

**PEREZ DIŞ ORTAM GÜN IŞIĞI AYDINLIK MODELİNİN ADAPTİF AĞ
TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFİS) TEMELİNDE
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Bihter DURNA

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

KASIM 2018

**PEREZ DIŞ ORTAM GÜN IŞIĞI AYDINLIK MODELİNİN ADAPTİF AĞ
TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFİS) TEMELİNDE
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Bihter DURNA
(511112001)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN

KASIM 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511112001 numaralı Doktora Öğrencisi Bihter DURNA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “PEREZ DIŞ ORTAM GÜN IŞIĞI AYDINLIK MODELİNİN ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS) TEMELİNDE GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıdaki imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sema TOPÇU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ercan İZGİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zafer ASLAN
İstanbul Aydın Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet ÖZTOPAL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **1 Ekim 2018**
Savunma Tarihi : **23 Kasım 2018**





Aileme,



ÖNSÖZ

Lisans eğitimi yıllarından bu tez çalışmasına kadar her türlü çalışmamda emeği olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet Duran ŞAHİN'e en içten dileklerimle teşekkür ederim. Bu çalışmayı yürütürken olumlu eleştiri ve önerileriyle mesleki gelişimime önemli katkılar sunan saygıdeğer hocam Prof. Dr. H. Sema TOPÇU'ya, bu vesileyle lisans, yüksek lisans ve doktora öğrenimim süresince üzerimde emeği olan bütün hocalarıma teşekkür etmek isterim. Ayrıca Matlab konusunda yardımlarını esirgemeyen Uçak Y. Müh. Yusuf YEĞİNER'e, tez yazım sürecindeki büyük emekleri için canım kardeşim Matematik öğretmeni Miray YERLİ'ye ve çalışmalarım süresince benimle beraber birçok fedakarlık yapan, desteğini her an hissettiğim değerli eşim Ahmet Selim DURNA'ya sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasına, 39331 numaralı proje kapsamında verdiği maddi destek için İstanbul Teknik Üniversitesi BAP Birimi ile sağladığı ölçüm verileri için İSKİ Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan bu çalışmanın başka akademik ve uygulamadaki çalışmalara destek olmasını temenni ederim.

Kasım 2018

Bihter DURNA
(Meteoroloji Y. Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	4
1.2 Literatür Araştırması	5
2. RADYOMETRİ VE FOTOMETRİ	17
2.1 Radyometri	17
2.1.1 Katı açısı.....	17
2.1.2 Radyan enerji (Işınım enerjisi)	18
2.1.3 Radyan akı (Işınım akısı, ışınım gücü).....	18
2.1.4 Radyan akı yoğunluğu.....	19
2.1.5 Radyans (Parlaklık)	20
2.1.6 Işınım şiddeti	21
2.2 Fotometri	21
2.2.1 Işık akısı.....	22
2.2.2 Işık şiddeti	23
2.2.3 Parlıltı	23
2.2.4 Aydınlik düzeyi.....	23
2.2.5 Aydınlik etkinliği (Işık verimi).....	24
2.2.6 Aydınlik düzeyi tahmininde kullanılan atmosferik parametreler	25
2.2.6.1 Güneş ışıınıını	25
2.2.6.2 Çiy noktası sıcaklığı	26
2.2.6.3 Bulutluluk	26
2.2.6.4 Yağışa geçebilir subuharı miktarı	27
2.2.6.5 Linke bulanıklık faktörü	27
2.3 Radyometrik ve Fotometrik Büyüklükler Arasındaki İlişki	28
3. ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS)	29
3.1 Bulanık Mantık Kavramı	29
3.2 Bulanık Çıkarım Sistemleri	30
3.3 Yapay Sinir Ağları (YSA)	31
3.4 ANFIS Mimarisi	34

4. ÇALIŞMA ALANI, KURULAN SİSTEM VE VERİ.....	37
4.1 Çalışma Alanı	37
4.2 Ölçüm Sistemi ve Özellikleri	38
4.3 Veri	41
5. YÖNTEM	45
5.1 Aydınlık Düzeyi – Güneş Işınımı İlişkisinin Kurulması	45
5.2 Haritalandırma	46
5.3 Perez Modeli.....	47
5.4 Modele Getirilen Katkılar.....	50
5.4.1 Yağışa geçebilir subuharı miktarı	50
5.4.2 Bulanıklaştırma ve sınıflandırma.....	50
5.4.3 15 sınıflı bulanık model	51
5.5 Kullanılan İstatistiksel Bilgiler.....	57
6. BULGULAR VE TARTISMA	61
6.1 Güneş Işınımı - Aydınlık Düzeyi Sonuçları.....	62
6.2 Haritalandırma Sonuçları.....	78
6.3 Yağışa Geçebilir Subuharı - İstanbul Modeli Sonuçları	82
6.4 Sınıflandırma ve Bulanık Model Sonuçları	83
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR.....	95
EKLER	105
EK A.....	107
EK B	111
EK C	121
EK D.....	139
EK E	145
ÖZGEÇMİŞ	151

