92	5.1
	Alt_33	7542.03	2306.76	627.06	905.24	197.00	-	34699.13	7.21	4.2	8216.80	7.13	4.2
	Alt_3	7542.01	2306.76	627.79	923.46	201.65	-	35245.77	-	-	8356.23	-	-
Güneş kont. elem. kul.	Alt_34	7706.93	2337.51	620.95	898.14	195.52	-	34651.07	4.61	6.5	8203.26	5.97	5.0
	Alt_3	7542.01	2306.76	627.79	923.46	201.65	-	35245.77	-	-	8356.23	-	-
	Alt_38	7612.01	2320.11	614.67	881.10	190.03	6.03	34183.86	16.17	5.3	8059.09	23.25	0.9
	Alt_42	7794.00	2354.82	579.62	767.87	158.97	22.16	31340.60	16.50	5.2	7263.97	23.73	0.9
Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması	Alt_43	7699.97	2336.75	614.39	880.18	189.78	6.16	34247.40	7.32	11.8	8069.03	10.58	0.4
	Alt_44	7699.97	2336.75	618.53	893.57	193.45	4.26	34605.02	5.06	17.1	8167.13	7.31	0.3

Çizelge C.5 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDE ve YDCO₂ analiz sonuçları.

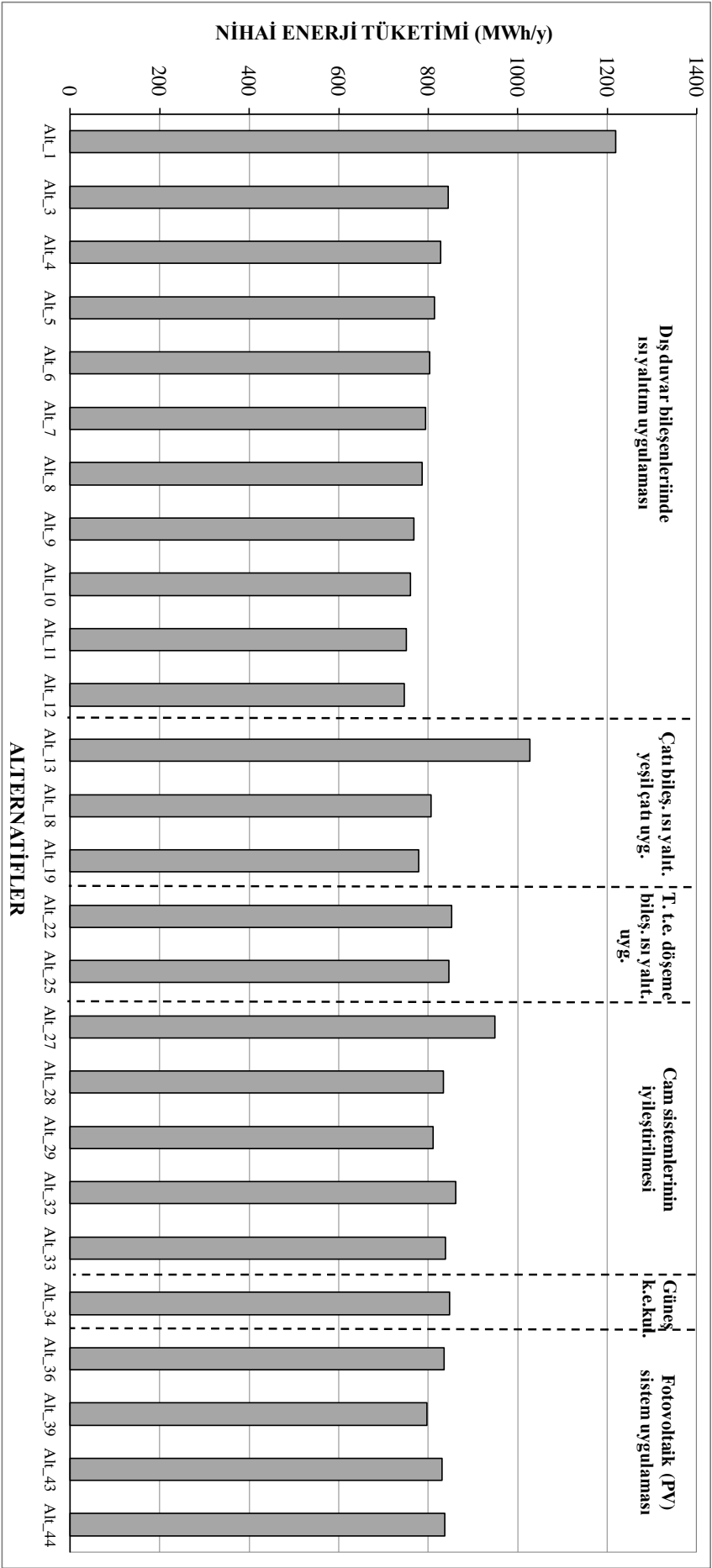
ÖNLEMLER		YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ VE YAŞAM DÖNGÜSÜ CO ₂ ANALİZ SONUÇLARI												
Alternatifler	Alt. No.	Gömülü Enerji (MWh)	Gömülü Karbon (tonCO ₂)	Nihai Enerji Tüketimi (MWh/y)	Kullanım Enerjisi (MWh/y)	Kullanım Karbonu (tonCO ₂ /y)	Enerji Kap. Faktörü (%)	Yaşam Döngüsü Enerji Tüketimi (MWh)	Yaşam Döngüsü Enerji Tüketimi	Enerji Geri Ödeme Oranı	Enerji Geri Ödeme Süresi (y)	Yaşam Döngüsü CO ₂ Salımı (tonCO ₂)	CO ₂ Salım Geri Öd. Oranı	CO ₂ Salım Geri Öd. Süresi (y)
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_1	7401.80	2291.84	1600.56	1824.57	377.76	-	62139.03	-	-	-	13624.73	-	-
	Alt_3	7542.01	2306.76	1051.90	1280.03	269.09	-	45942.80	116.51	0.3	0.3	10379.43	218.62	0.1
	Alt_6	7626.14	2315.71	992.29	1221.31	257.40	-	44265.59	80.67	0.4	0.4	10037.65	151.34	0.2
	Alt_7	7654.18	2318.69	979.50	1208.72	254.89	-	43915.92	73.20	0.4	0.4	9965.45	137.32	0.2
	Alt_8	7682.23	2321.67	968.76	1198.17	252.79	-	43627.23	67.01	0.4	0.4	9905.39	125.70	0.2
	Alt_9	7766.36	2330.62	944.84	1174.66	248.11	-	43006.30	53.48	0.6	0.6	9774.04	100.31	0.3
	Alt_10	7822.44	2336.58	933.38	1163.41	245.88	-	42724.79	47.15	0.6	0.6	9712.84	88.44	0.3
	Alt_11	7906.57	2345.53	920.31	1150.58	243.32	-	42423.91	40.06	0.7	0.7	9645.20	75.13	0.4
	Alt_12	7962.66	2351.50	913.51	1143.91	242.00	-	42279.91	36.41	0.8	0.8	9611.37	68.28	0.4
	Alt_13	7280.44	2277.72	1298.87	1523.75	317.65	-	52992.87	-	-	-	11807.12	-	-
	Alt_3	7542.01	2306.76	1051.90	1280.03	269.09	-	45942.80	27.95	1.1	1.1	10379.43	50.17	0.6
	Alt_20	8159.57	2375.91	985.86	1215.14	256.18	-	44613.77	10.53	2.8	2.8	10061.31	18.78	1.6
Alt_21	7390.60	2286.87	977.12	1207.06	254.60	-	43602.40	86.24	0.3	0.3	9924.87	206.64	0.1	
Alt_22	7525.50	2302.01	1058.60	1285.55	270.13	-	46091.89	-	-	-	10405.77	-	-	
Alt_3	7542.01	2306.76	1051.90	1280.03	269.09	-	45942.80	10.03	3.0	3.0	10379.43	6.55	4.6	
Alt_26	7574.74	2315.22	1055.44	1284.77	270.11	-	46117.74	-	-	-	10418.39	-	-	
Alt_27	7188.25	2229.92	1199.55	1424.96	297.92	-	49936.96	-	-	-	11167.49	-	-	
Alt_3	7542.01	2306.76	1051.90	1280.03	269.09	-	45942.80	12.29	2.4	2.4	10379.43	11.26	2.7	
Alt_30	7542.01	2306.76	1018.46	1246.43	262.36	-	44934.91	15.14	2.0	2.0	10177.59	13.88	2.2	
Alt_31	7542.03	2306.76	984.79	1213.43	255.80	-	43944.82	17.94	1.7	1.7	9980.70	16.45	1.8	
Alt_3	7542.01	2306.76	1051.90	1280.03	269.09	-	45942.80	-	-	-	10379.43	-	-	
Alt_34	7706.93	2337.51	1060.99	1286.74	270.29	-	46309.05	-	-	-	10446.35	-	-	
Alt_3	7542.01	2306.76	1051.90	1280.03	269.09	-	45942.80	-	-	-	10379.43	-	-	
Alt_37	7608.90	2319.52	1039.52	1240.05	258.12	-	44941.47	15.97	5.4	5.4	10099.17	22.97	0.9	
Alt_40	7784.67	2353.04	1009.04	1141.60	231.12	-	42486.73	15.24	5.7	5.7	9411.14	21.92	0.8	
Alt_43	7699.97	2336.75	1038.93	1238.14	257.60	-	44981.54	7.09	12.2	12.2	10102.41	10.24	0.4	
Alt_44	7699.97	2336.75	1042.69	1250.29	260.93	-	45306.11	5.03	17.2	17.2	10191.44	7.27	0.3	
Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması	Alt_44	7699.97	2336.75	1042.69	1250.29	260.93	-	45306.11	5.03	17.2	17.2	10191.44	7.27	0.3



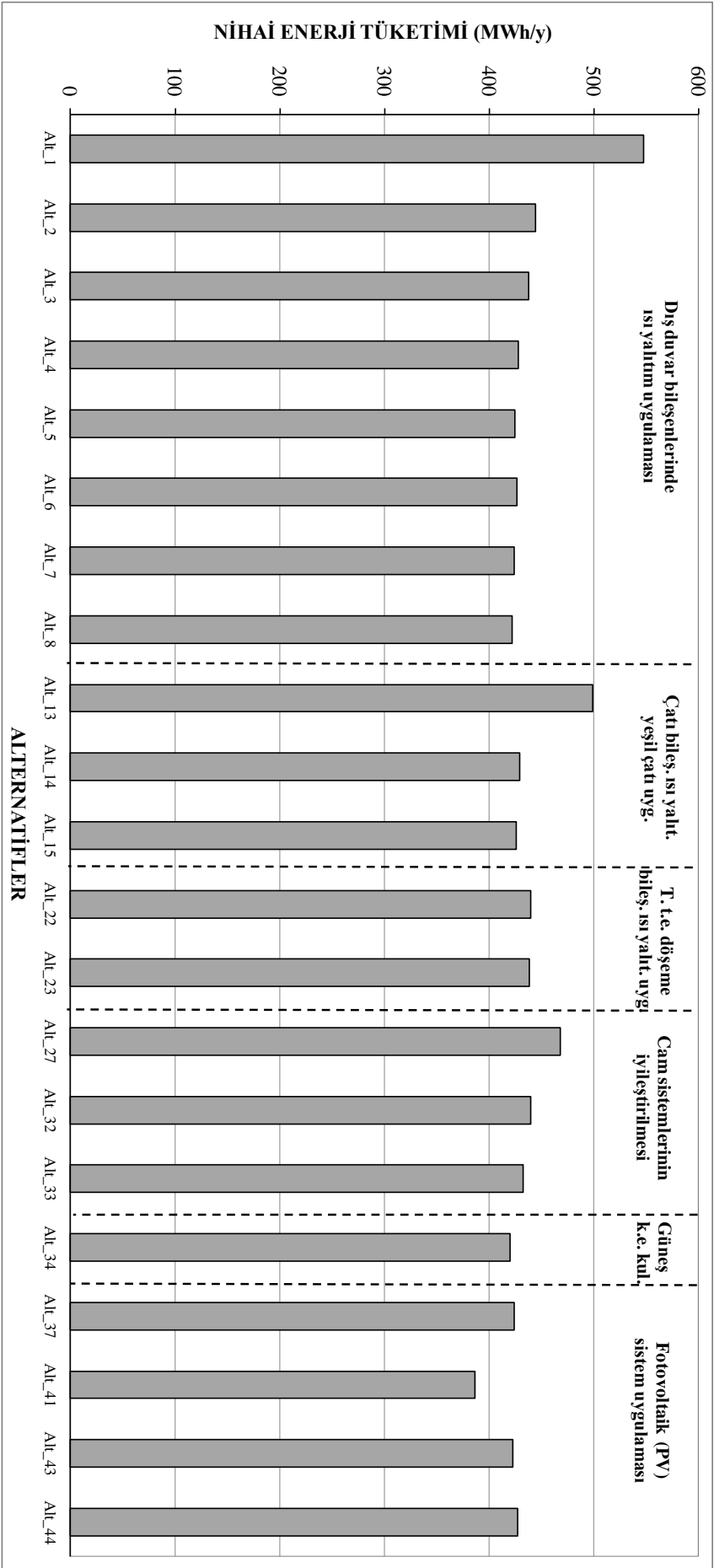
Şekil C.1 : İyileştirme önlemlerine ilişkin gömülü enerji değerleri.



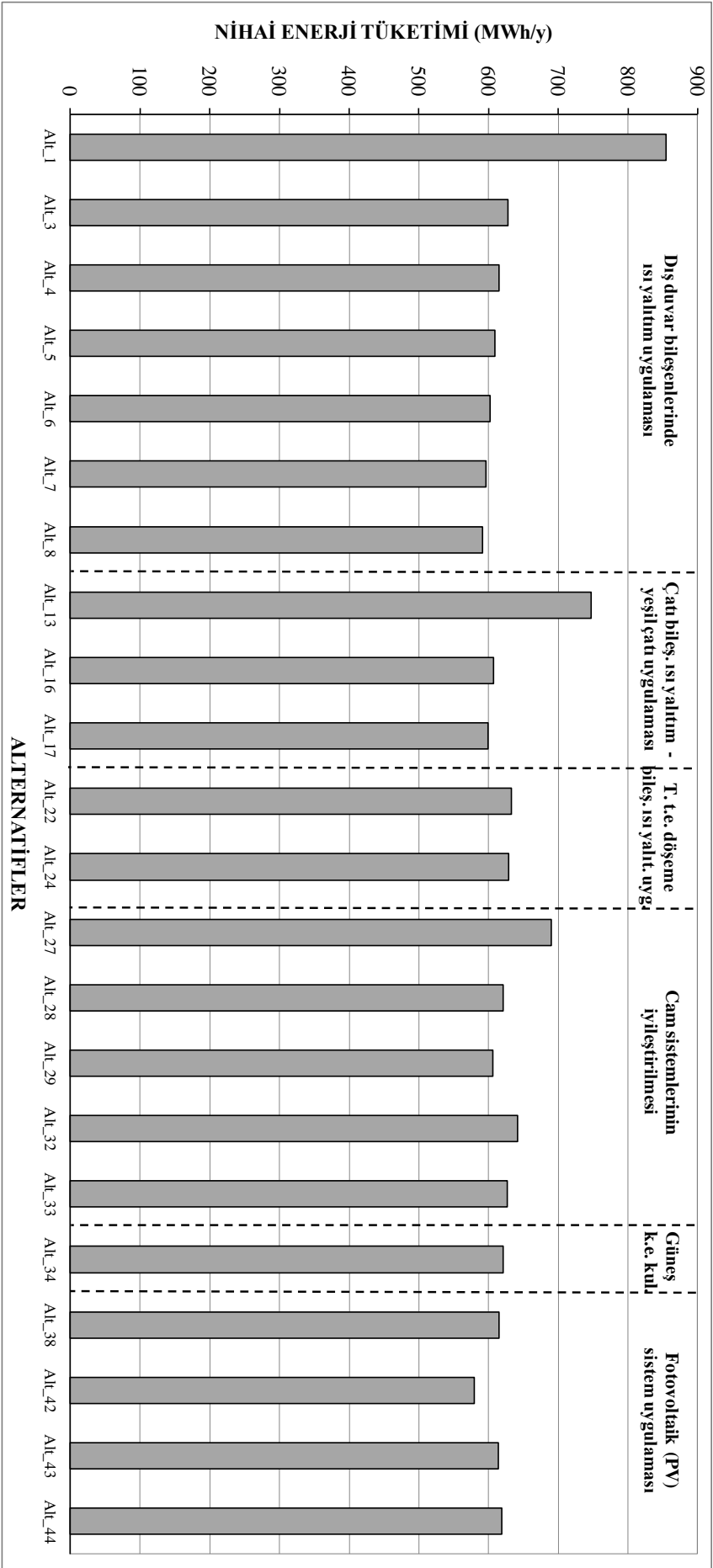
Şekil C.2 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin nihai enerji tüketim değerleri.



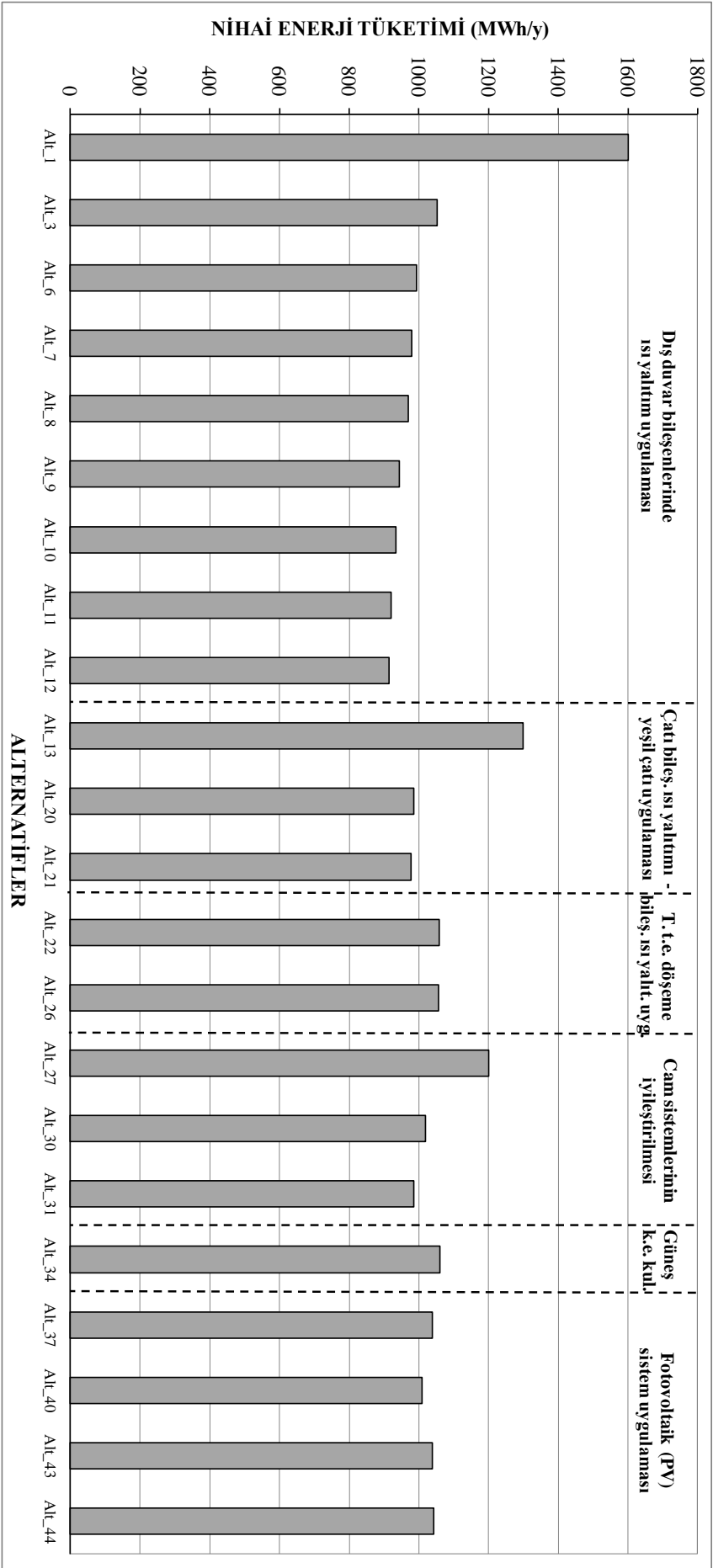
Şekil C.3 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin nihai enerji tüketim değerleri.



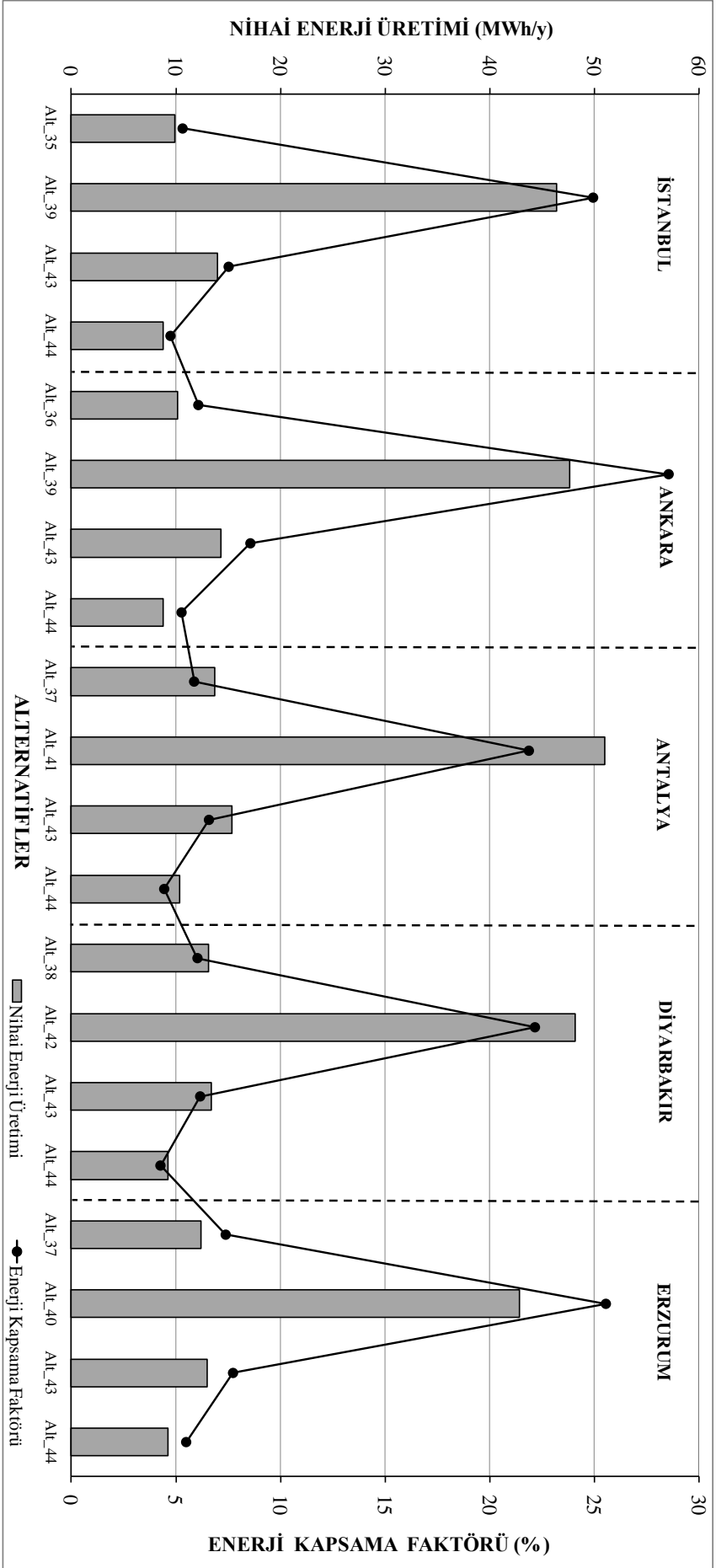
Şekil C.4 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin nihai enerji tüketim değerleri.

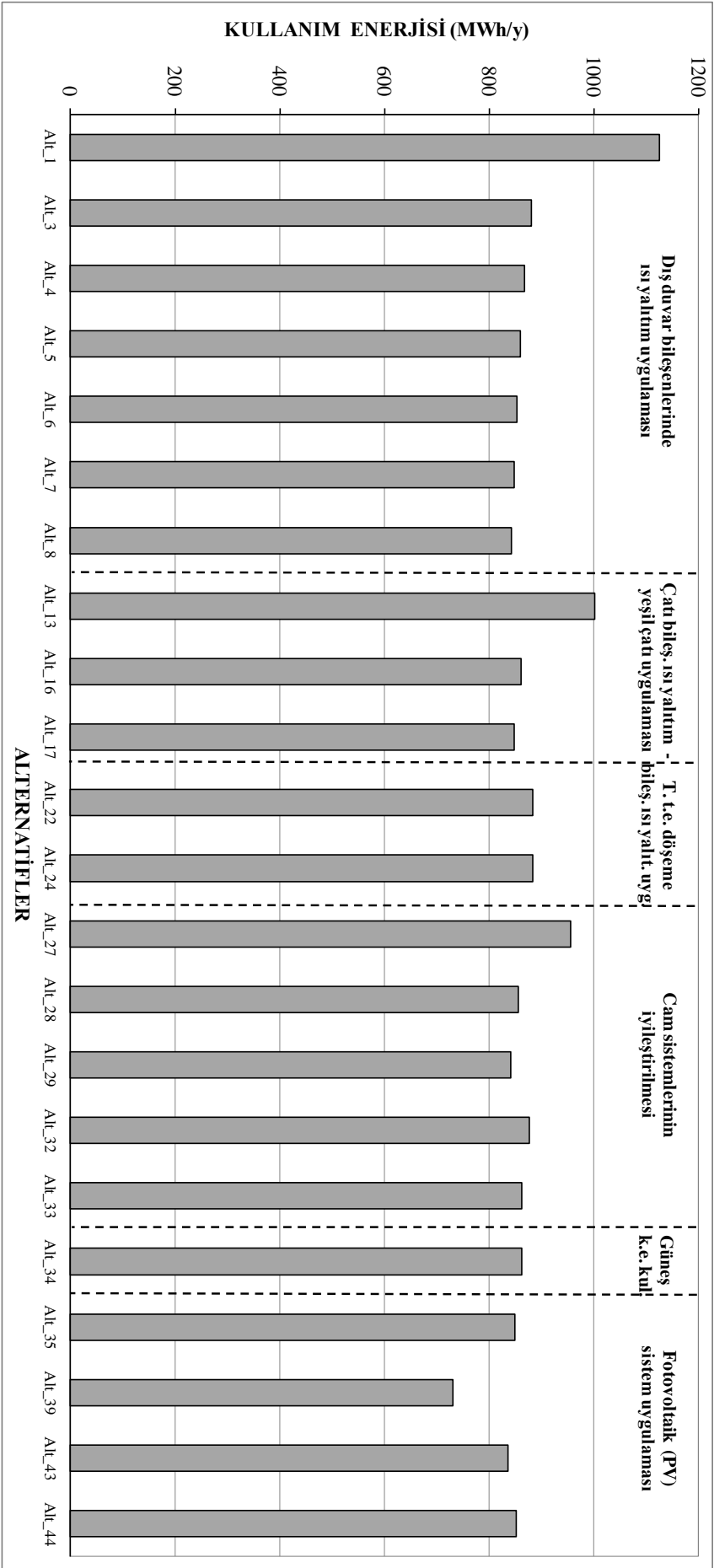


Şekil C.5 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin nihai enerji tüketim değerleri.

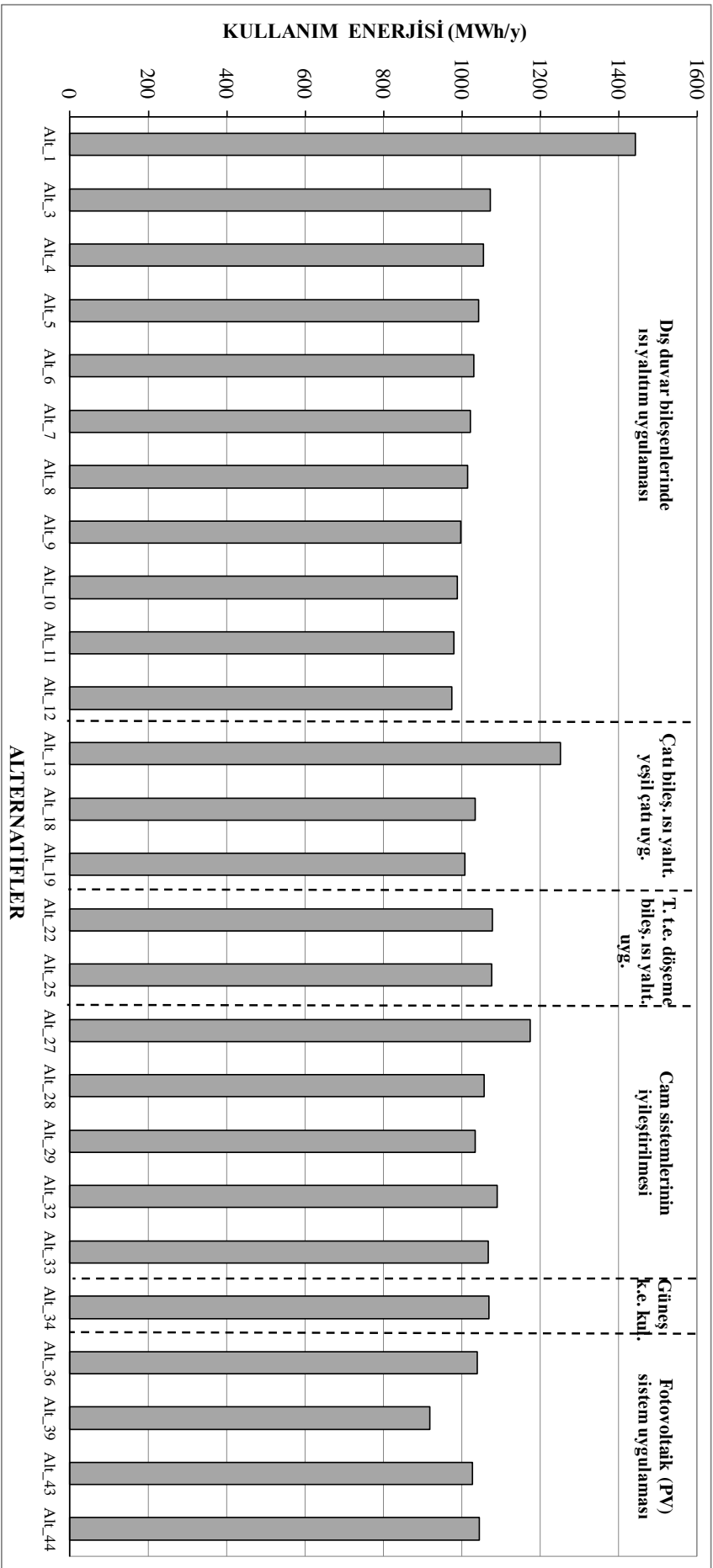


Şekil C.6 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin nihai enerji tüketim değerleri.

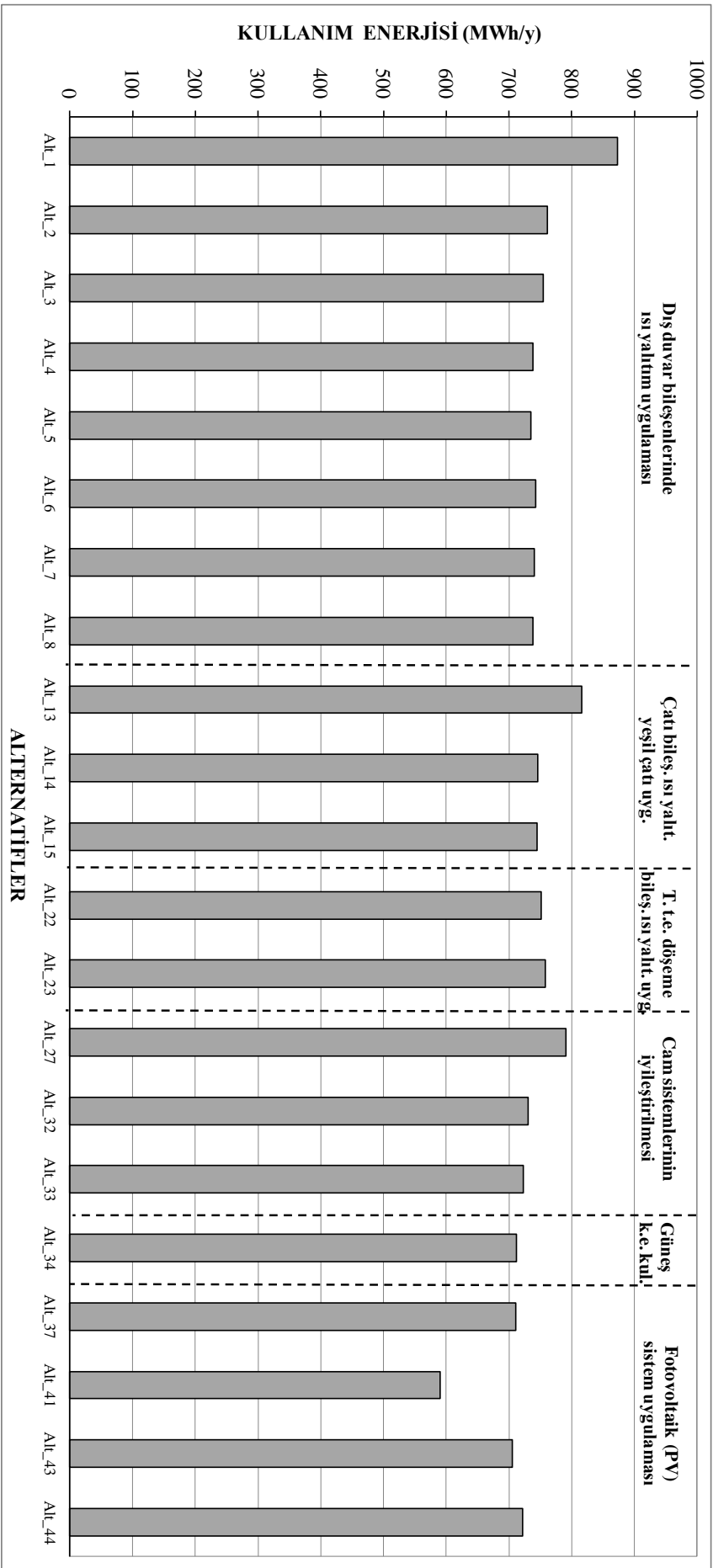




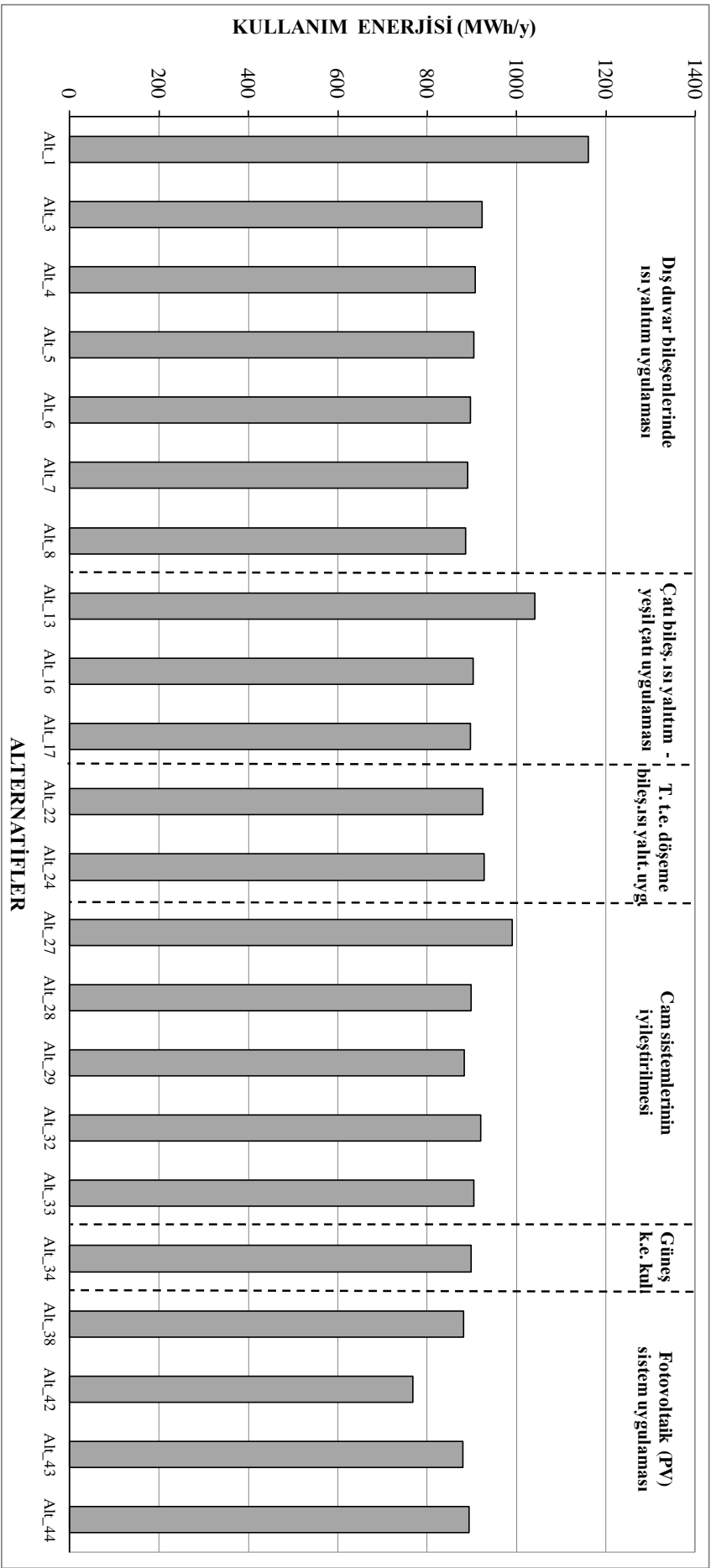
Şekil C.8 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım enerjisi değerleri.



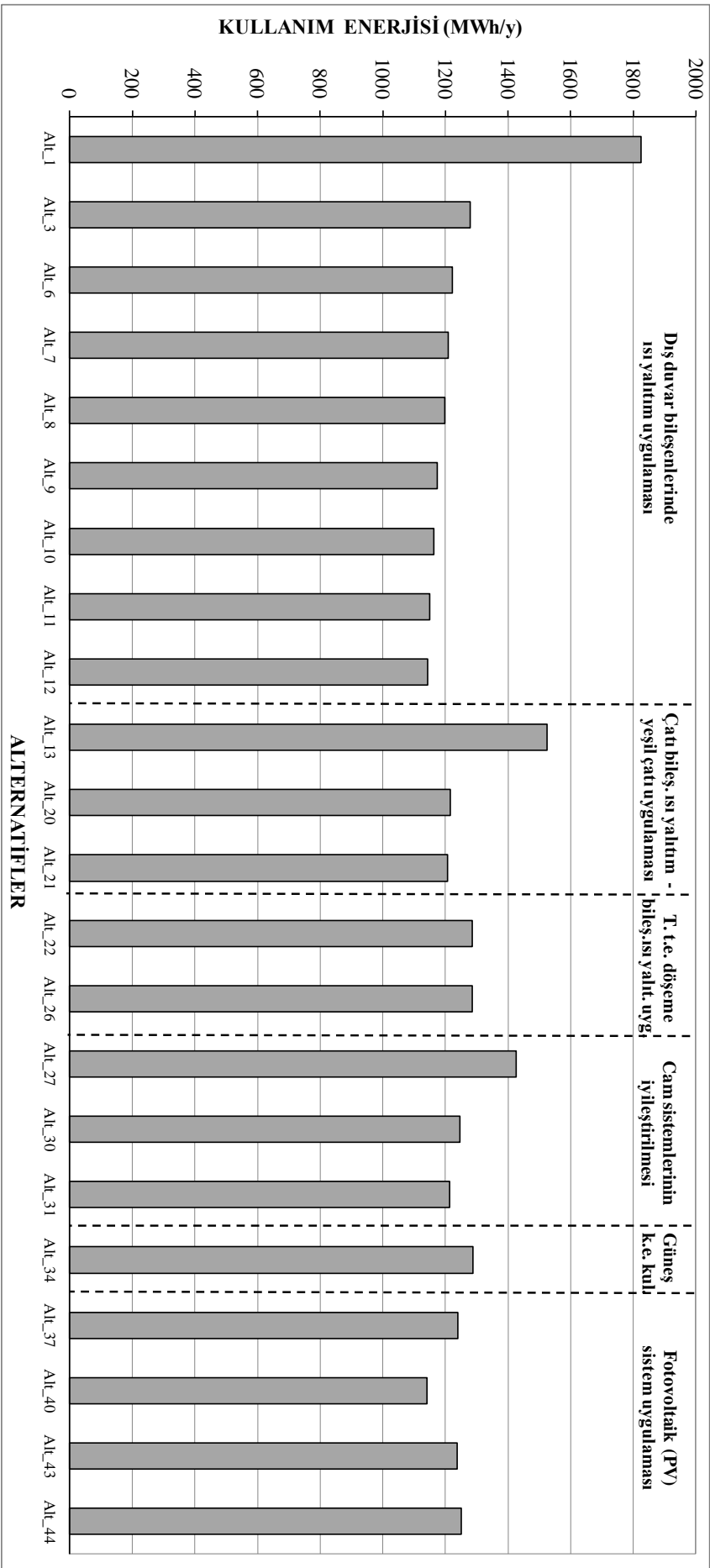
Şekil C.9 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım enerjisi değerleri.



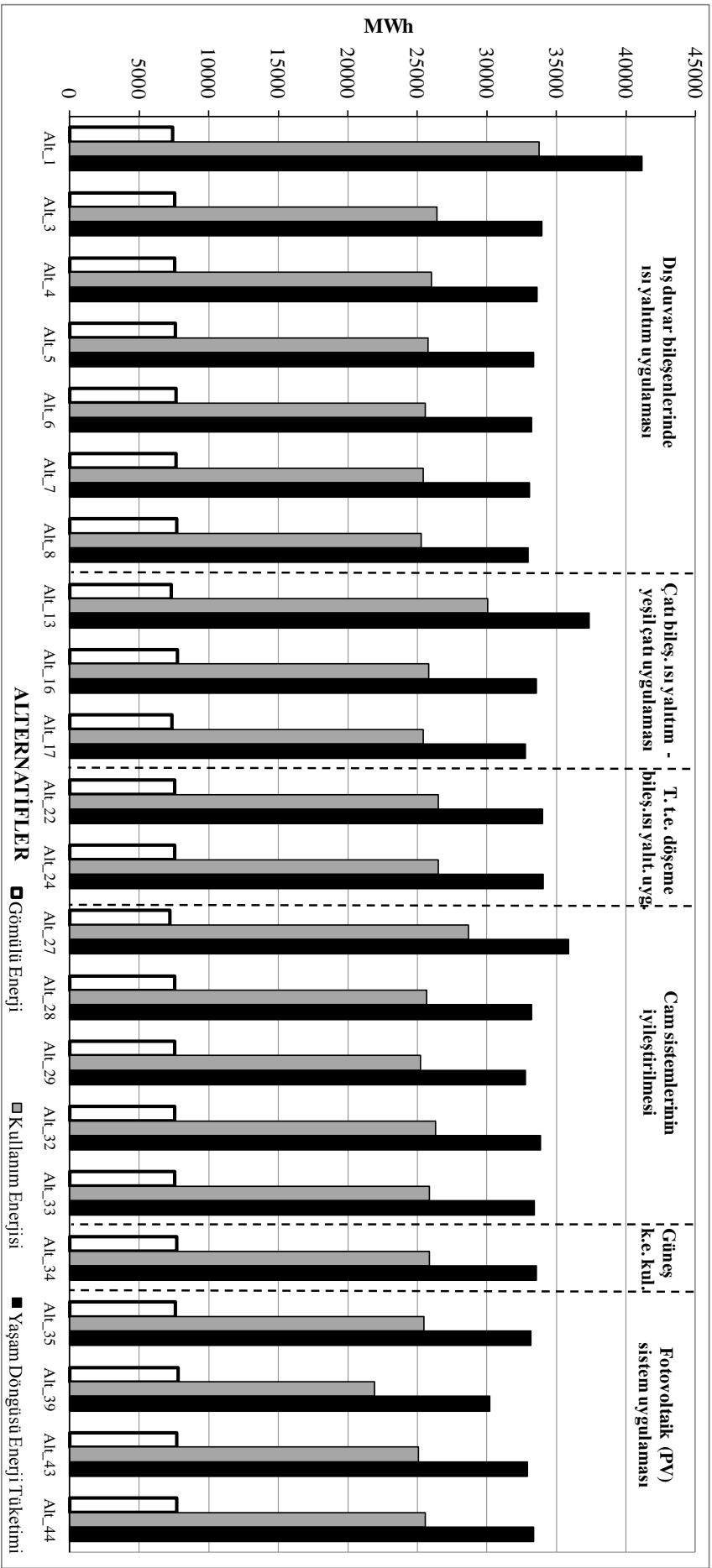
Şekil C.10 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım enerjisi değerleri.



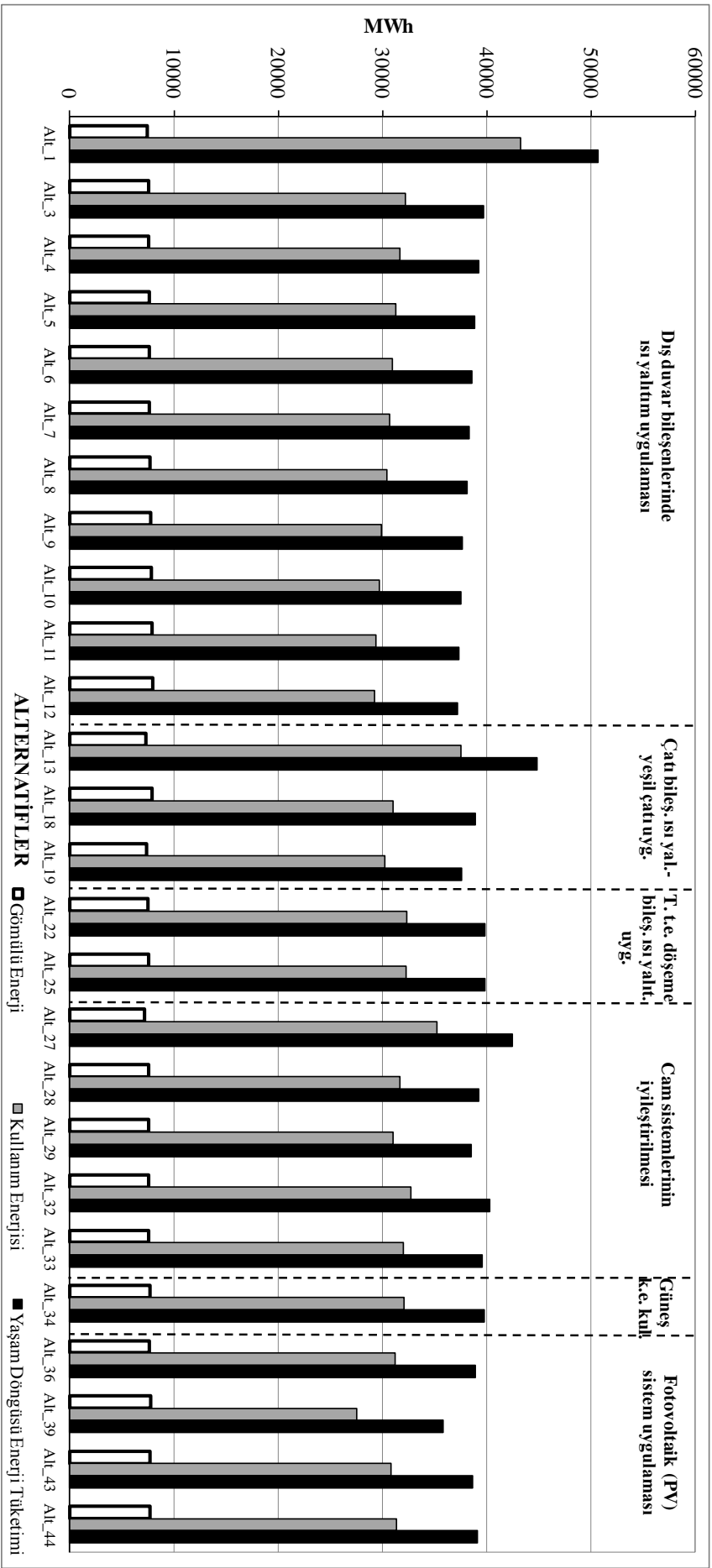
Şekil C.11 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım enerjisi değerleri.



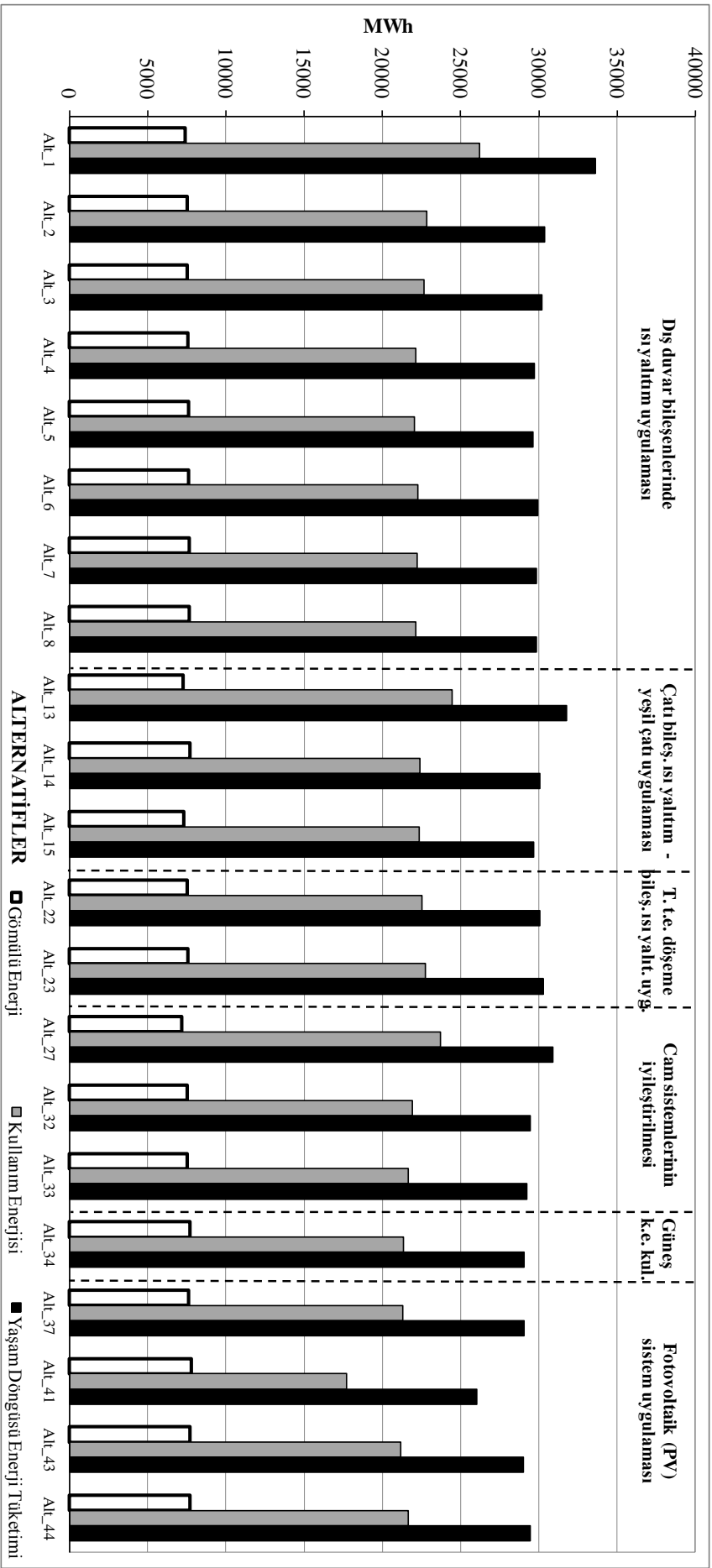
Şekil C.12 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım enerjisi değerleri.



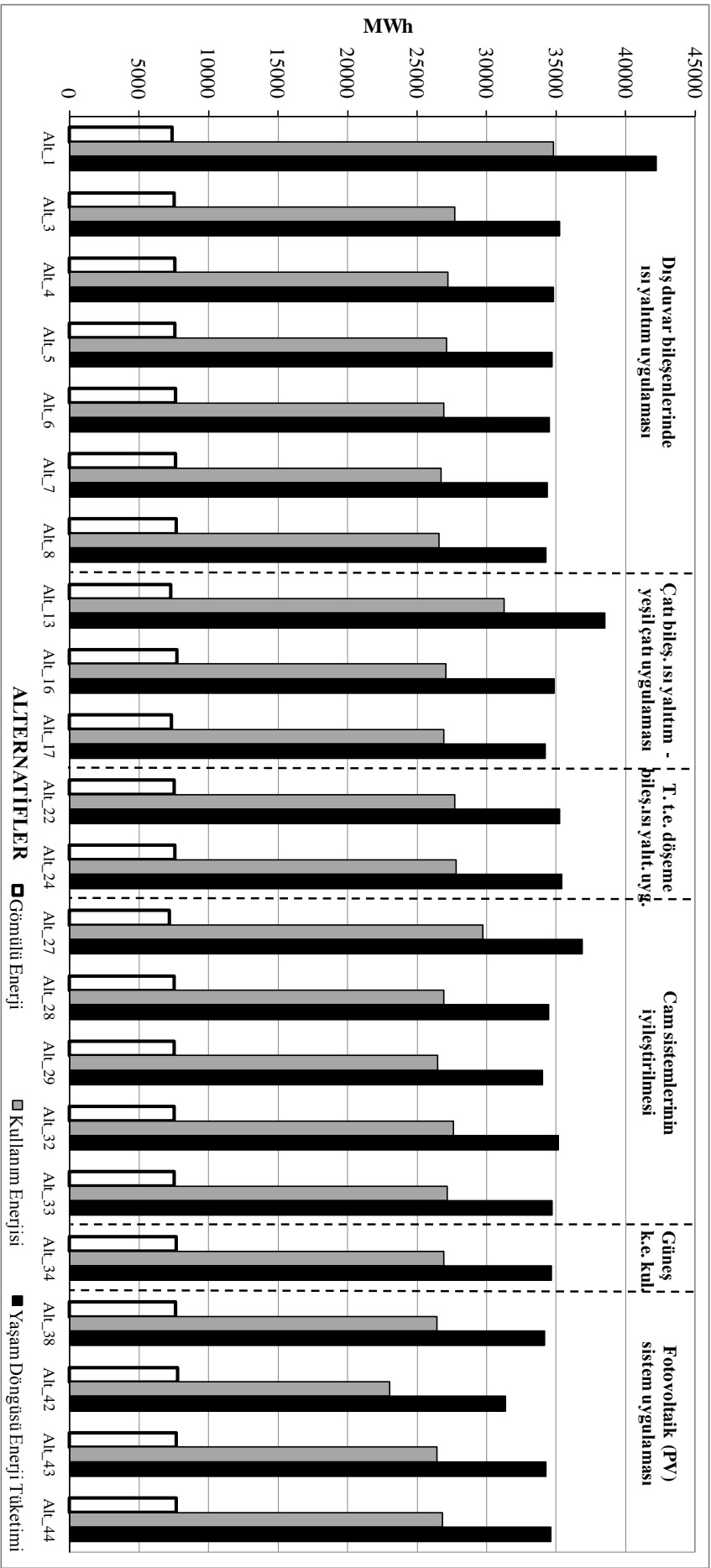
Şekil C.13 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GE, KE ve YDFT değerleri.



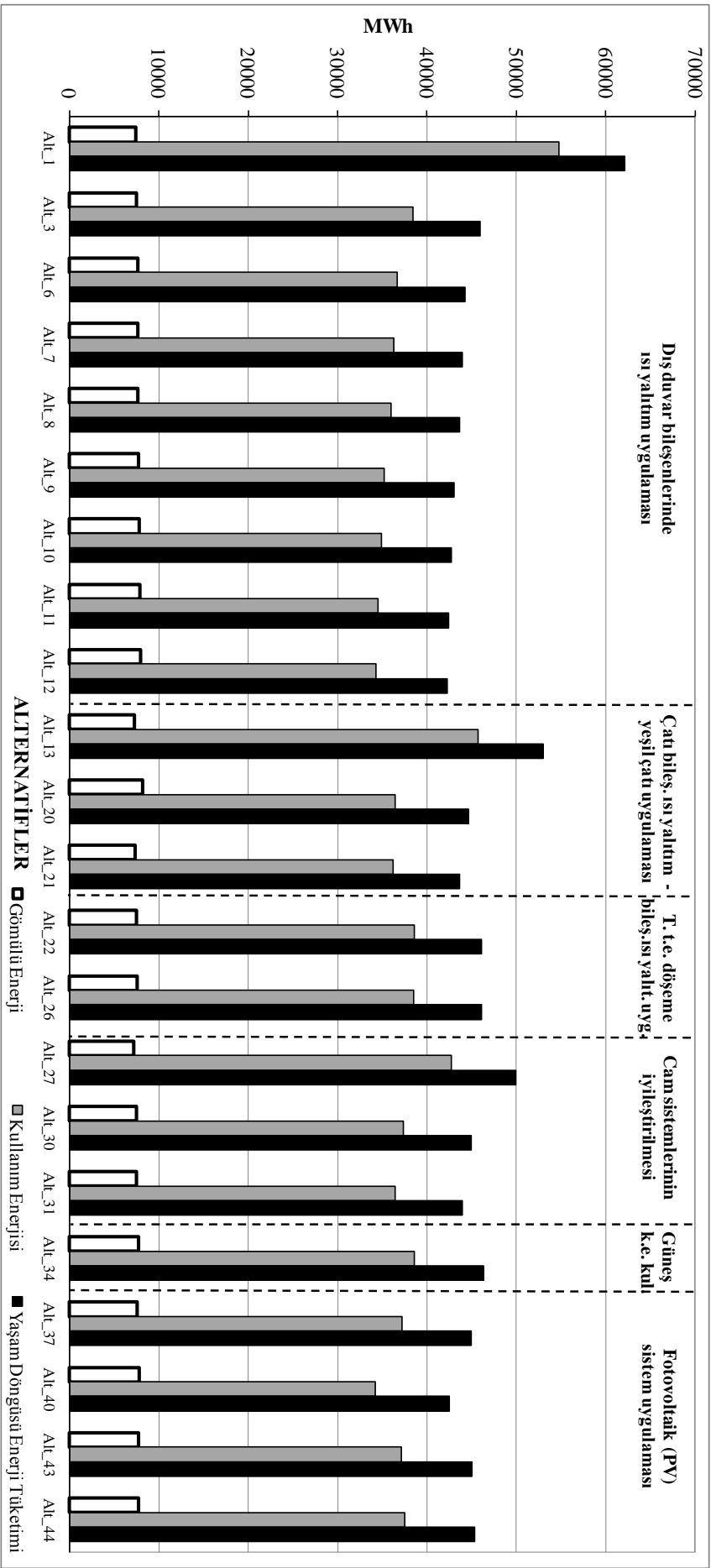
Şekil C.14 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GE, KE ve YDET değerleri.



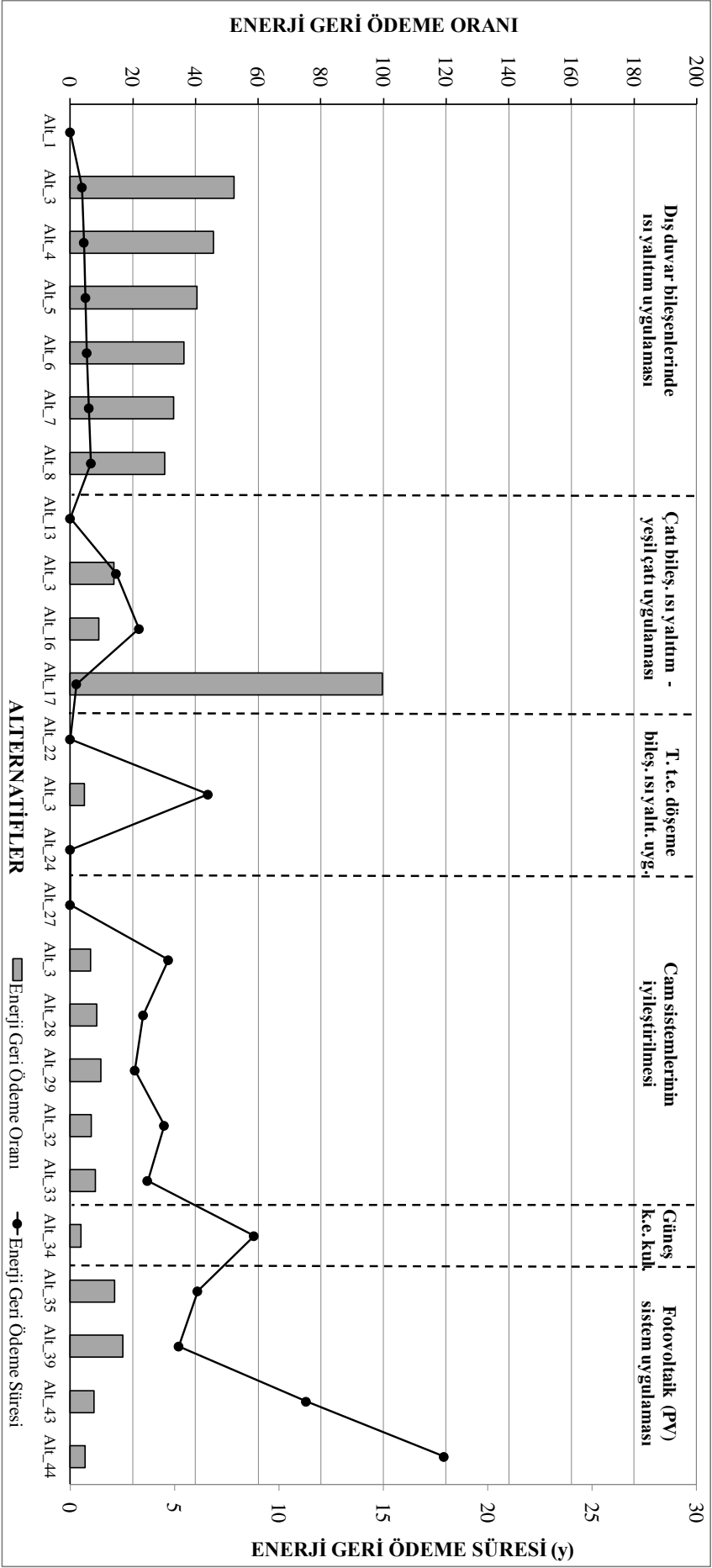
Şekil C.15 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GE, KE ve YDEFT değerleri.



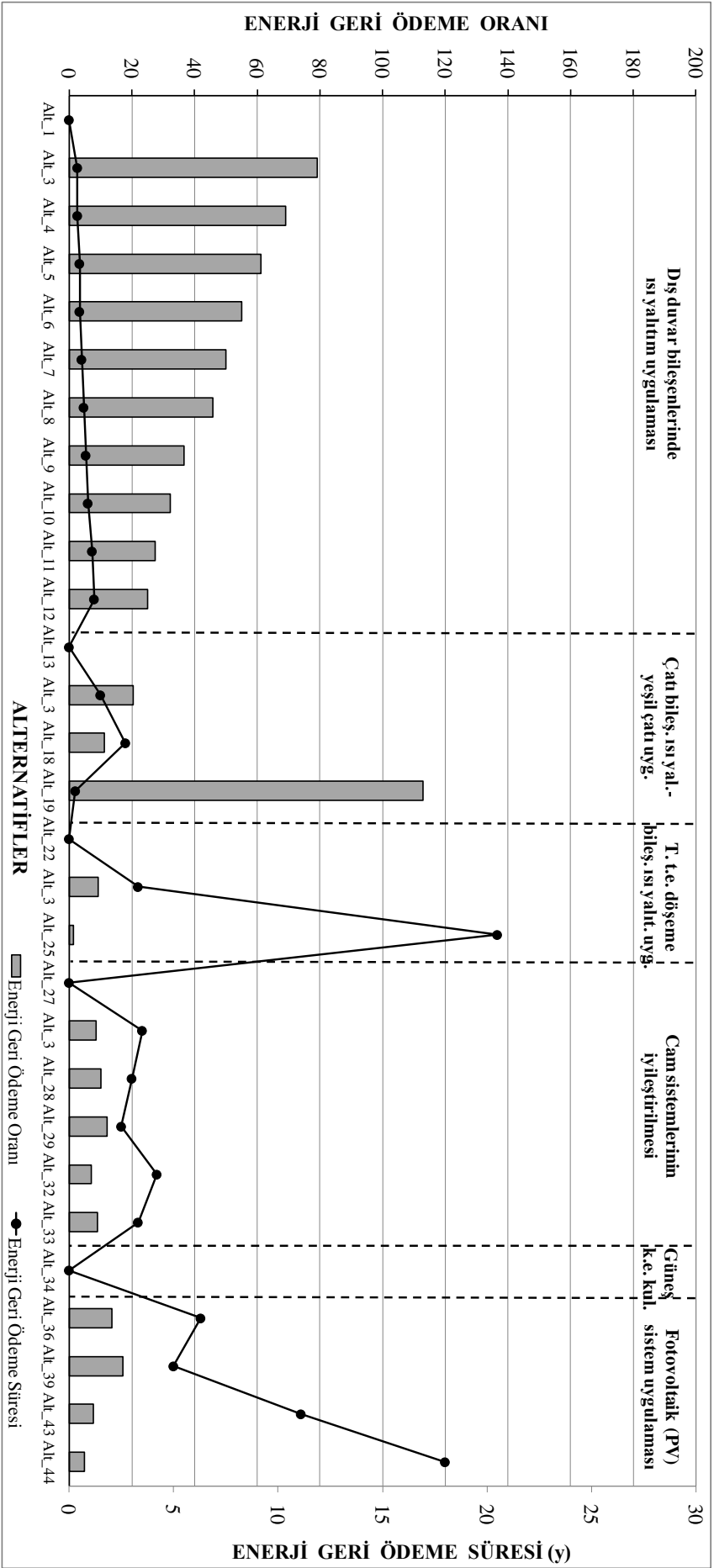
Şekil C.16 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GE, KE ve YDEFT değerleri.



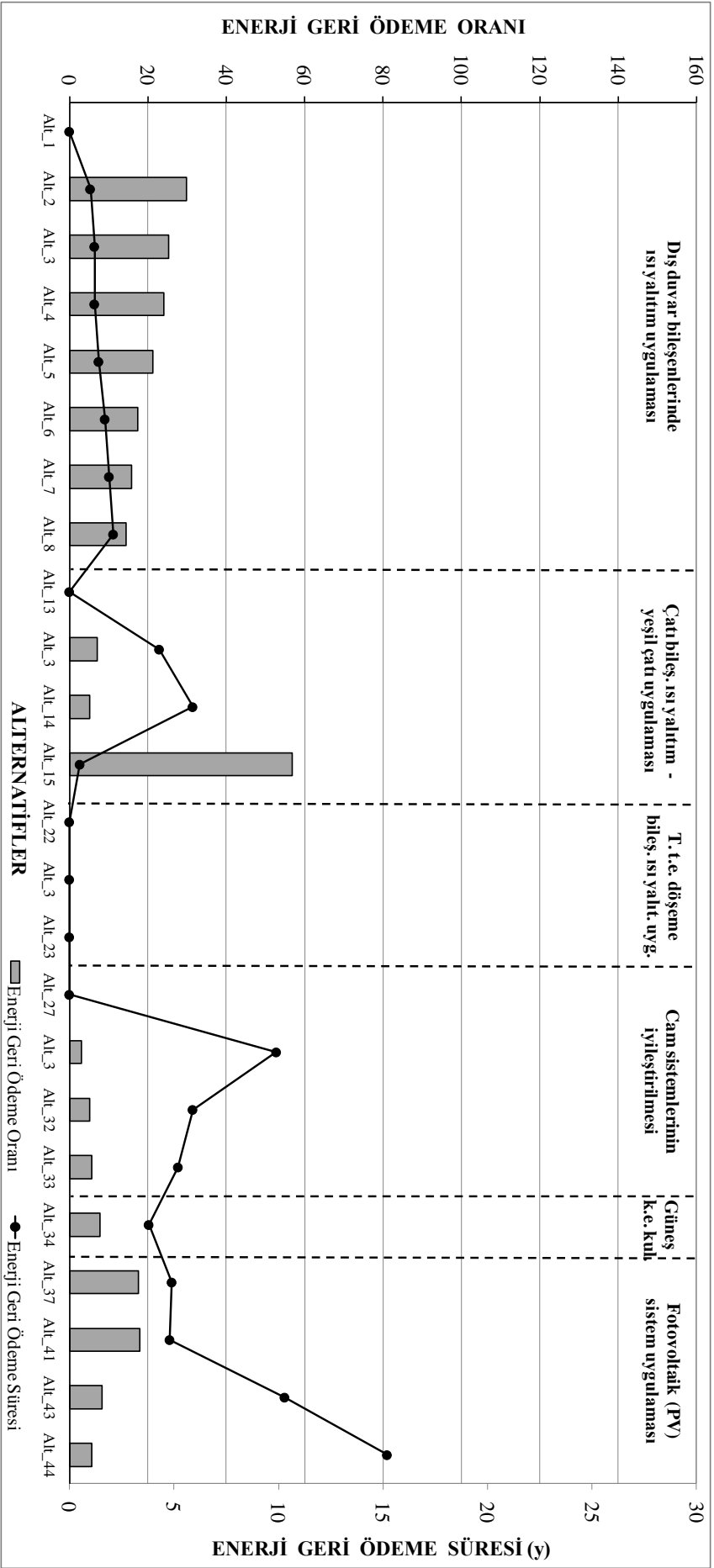
Şekil C.17 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GE, KE ve YDET değerleri.



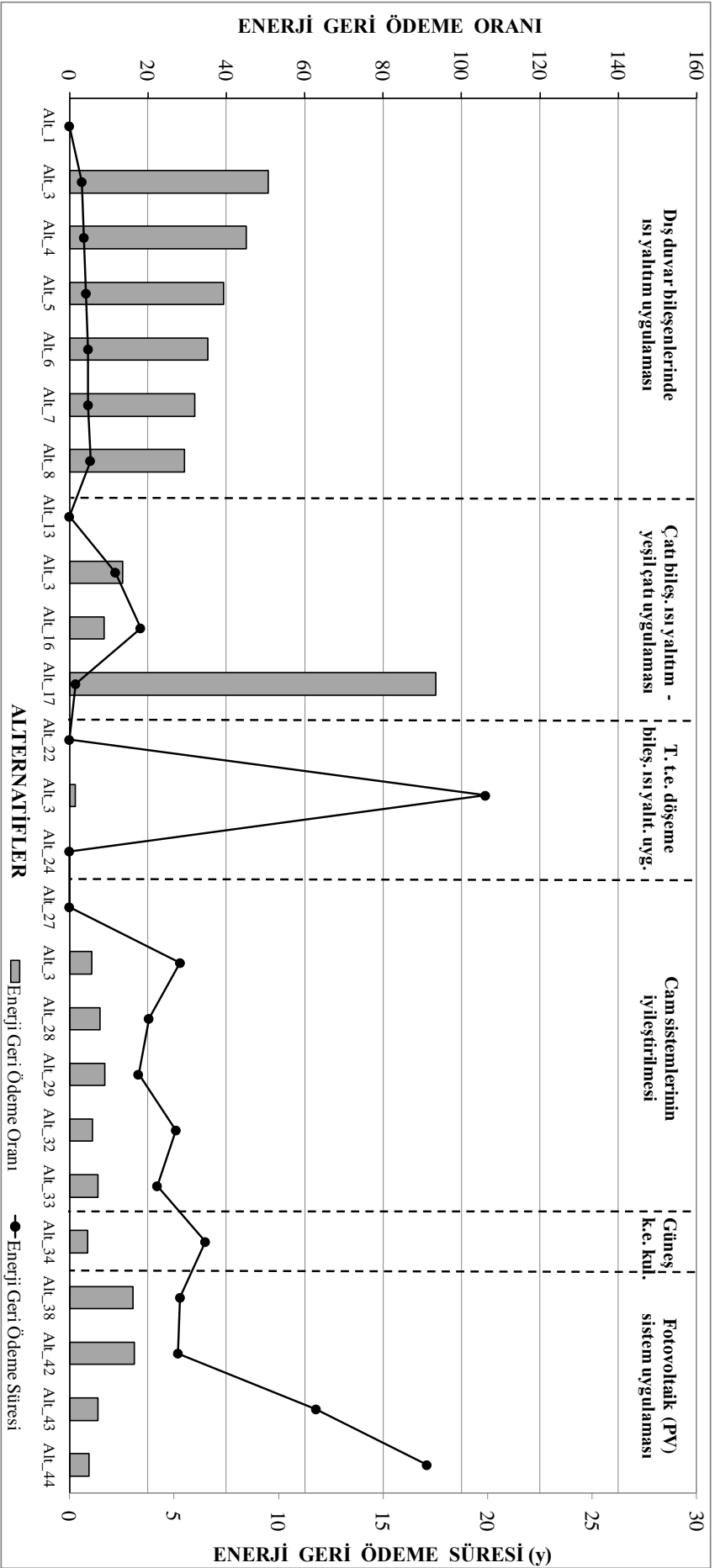
Şekil C.18 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süreleri.



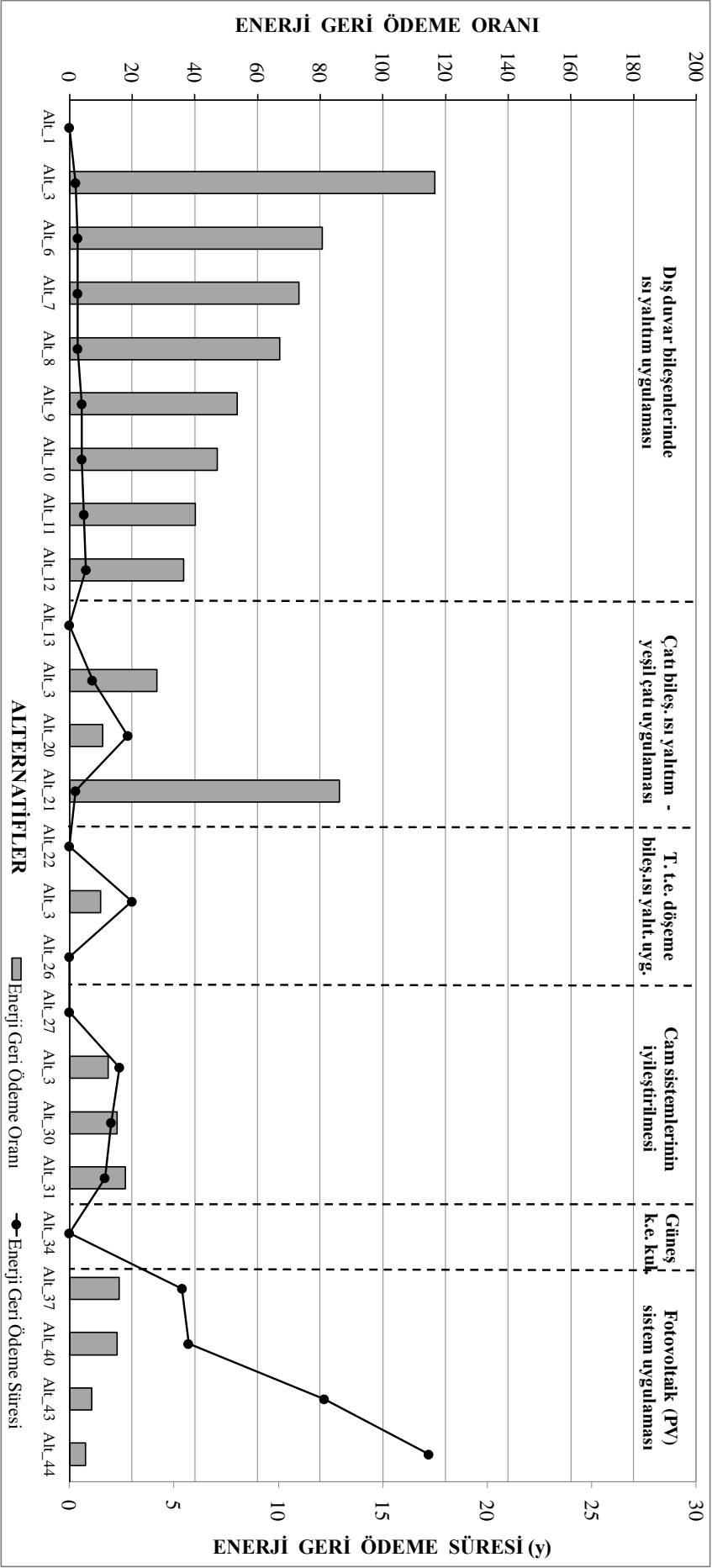
Şekil C.19 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süreleri.