KISALTMALAR

ANFIS	: Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems)
BM	: Bulanık Mantık
CIE	: Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale De L'eclairage)
DF	: Gün Işığı Faktörü (Daylight Factor)
FAR	: Yanlış uyarı oranı (False Alarm Ratio)
FIS	: Bulanık Çıkarım Sistemleri (Fuzzy Inferrence Systems)
IESNA	: Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Topluluğu (Illuminating Engineering Society of North America)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
LM	: Levenberg-Marquard
MBE	: Ortalama Sapma Hatası (Mean Bias Error)
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
POD	: Yakalama olasılığı (Probability of Detection)
RE	: Bağlı Hata (Relative Error)
REST2	: Reference Evaluation of Solar Transmittance, 2 bands
RMSE	: Karekök Ortalama Karesel Hata (Root Mean Square Error)
SI	: Uluslararası Birim Sistemi
SSU	: Sabit Saat Uygulaması
TS	: Takagi-Sugeno
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YSU	: Yaz Saati Uygulaması



SEMBOLLER

A	: Alan
CO_2	: Karbondioksit
D_h	: Yatay difüz güneş ışıınımı
d_n	: Yılın gün sayısı
E_A	: Kapalı gökten kaynaklanan aydınlık düzeyi
E_{dH}	: Direkt yatay aydınlık düzeyi
E_{DN}	: Direkt normal aydınlık düzeyi
E_{dTLT}	: Eğimli yüzeye gelen difüz ışıınım
E_{dv}	: Düşey difüz aydınlık düzeyi
E_{DV}	: Düşey direkt aydınlık düzeyi
E_e	: Dış aydınlık değeri
E_H	: Açık gökten kaynaklanan aydınlık düzeyi
E_i	: İç aydınlık değeri
E_{j1}	: Band 1 etkinlik faktörü (ışık verimi)
E_S	: Güneşten kaynaklanan aydınlık düzeyi
E_{XT}	: Atmosfer dışı aydınlık düzeyi
F	: Enerji akısı
F_1	: Güneşe yakın difüz bileşen katsayısı
F_2	: Ufuk parlaklığı katsayısı
G_{dv}	: Düşey difüz güneş ışıınımı
G_{SC}	: Güneş sabiti
G	: Global yatay ışıınım
g	: Global yatay aydınlık düzeyi
h	: Saat açısı
H	: Radyan akı yoğunluğu
H_λ	: Spektral radyan akı yoğunluğu
I	: Işık şiddeti
I_n	: Direkt ışıınımın normal bileşeni
I_0	: Atmosfer dışına gelen güneş ışıınımı
K_d	: Düşey difüz aydınlık etkinliği
K_{dh}	: Yatay difüz aydınlık etkinliği
K_i	: Band 1 yatay yüzeye gelen spektral irradyans
K_0	: Enerji akısının fotometrik eşdeğeri
L	: Bağlı gökyüzü parlaklığı
L_{dh}	: Yatay difüz aydınlık düzeyi
L_j	: Aydınlık düzeyi
L_z	: Zenit parlaklığı
L_γ	: Gök elemanın parlaklığı
m	: Bağlı optik hava kütlesi