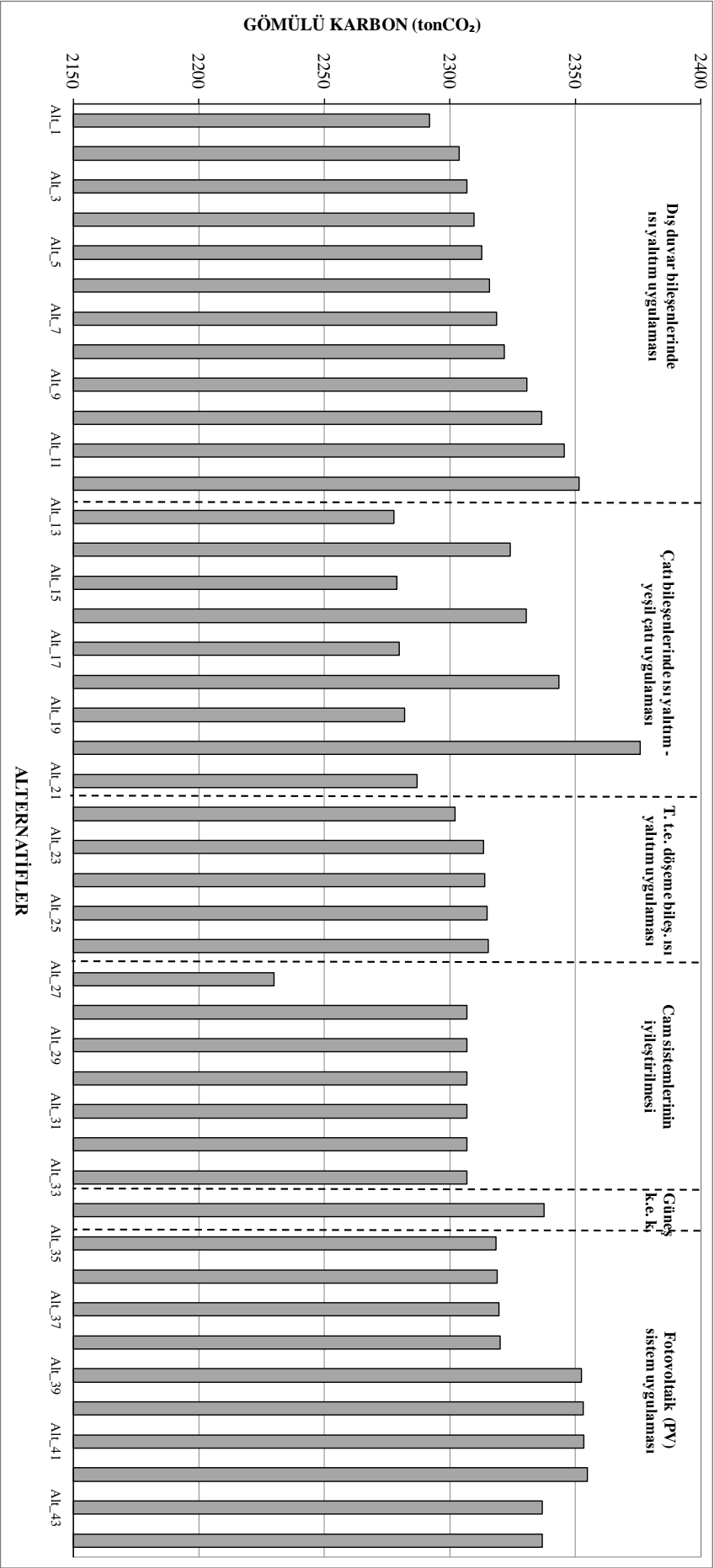
Şekil C.20 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süreleri.



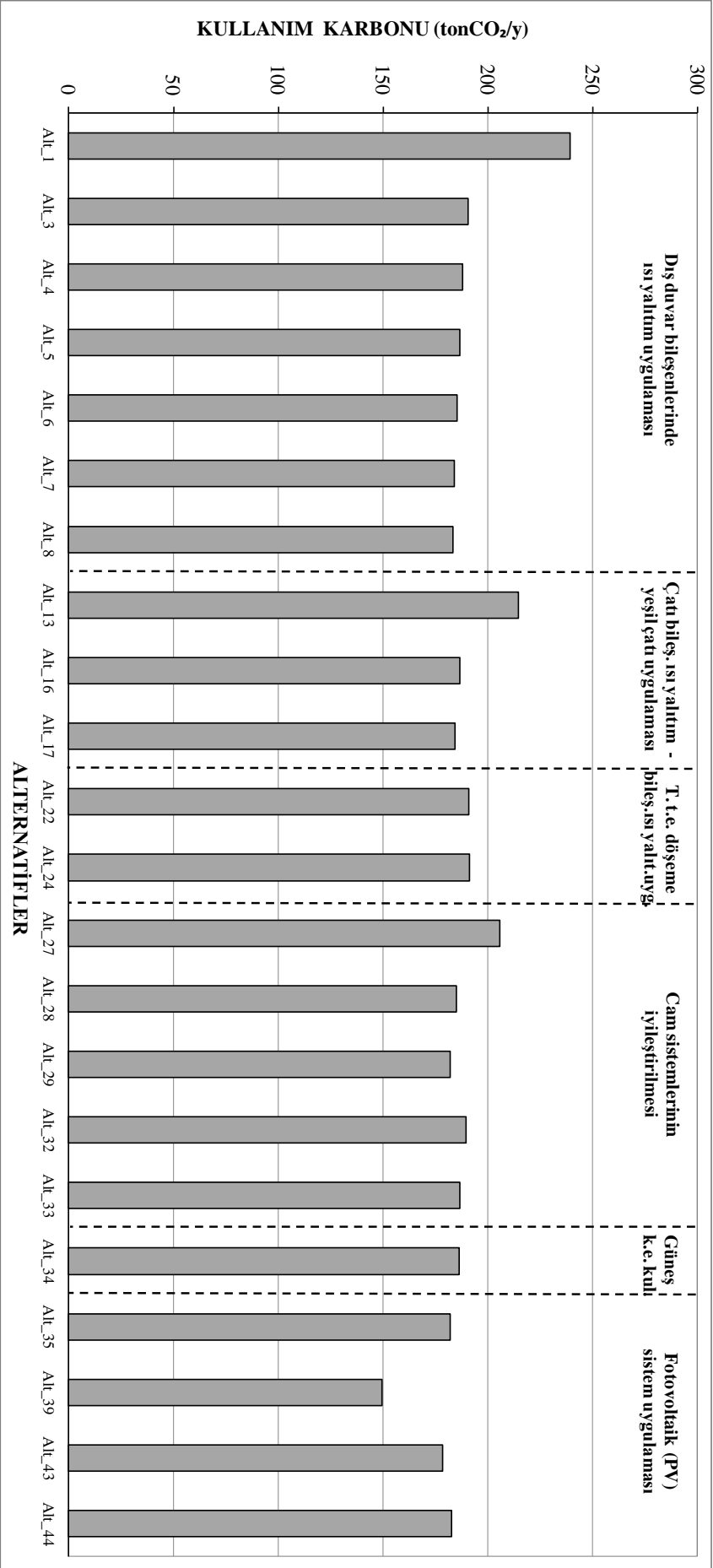
Şekil C.21 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süreleri.



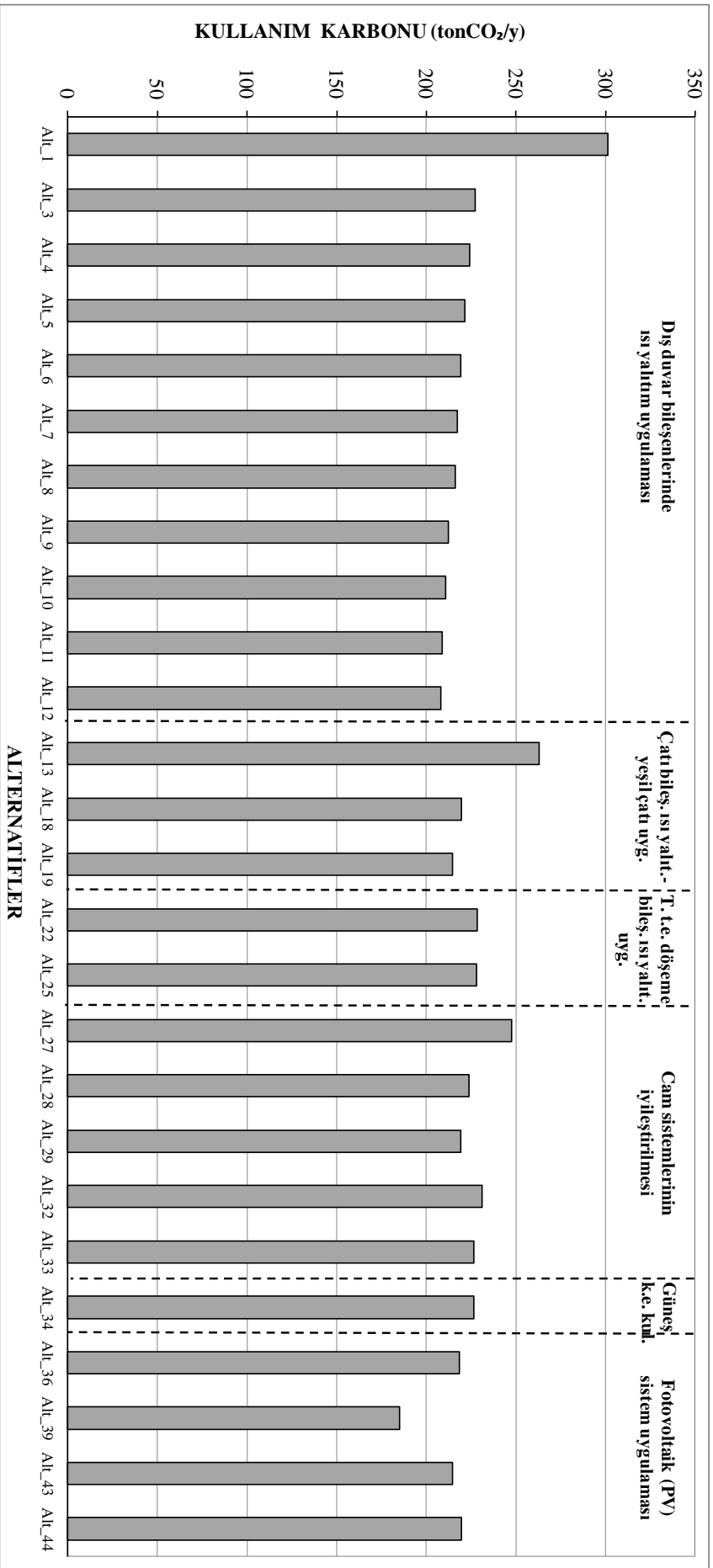
Şekil C.22 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin enerji geri ödeme oranı ve enerji geri ödeme süreleri.



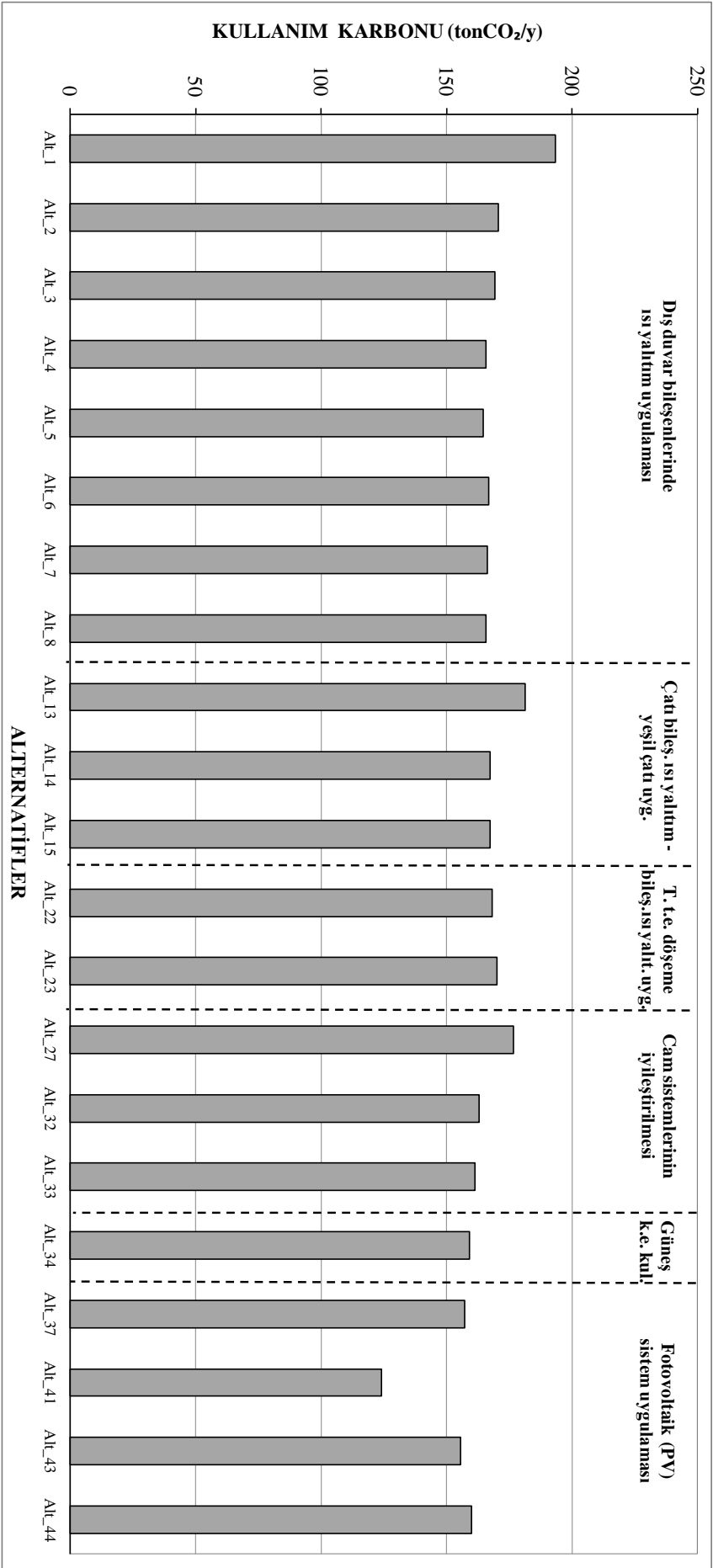
Şekil C.23 : İyileştirme önlemlerine ilişkin gömülü karbon değerleri.



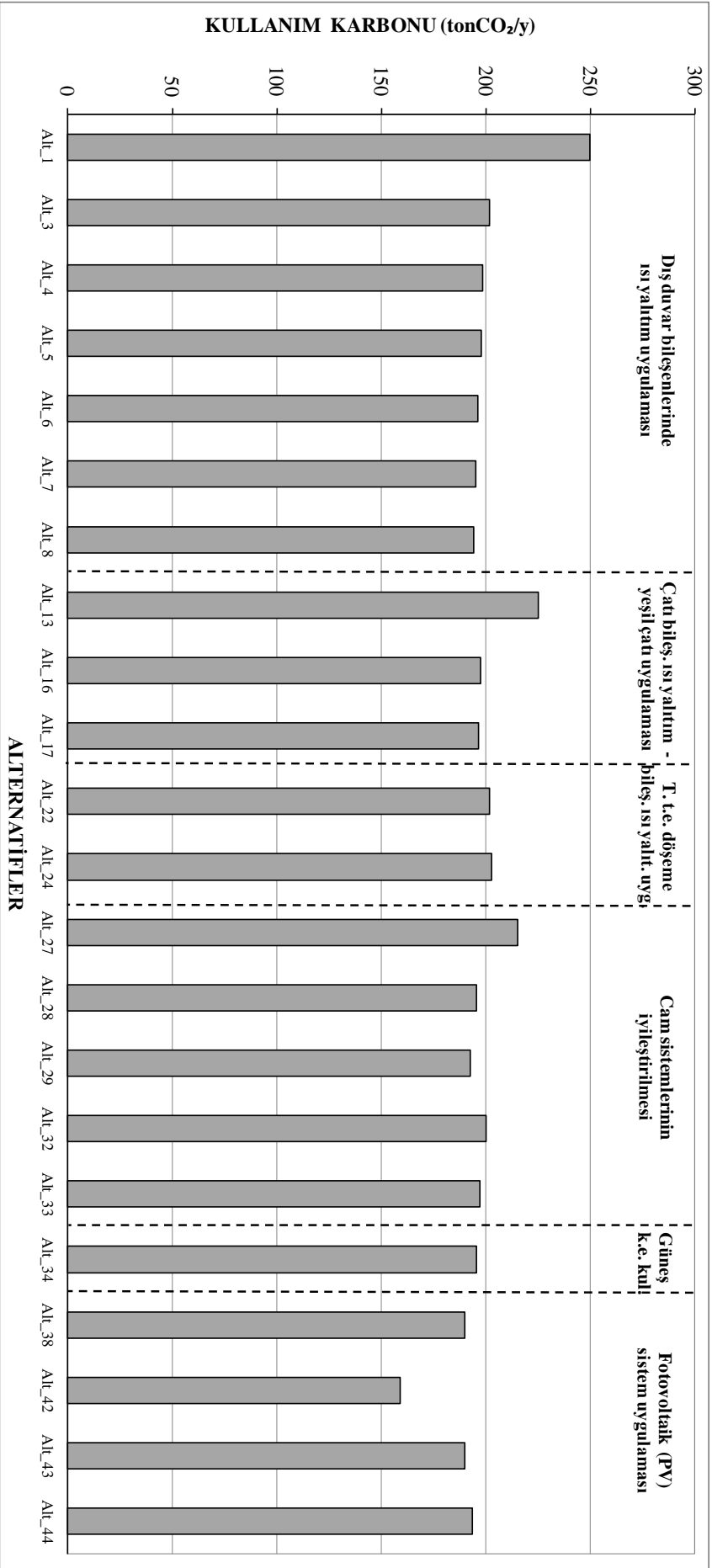
Şekil C.24 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım karbonu değerleri.



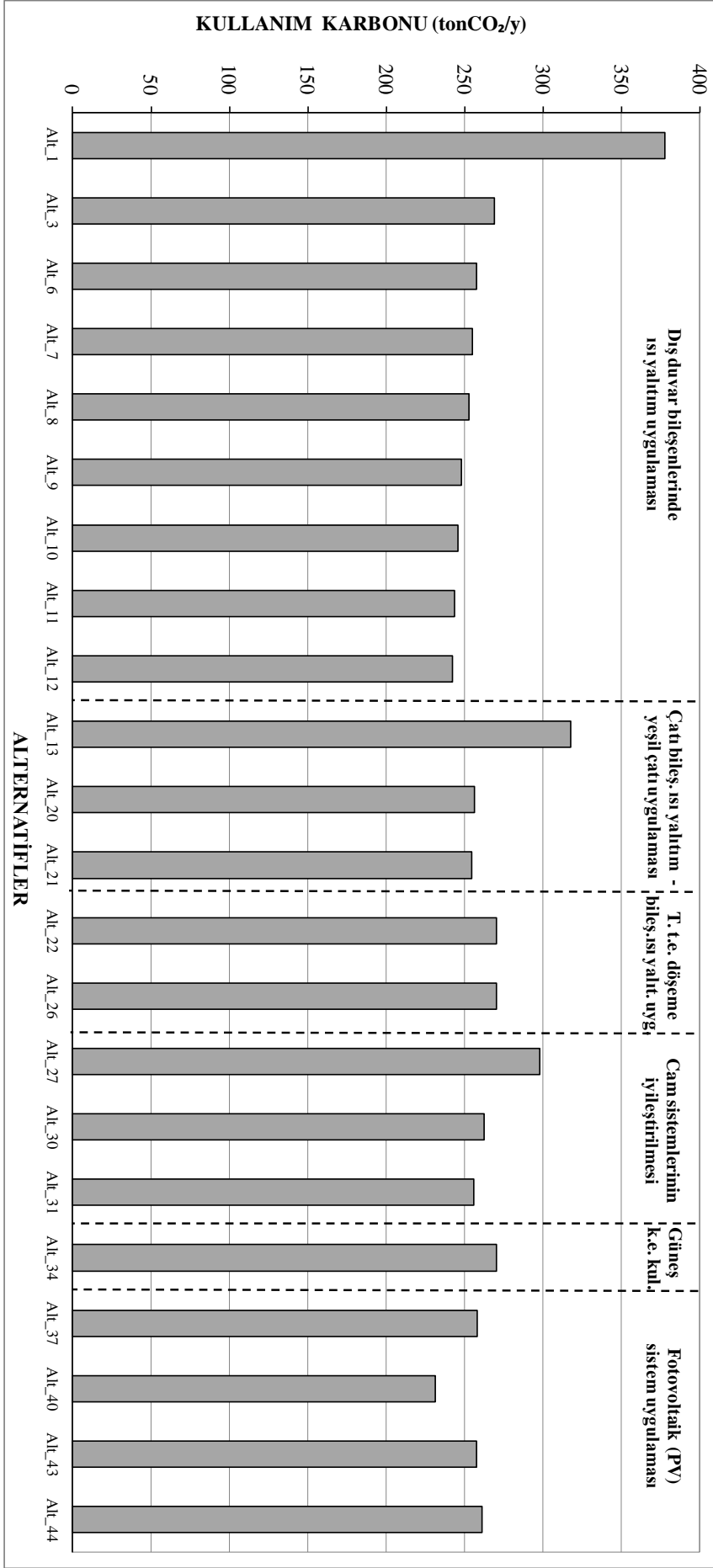
Şekil C.25 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım karbonu değerleri.



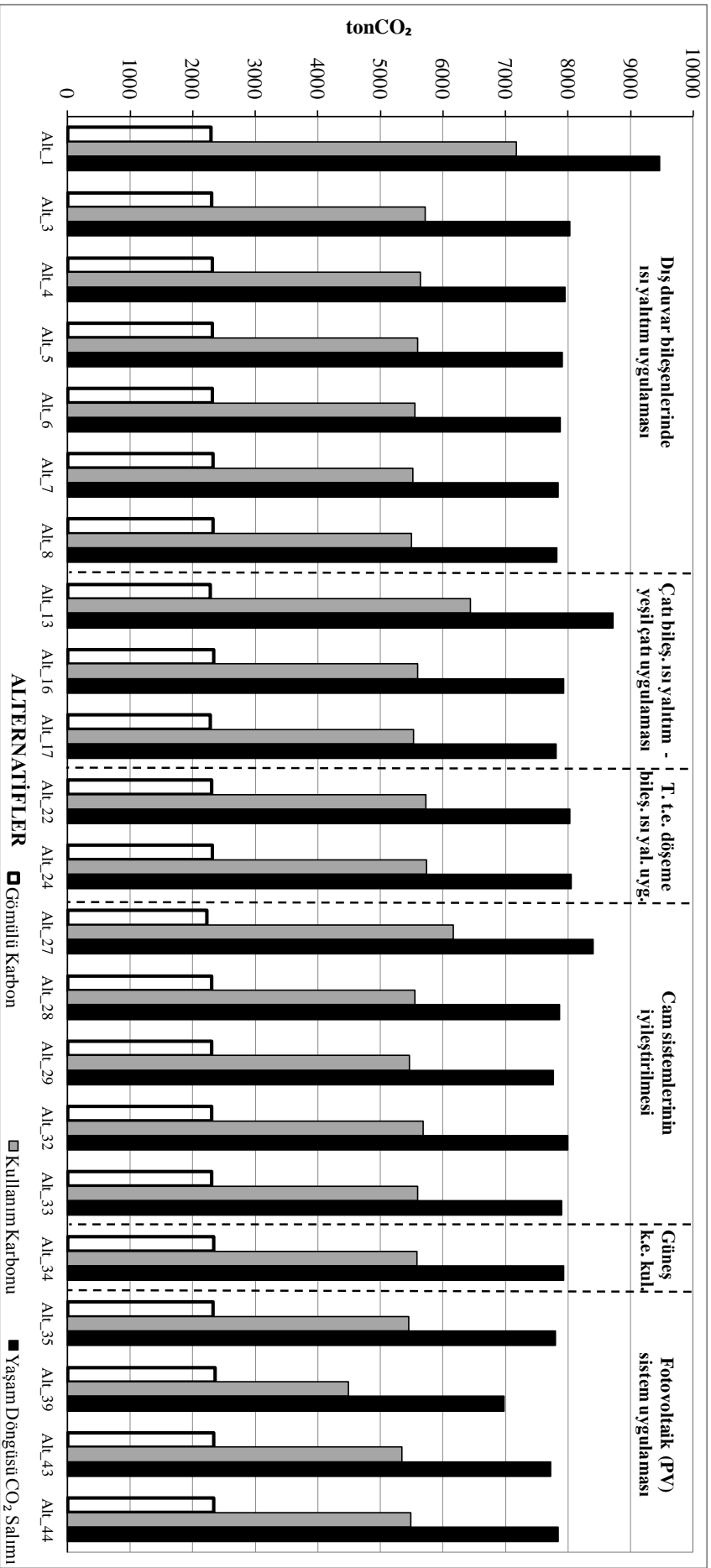
Şekil C.26 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım karbonu değerleri.



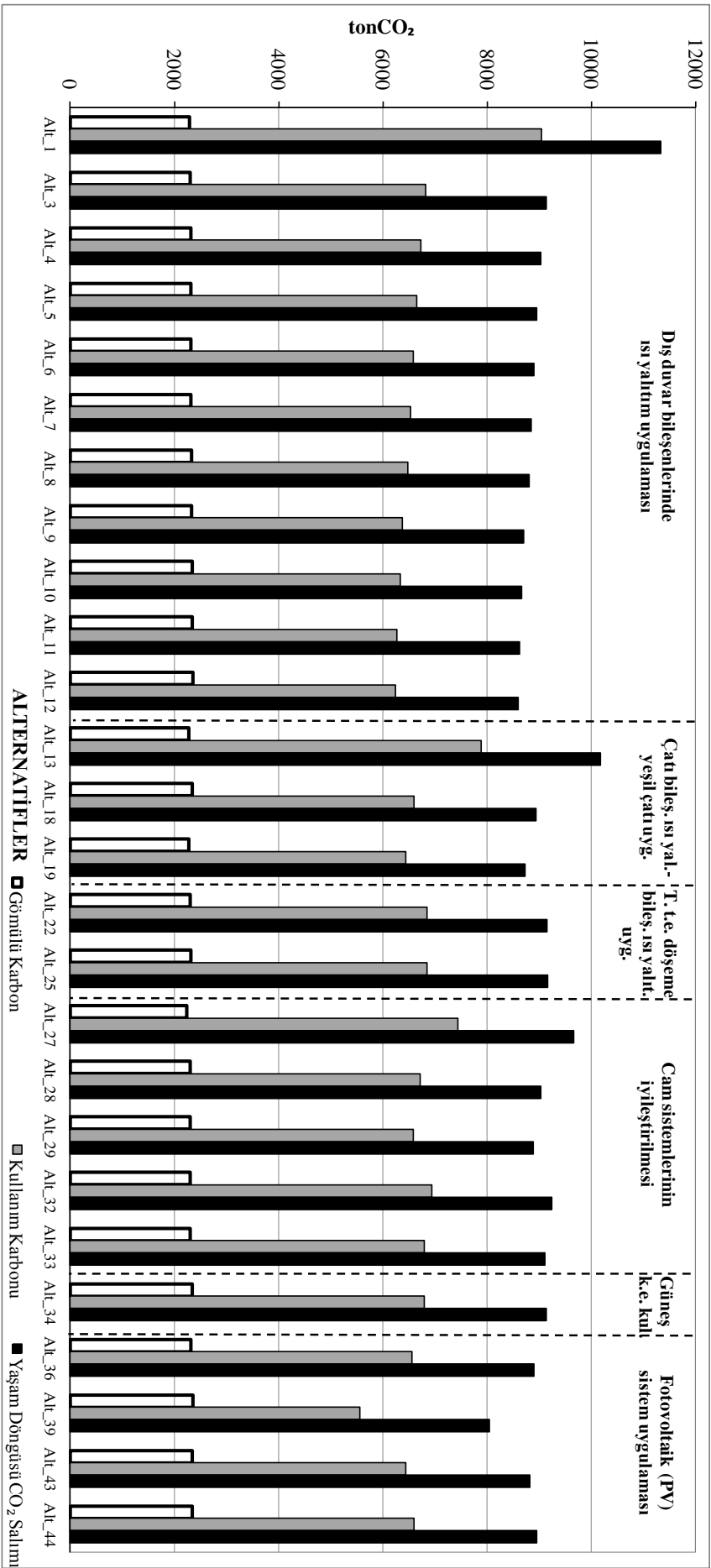
Şekil C.27 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım karbonu değerleri.



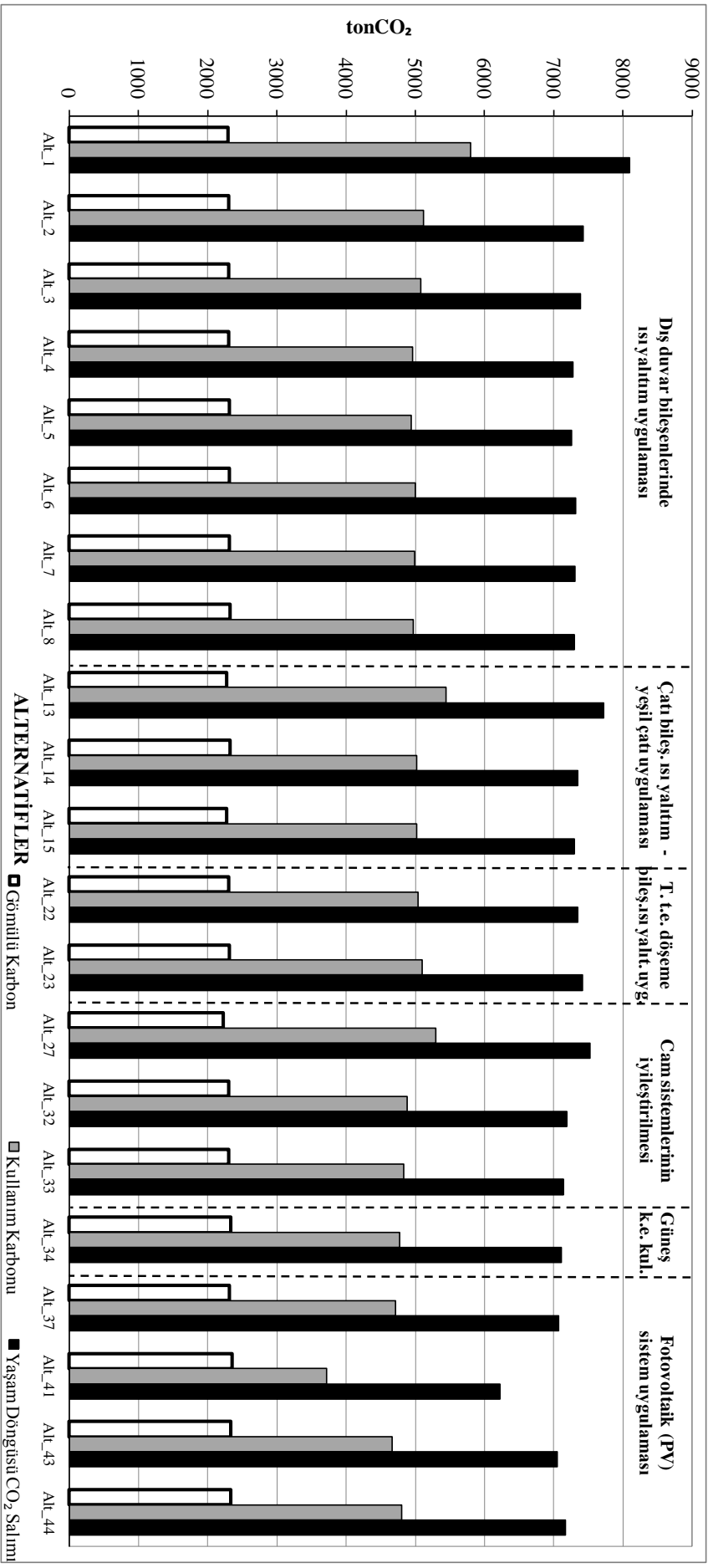
Şekil C.28 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım karbonu değerleri.



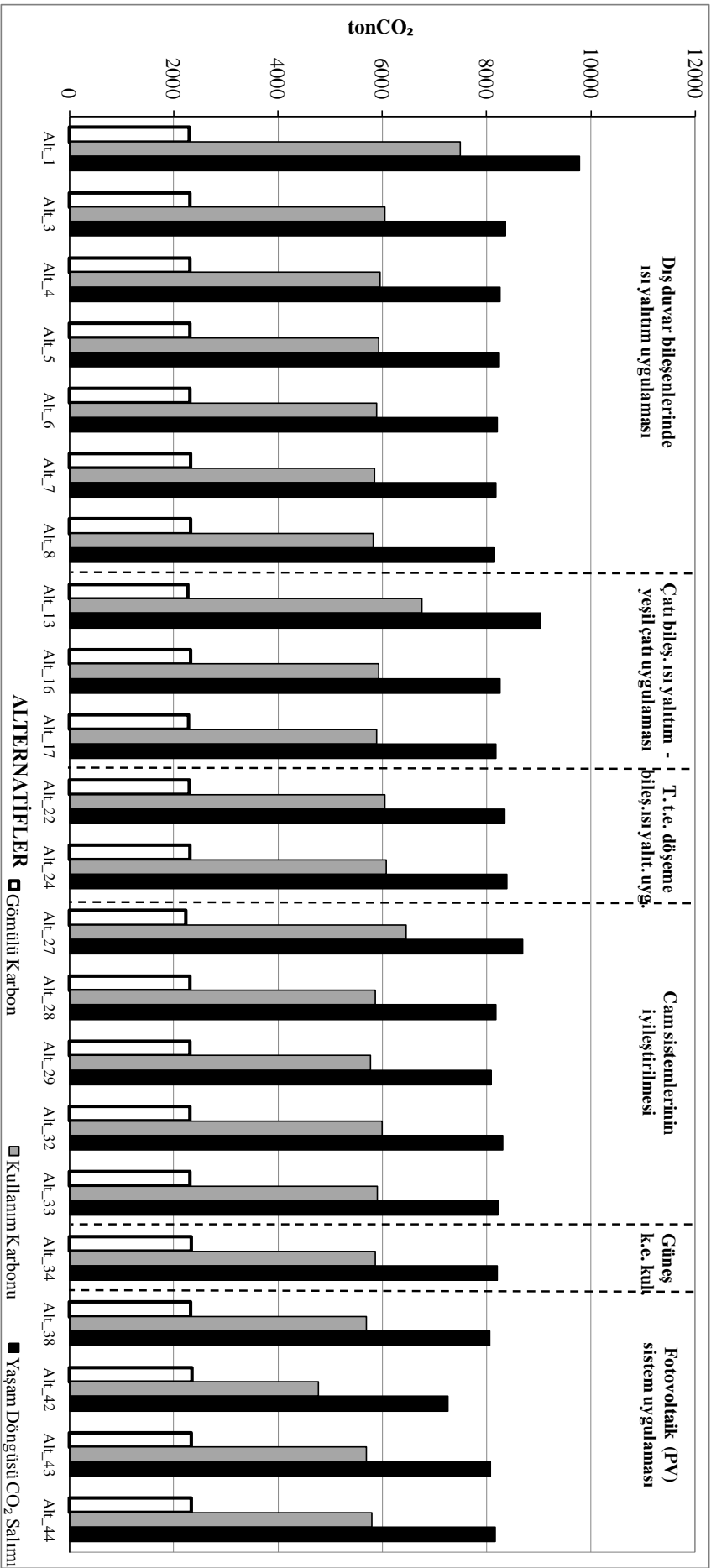
Şekil C.29 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GK, KK ve YDCCO₂ salım değerleri.



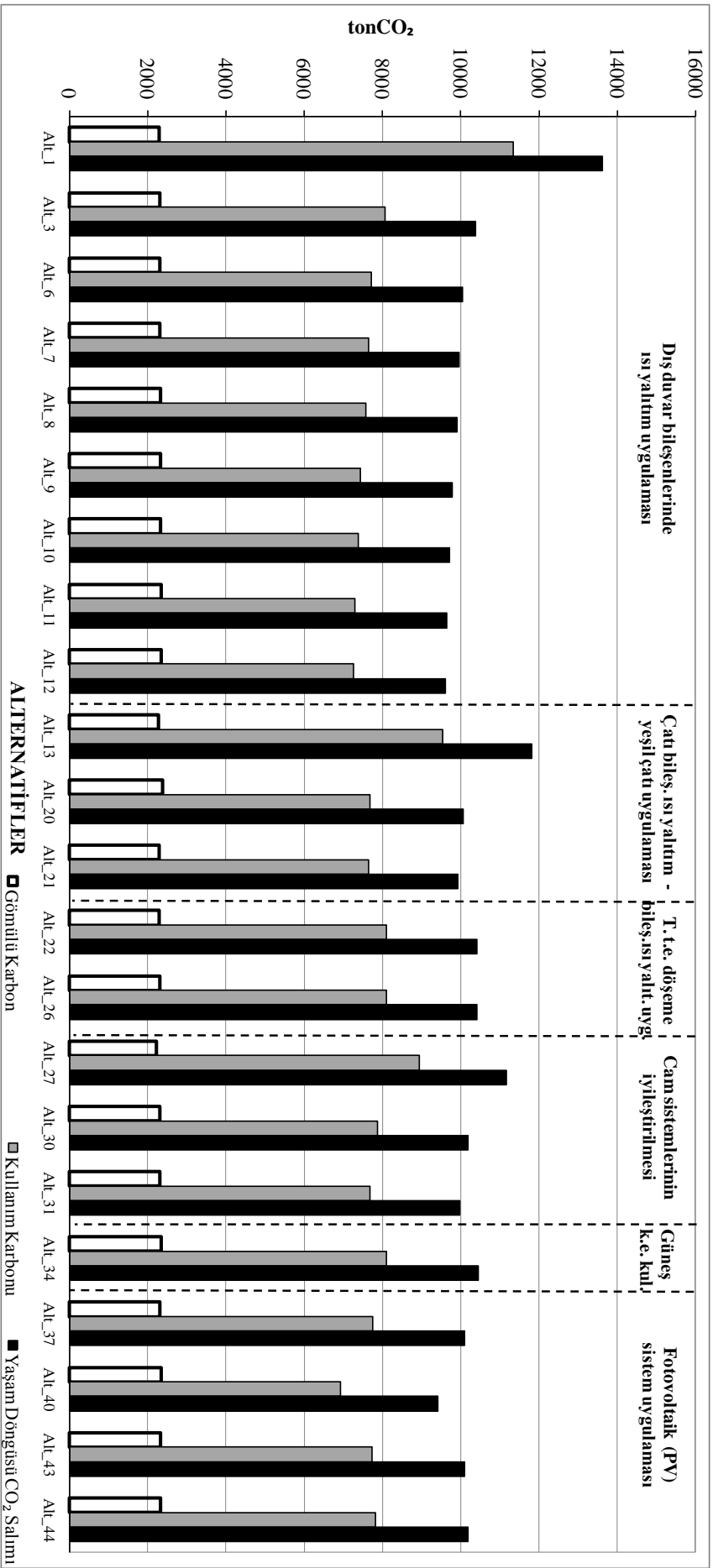
Şekil C.30 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GK, KK ve YDCO₂ salım değerleri.



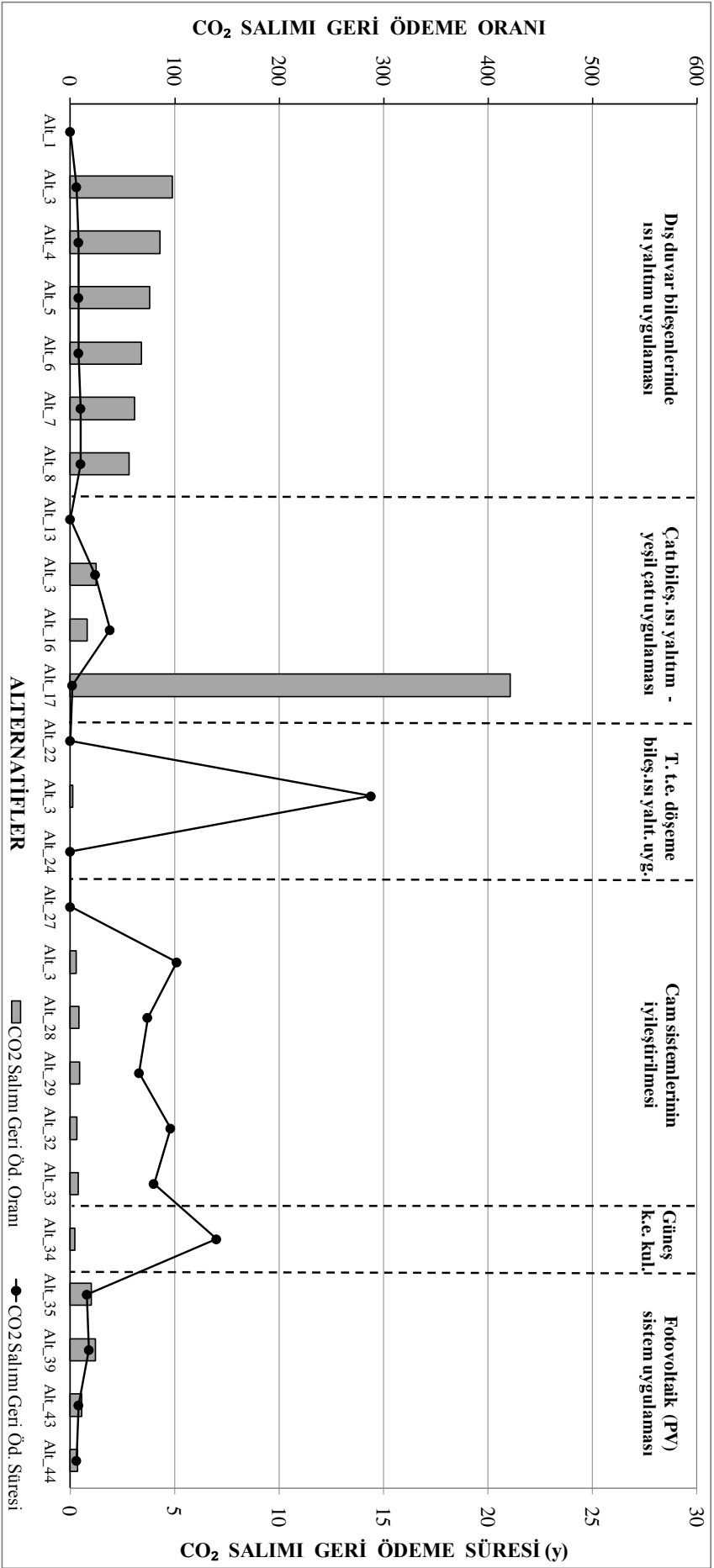
Şekil C.31 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GK, KK ve YDCCO₂ salım değerleri.



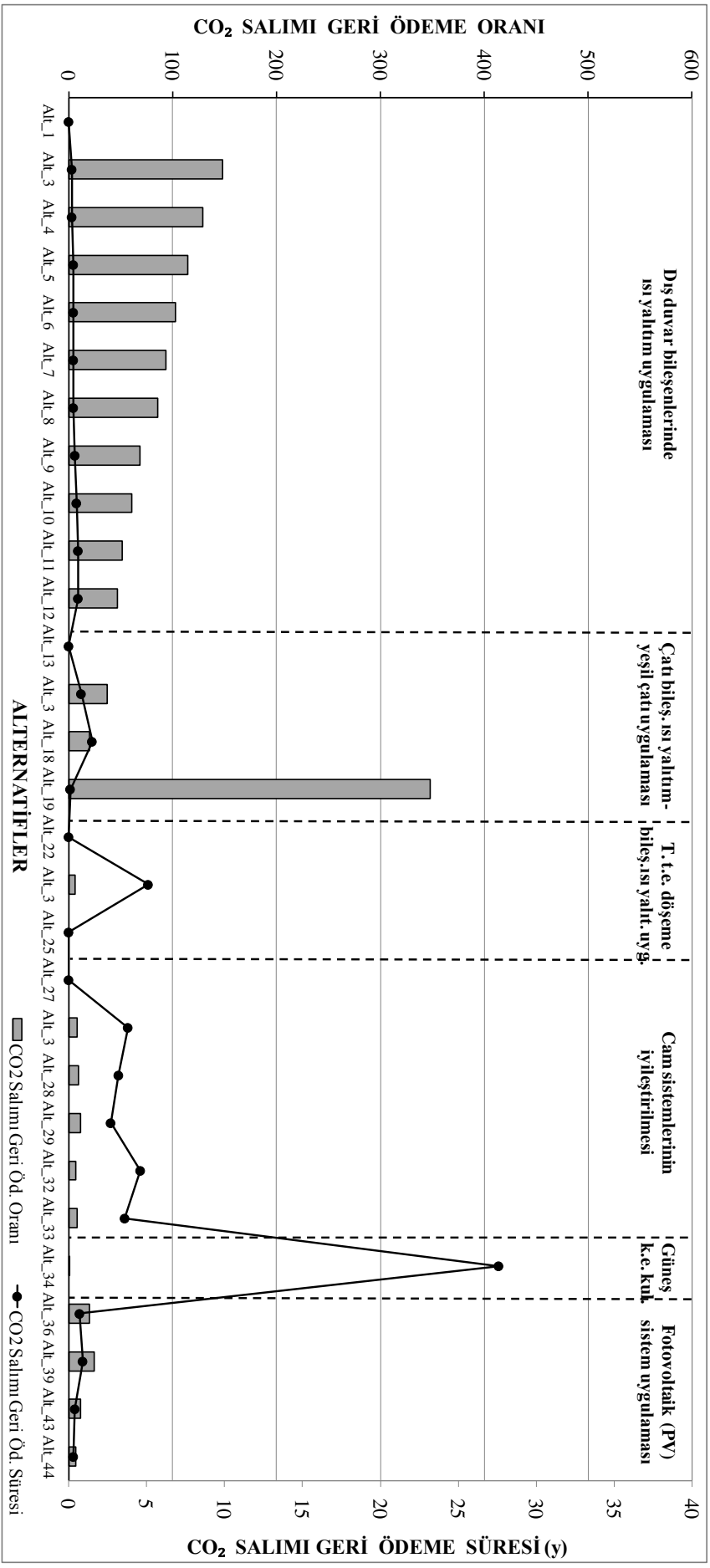
Şekil C.32 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GK, KK ve YDCCO₂ salım değerleri.



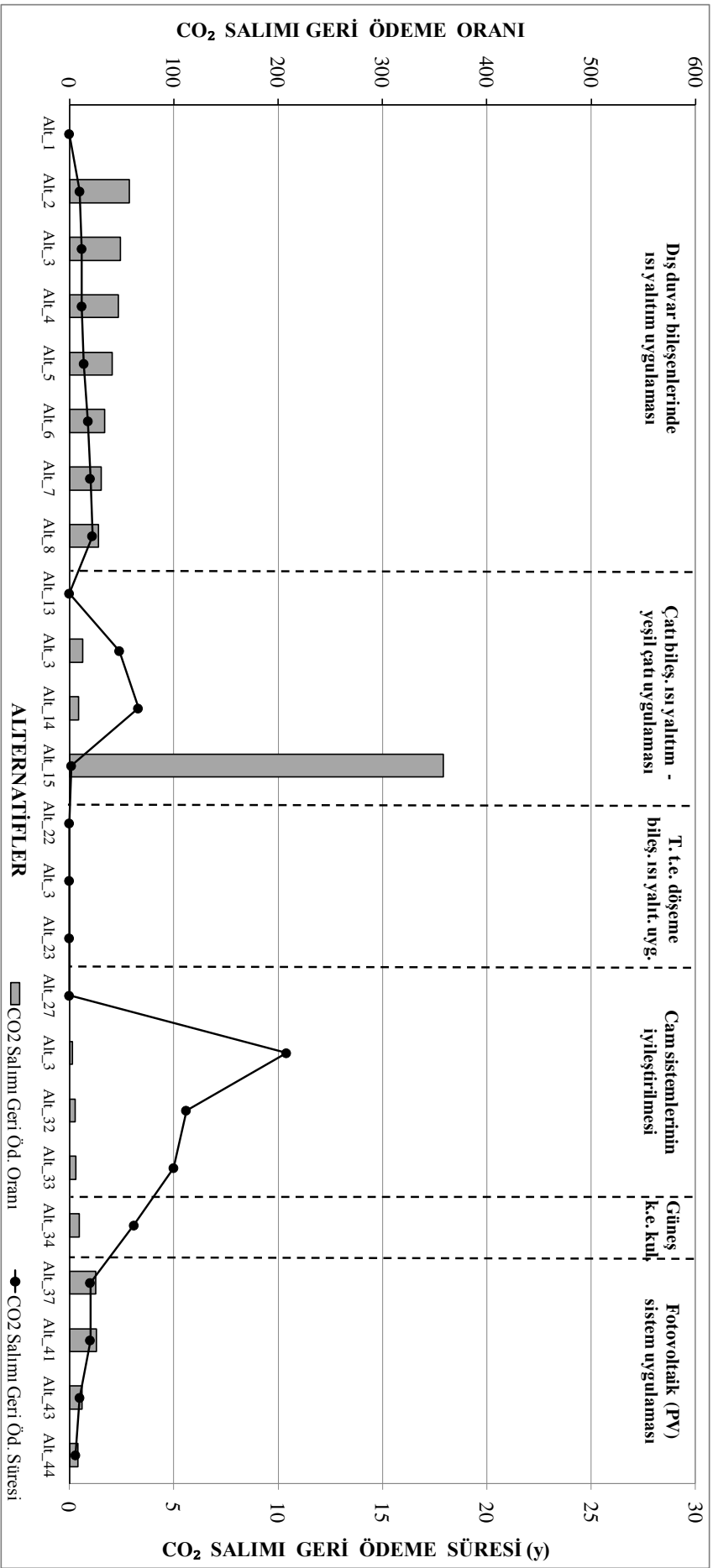
Şekil C.33 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin GK, KK ve YDCO₂ salım değerleri.



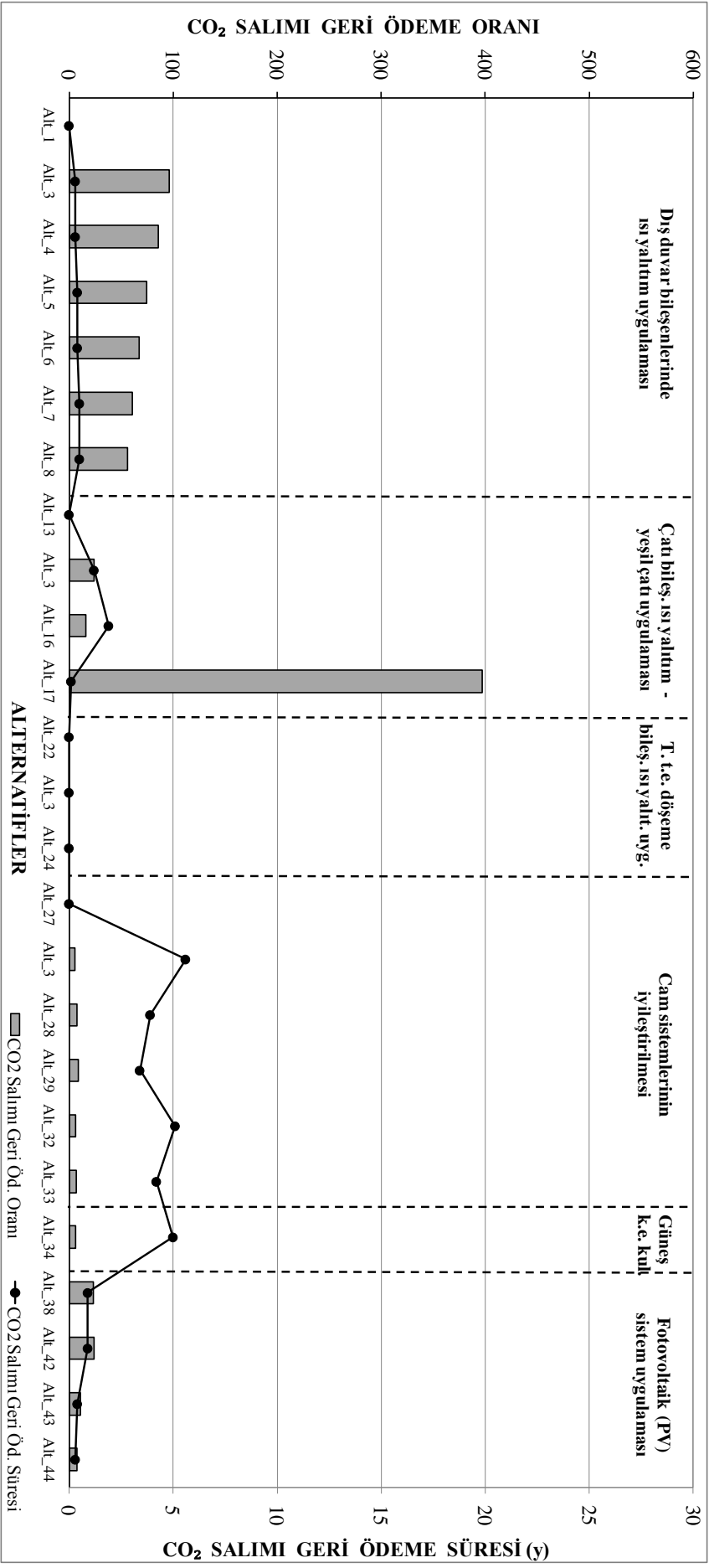
Şekil C.34 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin CO₂ salımı geri ödeme oranı ve CO₂ salımı geri ödeme süreleri.



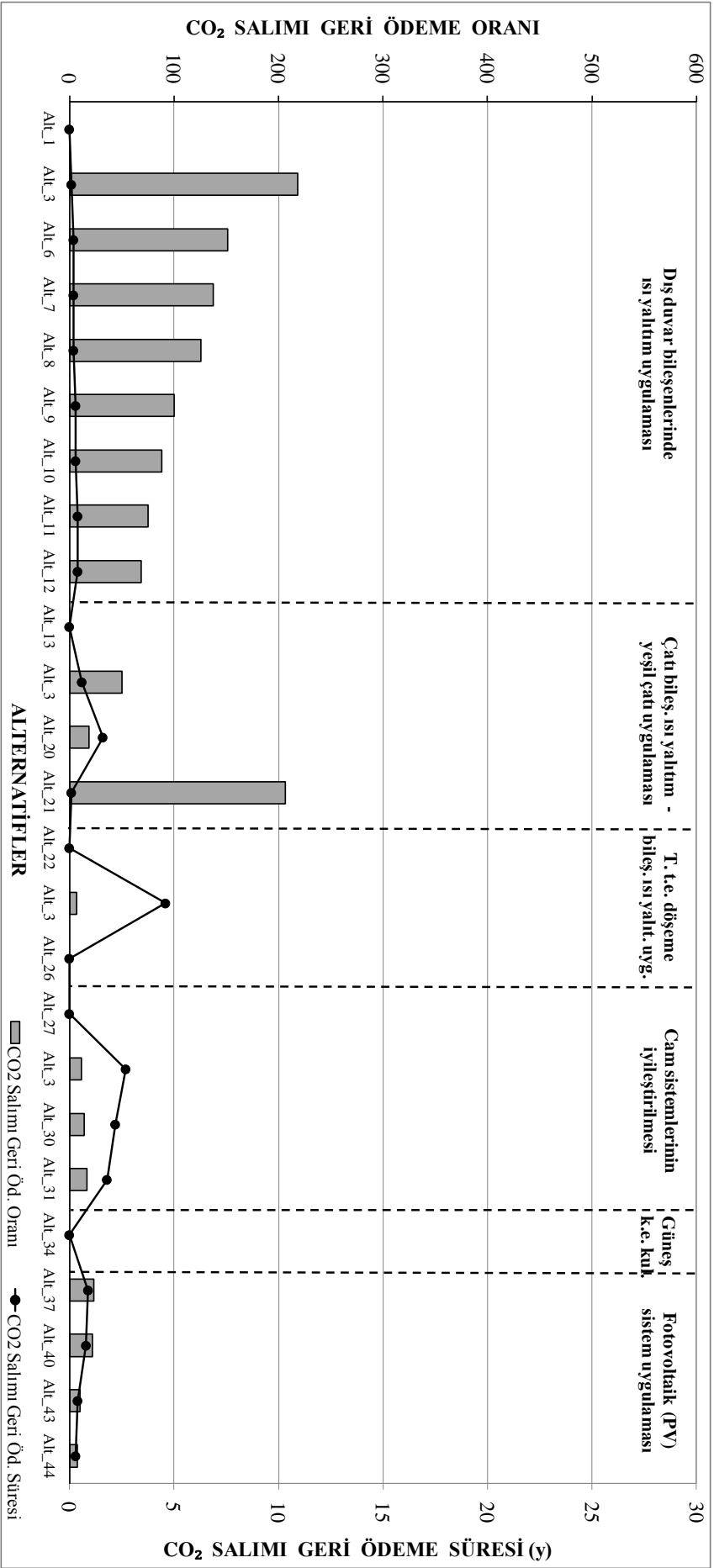
Şekil C.35 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin CO₂ salımı geri ödeme oranı ve CO₂ salımı geri ödeme süresi değerleri.



Şekil C.36 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin CO₂ salımı geri ödeme oranı ve CO₂ salımı geri ödeme süresi değerleri.



Şekil C.37 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin CO₂ salımı geri ödeme oranı ve CO₂ salımı geri ödeme süresi değerleri.



Şekil C.38 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin CO₂ salını geri ödeme oranı ve CO₂ salını geri ödeme süresi değerleri.

Çizelge C.6 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDM analiz sonuçları.

ÖNEMLER		YAŞAMI DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZ SONUÇLARI											
Alternatifler	Alt. No.	İlk Yatırım Maliyeti (binTL)	Kullanım Maliyeti (binTL/y)	Yaşam Dönüştü Maliyeti (binTL)	Tasarıf değeri (binTL/y)	İskonto E. Geri Öd. S. (y)	DA1 (binTL)	DA2 (binTL)	DA3 (binTL)	DA4 (bin TL)	DA5 (binTL)	DA6 (binTL)	DA7 (binTL)
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_1	-	111,64	1,536,69	-	-	1,809,42	2,188,17	15,018,37	275,244,93	28,114,53	-	-
	Alt_3	35,07	90,90	1,286,31	20,74	1,8	1,503,70	1,816,77	12,263,64	224,150,84	22,927,08	-	-
	Alt_4	42,05	89,80	1,278,10	21,84	2,1	1,492,60	1,802,13	12,122,24	221,438,41	22,656,28	-	-
	Alt_5	49,03	89,11	1,275,58	22,53	2,4	1,488,22	1,795,57	12,036,27	219,741,71	22,489,25	-	-
	Alt_6	56,02	88,55	1,274,93	23,09	2,7	1,486,08	1,791,68	11,968,64	218,381,22	22,356,56	-	-
	Alt_7	63,57	88,09	1,276,15	23,55	3,0	1,486,08	1,790,22	11,914,32	217,254,89	22,248,29	-	-
	Alt_8	78,02	87,71	1,285,32	23,93	3,7	1,494,21	1,797,16	11,877,20	216,324,12	22,166,19	-	-
	Alt_13	-	101,15	1,392,29	-	-	1,637,13	1,982,55	13,607,13	249,380,86	25,472,67	-	-
Çatı bileş. ısı yalıtım - yeşil çatı uyg.	Alt_3	4,66	90,90	1,255,89	10,25	0,6	1,473,29	1,786,36	12,233,23	224,120,42	22,896,66	-	-
	Alt_16	8,33	89,20	1,236,09	11,95	0,9	1,448,95	1,756,60	12,007,47	219,919,12	22,470,83	-	-
	Alt_17	44,25	88,23	1,258,72	12,92	4,0	1,468,84	1,773,59	11,913,48	217,574,35	22,263,57	-	-
	Alt_22	-	90,94	1,251,76	-	-	1,469,53	1,782,44	12,233,68	224,209,30	22,901,56	-	-
	Alt_3	2,19	90,90	1,253,42	0,04	-	1,470,82	1,783,88	12,230,76	224,117,95	22,894,19	-	-
	Alt_24	4,00	91,23	1,259,83	-	-	1,477,94	1,792,23	12,277,40	224,941,37	22,979,93	-	-
	Alt_27	8,80	97,34	1,348,62	-	-	1,583,16	1,916,64	13,103,13	239,991,38	24,521,50	-	-
T.t.e. döşeme bileş. ısı yalıt. uyg.	Alt_3	20,01	90,90	1,271,25	6,44	3,6	1,488,64	1,801,71	12,248,58	224,135,78	22,912,02	-	-
	Alt_28	29,45	88,15	1,242,88	9,18	3,7	1,453,95	1,757,31	11,888,46	217,372,11	22,229,63	-	-
	Alt_29	33,46	86,90	1,229,60	10,44	3,7	1,437,32	1,736,71	11,723,63	214,281,92	21,917,58	-	-
	Alt_32	32,78	90,21	1,274,48	7,13	5,5	1,490,62	1,800,90	12,168,15	222,440,37	22,750,31	-	-
	Alt_33	36,78	88,90	1,260,47	8,44	5,2	1,473,14	1,779,25	11,996,06	219,217,07	22,424,66	-	-
	Alt_3	-	90,90	1,251,24	-	-	1,468,63	1,781,70	12,228,57	224,115,77	22,892,01	-	-
	Alt_34	16,74	88,64	1,236,85	2,26	10,1	1,449,27	1,754,11	11,941,04	218,555,90	22,339,13	-	-
Güneş kont. elem. kul.	Alt_3	-	90,90	1,251,24	-	-	1,468,63	1,781,70	12,228,57	224,115,77	22,892,01	1,251,24	1,251,24
	Alt_35	28,92	88,34	1,248,04	2,57	19,4	1,456,49	1,765,50	11,912,30	217,818,33	22,274,73	1,215,73	1,167,41
	Alt_39	114,20	78,87	1,214,89	12,03	14,5	1,390,33	1,684,35	10,724,50	194,571,42	19,976,77	1,063,39	836,86
	Alt_43	55,73	87,27	1,261,56	3,63	-	1,466,30	1,773,62	11,796,16	215,225,11	22,033,92	1,215,86	1,147,53
	Alt_44	55,73	88,62	1,278,39	2,28	-	1,487,82	1,797,27	11,977,08	218,540,87	22,372,61	1,249,63	1,206,63
Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması	Alt_3	-	90,90	1,251,24	-	-	1,468,63	1,781,70	12,228,57	224,115,77	22,892,01	-	-
	Alt_34	16,74	88,64	1,236,85	2,26	10,1	1,449,27	1,754,11	11,941,04	218,555,90	22,339,13	-	-
	Alt_35	28,92	88,34	1,248,04	2,57	19,4	1,456,49	1,765,50	11,912,30	217,818,33	22,274,73	1,215,73	1,167,41
	Alt_39	114,20	78,87	1,214,89	12,03	14,5	1,390,33	1,684,35	10,724,50	194,571,42	19,976,77	1,063,39	836,86

Çizelge C.7 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDM analiz sonuçları.

ÖNLEMLER		YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZ SONUÇLARI												
Alternatifler	Alt. No.	Hük Yatırım Maliyeti (binTL)	Kullanım Maliyeti (binTL/y)	Yaşam Döngüsü Maliyeti (binTL)	Tasarıf değeri (binTL/y)	İskonto E. Geri Öd. S. (y)	DA1 (binTL)	DA2 (binTL)	DA3 (binTL)	DA4 (bin TL)	DA5 (binTL)	DA6 (binTL)	DA7 (binTL)	
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_1	-	136,67	1.881,20	-	-	2.224,73	2.678,73	18.385,27	336,950,92	34.417,40	-	-	
	Alt_3	35,07	105,31	1.484,69	31,35	1,2	1.744,11	2.099,26	14.202,51	259,685,01	26.556,67	-	-	
	Alt_4	42,05	103,88	1.471,97	32,78	1,4	1.727,54	2.078,19	14.016,99	256,163,88	26.203,27	-	-	
	Alt_5	49,03	102,76	1.463,45	33,91	1,6	1.715,97	2.065,10	13.872,40	253,392,95	25.926,51	-	-	
	Alt_6	56,02	101,85	1.457,92	34,82	1,7	1.707,99	2.052,25	13.757,03	251,157,56	25.704,45	-	-	
	Alt_7	63,57	101,09	1.455,11	35,57	1,9	1.703,15	2.045,05	13.663,33	249,309,26	25.522,44	-	-	
	Alt_8	78,02	100,46	1.460,78	36,21	2,4	1.707,10	2.047,00	13.592,00	247,751,72	25.376,32	-	-	
	Alt_9	91,05	98,99	1.453,64	37,68	2,7	1.696,02	2.031,32	13.407,97	244,153,31	25.020,46	-	-	
	Alt_10	105,01	98,31	1.458,21	38,36	3,1	1.698,74	2.031,90	13.330,05	242,483,28	24.862,42	-	-	
	Alt_11	134,00	97,53	1.476,52	39,13	3,9	1.714,96	2.045,69	13.254,74	240,600,66	24.696,14	-	-	
	Alt_12	151,24	97,13	1.488,22	39,54	4,5	1.725,57	2.055,03	13.217,80	239,625,08	24.611,97	-	-	
	Alt_13	-	120,40	1.657,34	-	-	-	1.957,34	2.359,97	16,197,50	296,855,21	30,321,88	-	-
	Alt_3	4,66	105,31	1.454,28	15,09	0,4	1.713,69	2.068,85	14,172,10	259,654,59	26,526,25	-	-	
	Alt_18	10,41	102,05	1.415,06	18,36	0,7	1.665,67	2.010,56	13,738,29	251,604,20	25,709,13	-	-	
Alt_19	46,80	99,95	1.422,63	20,45	2,5	1.667,48	2.005,91	13,492,97	246,477,69	25,218,16	-	-		
Alt_22	-	105,65	1.454,22	-	-	-	1.714,69	2.070,74	14,212,41	260,473,97	26,605,77	-	-	
Alt_3	2,19	105,31	1.451,81	0,33	8,5	1.711,22	2.066,38	14,169,63	259,652,13	26,523,78	-	-		
Alt_25	5,56	105,65	1.459,82	-	-	-	1.719,99	2.076,36	14,218,32	260,486,08	26,611,99	-	-	
Alt_27	8,80	113,92	1.576,90	-	-	-	1.859,49	2.241,69	15,334,04	280,877,89	28,697,80	-	-	
Alt_3	20,01	105,31	1.469,63	8,61	2,6	1.729,05	2.084,20	14,187,46	259,669,95	26,541,61	-	-		
Alt_28	29,45	103,61	1.455,60	10,31	3,2	1.710,96	2.060,22	13,967,46	255,474,29	26,121,52	-	-		
Alt_29	33,46	101,68	1.433,07	12,24	3,1	1.683,23	2.026,43	13,712,14	250,725,71	25,640,08	-	-		
Alt_32	32,78	106,94	1.504,80	6,98	5,7	1.768,43	2.128,86	14,419,08	263,693,64	26,964,07	-	-		
Alt_33	36,78	104,99	1.481,95	8,93	4,9	1.740,38	2.094,63	14,160,68	258,888,48	26,476,85	-	-		
Alt_3	-	105,31	1.449,62	-	-	-	1.709,04	2.064,19	14,167,45	259,649,94	26,521,60	-	-	
Alt_34	16,74	104,62	1.456,85	0,69	-	-	1.714,99	2.067,39	14,091,19	257,962,23	26,364,24	-	-	
Alt_3	-	105,31	1.449,62	-	-	-	1.709,04	2.064,19	14,167,45	259,649,94	26,521,60	-	-	
Alt_36	30,40	102,69	1.447,15	2,63	20,4	1.695,40	2.048,40	13,844,46	253,203,74	25,890,46	-	-		
Alt_39	114,20	92,96	1.409,19	12,36	13,9	1.625,51	1,961,11	12,619,48	229,301,13	23,524,20	-	-		
Alt_43	55,73	101,61	1.459,01	3,70	-	-	1.705,51	2.054,80	13,725,02	250,575,74	25,644,77	-	-	
Alt_44	55,73	103,03	1.476,83	2,28	-	-	1.728,30	2.079,84	13,916,51	254,085,31	26,003,25	-	-	

Çizelge C 8 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDM analiz sonuçları.

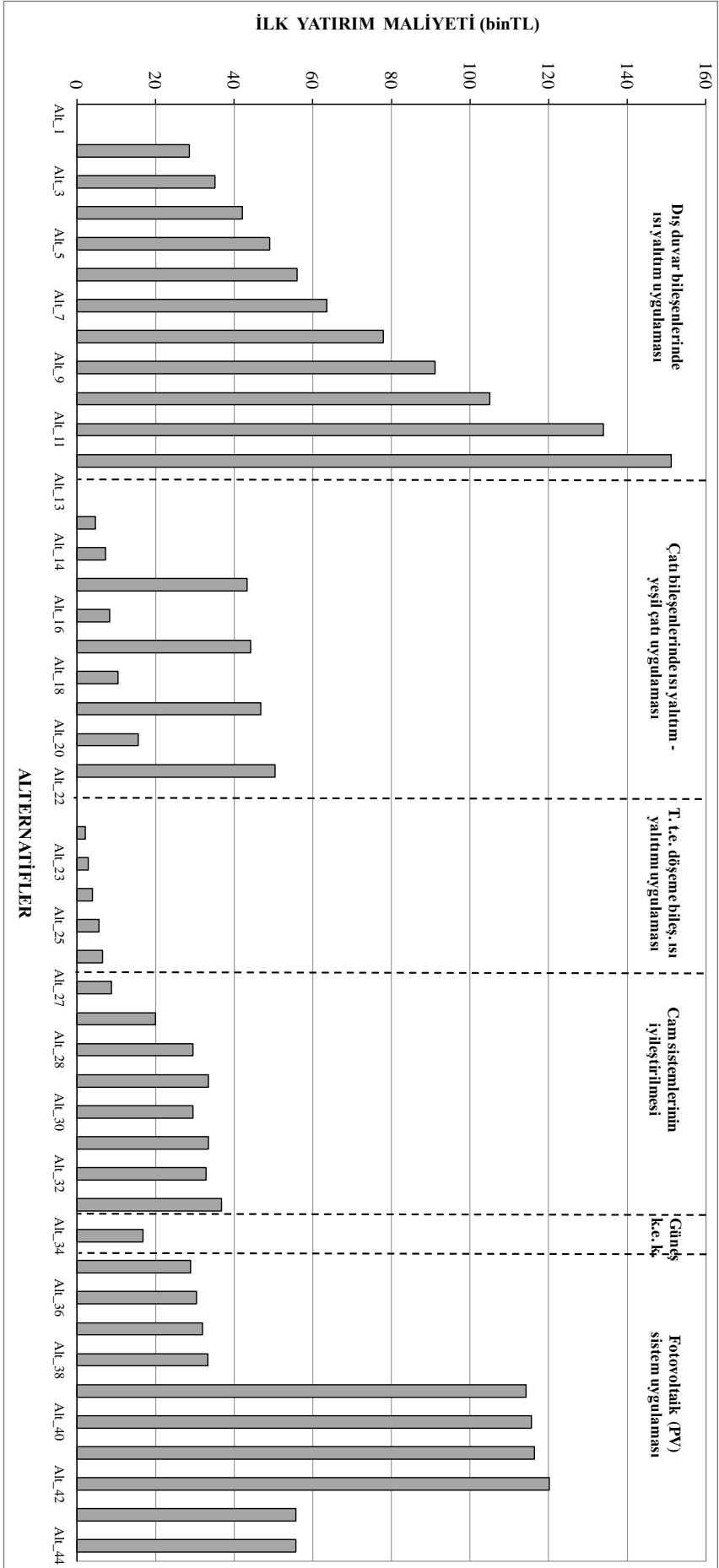
ÖNLEMLER		YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZ SONUÇLARI											
Alternatifler	Alt. No.	İlk Yatırım Maliyeti (binTL)	Kullanım Maliyeti (binTL/y)	Yaşam Döngüsü Maliyeti (binTL)	Tasarıf değeri (binTL/y)	İskonto E. Geri Öd. S. (y)	DA1 (binTL)	DA2 (binTL)	DA3 (binTL)	DA4 (bin TL)	DA5 (binTL)	DA6 (binTL)	DA7 (binTL)
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_1	-	91.22	1.255.66	-	-	1.476.19	1.788.00	12.271.78	224.907.66	22.972.89	-	-
	Alt_2	28.63	82.14	1.159.32	9.08	3.6	1.353.81	1.638.67	11.079.02	202.551.57	20.715.07	-	-
	Alt_3	35.07	81.60	1.158.34	9.62	4.2	1.351.27	1.634.55	11.013.01	201.230.25	20.585.88	-	-
	Alt_4	42.05	79.84	1.141.09	11.38	4.3	1.329.85	1.607.03	10.783.22	196.897.98	20.149.63	-	-
	Alt_5	49.03	79.51	1.143.53	11.71	5.0	1.331.34	1.607.55	10.745.79	196.090.82	20.073.46	-	-
	Alt_6	56.02	80.65	1.166.21	10.57	6.6	1.356.35	1.636.87	10.906.09	198.907.66	20.367.45	-	-
	Alt_7	63.57	80.45	1.170.99	10.77	7.5	1.360.54	1.640.48	10.886.54	198.418.48	20.324.27	-	-
	Alt_8	78.02	80.28	1.183.11	10.94	9.6	1.372.16	1.651.61	10.878.22	198.015.62	20.296.09	-	-
Çatı bileş. ısı yalıtım - yeşil çatı uyg.	Alt_13	-	86.20	1.186.58	-	-	1.393.44	1.689.63	11.596.65	212.534.39	21.709.04	-	-
	Alt_3	4.66	81.60	1.127.93	4.60	1.1	1.320.86	1.604.14	10.982.60	201.199.84	20.555.47	-	-
	Alt_14	7.29	80.91	1.120.94	5.30	1.5	1.311.82	1.593.07	10.891.17	199.478.64	20.382.03	-	-
	Alt_15	43.22	81.06	1.148.32	5.14	12.1	1.339.21	1.616.83	10.843.56	197.983.58	20.261.57	-	-
	Alt_22	-	80.90	1.113.64	-	-	1.305.39	1.585.77	10.883.81	199.470.07	20.374.60	-	-
T.t.e. döşeme bileş. ısı yalıt. uyg.	Alt_3	2.19	81.60	1.125.46	-	-	1.318.39	1.601.67	10.980.13	201.197.37	20.553.00	-	-
	Alt_23	2.92	82.02	1.131.86	-	-	1.325.66	1.610.48	11.036.28	202.213.76	20.657.48	-	-
	Alt_27	8.80	84.69	1.174.61	-	-	1.376.00	1.668.85	11.402.41	208.821.86	21.337.73	-	-
	Alt_3	20.01	81.60	1.143.28	3.09	8.4	1.336.21	1.619.49	10.997.95	201.215.19	20.570.82	-	-
	Alt_32	32.78	77.70	1.102.36	6.99	5.7	1.288.01	1.555.81	10.485.98	191.610.80	19.601.26	-	-
Cam sistemlerinin iyileş.	Alt_33	36.78	77.04	1.097.27	7.65	5.8	1.281.03	1.546.86	10.401.07	189.985.27	19.438.82	-	-
	Alt_3	-	81.60	1.123.27	-	-	1.316.20	1.599.48	10.977.94	201.195.18	20.550.81	-	-
	Alt_34	16.74	76.40	1.068.34	5.21	3.7	1.249.81	1.514.17	10.294.22	188.374.32	19.256.28	-	-
	Alt_3	-	81.60	1.123.27	-	-	1.316.20	1.599.48	10.977.94	201.195.18	20.550.81	1.123.27	1.123.27
Güneş kont. elem. kul.	Alt_37	31.89	78.05	1.110.73	3.55	13.3	1.291.28	1.568.94	10.532.28	192.474.99	19.688.73	1.066.03	999.18
	Alt_41	116.43	68.37	1.074.11	13.23	12.9	1.220.89	1.483.23	9.314.46	168.690.78	17.335.23	907.48	658.32
	Alt_43	55.73	77.62	1.129.17	3.98	-	1.308.21	1.585.19	10.498.00	191.433.40	19.603.75	1.079.03	1.004.04
	Alt_44	55.73	78.92	1.145.37	2.69	-	1.328.93	1.607.96	10.672.15	194.625.16	19.929.77	1.111.53	1.060.93
Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması	Alt_44	55.73	78.92	1.145.37	2.69	-	1.328.93	1.607.96	10.672.15	194.625.16	19.929.77	1.111.53	1.060.93

Çizelge C.9 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDM analiz sonuçları.