NO_2	: Azotdioksit
r	: Yarıçap
R_s	: Güneş düzeltme faktörü
R_{SK}	: Gök düzeltme faktörü
SO_2	: Kükürtdioksit
T_d	: Çiy noktası sıcaklığı
T_L	: Linke bulanıklık faktörü
t	: Zaman
t_s	: Güneş zamanı
V	: Gözün spektral duyarlılık derecesi
W	: Yağışa geçebilir subuharı miktarı
Z	: Güneşin zenit açısı
α	: Güneşin yükseklik açısı
δ	: Deklinasyon açısı
ε	: Gökyüzü açıklığı
θ	: Gelen ışının yüzeyin normaliyle yaptığı açı
λ	: Dalga boyu
σ	: Bağlı güneşlenme süresi
τ	: Işınım şiddeti
τ_λ	: Spektral ışınım şiddeti
ϕ	: Işık akısı
Φ	: Spektral radyan akı
Φ_λ	: Spektral radyan akı
φ	: Enlem
Ψ	: Radyans
Ψ_λ	: Spektral radyans
ω	: Katı açı
Δ	: Gökyüzü parlaklığı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Farklı yüzeyler için aydınlık düzeyi değerleri.....	24
Çizelge 2.2: Radyometrik ve fotometrik büyüklükler.	28
Çizelge 4.1: İstasyonların koordinatları.....	38
Çizelge 4.2: LP PHOT 02 -Teknik özellikler	40
Çizelge 5.1: Perez modelinde kullanılan ayrık gökyüzü açıklığı sınıfları.	49
Çizelge 5.2: Perez modelinde kullanılan sabit katsayılar.	49
Çizelge 5.3: 15 sınıflı bulanık modelde kullanılan sınıf aralıkları.	56
Çizelge 5.4: 15 sınıflı bulanık model katsayıları.	57
Çizelge 6.1: İTÜ’de ölçülen ve diğer 7 istasyon için hesaplanan aydınlık düzeyi determinasyon katsayıları ve oluşturulan denklemler.....	77
Çizelge 6.2: Hata karşılaştırmaları (Ocak 2017).	84
Çizelge 6.3: Hata karşılaştırmaları (Şubat 2017).....	84
Çizelge 6.4: Hata karşılaştırmaları (Mart 2017).....	85
Çizelge 6.5: Hata karşılaştırmaları (Nisan 2017).	85
Çizelge 6.6: Hata karşılaştırmaları (Mayıs 2016).....	86
Çizelge 6.7: Hata karşılaştırmaları (Haziran 2016).	86
Çizelge 6.8: Hata karşılaştırmaları (Temmuz 2016).....	87
Çizelge 6.9: Hata karşılaştırmaları (Ağustos 2016).....	87
Çizelge 6.10: Hata karşılaştırmaları (Eylül 2016).	87
Çizelge 6.11: Hata karşılaştırmaları (Ekim 2016).	88
Çizelge 6.12: Hata karşılaştırmaları (Aralık 2016).	88
Çizelge 6.13: Tüm modeller için POD ve FAR yaklaşımları.	89
Çizelge A.1 İTÜ istasyonunda her ay için ölçülen saatlik global güneş ışıınımı veri sayıları.....	107
Çizelge A.2 Referans istasyonda (İTÜ) her ay için ölçülen dakikalık aydınlık düzeyi ve İkitelli istasyonunda ölçülen 10 dakikalık global güneş ışıınımı veri sayıları.	108
Çizelge A.3 Diğer istasyonlarda her ay için ölçülen 10 dakikalık global güneş ışıınımı veri sayıları.	109



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: İzmir için (a) Aydınli modeli (b) Perez modeli (c) IESNA modeline göre hesaplanmış yataı düzlemdeki aylık ortalama saatlik dış ortam gün ışığı aydınlık (klux) değerleri.	15
Şekil 2.1	: Katı açısı.....	17
Şekil 2.2	: Radyan akı yoğunluğu.....	19
Şekil 2.3	: Radyans	20
Şekil 2.4	: İnsan gözünün standart duyarlılık eğrisi.....	22
Şekil 2.5	: İnsan gözü için aydınlık etkinliği eğrisi.	24
Şekil 3.1	: �rnek bulanık üyelik fonksiyonu	29
Şekil 3.2	: Bulanık �ıkarım sistemi	30
Şekil 3.3	: Biyolojik sinir h�creti	33
Şekil 3.4	: Biyolojik ve yapay sinir hücrelerinin karşılaştırılması.....	33
Şekil 3.5	: Tipik anfis mimarisi.....	35
Şekil 4.1	: İstanbul ve çevresi çalışma alanı (Kaynak: Google Earth).....	38
Şekil 4.2	: Aydınlik düzeyi ölçüm sensörü	39
Şekil 4.3	: Standart fotopik ve aydınlık düzeyi ölçüm sensörüne ait tipik spektral tepki eğrileri	39
Şekil 4.4	: İTÜ meteoroloji gözlem parkına kurulan ölçüm sistemi.....	41
Şekil 4.5	: Ocak ayı global güneş ışınımı ve aydınlık düzeyi değişimi.	42
Şekil 4.6	: Ağustos ayı global güneş ışınımı ve aydınlık düzeyi değişimi.....	43
Şekil 4.7	: Oluşturulan grafik kullanıcı arayüzü.	44
Şekil 5.1	: 15 sınıflı anfis modeli yapısı.....	52
Şekil 5.2	: 15 sınıflı bulanık model için oluşturulan üyelik fonksiyonları.....	52
Şekil 5.3	: 15 sınıflı bulanık model kuralları - ϵ değerleri.	53
Şekil 5.4	: 15 sınıflı bulanık model kuralları - a_i değerleri.	54
Şekil 5.5	: 15 sınıflı bulanık model a_i katsayısı değerleri.....	55
Şekil 5.6	: 15 sınıflı bulanık model b_i katsayısı değerleri.....	55
Şekil 5.7	: 15 sınıflı bulanık model c_i katsayısı değerleri.....	55
Şekil 5.8	: 15 sınıflı bulanık model d_i katsayısı değerleri.....	56
Şekil 5.9	: �l��m - model aydınlık olasılıkları.....	58
Şekil 6.1	: İTÜ için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	63
Şekil 6.2	: İTÜ’de ölçülen (a) global güneş ışınımı (b) gün ışığı aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (Ocak-2017).	64
Şekil 6.3	: İTÜ’de ölçülen (a) global güneş ışınımı (b) gün ışığı aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (Mart-2017).....	65

Şekil 6.4	: İTÜ’de ölçülen (a) global güneş ışıınımı (b) gün ışığı aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (Ağustos-2016).	66
Şekil 6.5	: İTÜ’de ölçülen (a) global güneş ışıınımı (b) gün ışığı aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (Ekim-2016).	67
Şekil 6.6	: İkitelli için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışıınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	69
Şekil 6.7	: Ormanlı için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışıınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	70
Şekil 6.8	: Ömerli için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışıınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	71
Şekil 6.9	: Şuayipli için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışıınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	72
Şekil 6.10	: Bağıranlı için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışıınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	73
Şekil 6.11	: Melen Yolu için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışıınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	74
Şekil 6.12	: Melen için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışıınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	75
Şekil 6.13	: 2017 Ocak ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	79
Şekil 6.14	: 2017 Mart ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	80
Şekil 6.15	: 2016 Ağustos ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	81
Şekil 6.16	: 2016 Ekim ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	82
Şekil B.1	: İTÜ 2015 yılı her ay için global güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	111
Şekil B.2	: İTÜ 2016 yılı her ay için global güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	111
Şekil B.3	: İTÜ 2017 yılı her ay için global güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.	112
Şekil B.4	: İkitelli global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2015 yılı her ay için saçılma diyagramları.	112
Şekil B.5	: İkitelli global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.	113
Şekil B.6	: İkitelli global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.	113

Şekil B.7	: Bağıranlı global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	114
Şekil B.8	: Bağıranlı global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	114
Şekil B.9	: Melen global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	115
Şekil B.10	: Melen global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	115
Şekil B.11	: Melen Yolu global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	116
Şekil B.12	: Melen Yolu global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	116
Şekil B.13	: Ormanlı global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	117
Şekil B.14	: Ormanlı global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	117
Şekil B.15	: Ömerli global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	118
Şekil B.16	: Ömerli global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	118
Şekil B.17	: Şuayipli global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	119
Şekil B.18	: Şuayipli global güneş ışıınımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.....	119
Şekil C.1	: İTÜ’de ölçülen global ışıınım değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	122
Şekil C.2	: İTÜ’de ölçülen günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	123
Şekil C.3	: İkitelli’de ölçülen global ışıınım değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	124
Şekil C.4	: İkitelli için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	125
Şekil C.5	: Bağıranlı’da ölçülen global ışıınım değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	126
Şekil C.6	: Bağıranlı için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	127
Şekil C.7	: Melen’de ölçülen global ışıınım değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	128
Şekil C.8	: Melen için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	129
Şekil C.9	: Melen Yolu’nda ölçülen global ışıınım değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	130
Şekil C.10	: Melen Yolu için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	131
Şekil C.11	: Ormanlı’da ölçülen global ışıınım değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	132

Şekil C.12	: Ormanlı için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	133
Şekil C.13	: Ömerli’de ölçülen global ışıınım değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	134
Şekil C.14	: Ömerli için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	135
Şekil C.15	: Şuayipli’de ölçülen global ışıınım değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	136
Şekil C.16	: Şuayipli için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).....	137
Şekil D.1	: 2017 Ocak ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	139
Şekil D.2	: 2017 Şubat ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	140
Şekil D.3	: 2017 Mart ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	140
Şekil D.4	: 2017 Nisan ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	141
Şekil D.5	: 2017 Mayıs ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	141
Şekil D.6	: 2016 Ağustos ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	142
Şekil D.7	: 2016 Eylül ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	142
Şekil D.8	: 2016 Ekim ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	143
Şekil D.9	: 2016 Kasım ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	143
Şekil D.10	: 2016 Aralık ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.	144
Şekil E.1	: 7 sınıflı anfis modeli yapısı.....	145
Şekil E.2	: 7 sınıflı bulanık model için oluşturulan üyelik fonksiyonları.....	145
Şekil E.3	: 7 sınıflı bulanık model kuralları - ε ve b_i değerleri.	146
Şekil E.4	: 7 sınıflı bulanık model (a) a_i (b) b_i (c) c_i (d) d_i katsayıları.	146
Şekil E.5	: 3 sınıflı anfis modeli yapısı.....	147
Şekil E.6	: 3 sınıflı bulanık model için oluşturulan üyelik fonksiyonları.....	147
Şekil E.7	: 3 sınıflı bulanık model kuralları - ε ve c_i değerleri.	148
Şekil E.8	: 3 sınıflı bulanık model (a) a_i (b) b_i (c) c_i (d) d_i katsayıları.	148