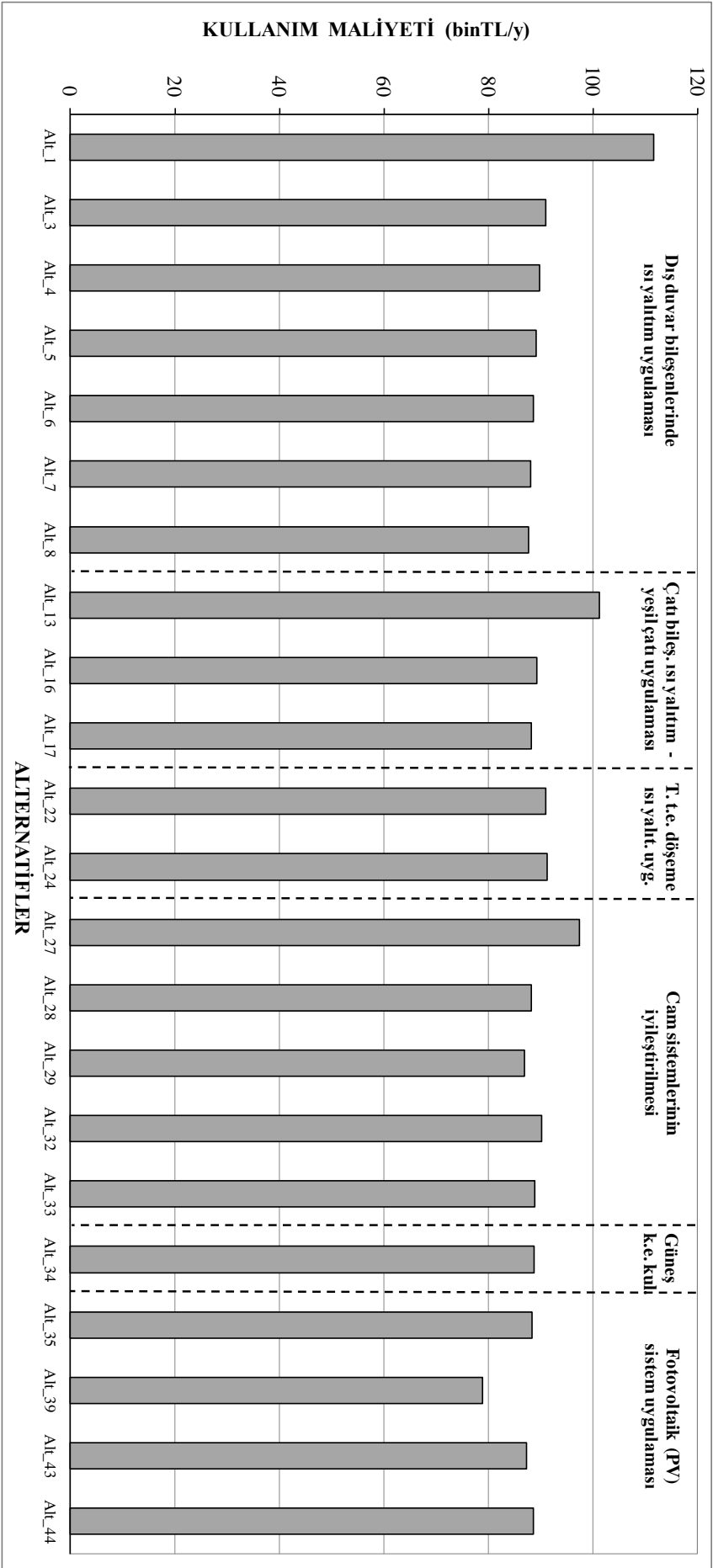
ÖNLEMLER		YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZ SONUÇLARI												
Alternatifler	Alt. No.	İlk Yatırım Maliyeti (binTL)	Kullanım Maliyeti (binTL/y)	Yaşam Döngüsü Maliyeti (binTL)	Tasarruf değeri (binTL/y)	İskonto E. Geri Öd. S. (y)	DA1 (binTL)	DA2 (binTL)	DA3 (binTL)	DA4 (bin TL)	DA5 (binTL)	DA6 (binTL)	DA7 (binTL)	
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt. 1	-	114.78	1.579.93	-	-	1.864.63	2.249.75	15.440.97	282.990.08	28.905.64	-	-	
	Alt. 3	35.07	94.93	1.341.81	19.85	1.9	1.571.81	1.895.80	12.806.10	234.092.62	23.942.56	-	-	
	Alt. 4	42.05	93.50	1.329.12	21.28	2.2	1.555.42	1.874.77	12.620.83	230.576.17	23.589.65	-	-	
	Alt. 5	49.03	93.31	1.333.41	21.47	2.5	1.558.89	1.877.92	12.601.48	230.100.41	23.547.32	-	-	
	Alt. 6	56.02	92.73	1.332.46	22.05	2.8	1.556.34	1.873.61	12.530.95	228.686.81	23.409.21	-	-	
	Alt. 7	63.57	92.26	1.333.45	22.52	3.2	1.556.00	1.871.82	12.474.35	227.518.65	23.296.67	-	-	
	Alt. 8	78.02	91.85	1.342.36	22.93	3.9	1.563.78	1.878.38	12.434.65	226.540.66	23.209.75	-	-	
	Alt. 13	-	104.36	1.436.49	-	-	1.693.28	2.045.49	14.039.05	257.296.84	26.281.24	-	-	
Çatı bileş. ısı yalıtım - yeşil çatı uyg.	Alt. 3	4.66	94.93	1.311.40	9.43	0.6	1.541.40	1.865.39	12.775.69	234.062.20	23.912.15	-	-	
	Alt. 16	8.33	93.25	1.291.87	11.11	1.0	1.517.13	1.836.03	12.552.64	229.910.62	23.491.39	-	-	
	Alt. 17	44.25	92.93	1.323.43	11.43	4.1	1.547.50	1.865.74	12.545.92	229.165.10	23.447.49	-	-	
	Alt. 22	-	94.75	1.304.20	-	-	1.534.14	1.857.11	12.746.14	233.601.43	23.860.91	-	-	
T.t.e. döşeme bileş. ısı yalıt. uyg.	Alt. 3	2.19	94.93	1.308.93	-	-	1.538.93	1.862.92	12.773.22	234.059.73	23.909.68	-	-	
	Alt. 24	4.00	95.41	1.317.28	-	-	1.548.31	1.874.05	12.838.93	235.232.65	24.031.12	-	-	
	Alt. 27	8.80	100.64	1.394.12	-	-	1.639.64	1.981.42	13.547.72	248.139.59	25.353.79	-	-	
	Alt. 3	20.01	94.93	1.326.75	5.71	4.1	1.556.75	1.880.75	12.791.04	234.077.56	23.927.51	-	-	
Cam sistemlerinin iyileştirilmesi	Alt. 28	29.45	91.62	1.290.60	9.02	3.7	1.513.59	1.825.26	12.354.84	225.919.47	23.102.69	-	-	
	Alt. 29	33.46	90.40	1.277.83	10.24	3.8	1.497.41	1.805.39	12.194.98	222.920.39	22.799.94	-	-	
	Alt. 32	32.78	93.55	1.320.45	7.09	5.6	1.548.68	1.866.35	12.617.35	230.673.01	23.591.22	-	-	
	Alt. 33	36.78	92.26	1.306.78	8.38	5.3	1.531.47	1.845.20	12.448.68	227.512.39	23.271.98	-	-	
	Alt. 3	-	94.93	1.306.74	-	-	1.536.74	1.860.74	12.771.03	234.057.55	23.907.50	-	-	
	Alt. 34	16.74	91.62	1.277.90	3.31	6.2	1.500.91	1.812.57	12.342.26	225.909.27	23.090.23	-	-	
	Alt. 3	-	94.93	1.306.74	-	-	1.536.74	1.860.74	12.771.03	234.057.55	23.907.50	1.306.74	1.306.74	
Güneş kont. elem. kul.	Alt. 38	33.37	91.53	1.297.53	3.40	15.2	1.515.67	1.834.27	12.346.71	225.702.71	23.084.06	1.254.69	1.190.62	
	Alt. 42	120.13	82.44	1.270.50	12.49	14.8	1.456.92	1.761.14	11.210.29	203.371.78	20.881.00	1.113.15	877.85	
	Alt. 43	55.73	91.46	1.318.98	3.48	-	1.536.86	1.855.35	12.359.20	225.544.04	23.087.94	1.275.21	1.209.76	
	Alt. 44	55.73	92.53	1.332.43	2.40	-	1.554.05	1.874.25	12.503.80	228.194.16	23.358.63	1.302.20	1.256.99	
Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması	Alt. 3	-	94.93	1.306.74	-	-	1.536.74	1.860.74	12.771.03	234.057.55	23.907.50	-	-	
	Alt. 34	16.74	91.62	1.277.90	3.31	6.2	1.500.91	1.812.57	12.342.26	225.909.27	23.090.23	-	-	
	Alt. 3	-	94.93	1.306.74	-	-	1.536.74	1.860.74	12.771.03	234.057.55	23.907.50	1.306.74	1.306.74	
	Alt. 38	33.37	91.53	1.297.53	3.40	15.2	1.515.67	1.834.27	12.346.71	225.702.71	23.084.06	1.254.69	1.190.62	
Alt. 42	120.13	82.44	1.270.50	12.49	14.8	1.456.92	1.761.14	11.210.29	203.371.78	20.881.00	1.113.15	877.85		
Alt. 43	55.73	91.46	1.318.98	3.48	-	1.536.86	1.855.35	12.359.20	225.544.04	23.087.94	1.275.21	1.209.76		
Alt. 44	55.73	92.53	1.332.43	2.40	-	1.554.05	1.874.25	12.503.80	228.194.16	23.358.63	1.302.20	1.256.99		

Çizelge C.10 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDM analiz sonuçları.

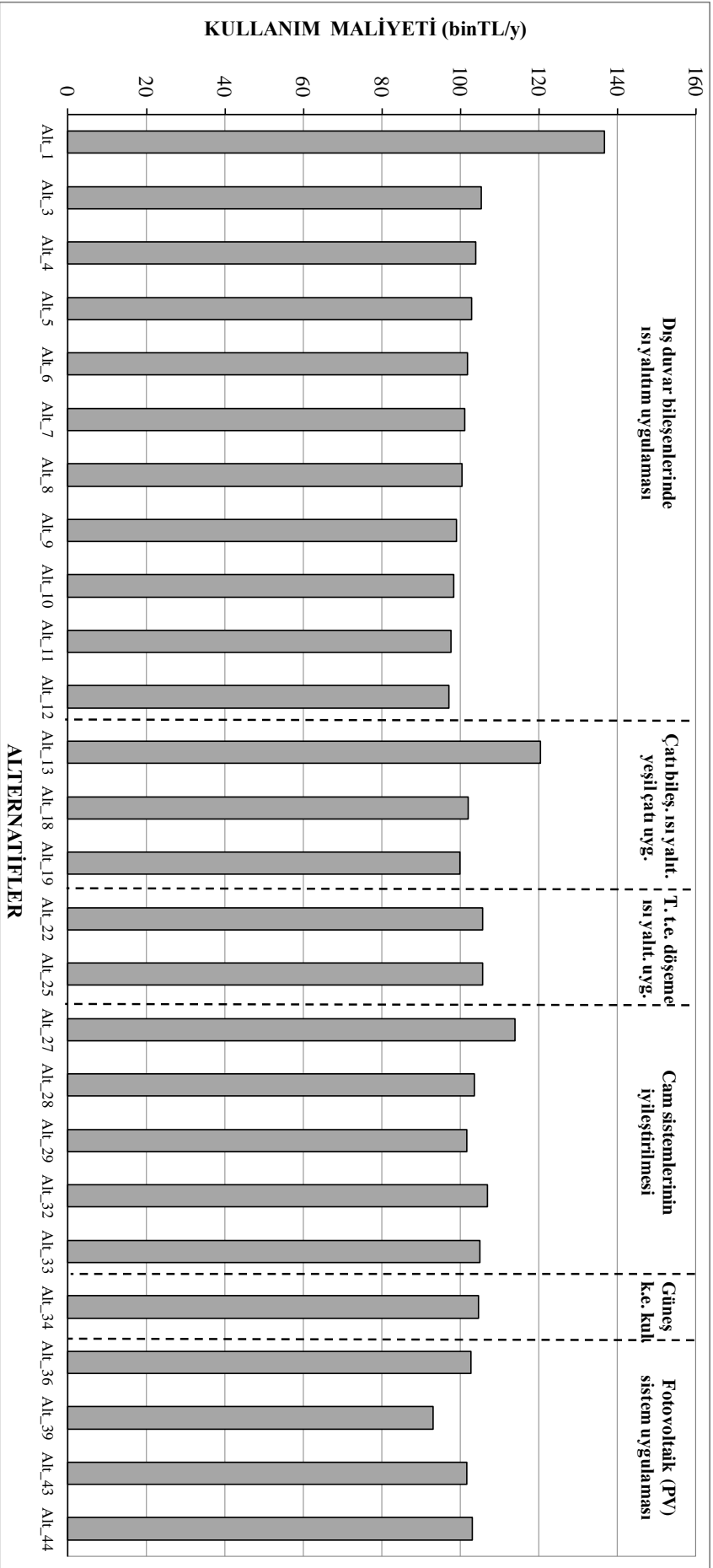
ÖNLEMLER		YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZ SONUÇLARI													
Alternatifler	Alt. No.	İlk Yatırım Maliyeti (binTL)	Kullanım Maliyeti (binTL/y)	Yaşam Döngüsü Maliyeti (binTL)	Tasarruf değeri (binTL/y)	İskonto E. Geri Öd. S. (y)	DA1 (binTL)	DA2 (binTL)	DA3 (binTL)	DA4 (bin TL)	DA5 (binTL)	DA6 (binTL)	DA7 (binTL)		
Dış duvar bileşenlerinde ısı yalıtım uygulaması	Alt_1	-	154.91	2.132.33	-	-	2.563.19	3.036.33	20.839.61	381.932.13	39.011.95	-	-		
	Alt_3	34.99	114.22	1.607.24	40.69	0.1	1.914.16	2.273.76	15.400.18	281.634.97	28.798.71	-	-		
	Alt_6	56.02	109.86	1.568.28	45.05	1.3	1.861.87	2.209.41	14.835.63	270.925.33	27.723.60	-	-		
	Alt_7	63.57	108.93	1.563.00	45.98	1.5	1.853.72	2.198.68	14.717.78	268.634.44	27.496.39	-	-		
	Alt_8	78.02	108.15	1.566.70	46.76	1.8	1.855.02	2.197.82	14.627.13	266.722.78	27.314.09	-	-		
	Alt_9	91.05	106.41	1.555.80	48.50	2.1	1.838.79	2.176.79	14.406.40	262.451.67	26.889.52	-	-		
	Alt_10	105.01	105.58	1.558.32	49.33	2.4	1.838.77	2.174.46	14.308.50	260.415.40	26.694.07	-	-		
	Alt_11	134.00	104.63	1.574.26	50.28	3.0	1.851.79	2.184.86	14.209.96	258.107.26	26.484.33	-	-		
	Alt_12	151.24	104.14	1.584.72	50.77	3.4	1.860.74	2.192.45	14.160.96	256.910.48	26.377.57	-	-		
	Alt_13	-	132.32	1.821.36	-	-	-	2.183.67	2.593.53	17.800.47	326.233.16	33.322.65	-	-	
	Alt_3	4.66	114.22	1.576.83	18.10	0.3	1.883.75	2.243.35	15.369.77	281.604.56	28.768.30	-	-		
	Alt_20	15.62	109.42	1.521.77	22.90	0.9	1.813.97	2.160.30	14.735.46	269.789.34	27.571.30	-	-		
Alt_21	50.45	108.86	1.548.93	23.46	2.0	1.839.32	2.184.22	14.695.36	268.450.93	27.465.86	-	-			
Alt_22	-	114.54	1.576.62	-	-	-	1.884.73	2.245.03	15.408.64	282.397.51	28.845.12	-	-		
Alt_3	2.19	114.22	1.574.36	0.32	8.9	1.881.28	2.240.88	15.367.30	281.602.09	28.765.83	-	-			
Alt_26	6.44	114.67	1.584.81	-	-	1.892.89	2.253.96	15.432.14	282.716.62	28.883.49	-	-			
Alt_27	8.80	124.92	1.728.31	-	-	2.068.11	2.457.29	16.813.82	307.998.13	31.467.96	-	-			
Alt_3	20.01	114.22	1.592.18	10.70	2.0	1.899.10	2.258.70	15.385.13	281.619.91	28.783.66	-	-			
Alt_30	29.45	111.67	1.566.63	13.25	2.5	1.865.87	2.218.31	15.052.54	275.360.99	28.152.83	-	-			
Alt_31	33.46	109.24	1.537.12	15.68	2.4	1.828.88	2.174.60	14.729.03	269.362.47	27.543.71	-	-			
Güneş kont. elem. kul.	Alt_3	-	114.22	1.572.17	-	-	1.879.09	2.238.69	15.365.12	281.599.90	28.763.65	-	-		
	Alt_34	16.74	114.54	1.593.31	-	-	1.901.60	2.261.70	15.424.83	282.404.18	28.860.83	-	-		
	Alt_3	-	114.22	1.572.17	-	-	1.879.09	2.238.69	15.365.12	281.599.90	28.763.65	-	-		
	Alt_37	31.89	111.01	1.563.87	3.21	15.6	1.859.60	2.214.12	14.965.07	273.715.61	27.986.95	1.523.44	1.462.98		
	Alt_40	115.68	103.10	1.548.73	11.12	16.8	1.816.87	2.158.87	13.985.28	254.306.80	26.079.70	1.408.72	1.199.37		
	Alt_43	55.73	110.85	1.585.80	3.36	-	1.880.99	2.235.27	14.968.30	273.361.54	27.972.19	1.543.44	1.480.09		
	Alt_44	55.73	111.83	1.598.01	2.39	-	1.896.60	2.252.42	15.099.53	275.766.67	28.217.86	1.567.93	1.522.96		
Fotovoltaik (PV) sistem uygulaması	Alt_44	55.73	111.83	1.598.01	2.39	-	1.896.60	2.252.42	15.099.53	275.766.67	28.217.86	1.567.93	1.522.96		



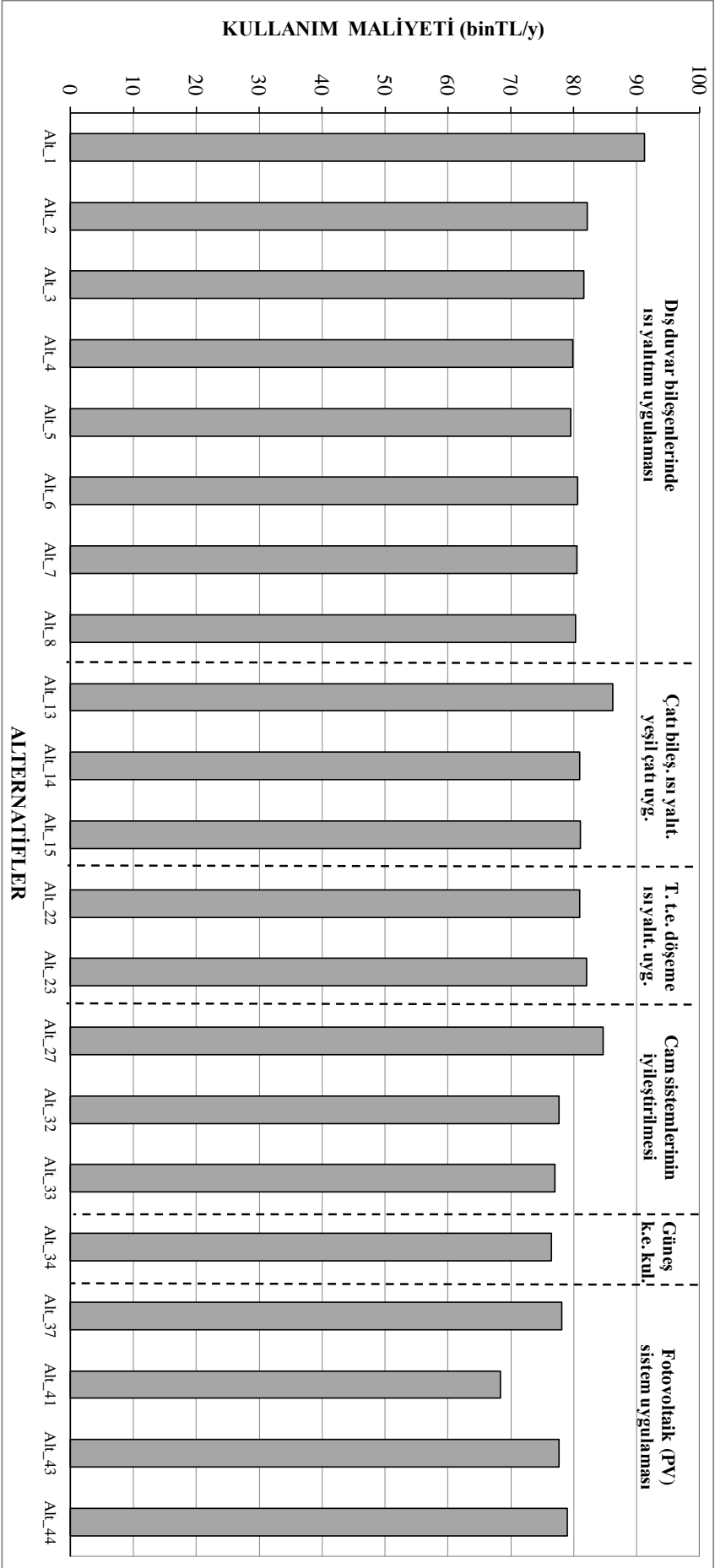
Şekil C.39 : İyileştirme önlemlerine ilişkin ilk yatırım maliyetleri.



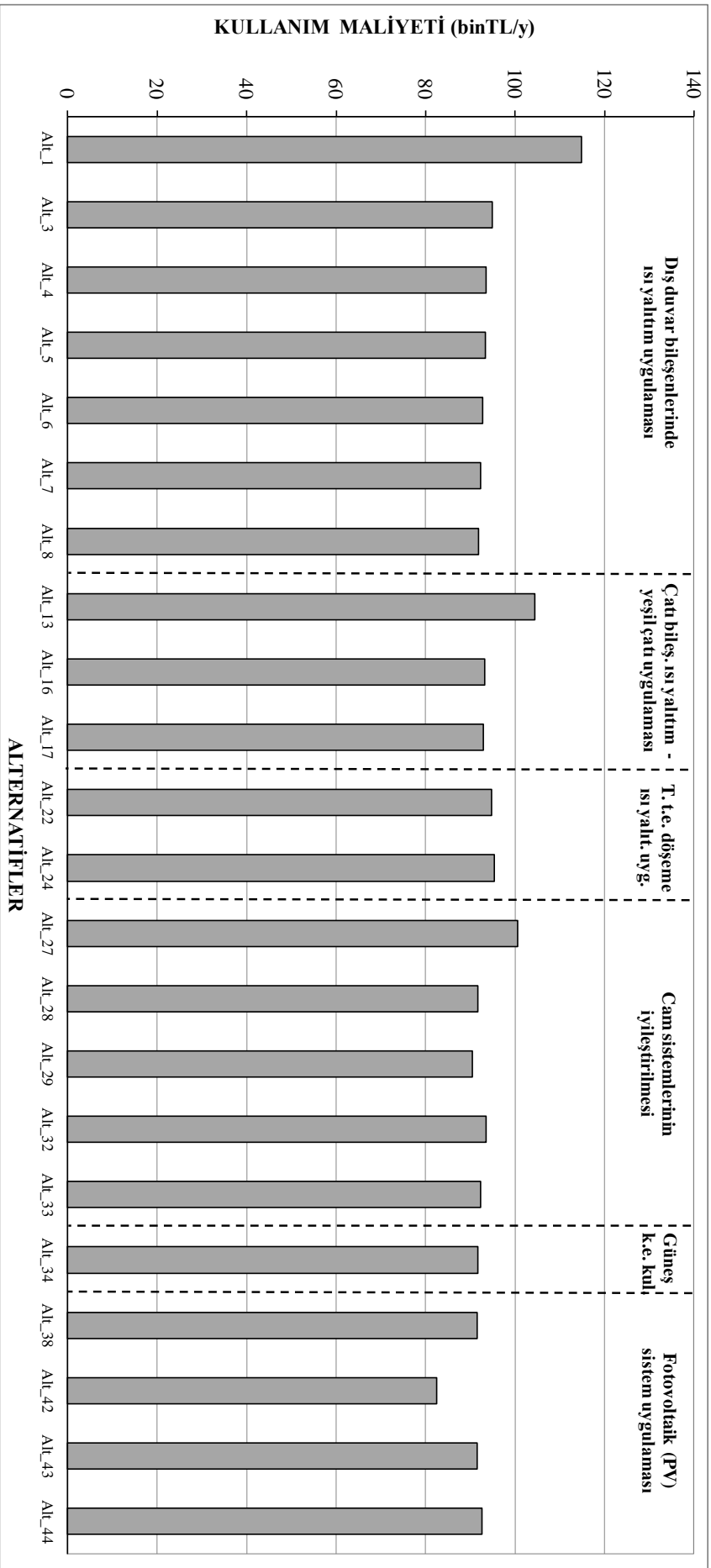
Şekil C.40 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım maliyetleri.



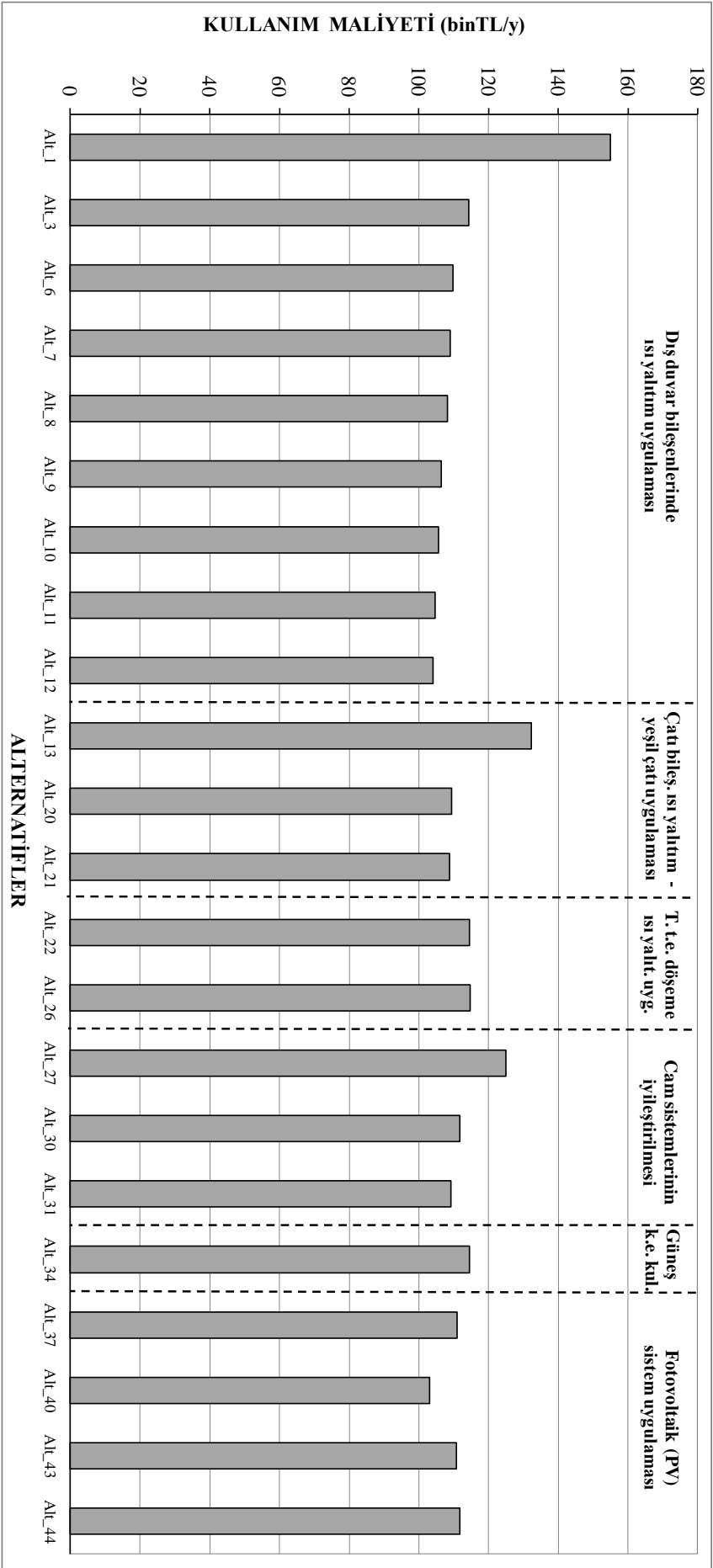
Şekil C.41 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım maliyetleri.



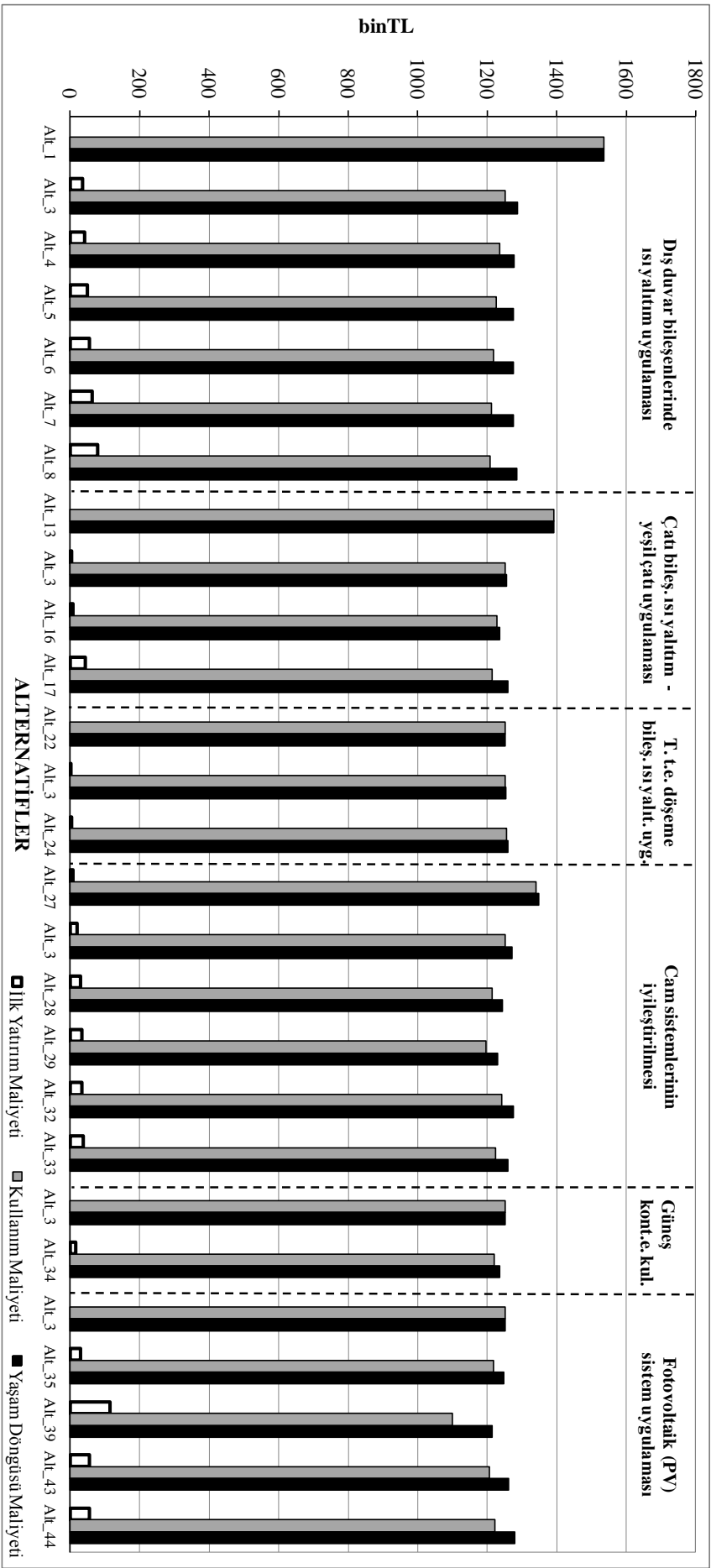
Şekil C.42 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım maliyetleri.



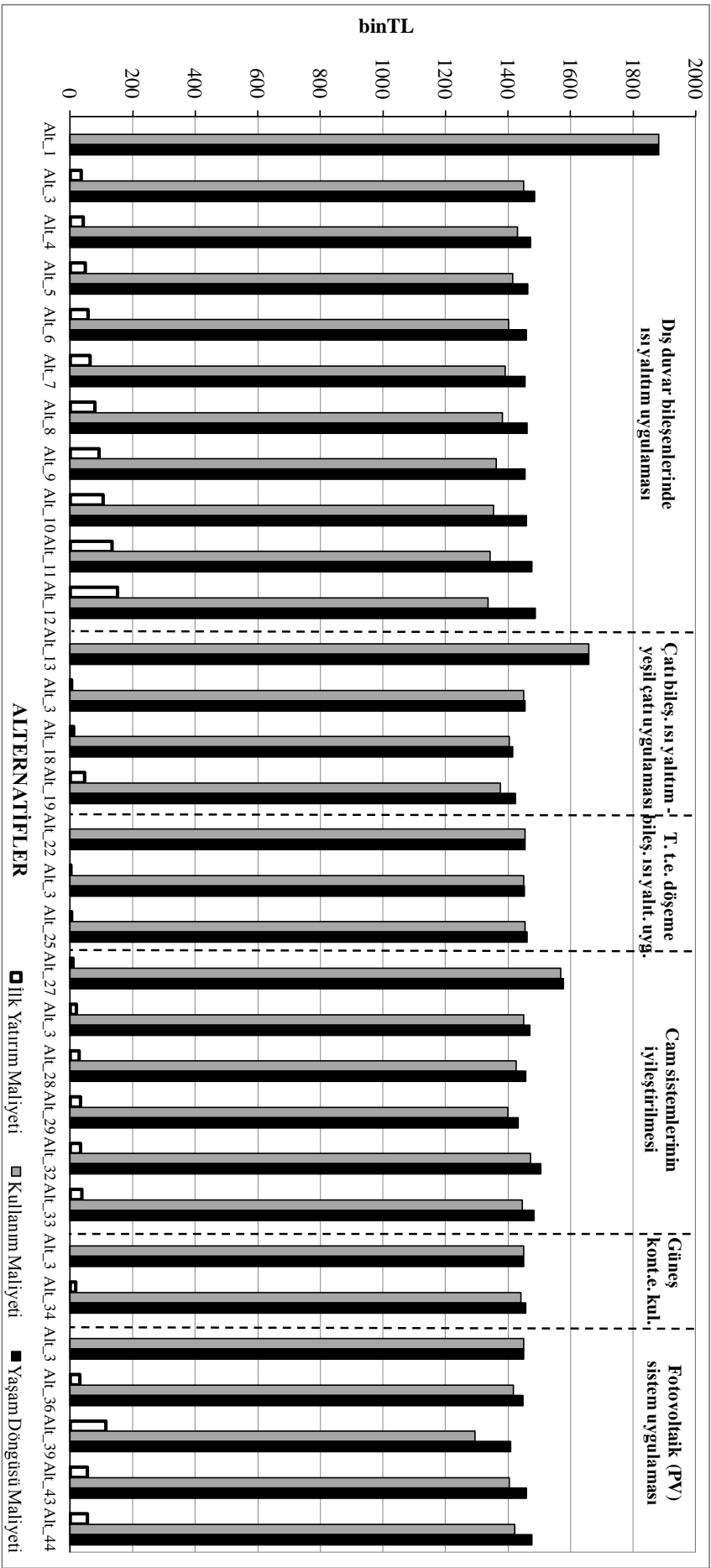
Şekil C.43 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım maliyetleri.



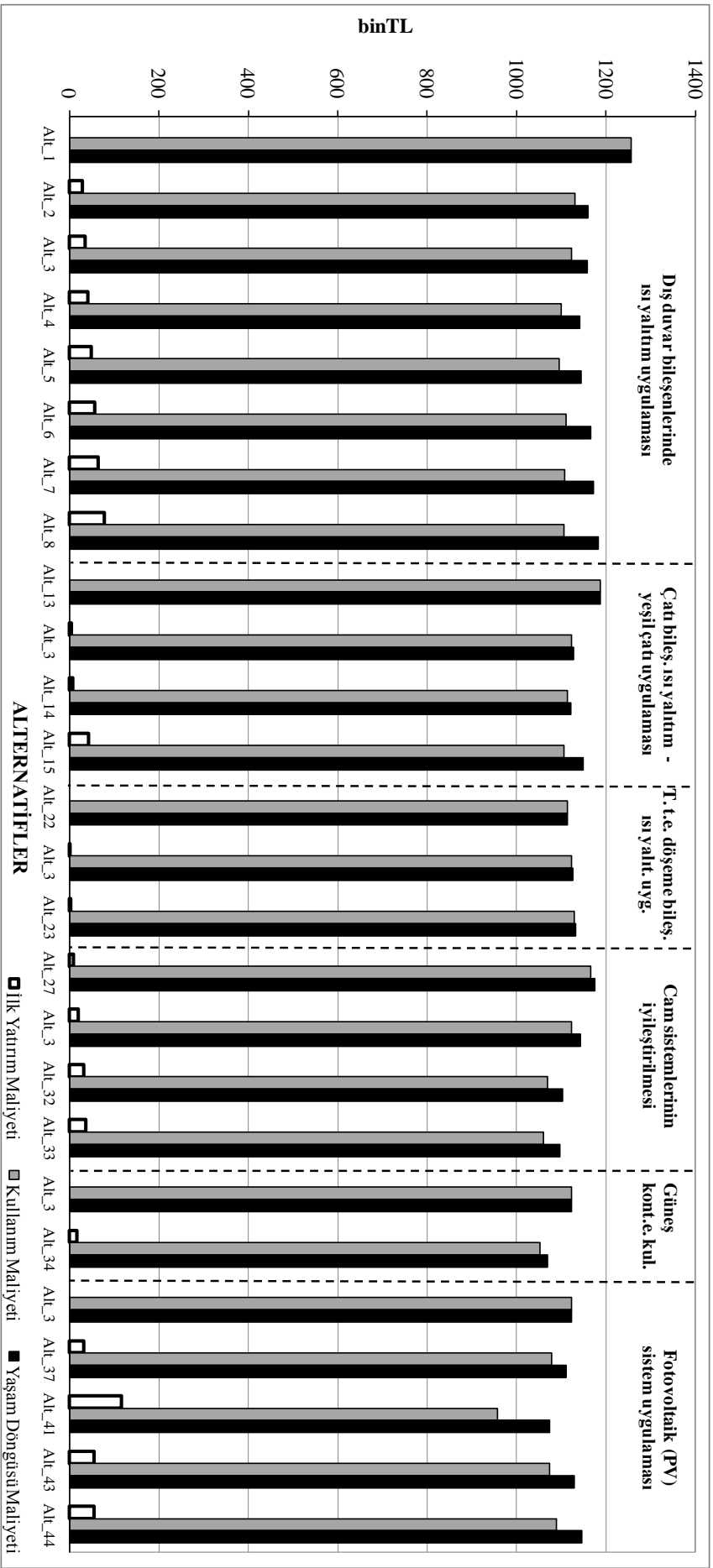
Şekil C.44 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin kullanım maliyetleri.