PEREZ DIŞ ORTAM GÜN IŐIŐI AYDINLIK MODELİNİN ADAPTİF AŐ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFİS) TEMELİNDE GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzde, aydınlatmadan havalandırmaya, cep telefonlarından bilgisayarlara ve evlerden fabrikalara kadar kullandığımız cihazlar için elektrik enerjisi gerekmektedir. Başka bir ifadeyle, hayatımızda elektrik enerjisi vazgeçilmezdir. Enerji üretimi çoğunlukla fosil yakıt yanması ile elde edilmektedir. Bununla birlikte, fosil yakıtların yakılması, küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olan CO₂, SO₂ ve NO₂ emisyonlarını arttırmaktadır. Fosil yakıtların olumsuz etkilerinden dolayı, enerji tüketiminde tasarruf sağlamak ve üretim için doğal enerji kaynaklarını kullanmak daha büyük önem kazanmıştır. Güneş tüm canlılar için temel, sınırsız ve en önemlisi en doğal kaynaktır. Gün ışığı ile aydınlatma, konforlu ve yüksek yaşam standartlarının sağlanması için en önemli parametrelerden biridir. Özellikle aydınlatma mühendisleri şehirlerdeki dış ortam koşullarını iyi bilmelidir. Bunun yanında binalardaki elektrik tüketimleri de önemli bir oranı oluşturmaktadır. Yapılarda doğal aydınlatma yerine, genellikle yapay aydınlatma araçları kullanılmakta ve bu durum çok daha fazla elektrik tüketimine neden olmaktadır. Doğal aydınlatma teknolojilerinin geliştirilmesi enerji tasarrufu sağlayacak ve ek katkı olarak insan yaşamına uygun olan sağlıklı koşulların oluşmasını sağlayacaktır. Son zamanlarda doğal gün ışığı birçok bina ve ilgili yapılara uygulanmaktadır.

Gün ışığı aydınlık düzeyleri sadece bina tasarımcıları için değil aynı zamanda enerji analizi ile ilgili çalışan herkes için önemlidir. Genellikle meteoroloji birimleri tarafından global güneş radyasyonu ölçümleri rutin olarak yapılmaktadır. Global güneş radyasyonunun bilinmesinin gerekli olduğu kadar aydınlık düzeylerine de ihtiyaç bulunmaktadır. Dünyada ve özellikle ülkemizde malesef yeteri kadar aydınlık düzeyi ölçümü bulunmamaktadır. Dolayısıyla uygulamada bu eksiklik yeterince giderilememektedir. Bu çalışmada, bahsedilen açığın giderilmesi amaçlanarak İstanbul geneli için aydınlık düzeyi kestirimi yapılmıştır. Çalışma 2015-2017 yılları arasında İstanbul'da ölçülen yatay global gün ışığı aydınlık düzeyi verilerini ve İstanbul ve çevresinde ölçülen yatay global güneş ışıınımı verilerini incelemektedir. Bu kapsamda ilk aşama olarak İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) meteoroloji gözlem parkına aydınlık düzeyi ölçüm sensörü kurulmuştur. Kurulan aydınlık düzeyi ölçüm sensörü ile birlikte aynı istasyonda daha önceden kurulmuş olan piranometreden eş zamanlı alınan güneş ışıınımı ölçümleri değerlendirilmiştir. Sonraki aşamada, İTÜ istasyonu referans alınarak, İstanbul ve çevresinde yer alan 7 istasyonda daha güneş ışıınımı ölçümleri yapılmış ve belirlilik katsayısına bağlı olarak aralarındaki bağlantılar ilişkilendirilmiştir. Tüm istasyonlarda ölçülen global güneş ışıınımı ve İTÜ istasyonunda ölçülen aydınlık düzeyleri arasında, R² değerinin zaman zaman 1.0 a yaklaştığı bir ilişki bulunmaktadır. Sonuçlardan yansıyan bu güçlü korelasyon, diğer istasyonlarda ölçülen güneş ışıınımı değerlerinin İTÜ'de yapılan aydınlık düzeyi ölçümleriyle karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bir sonraki adımda,

bulunan ilişkiler esas alınmak suretiyle, İTÜ istasyonunda ölçülen aydınlık düzeyleri kullanılarak diğer istasyonlar için aydınlık düzeyi değeri hesaplanmaya çalışılmıştır. Ölçüm alınan bölgede veya bölgeden uzak olan alanlar için güneş radyasyonu değerleri Kriging ile interpolasyona tabi tutulmuştur. Bulunan sonuçlar itibari ile İstanbul geneli ve çevresi için aydınlık haritaları oluşturulmuştur. Özellikle İstanbul'un güney kısımlarında gün ışığının makul seviyelerde olduğu değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, güneş ışıınımı ile dış aydınlık düzeyleri arasında oldukça yüksek bir ilişki vardır. Dolayısıyla güneş ışıınımına bağlı olarak aydınlık düzeyi hesabı yapılabilecektir.

Günümüzde dış ortam gün ışığı aydınlık düzeyi bilgisi dünyada birçok ülke tarafından araştırılmaktadır. Bunun için uluslararası gün ışığı ölçüm programı çalışmaları yapılmış ve birçok araştırmacı tarafından gün ışığı aydınlık düzeyi modelleri geliştirilmiştir. Bugüne kadar birçok aydınlık düzeyi modeli geliştirilmesine karşın günümüzde en çok bilinen ve sıklıkla referans alınan modellerden biri olan Perez ve ark. tarafından geliştirilmiş aydınlık düzeyi modeli oldukça başarılı bulunmaktadır. Çalışmanın diğer bir adımında, ölçümü yapılan aydınlık düzeyi verileri ile Perez model sonuçları karşılaştırılmış ve ilk bakışta uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Hesaplanan istatistiksel hata sonuçlarında ise başarılı bir modelden beklenenden daha yüksek hata değerleri elde edilmiştir. Bunun için ölçüm değerleriyle gayet uyumlu olan bu model, birtakım iyileştirmeler vasıtasıyla geliştirilmiştir.

Meteorolojik değişkenlerden biri olan yağışa geçebilir subuharı miktarının bilinmesi, dış ortam gün ışığı aydınlık düzeyi hesaplamaları için önemli bir adımı oluşturmaktadır. Yukarıda bahsedildiği üzere literatürde en çok kullanılan modellerden biri olan Perez gün ışığı aydınlık düzeyi hesaplama modelinde temel olarak dört atmosferik değişkenden biri olarak yağışa geçebilir subuharı miktarı kullanılmaktadır. Modelde kullanılan yağışa geçebilir subuharı ifadesi yerine daha önce yapılan bir çalışmada İstanbul için özel olarak türetilmiş olan denklem kullanılmıştır. Bu sayede model bölgeye özgü hale getirilebilmiş ve ölçümlere daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bunun yanında Perez aydınlık modelinde hesaplanan gökyüzü açıklığı (ϵ) ifadesinin aldığı değerlere göre gökyüzü kapalılık oranı sekiz kategoride incelenmiştir. Bu ayrık sınıflandırma sonucunda belirlenen modelde kullanılan katsayıların da yine bir sınıftan diğerine atlarken önceki ve sonraki aldığı değer arasında herhangi bir geçiş söz konusu olmamaktadır. Tez çalışmasında aradaki keskin sınıf geçişlerini yumuşatmak için bulanık mantık temelli bir yapay zeka yöntemi olan Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems- ANFIS) yaklaşımı benimsenmiştir. Sonuçta Perez modelinde kullanılan sabit katsayılar yerine, her sınıfta komşuluk ağırlığına göre değişen katsayılar hesaplanmış ve süreklilik konseptini içeren bir bulanık model oluşturulmuştur.

Son olarak Perez modelinde kullanılan sekiz ayrık sınıfa alternatif 15, 7 ve 3 sınıflı bulanık modeller ve yine 4 ve 2 ayrık sınıflı bulanık olmayan (klasik) modeller oluşturulmuştur. Bununla birlikte sabit katsayılı ve sabit sınıflı olarak oluşturulan klasik Perez modeli yerine alternatif modellerden istenilenin kullanılması seçeneği öne çıkmıştır.

Tüm modellerden elde edilen sonuçlar, ölçüm değerleri ve klasik Perez ile karşılaştırılmış ve model hatalarına göre değerlendirmeler yapılmıştır. Hata karşılaştırmasında istatistikte en çok kullanılan Yüzde Bağlı Hata (Percentage Relative Error, RE), Yüzde Karesel Ortalama Hatanın Karekökü (Percentage Root Mean Square

Error, RMSE) ve Yüzde Ortalama Sapma Hatası (Percentage Mean Bias Error, MBE) değerleri karşılaştırılmıştır. Bunlara ek olarak, hesaplanan sonuçları değerlendirmede "yakalama olasılığı" (probability of detection, POD) ve "yanlış uyarı oranı" (false alarm ratio, FAR) istatistiksel yaklaşımları da kullanılmıştır. Modele yapılan katkılar, olumlu sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Günümüzde enerji verimliliği konusu oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmanın özellikle enerji verimliliği ve gün ışığı tasarımı konularıyla ilgilenen araştırmacılar için faydalı olacağı düşünülmektedir. Tezde önerilen metot ile ülkemiz menfaatine olarak günümüzde yapılmak istenen enerji tasarrufuna katkı sağlanacaktır.





IMPROVEMENT OF PEREZ DAYLIGHT MODEL ON THE BASE OF ADAPTIVE NETWORK BASED FUZZY INFERENCE SYSTEMS (ANFIS)

SUMMARY

Nowadays, electrical energy is required for devices that we use from lighting to air-conditioning, from mobile phones to computers and from houses to factories. In other words, electrical energy is indispensable in our lives. Energy is also one of the most important factors in understanding the level of development and levels of welfare of countries. Moreover, as in other countries, it is an important factor in enhancing economic and social development as well as the life standards in Turkey. Energy production is mostly achieved by fossil fuel combustion. However, the burning of fossil fuels increases CO₂, SO₂ and NO₂ emissions which cause global warming and climate change. Due to the unfavourable effects of fossil fuels, savings in energy consumption and use of natural resources for energy generation has gained greater importance.