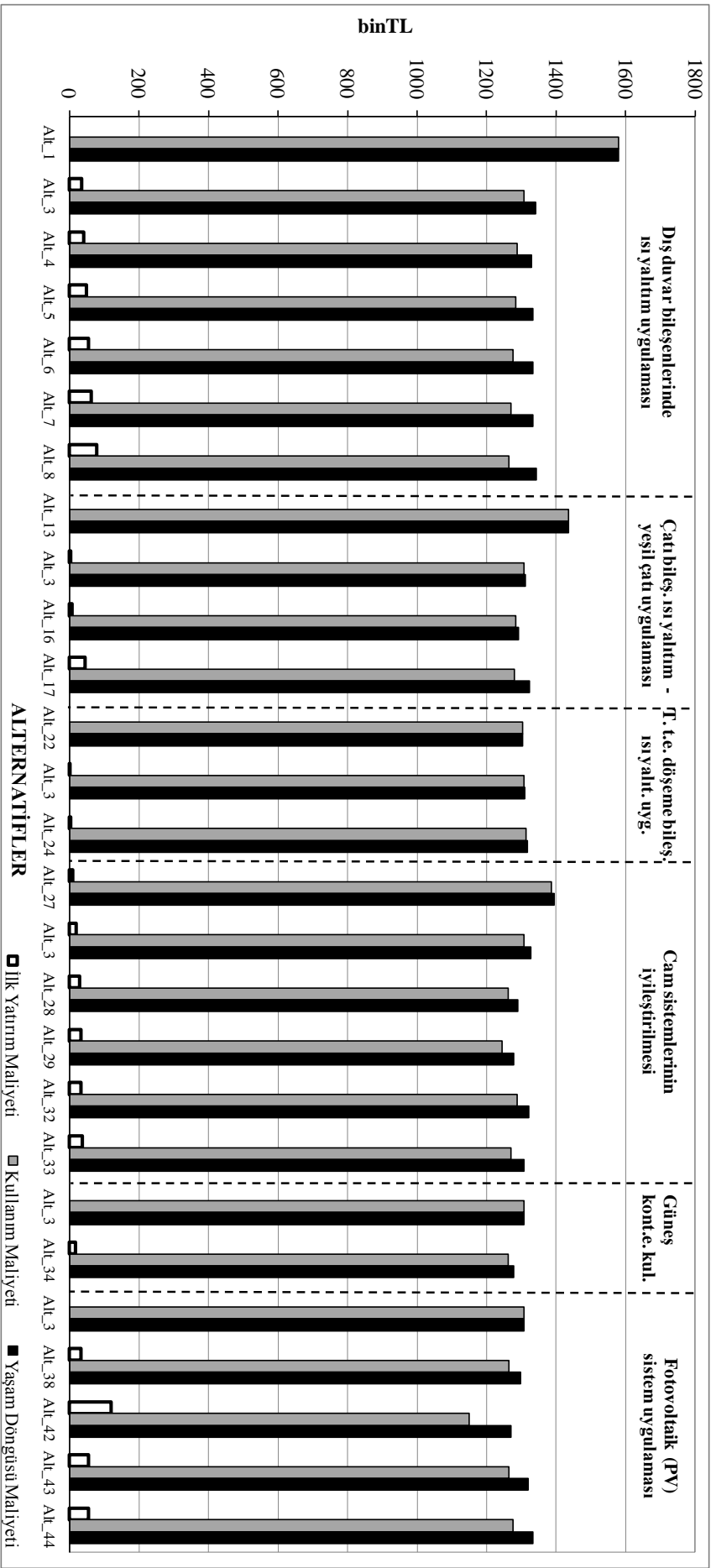
Şekil C.45 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.



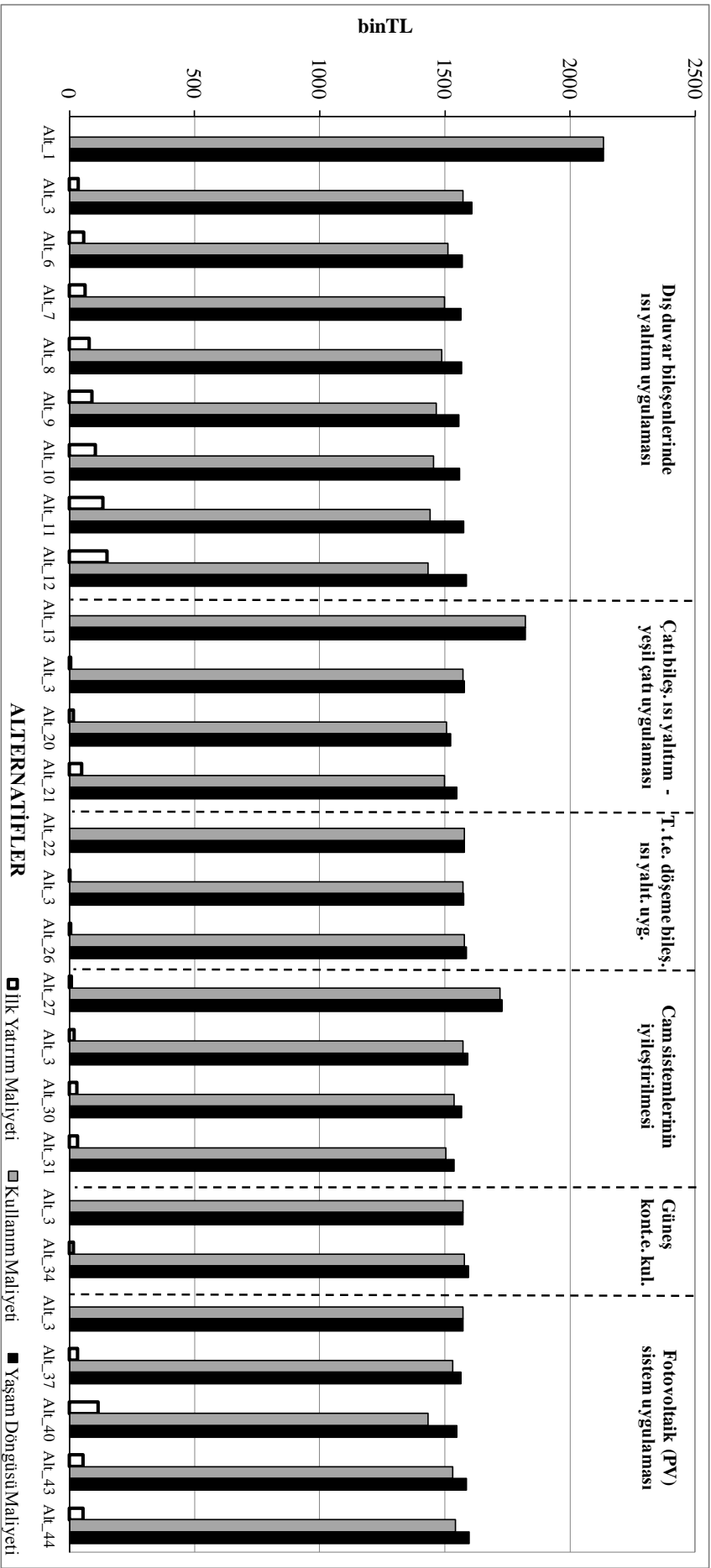
Şekil C.46 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.



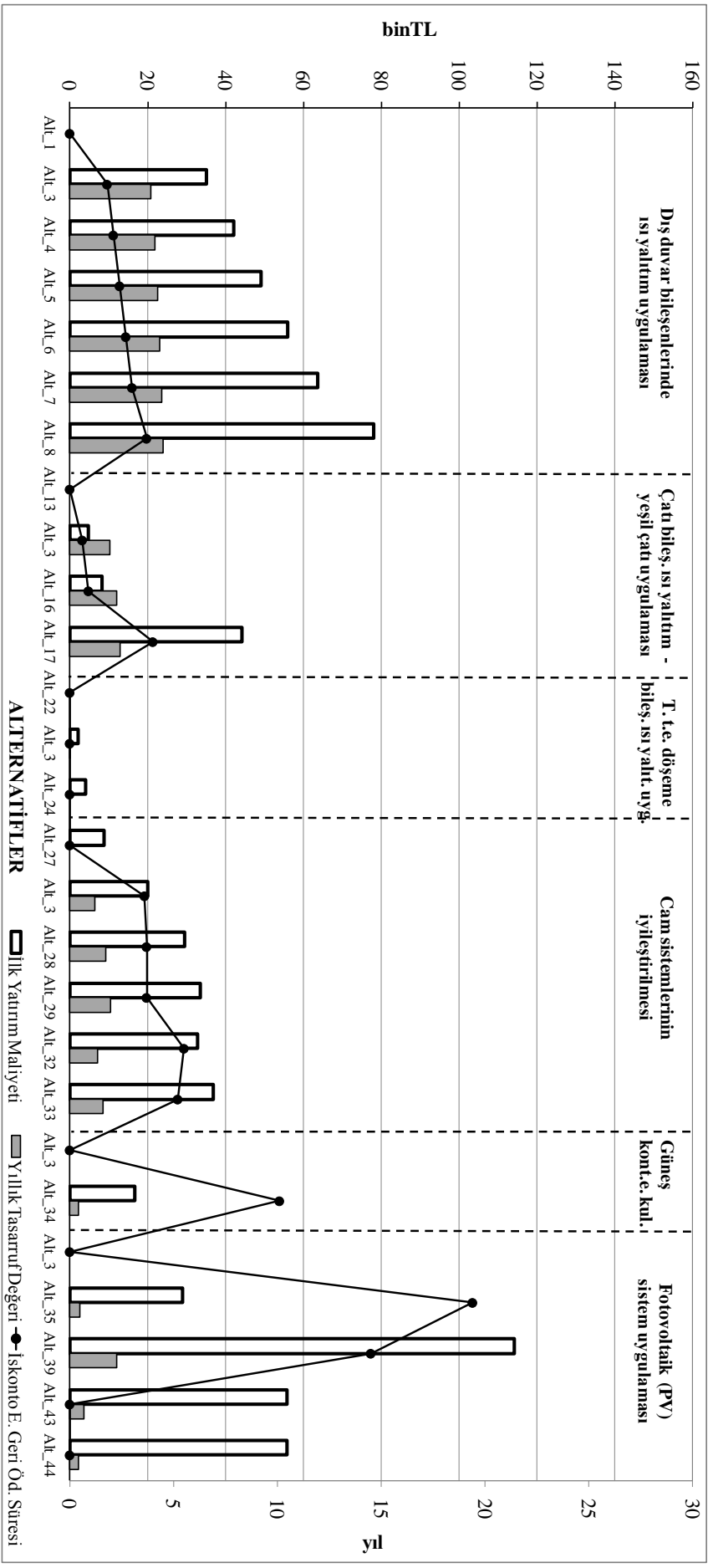
Şekil C.47 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.



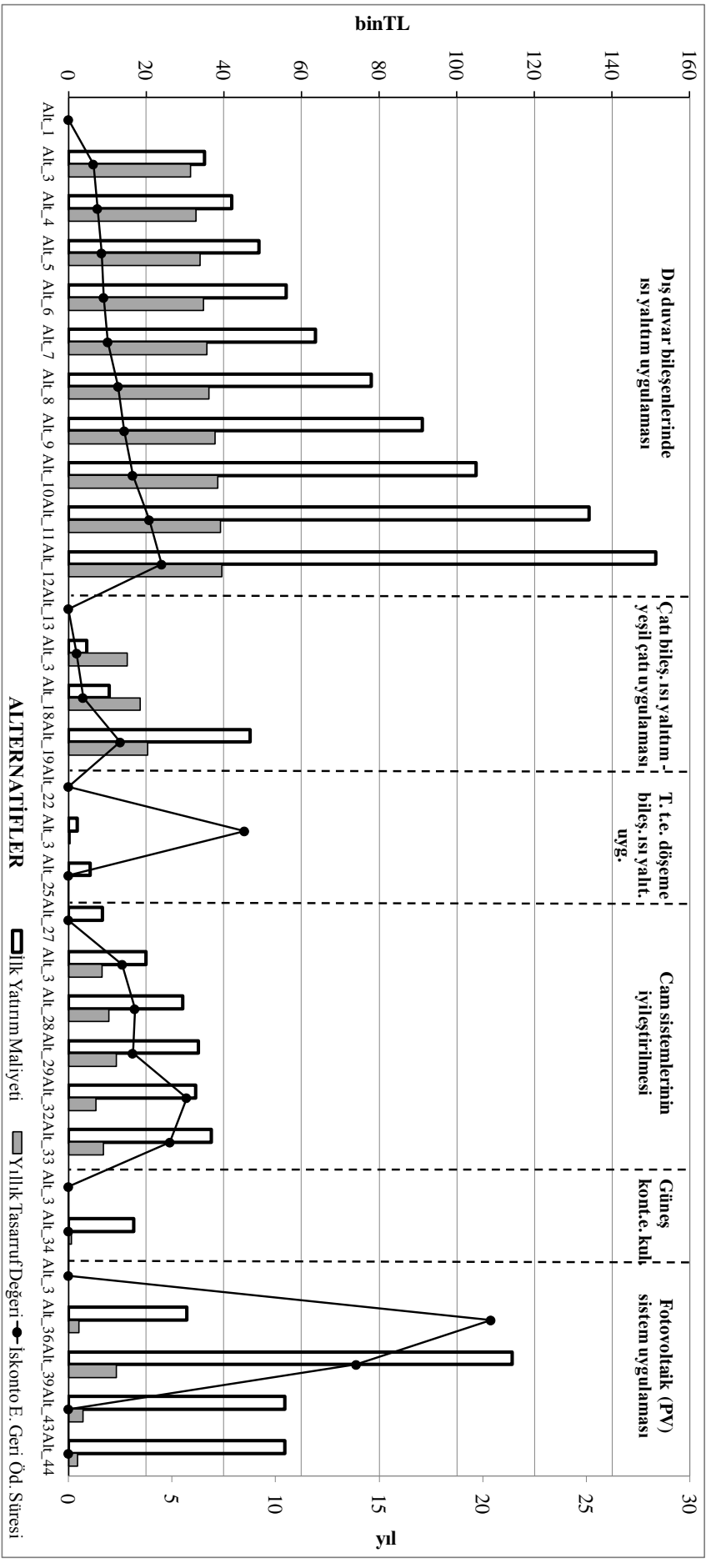
Şekil C.48 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.



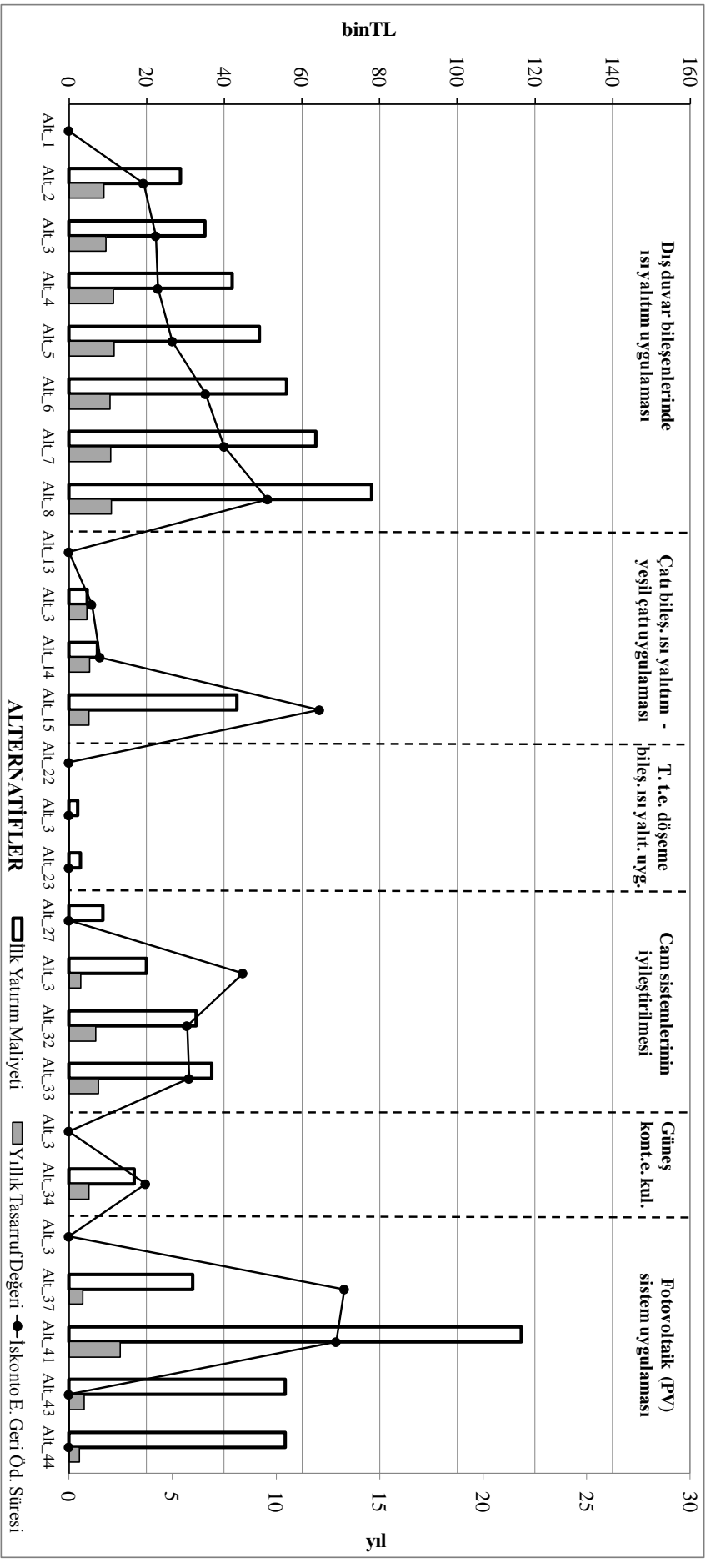
Şekil C.49 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.



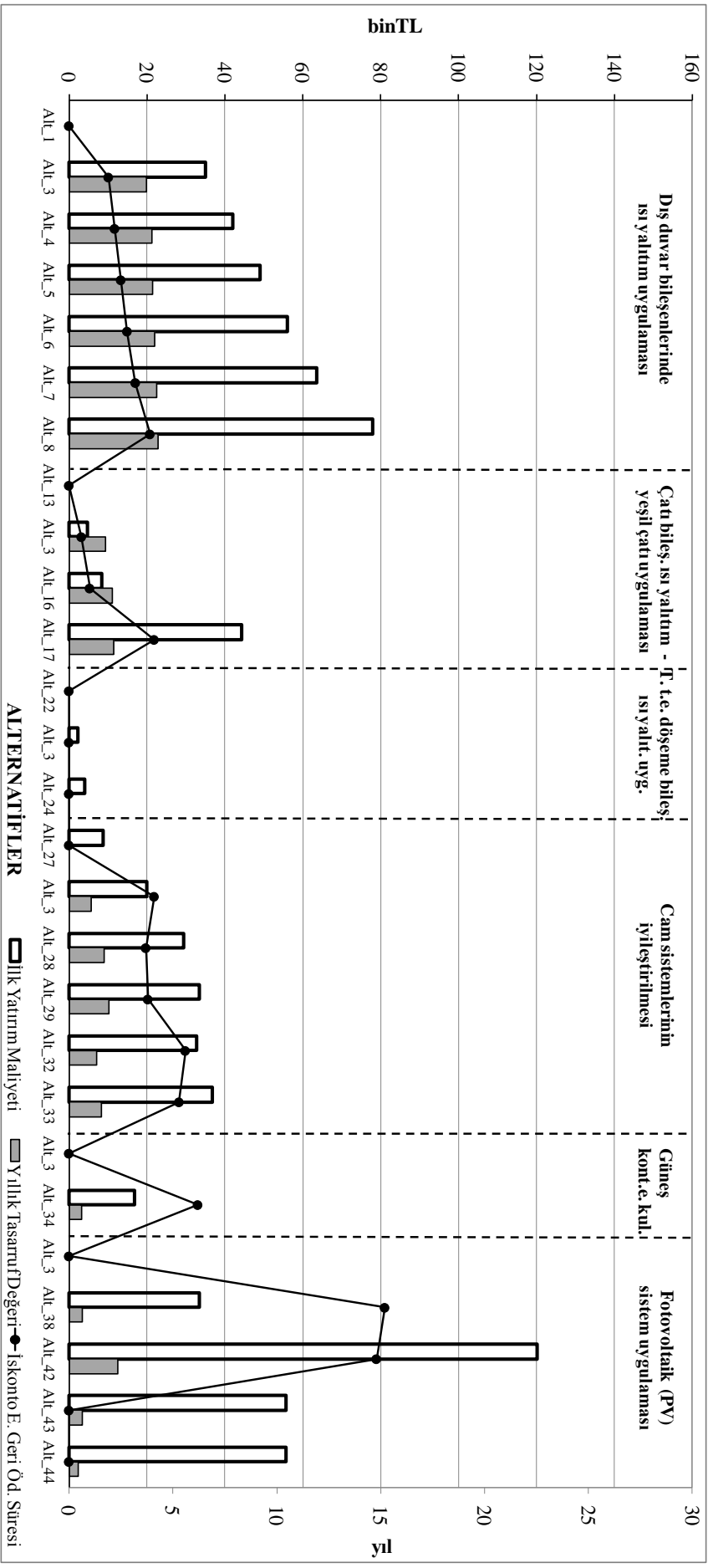
Şekil C.50 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.



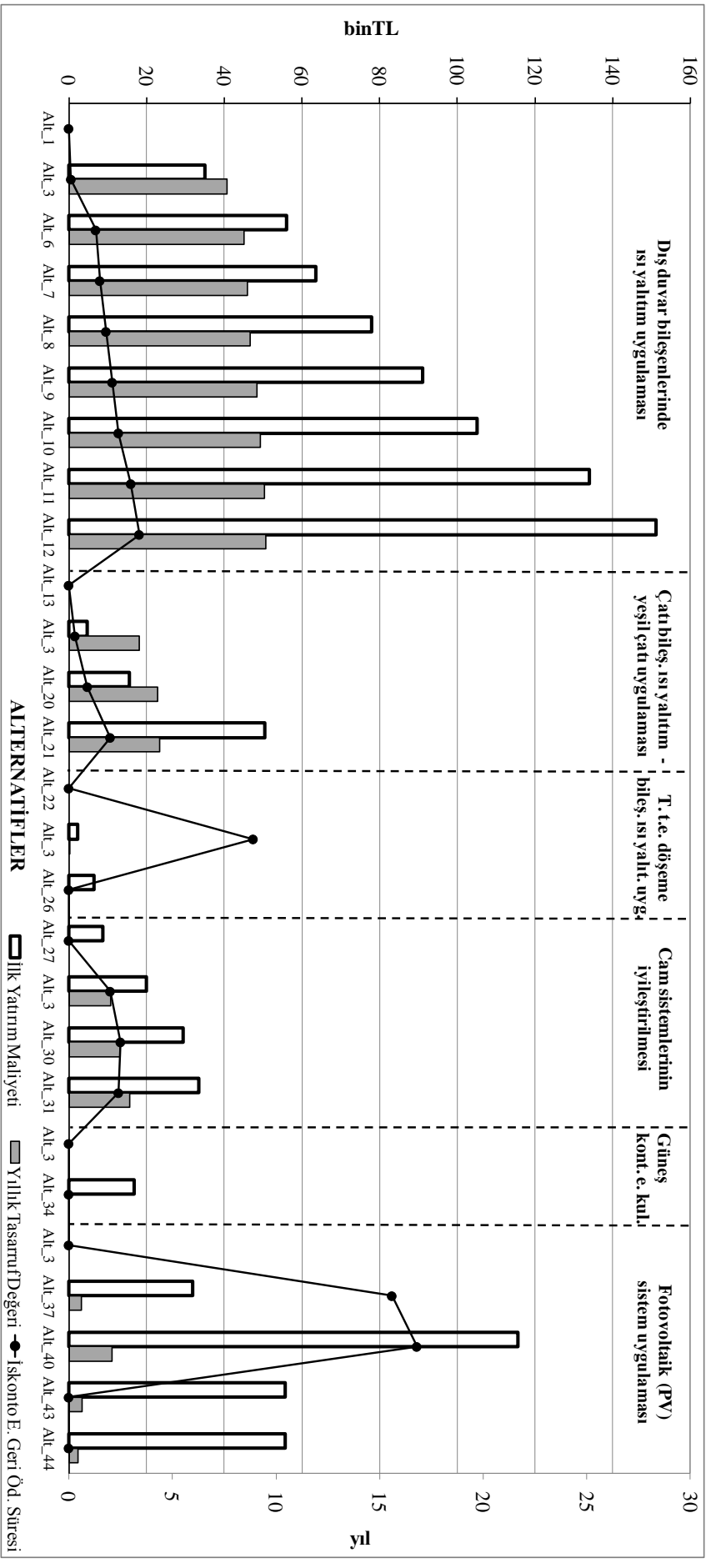
Şekil C.51 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.



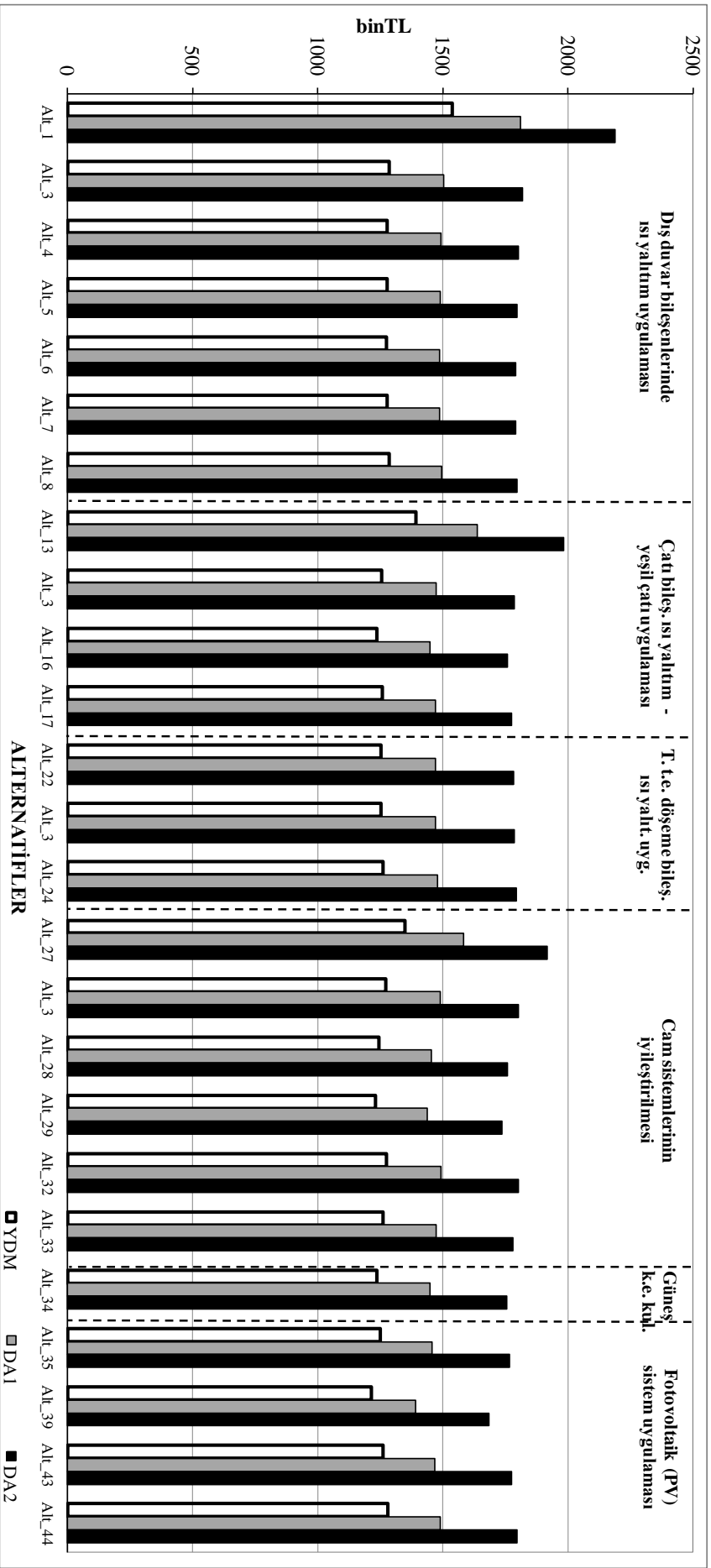
Şekil C.52 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.



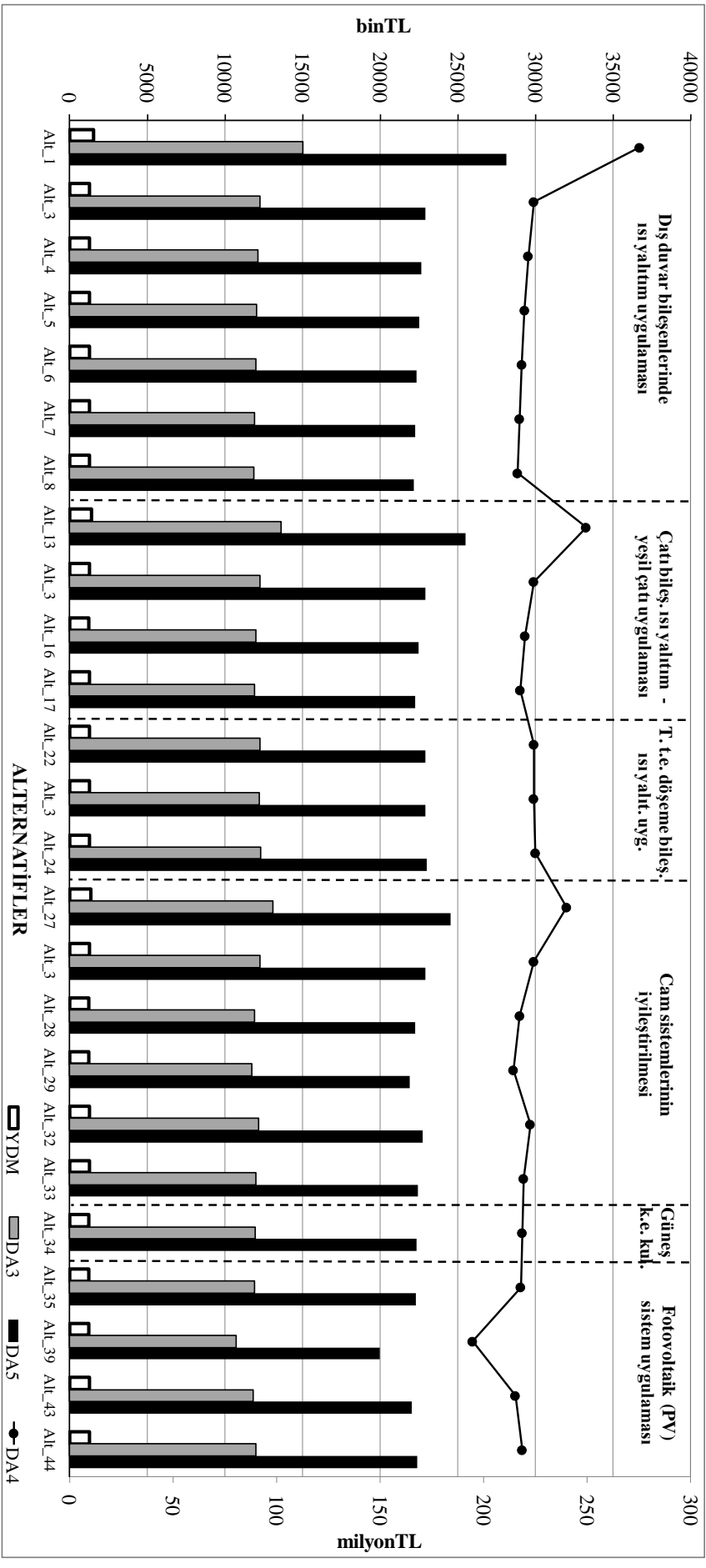
Şekil C.53 : Dıyabakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.



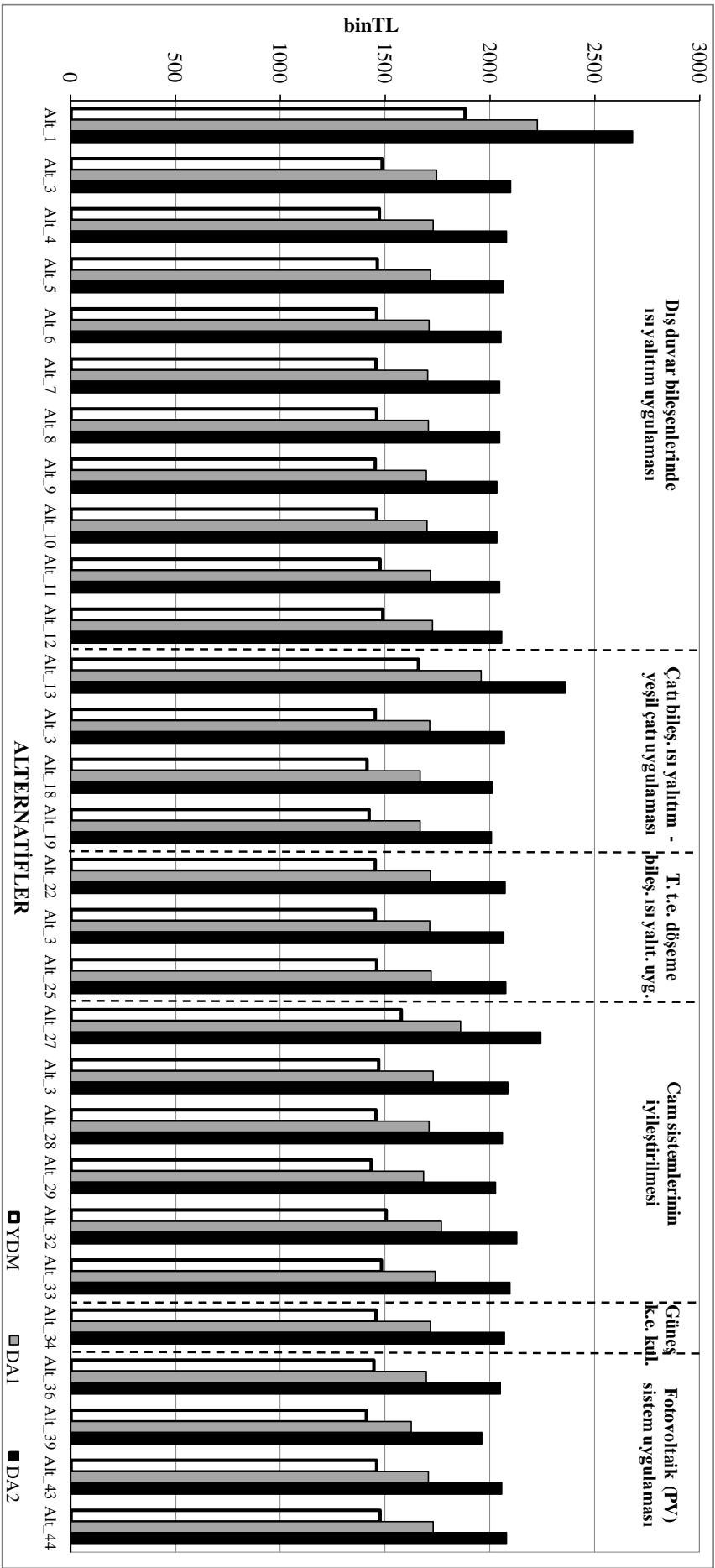
Şekil C.54 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.



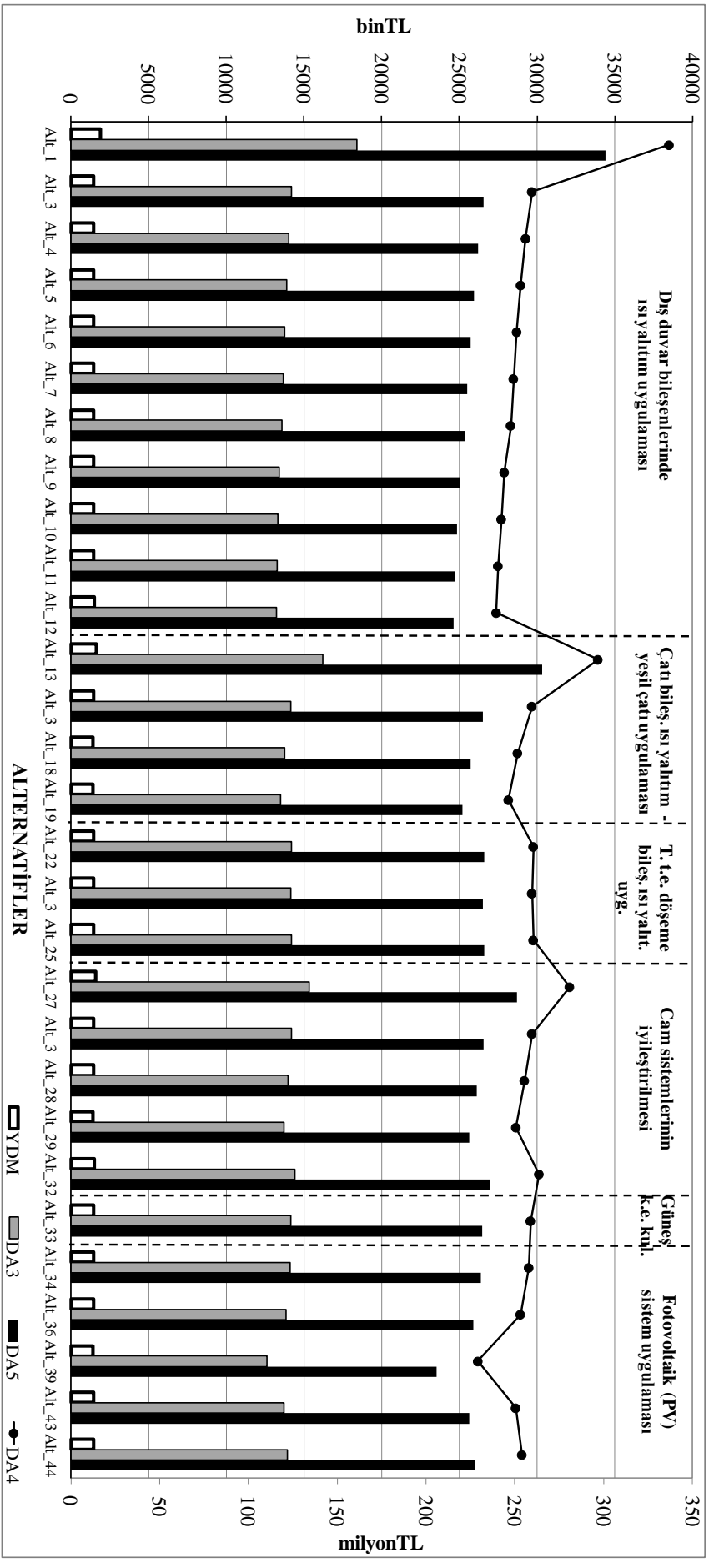
Şekil C.55 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.