Sunlight is the best source for all living creatures. Daylight illumination is one of the most important parameters for comfort life and high level standards because comfort conditions mostly depend on the natural daylighting. Daylight optimization with the use of renewable energy sources contributes to the increase of the potential of economically active population due to technology transfer and the mobilization of internal resources of countries. Daylight thus plays an important role in preventing energy dependence on other countries. For these reasons, energy management has become a necessity. The day-to-day technology has revealed the necessity of minimum electricity consumption by taking advantage of daylight for the sustainability of energy. Unfortunately, in Turkey and especially in Istanbul this limitless source is not used efficiently for illumination in the buildings. Especially artificial illumination engineers should know outdoor properties of cities. Besides, electricity consumption in the buildings has a significant percentage. Instead of natural illumination, typically artificial illumination tools are used and this case causes far more electricity generation and consumption. Developing natural illumination technologies would provide saving energy and conjointly healthy conditions for the human. Moreover, recently natural daylighting has been applied to many buildings and related structures.

Daylight illumination is not only important for building designers but also energy analyzers. Generally, global solar radiation measurements are performed habitually by meteorological units. It is necessary to know levels of illumination as well as global solar radiation. Unfortunately, illuminance measurements in outdoor are not as common as solar radiation measurements under realistic sky conditions. One of the important gaps for illuminance research is the lack of measured illumination data in other words especially in Turkey it is not easy to reach measured daylight illumination data not only for time scale but also for regional dependence. Besides, there is no daylighting measurements and modelling around Istanbul which is one of the biggest megacities in the World. The aim of this thesis was to fill this gap of no daylight database exists. Thus, a new research has been started related with

daylight illumination. The study examines the data of global horizontal daylight illumination measured in Istanbul between the years 2015-2017 and the global horizontal solar radiation data measured in and around Istanbul. In this context, as a first step, an illumination level measurement sensor (luxmeter) has been installed at the meteorological observation park of Istanbul Technical University (ITU). One-minute time interval measured daylight illumination data are analyzed in detail and compared with the measured solar radiation values between 2015-2017. Along with the installed luxmeter, solar radiation measurements from the previously installed pyranometer at the same station were evaluated simultaneously. In the next stage, measurements are taken one the central meteorological station near Bosphorus as a reference station (ITU) and after that around this station, additional solar radiation data of 7 stations are considered and correlated. If there is a relationship between daylight illuminations and any other parameter, lacking daylight illumination data can be perfectible.

There is an excellent relationship between the global solar radiation measured at all stations and the illumination levels measured at the ITU station, where R^2 is seen very close to 1.0 from time to time. Cloudiness and air pollution are main components to reduce daylight illumination. The mentioned components take important roles modulating the level of illumination especially in winter, spring and autumn months. This strong correlation reflected from the results allows the comparison of the solar radiation values measured at other stations with the illumination levels at ITU. Then, by using the levels of illumination measured at ITU station, it was tried to calculate the illumination levels for other stations based on the relationships evaluated. The solar radiation values were interpolated by means of simple geostatistical algorithms such as semivariograms and Kriging for the measured area or distant areas. Semivariogram is a spatial model that is used to indicate the relationship between semivariance and the distance. As a result of these findings, daylight illumination maps were prepared for and around Istanbul. It is evaluated that especially at southern parts of Istanbul daylight illumination is moderate. As a result, daylight illumination is highly proportional to the solar radiation. Therefore, the levels of outdoor illumination can be calculated depending on the solar radiation values.

Nowadays, the knowledge of daylight illumination is investigated by many countries around the world. Illumination is a basic term used in photometry. Therefore, some information about photometry is required. Some basic terms about photometry and atmospheric parameters which are used to calculate the daylight illumination are explained in the second chapter. International daylight measurement program studies have been carried out in many countries and daylight models have been developed by many researchers. Although many illumination models have been developed so far, one of the most widely known and frequently referenced models, Perez et al. daylight illumination model, is quite successful. In the next part of this study, Perez model results were compared with the illumination data which were measured and at first glance, consistent results were obtained. However, when the statistical errors were calculated, results were higher than expected from a successful model. Hence, this model which is compatible with the measurement values has been developed by some improvements.

Knowing the amount of precipitable water vapor, which is one of the meteorological variables, is an important step for the calculation of the daylight illumination level. As mentioned above, one of the most widely used models in the literature, the

Perez daylight model uses the amount of precipitable water vapor as one of the four atmospheric variables. Instead of the precipitable water vapor expression used in the model, the equation derived specifically for Istanbul in a previous study were used. In this way, the model could reflect the characteristics of the region and the results were closer to the measurements.