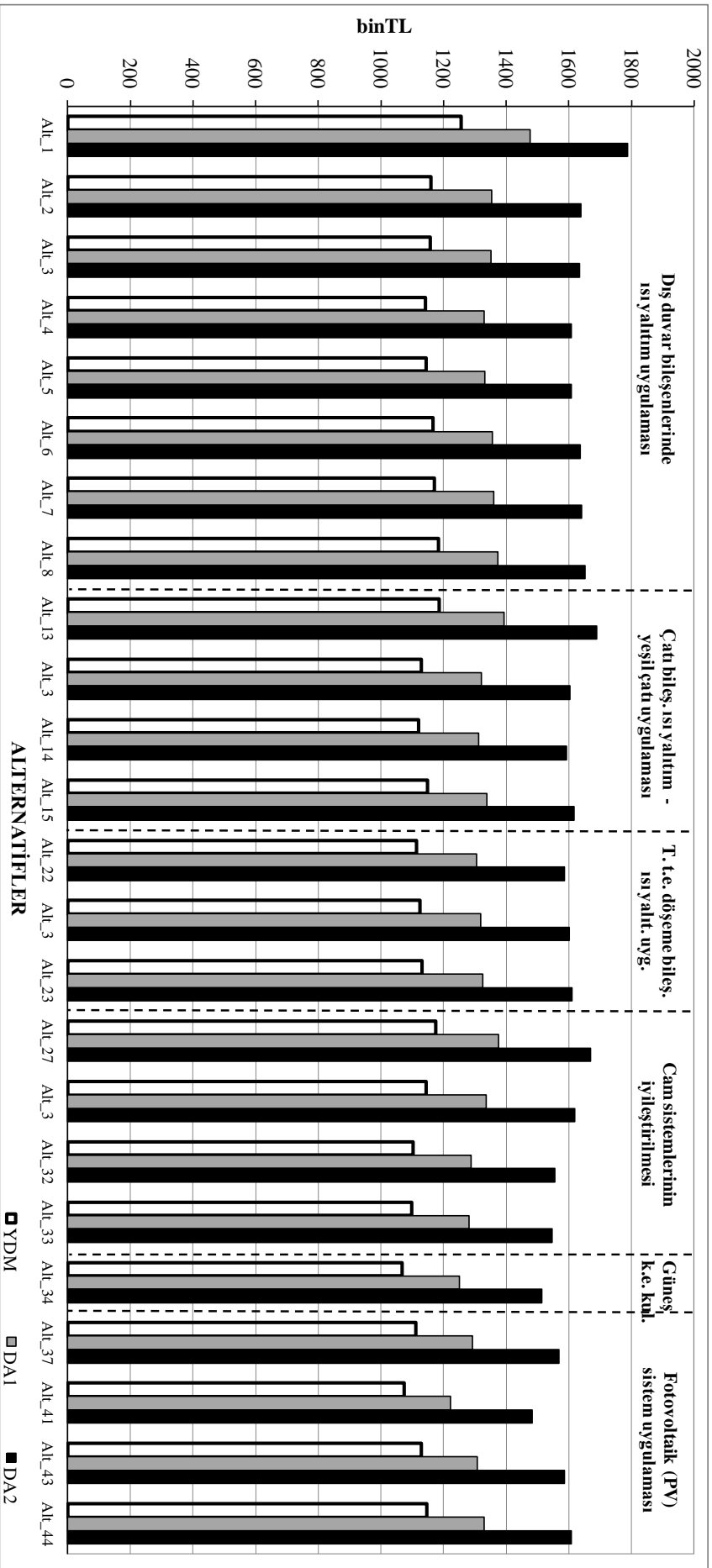
Şekil C.56 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları.



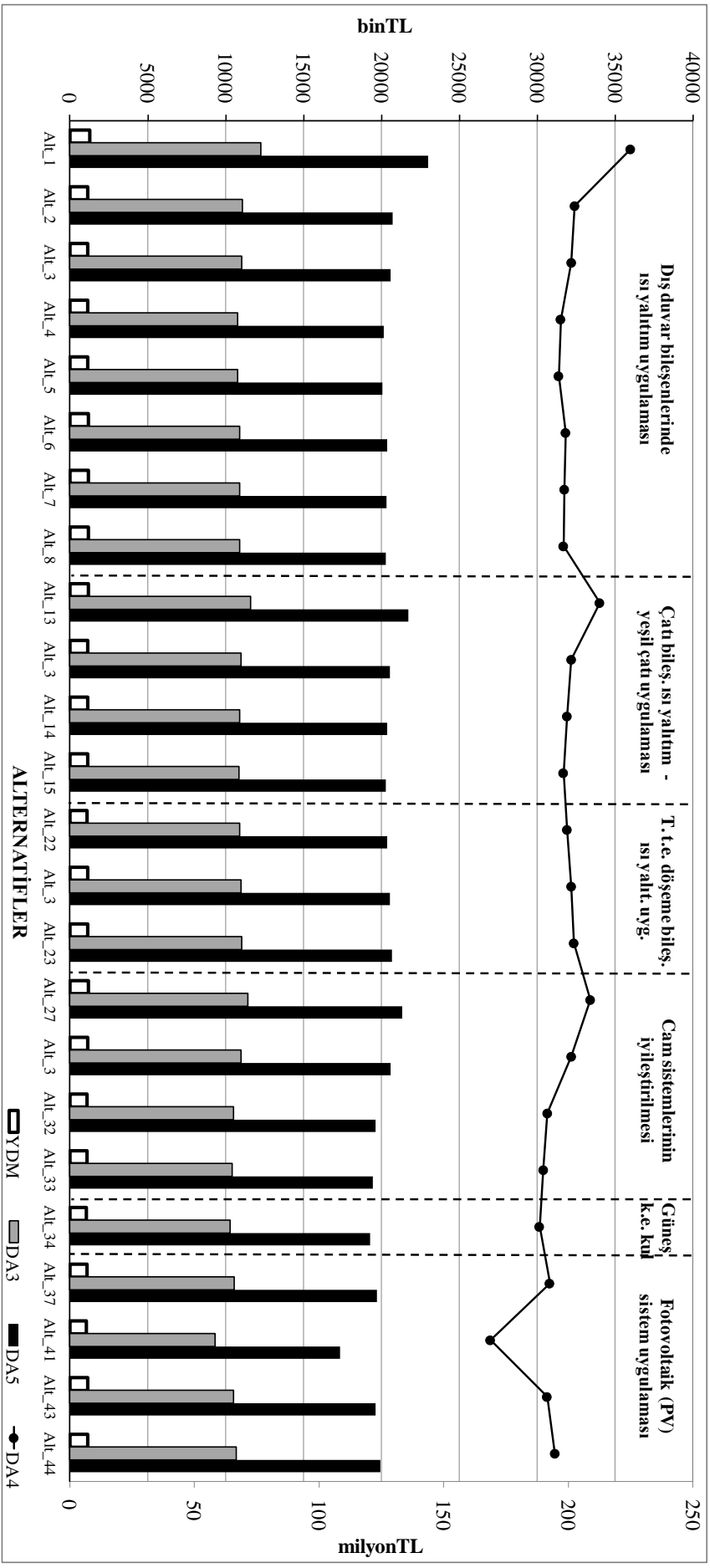
Şekil C.57 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.



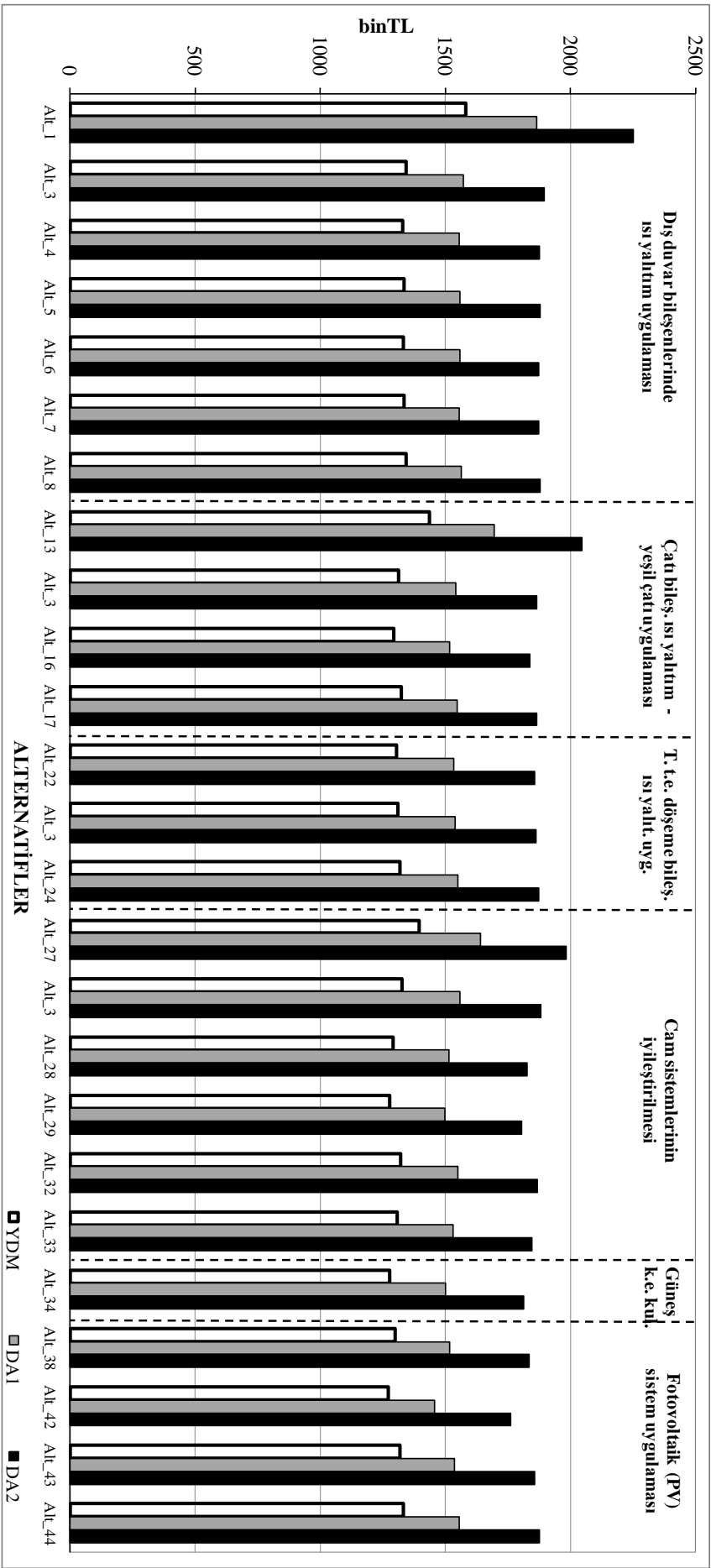
Şekil C.58 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları.



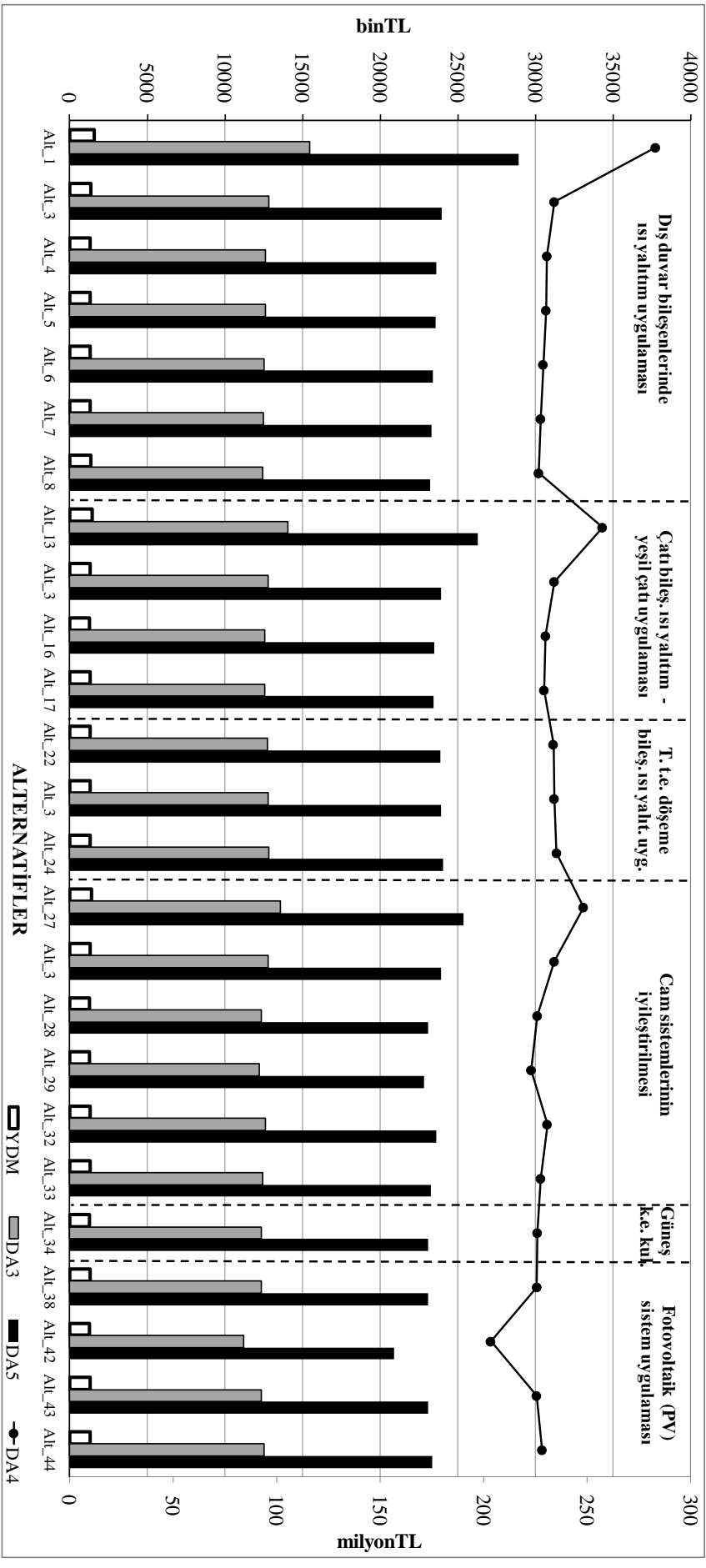
Şekil C.59 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.



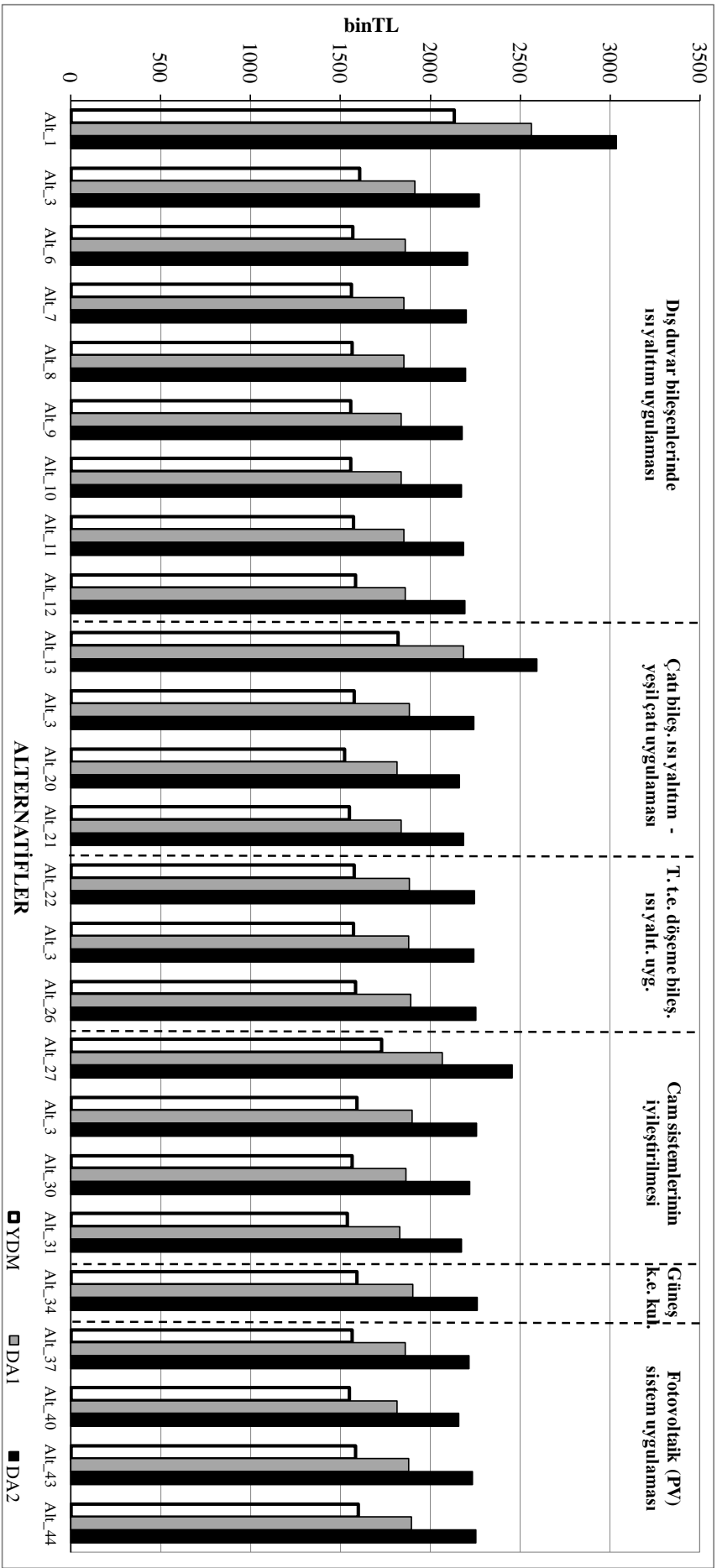
Şekil C.60: Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları.



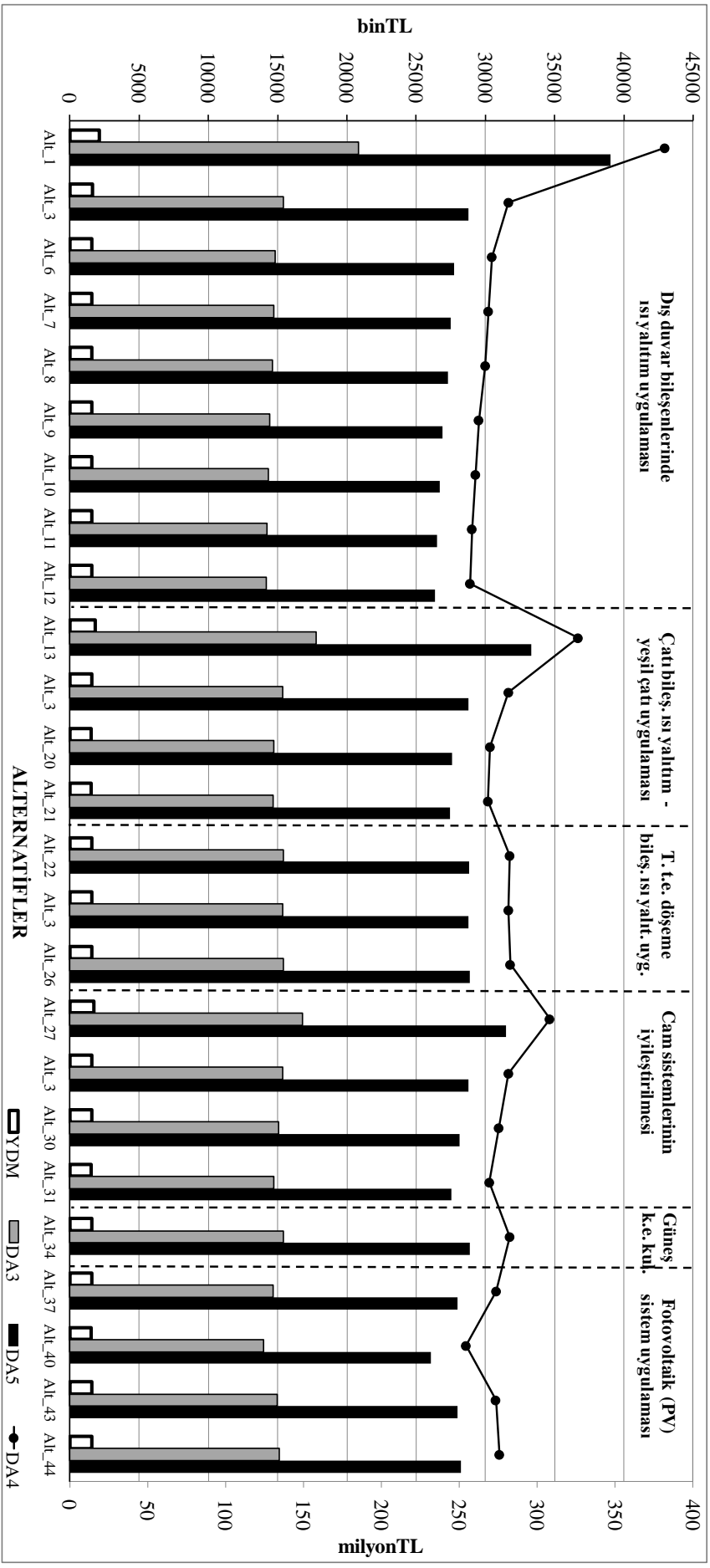
Şekil C.61 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.



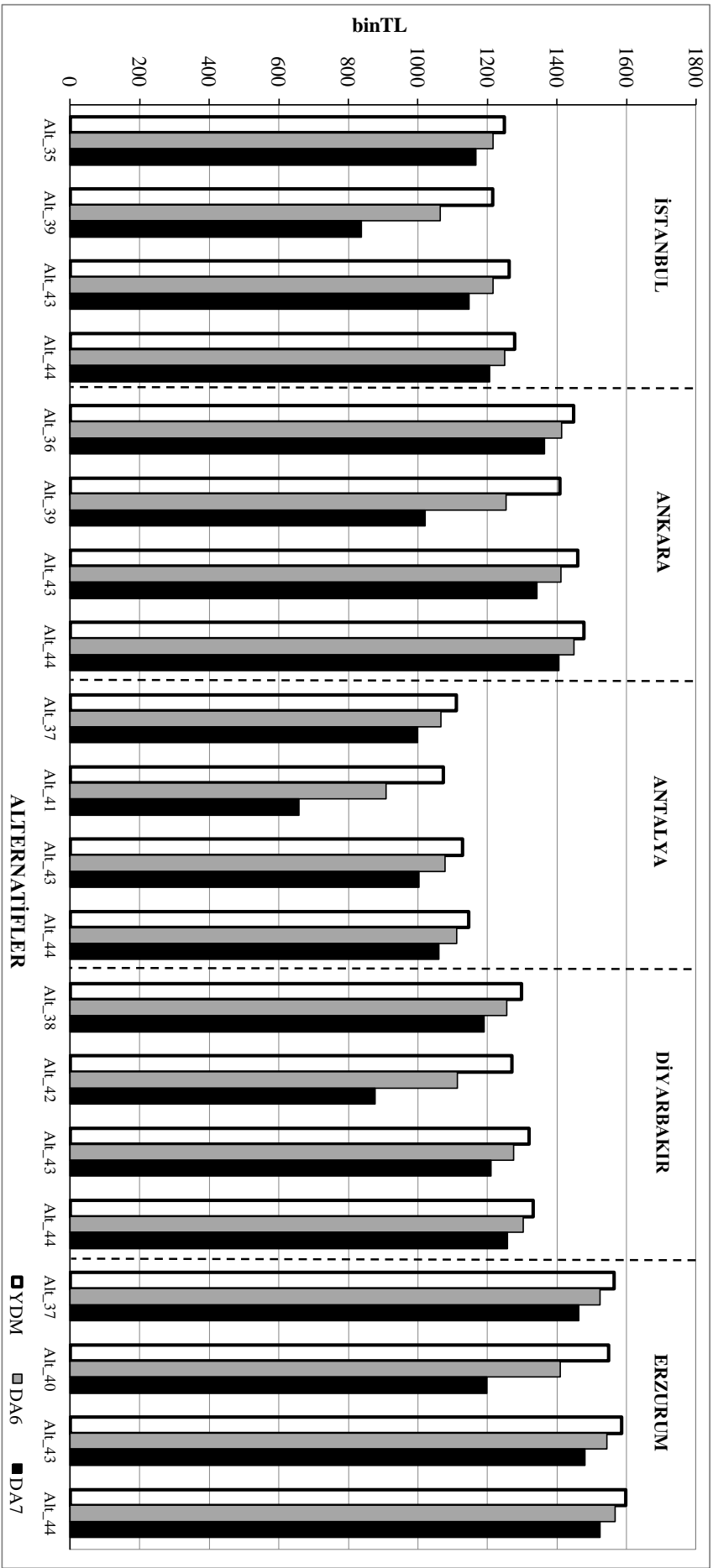
Şekil C.62: Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları.



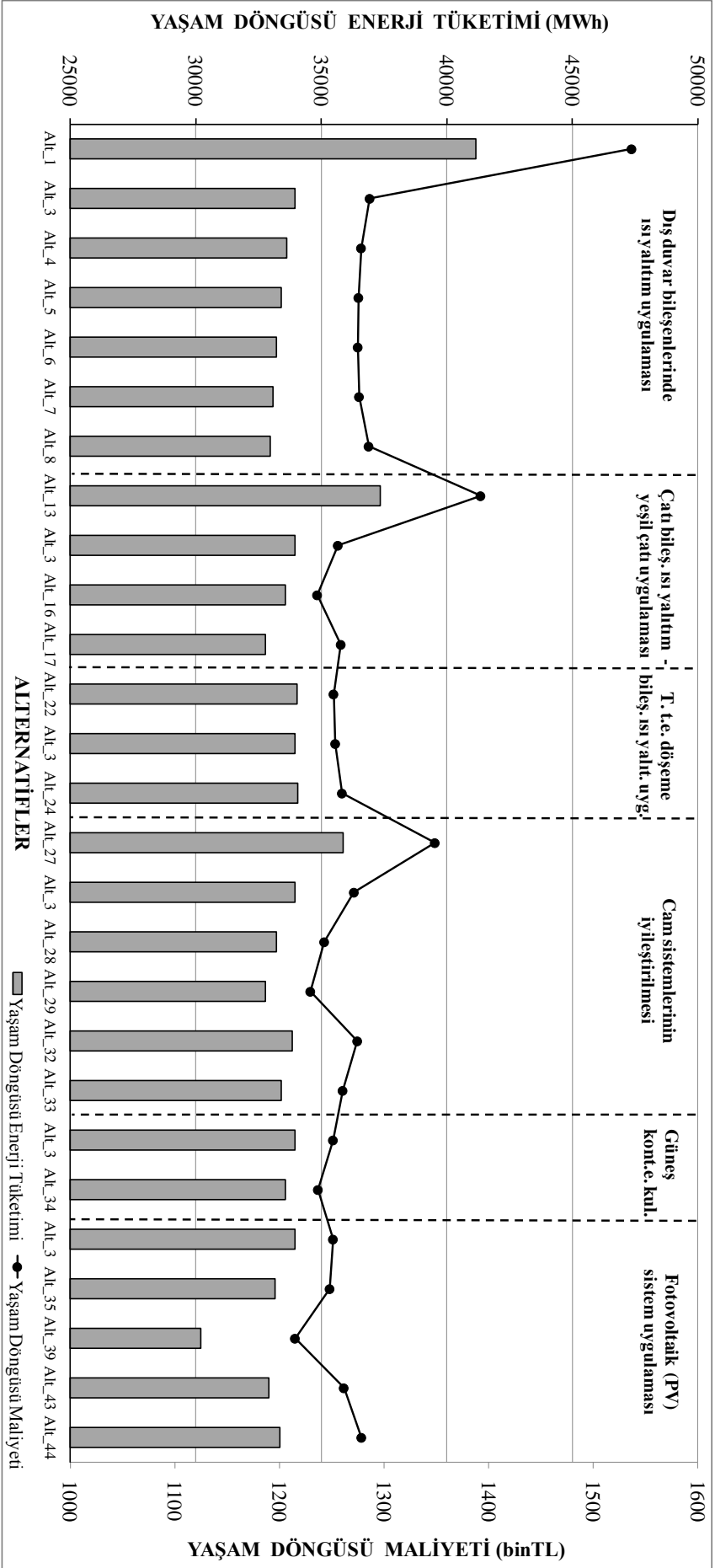
Şekil C.63 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA1 ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.



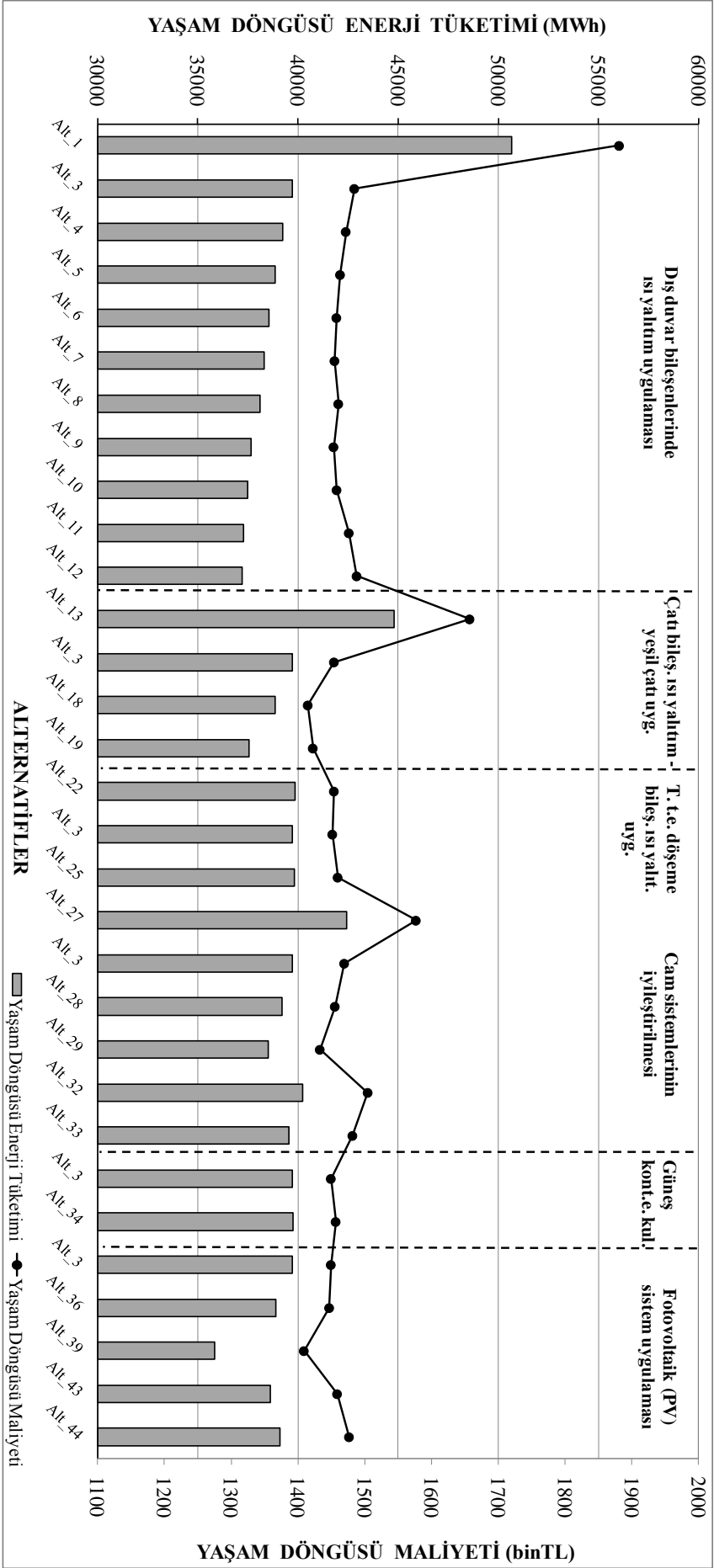
Şekil C.64: Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları.



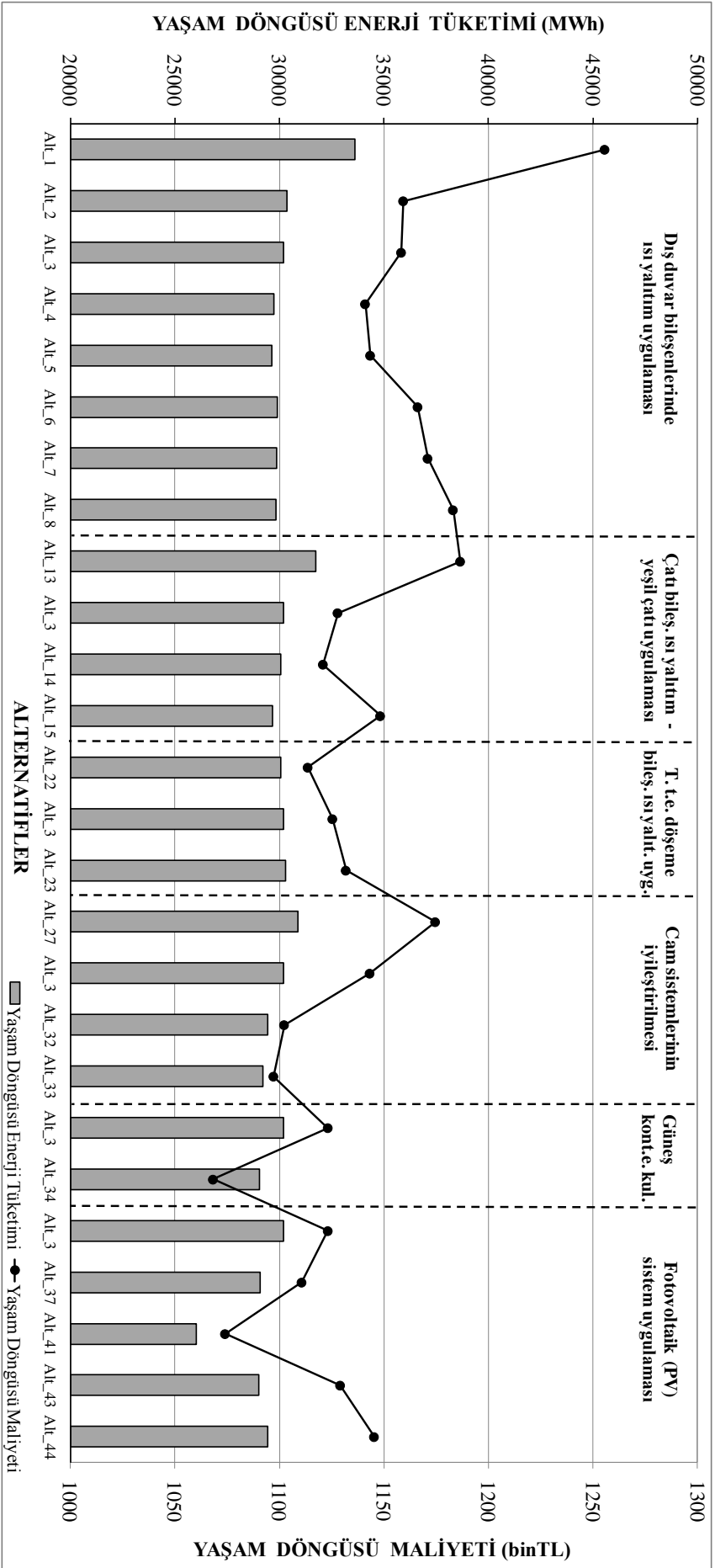
Şekil C.65 : İller için ele alınan PV sistemlere ilişkin DA6 ve DA7 duyarlılık analiz sonuçları.



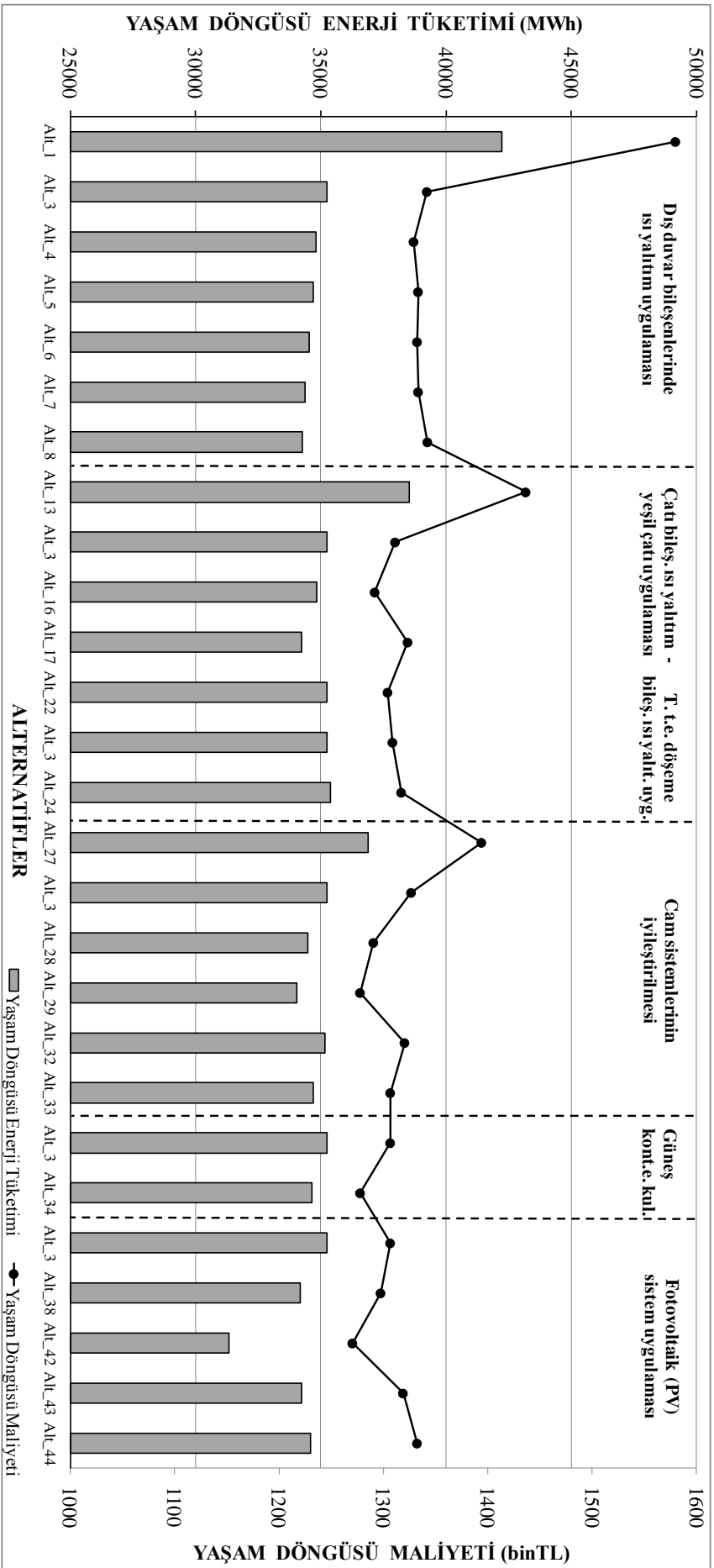
Şekil C.66 : İstanbul ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDET ve YDM değerleri.



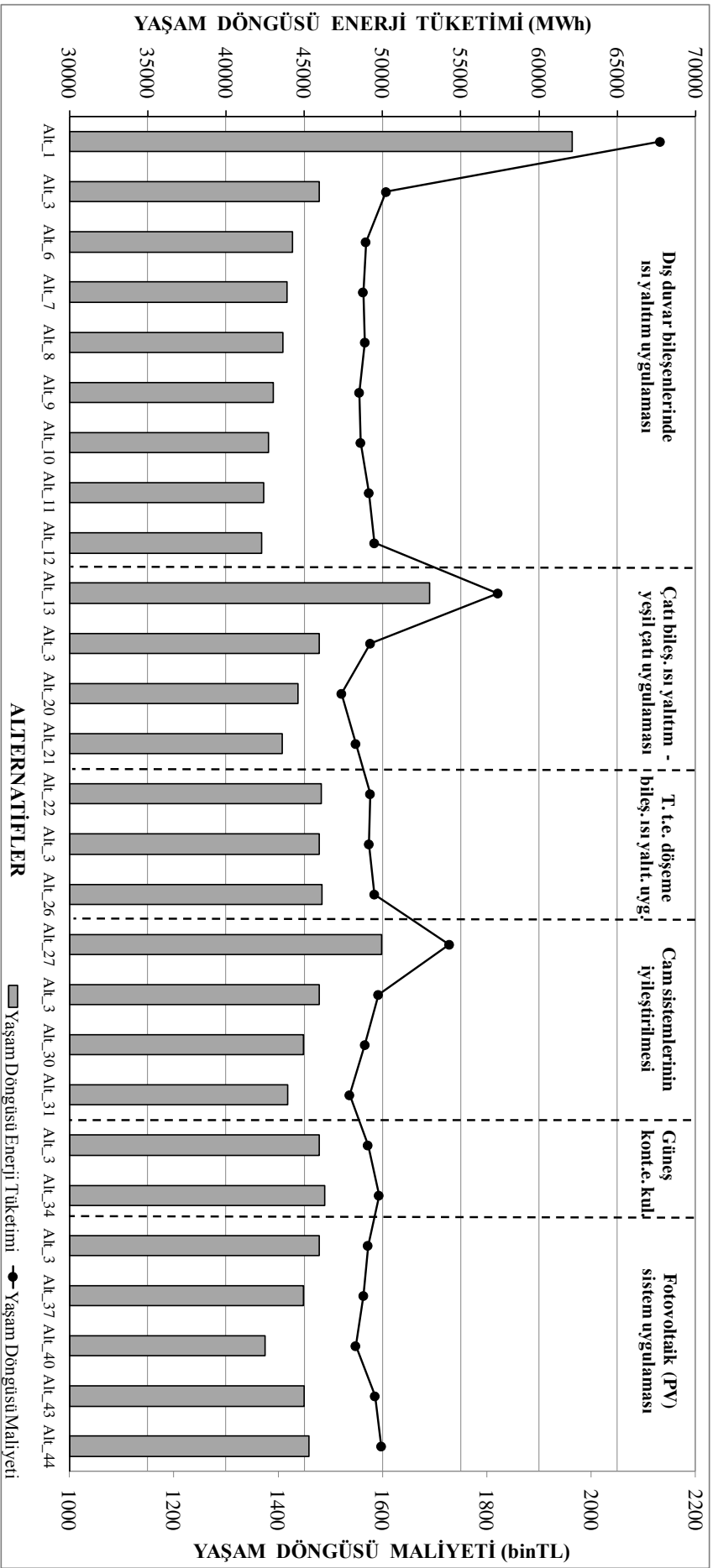
Şekil C.67 : Ankara ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDET ve YDM değerleri.



Şekil C.68 : Antalya ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDET ve YDM değerleri.



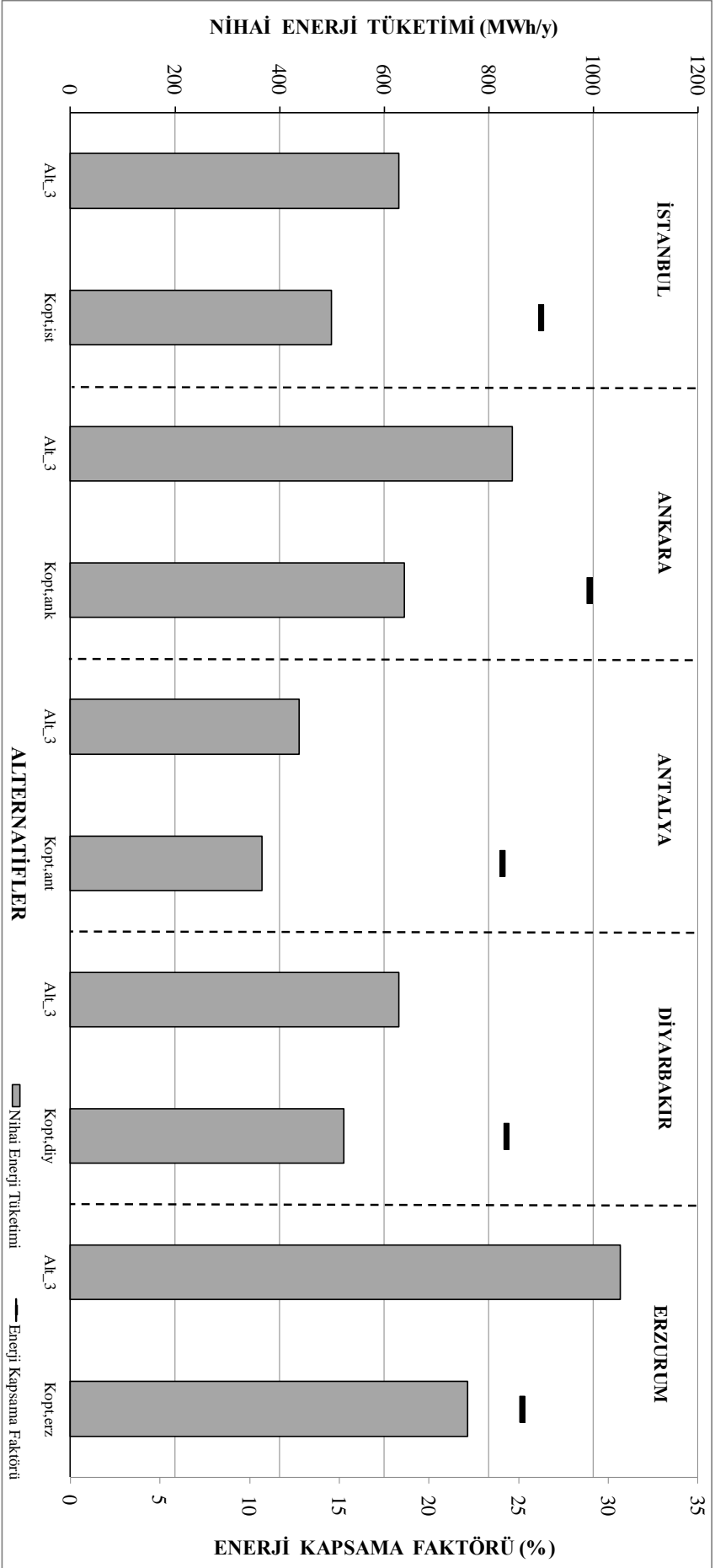
Şekil C.69 : Diyarbakır ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDET ve YDM değerleri.



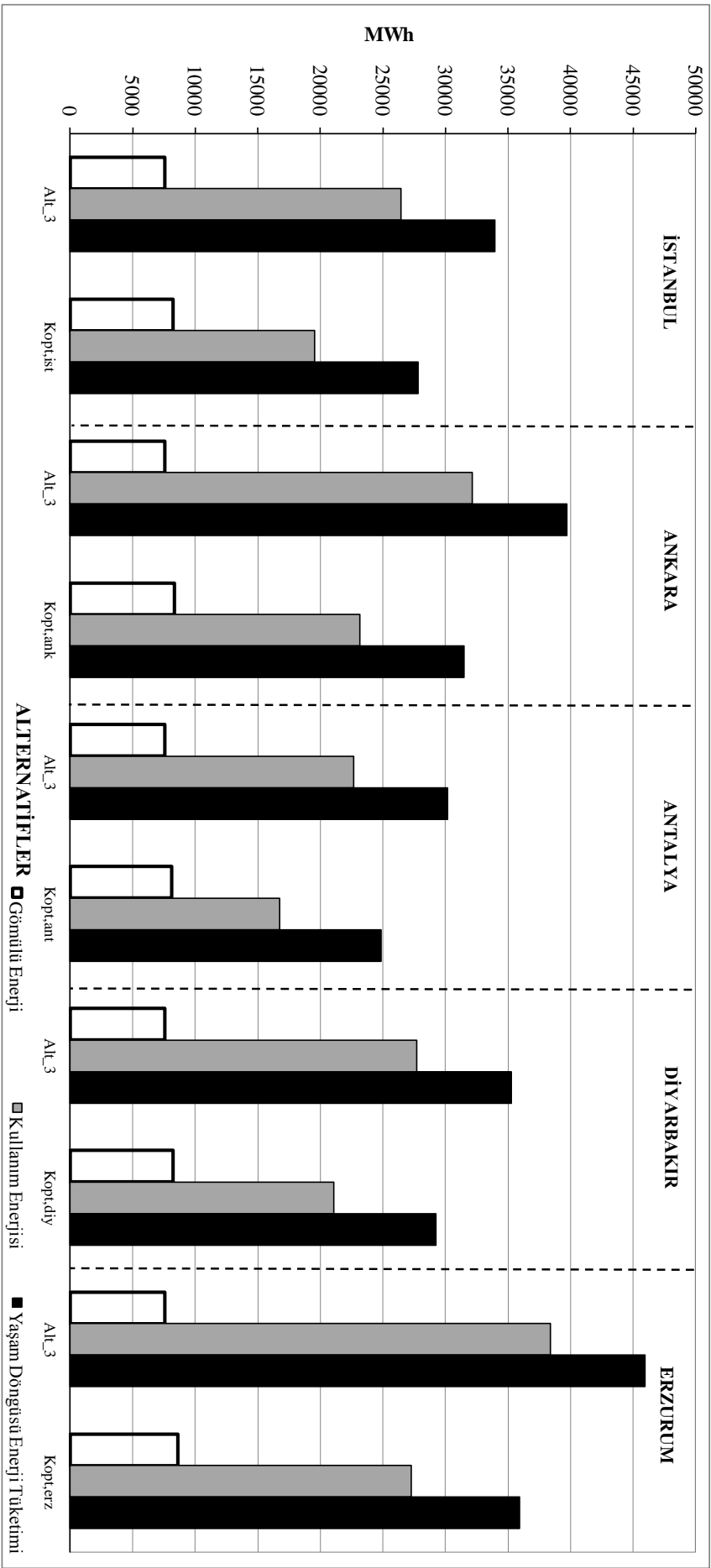
Şekil C.70 : Erzurum ili için ele alınan iyileştirme önlemlerine ilişkin YDET ve YDM değerleri.

Çizelge C.11 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin YDE ve YDCO₂ analiz sonuçları.

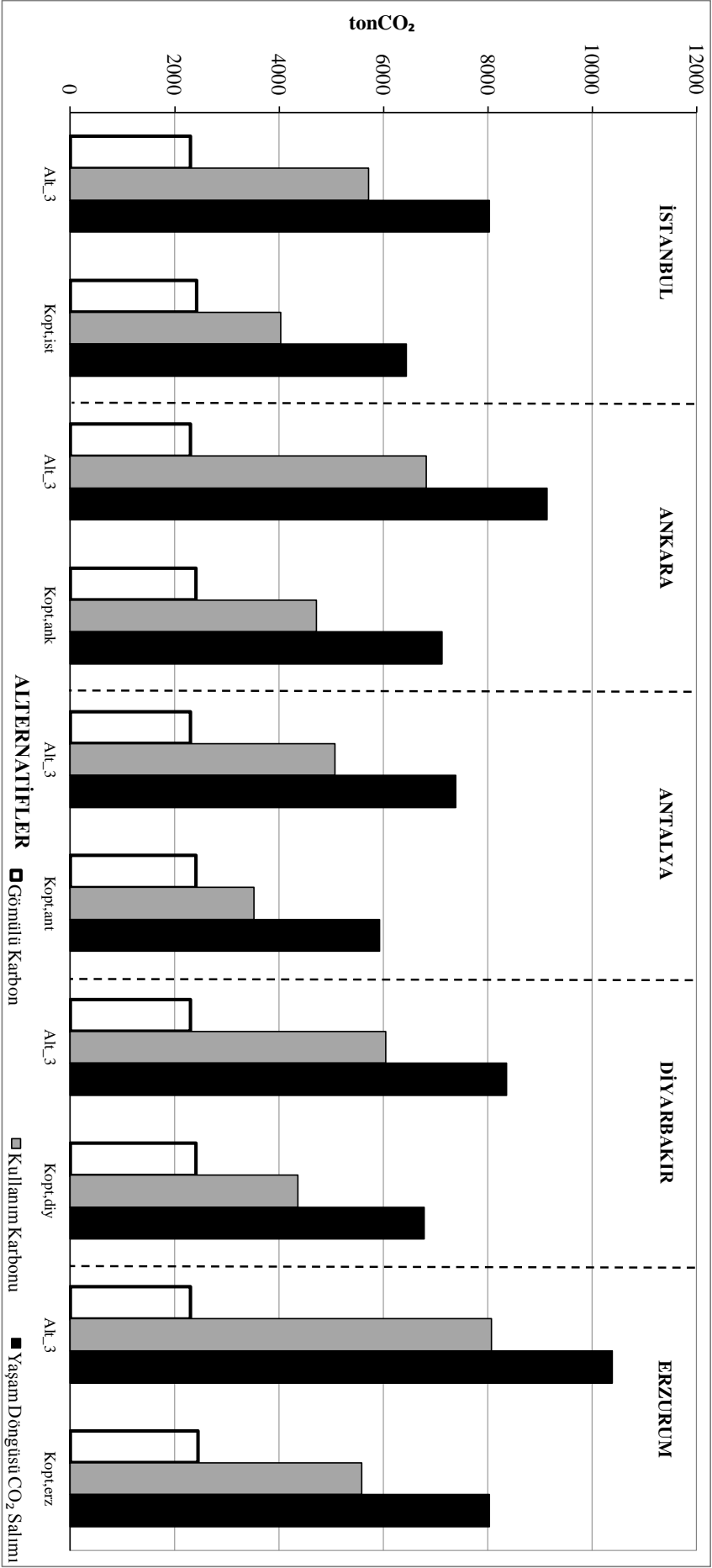
YAŞAM DÖNGÜSÜ ENERJİ ve YAŞAM DÖNGÜSÜ CO ₂ ANALİZ SONUÇLARI													
İller	Alternatifler	Gömülüş Enerji (MWh)	Gömülüş Karbon (tonCO ₂)	Nİhaî Enerji Tüketimi (MWh/y)	Kullanım Enerjisi (MWh/y)	Kullanım Karbonu (tonCO ₂ /y)	Enerji Kap. Faktörü (%)	Yaşam Döngüsü Enerji Tüketimi (MWh)	Enerji Geri Ödeme Oranı	Enerji Geri Ödeme Süresi (y)	Yaşam Döngüsü CO ₂ Salımı (tonCO ₂)	CO ₂ Salımı Geri Öd. Oranı (y)	CO ₂ Salımı Geri Öd. Süresi (y)
İSTANBUL	Alt_3	7542.01	2306.76	627.66	880.51	190.60	-	33957.24	-	-	8024.86	-	-
	Kopr,ist	8238.57	2415.84	498.81	635.50	129.73	26.27	27795.24	9.85	2.8	6442.93	15.50	1.8
ANKARA	Alt_3	7542.01	2306.76	845.15	1072.10	227.44	-	39704.92	-	-	9129.82	-	-
	Kopr,ank	8330.90	2412.98	638.05	755.46	152.49	28.97	31499.55	11.40	2.5	7126.04	19.86	1.4
ANTALYA	Alt_3	7542.01	2306.76	437.62	754.79	169.15	-	30185.63	-	-	7381.19	-	-
	Kopr,ant	8128.63	2404.26	365.91	539.74	112.20	24.12	24861.43	10.08	2.7	5918.53	16.00	1.7
DİYARBAKIR	Alt_3	7542.01	2306.76	627.79	923.46	201.65	-	35245.77	-	-	8356.23	-	-
	Kopr,diy	8194.93	2412.24	523.04	684.75	140.82	24.34	29248.16	10.19	2.7	6777.06	15.97	1.7
ERZURUM	Alt_3	7542.01	2306.76	1051.90	1280.03	269.09	-	45942.80	-	-	10379.43	-	-
	Kopr,erz	8626.60	2446.06	758.87	894.43	181.86	25.22	35913.72	10.25	2.8	8026.33	17.89	1.6



Şekil C.71 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin nihai enerji tüketim ve enerji kapsama faktörü değerleri.



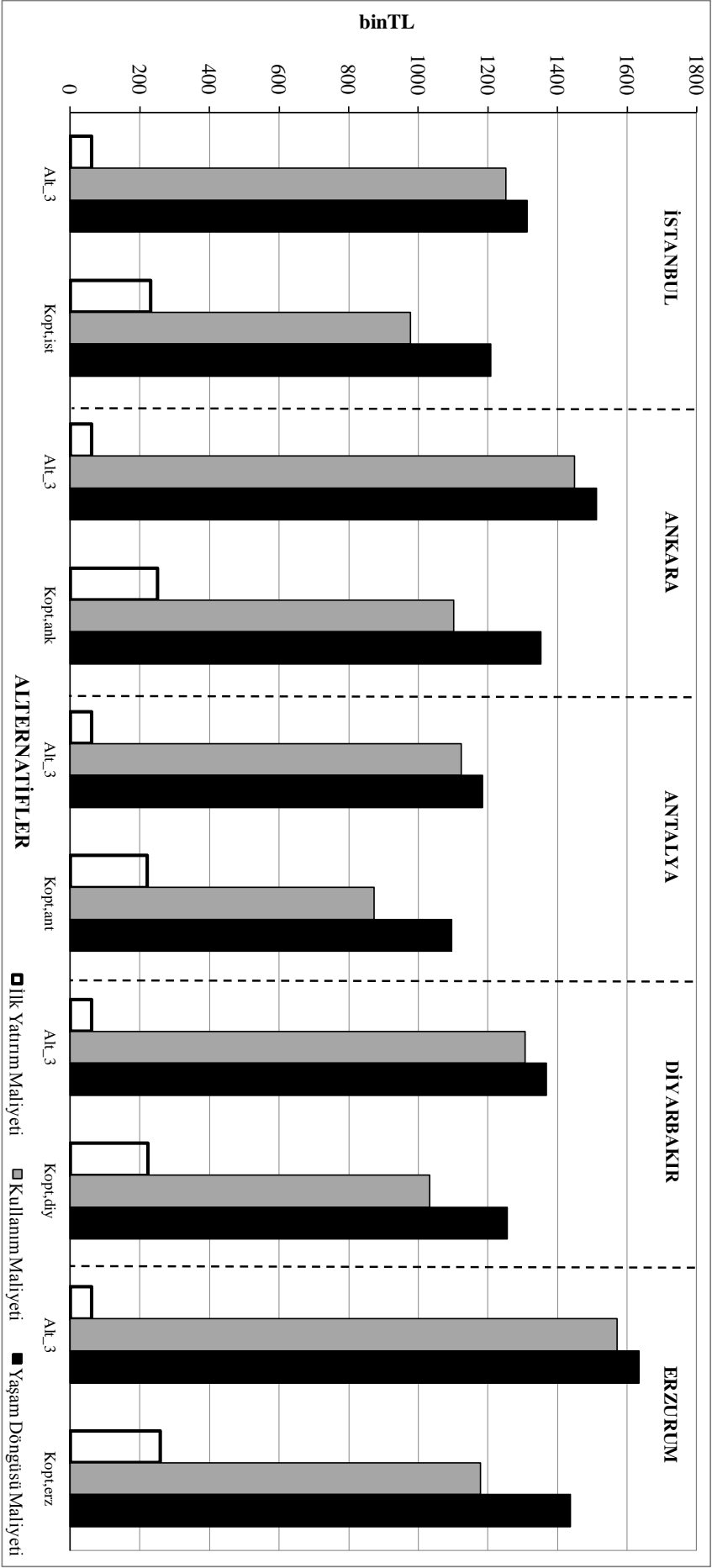
Şekil C.72 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin GE, KE ve YDET değerleri.



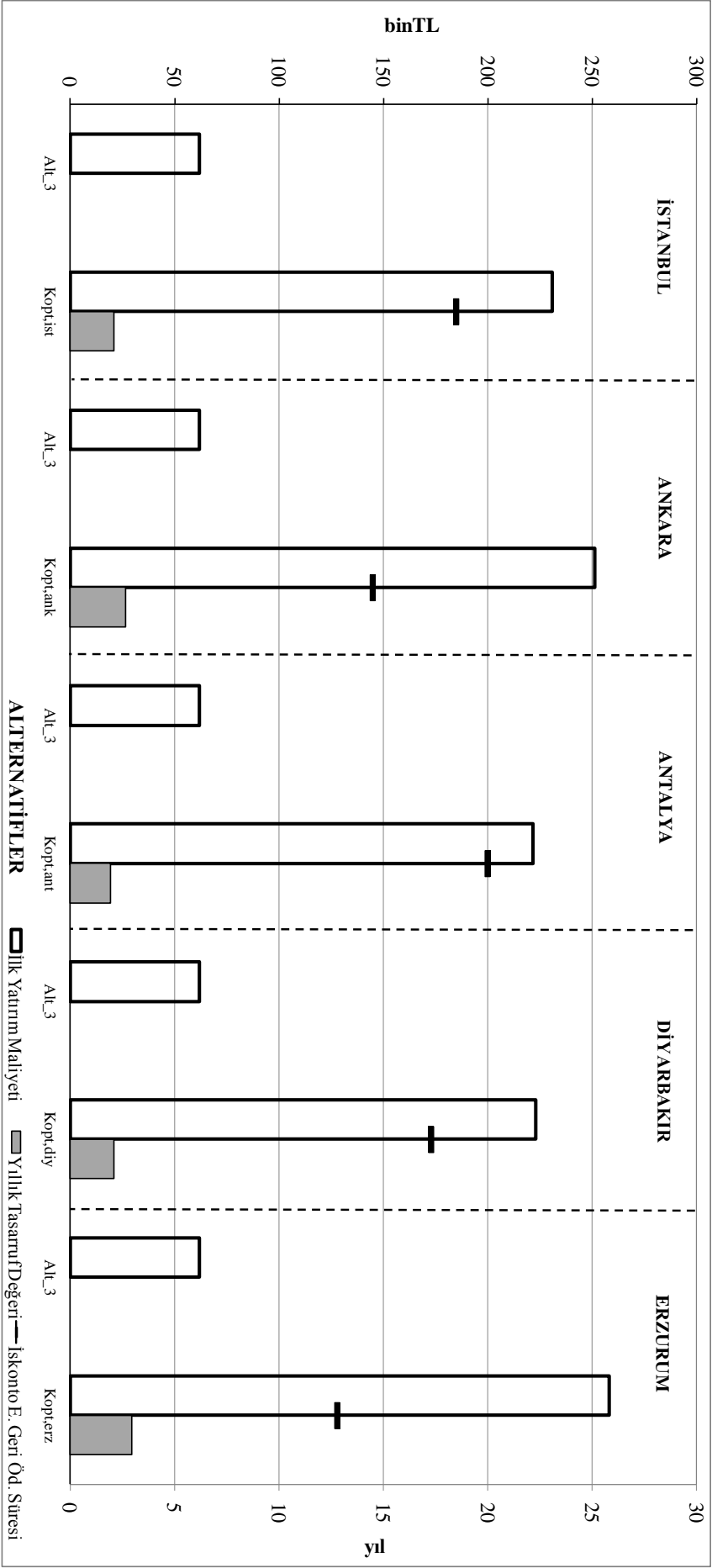
Şekil C.73 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin GK, KK ve YDCCO₂ salım değerleri.

Çizelge C.12 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin YDM analiz sonuçları.

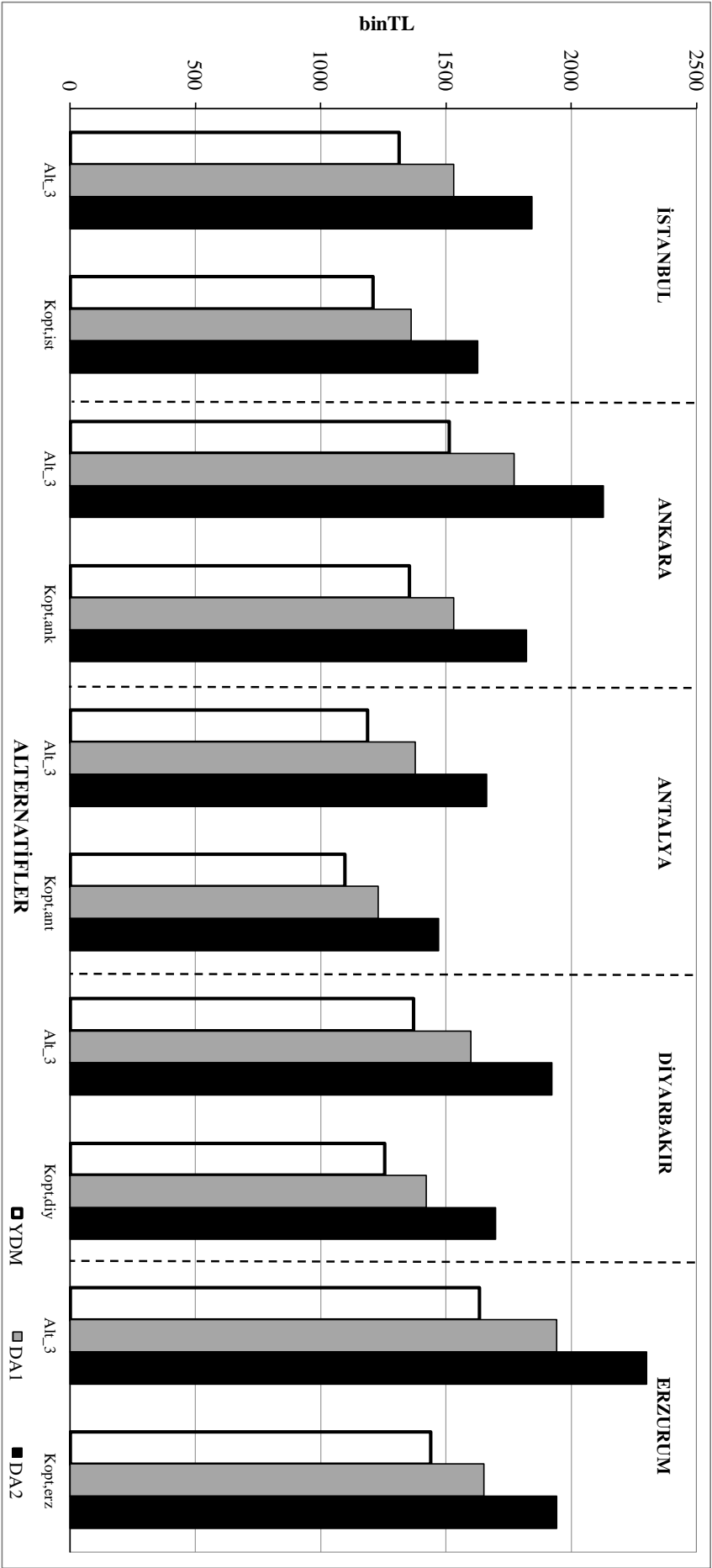
YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYET ANALİZ SONUÇLARI													
İller	Alternatifler	İlk Yatırım Maliyeti (binTL)	Kullanım Maliyeti (binTL/y)	Yaşam Döngüsü Maliyeti (binTL)	Tasarruf değeri (binTL/y)	İskonto F. Geri Öd. S. (y)	DA1 (binTL)	DA2 (binTL)	DA3 (binTL)	DA4 (bin TL)	DA5 (binTL)	DA6 (binTL)	DA7 (binTL)
İSTANBUL	Alt_3	61.92	90.90	1,313.15	-	-	1,530.55	1,843.62	12,290.49	224,177.69	22,953.92	1,313.15	1,313.15
	Kopt,1st	230.93	69.90	1,208.19	21.00	18.5	1,361.07	1,625.32	9,634.88	172,579.22	17,835.22	1,056.69	830.16
	Alt_3	61.92	105.31	1,511.54	-	-	1,770.96	2,126.11	14,229.36	259,711.86	26,583.52	1,511.54	1,511.54
ANKARA	Kopt,ank	251.30	78.85	1,352.14	26.46	14.5	1,531.11	1,821.74	10,859.10	194,662.72	20,109.20	1,196.53	963.86
	Alt_3	61.92	81.60	1,185.19	-	-	1,378.12	1,661.40	11,039.86	201,257.10	20,612.73	1,185.19	1,185.19
	Kopt,ant	221.48	62.28	1,095.23	19.33	20.0	1,228.60	1,468.77	8,599.28	153,763.32	15,904.80	928.61	679.45
ANTALYA	Alt_3	61.92	94.93	1,368.66	-	-	1,598.66	1,922.65	12,832.95	234,119.46	23,969.41	1,368.66	1,368.66
	Kopt,diy	222.90	73.90	1,255.73	21.03	17.3	1,421.44	1,696.53	10,164.34	182,421.87	18,833.37	1,098.37	863.07
	Alt_3	61.92	114.22	1,634.09	-	-	1,941.01	2,300.61	15,427.03	281,661.82	28,825.56	1,634.09	1,634.09
DİYARBAKIR	Kopt,erz	257.99	84.72	1,437.63	29.50	12.8	1,649.58	1,940.34	11,654.69	209,127.76	21,592.72	1,297.62	1,088.27
	Alt_3	61.92	114.22	1,634.09	-	-	1,941.01	2,300.61	15,427.03	281,661.82	28,825.56	1,634.09	1,634.09
ERZURUM	Kopt,erz	257.99	84.72	1,437.63	29.50	12.8	1,649.58	1,940.34	11,654.69	209,127.76	21,592.72	1,297.62	1,088.27



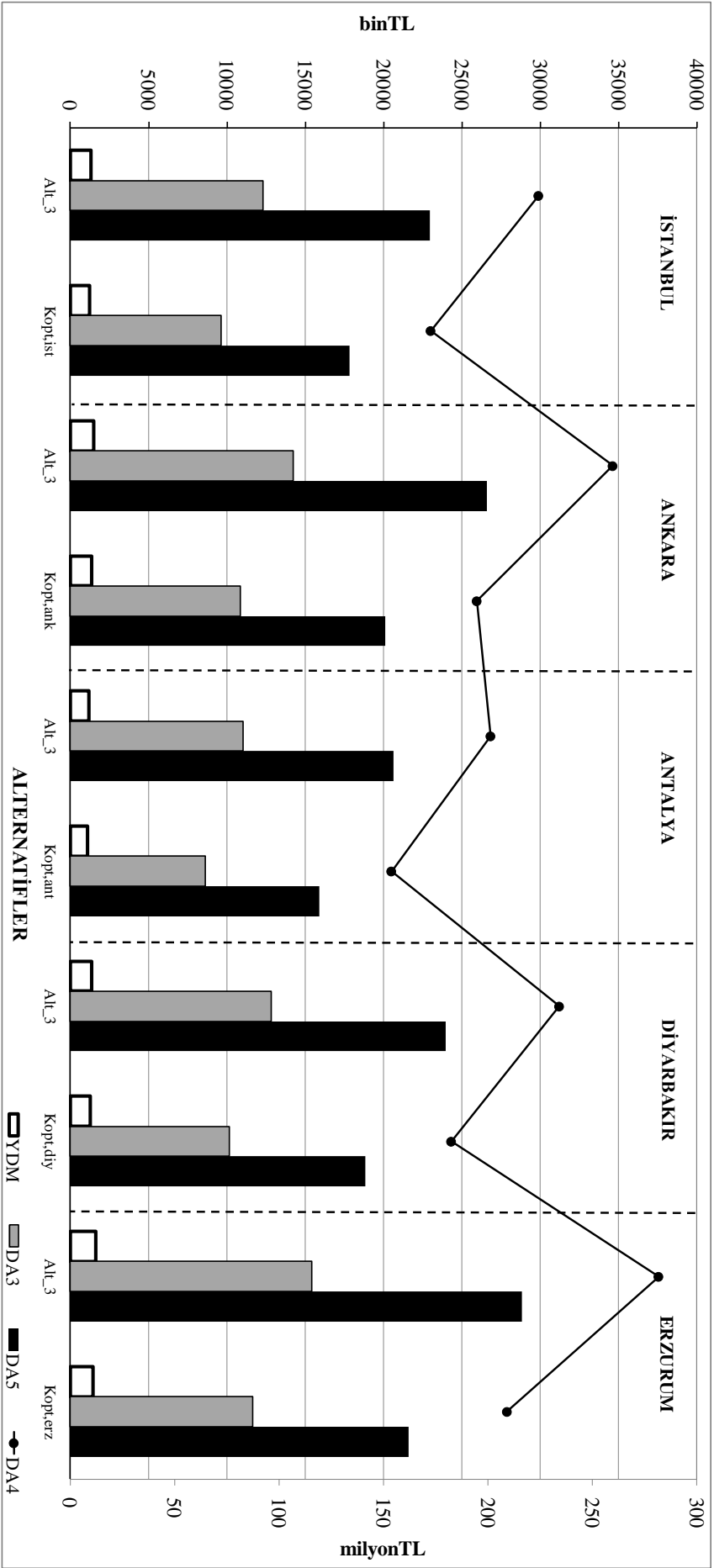
Şekil C.74 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin İM, KM ve YDM değerleri.



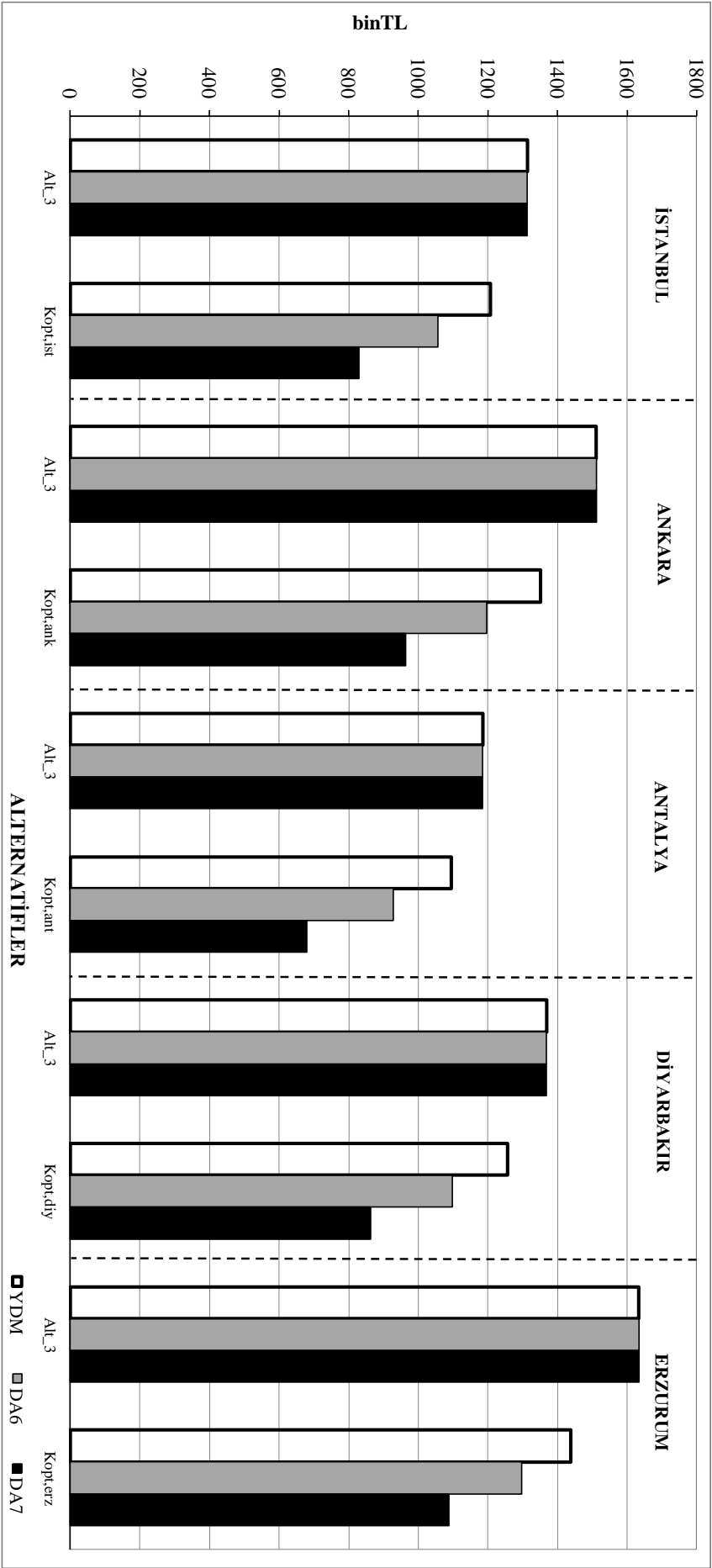
Şekil C.75 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin İM, yıllık tasarruf değerleri ve İGS değerleri.



Şekil C.76 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin DAI ve DA2 duyarlılık analiz sonuçları.



Şekil C.77: Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin DA3, DA4 ve DA5 duyarlılık analiz sonuçları.



Şekil C.78 : Optimum iyileştirme kombinasyonlarına ilişkin DA6 ve DA7 duyarlılık analiz sonuçları.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad:	Suzi Dilara MANGAN
Doğum Yeri ve Tarihi:	Bayburt, 1981
E-Posta:	dilaramangan@yahoo.com
Lisans:	Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü (Onur derecesi)
Yüksek Lisans:	İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

a. Mesleki deneyim

BREEAM Değerlendiricisi, 2010-...

SYSTEM İnşaat A.Ş., İstanbul-Türkiye, 2009-2010, Mimar.

ENKA İnşaat ve Sanayi A.Ş., İstanbul-Türkiye, 2008-2009, Mimar.

ARİMA Mimarlık, İstanbul-Türkiye, 2006-2008, Mimar.

AYDINLIOĞLU İnş., Taah. & Dış Tic. A.Ş., İstanbul-Türkiye, 2003-2006, Mimar.

b. Ödüller

İ.T.Ü Lisansüstü Tezlerini Destekleme Bursu (Doktora)

Türk Eğitim Vakfı Yüksek Lisans Başarı Ödülü ve Doktora Bursu

A.F.K Anadolu Lisesi Birincilik Ödülü

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- a. *Uluslararası hakemli dergilerde basılan makaleler*
- **Mangan, S.D.,** Oral, G.K. (2014). A Study on Determining the Optimal Energy Retrofit Strategies for an Existing Residential Building in Turkey, *A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture 11*, 307-333.
 - **Mangan, S.D.,** Oral, G.K. (2014). A Study on the Evaluation of Heating and Cooling Energy Efficiency in Residential Buildings for Climatic Zones of Turkey, *Journal of Energy and Power Engineering 8*, 2045-2052.
- b. *Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler*
- **Mangan, S.D.,** Oral, G.K. (2013). A Study on the Evaluation of Heating and Cooling Energy Efficiency in Residential Buildings for Climatic Zones of Turkey. *Proceedings of the 11th REHVA World Congress & 8th International Conference on IAQVEC, CLIMA 2013*, June 16-19, 2013 Prague, Czech Republic.
 - **Mangan, S.D.,** Oral, G.K. (2013). Evaluation of Energy Performance in Residential Buildings in the context of Sustainability. *Proceedings of the 8th International Symposium on Sinan*, April 25-26, Edirne, Türkiye.
- c. *Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler*
- **Mangan, S.D.,** Oral, G.K. (2014). Bir Konut Binası Örneğinde PV Sistemlere İlişkin Enerji Performans Göstergelerinin Hesaplanması. *1. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi Bildiriler Kitabı*, Mart 13-14, İstanbul, Türkiye.
 - **Mangan, S.D.,** Oral, G.K. (2013). Türkiye'nin Farklı İklim Bölgelerinde Bir Konut Binasının Enerji Etkin Olarak İyileştirilmesi. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, Nisan 17-20, İzmir, Türkiye.