Besides, the cloudiness factor was examined in eight categories according to the values of sky clearness (ϵ) calculated in Perez model. When the coefficients used in the model determined as a result of this discrete classification are jumped from one class to another, there is no transition between the previous and the next value. In the thesis study, Adaptive Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) approach, which is a fuzzy logic based artificial intelligence method, has been adopted to soften the sharp class transitions. As a result, instead of the constant coefficients used in the Perez model, coefficients varying according to the weight of neighborhood in each class were calculated and a fuzzy model containing the concept of continuity was formed.

In addition to the eight discrete classes used in the Perez model, 15, 7 and 3 classed fuzzy models and 4 and 2 discrete classed non-fuzzy (classic) models were created. In this way, instead of the classic Perez model with fixed coefficients and fixed classes, the option of using the desired model is highlighted.

Finally, the results obtained from all the models were compared with the measurement values and the classic Perez model and evaluations were made according to the model errors. In the comparison of errors, the most commonly used Percentage Relative Error (RE), Percentage Root Mean Square Error (RMSE) and Percentage Mean Bias Error (MBE) values were compared. Additionally, probability of detection (POD) and false alarm ratio (FAR) are evaluated as statistical approach. Along with the improvements to the model, successful results were achieved.

It is advised that daylight illumination tools immediately should be applied for outdoor and indoor illuminance applications in Istanbul to improve the level of development. This study is aimed especially at researchers interested in energy efficiency, lighting engineers and building design practitioners allowing designers to consider daylight illumination in their projects. Knowing the values of daylight illumination levels is crucial for the use of advanced natural illumination techniques in building designs, improving people's daily life comfort, energy efficiency, global climate change and energy management strategies of countries. In order to develop these strategies, it is necessary to have a database that will allow to make any evaluation about the area of interest. With the method proposed in the thesis, it will contribute to the energy saving that is desired to be made today in the interest of our country.



1. GİRİŞ

Enerji, ülkelerin kalkınma ve refah düzeyini anlamada en önemli etkenlerden biridir. Ayrıca, diğer ülkelerde olduğu gibi, Türkiye’de de ekonomik ve sosyal kalkınmanın yanı sıra yaşam standartlarını arttıran önemli bir faktördür. Enerji tüketimindeki artış arz ve talep dengesini etkilemekte ve ülkeler enerji taleplerini karşılamak için alternatif yollar aramaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla birlikte gün ışığının optimizasyonu, teknoloji transferi nedeniyle işgücü potansiyelinin artmasına ve ülkelerin iç kaynaklarının harekete geçirilmesine katkıda bulunmaktadır. Gün ışığı bu sayede enerji kaynakları için diğer ülkelere bağımlılığın önlenmesinde önemli bir rol oynar. Bu nedenlerden dolayı enerji yönetimi farklı bir bakış açısı kazanmıştır. Günden güne gelişen teknoloji, enerjinin sürdürülebilirliği için gün ışığından faydalanan minimum elektrik tüketimi çalışmalarının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Gün ışığı (güneş ışığı ve gök ışığı) gündelik hayatta önemli bir konuma sahiptir. İnsan aktiviteleri, yüksek binaların sebep olduğu gölgelerden, güneş ışığının saçılmasına neden olarak dağıtan ve azaltan aerosollerin atmosferden içeri girmesine ve küresel iklim değişikliği üzerindeki etkilerine kadar gün ışığı miktarını etkilemektedir. Son yıllarda küresel ısınmanın çevreyi dünya çapında tehdit eden ciddi bir sorun olduğu ve düşük CO₂ emisyonu süreçlerinin teşvik edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Gelişen sanayi teknolojilerinin etkisi olarak artan hava kirliliği gibi meteorolojik faktörler küresel iklim değişikliğini tetiklemektedir. Bu konuları ele alırken, enerji sektörü için sürdürülebilir ve daha karlı alternatifler aramak gerekmektedir. Yeni alternatiflerden biri, özellikle şehir planlamalarında ve yapılarda gün ışığından maksimum derecede faydalanan tasarım yapılması ve bunun için gerekli olan dış ve iç ortam aydınlık düzeyleri bilgisinin kullanılmasıdır. Binalar yaşam döngüleri boyunca büyük miktarda kaynak kullandıkları için çevre, enerji tüketimi ve iklim değişikliği üzerindeki etkileri önemlidir.

Küresel ısınmanın etkisiyle günümüzde çevre sorunlarına büyük bir ilgi duyulmaktadır. Ülkeler çoğunlukla enerji taleplerini karşılamak için konvansiyonel enerji kaynaklarını kullanmaktadır ve bu da çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu sorunu çözmek için yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları kullanılmaktadır. Doğal enerji kaynaklarının kullanımı, çevre kirliliğini azaltır. Enerjinin verimli kullanımı konusundaki gelişmeler, optimum gün ışığı kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Özellikle Akdeniz ülkelerinin sahip olduğu iklim koşulları ile gün ışığı, binalarda hem ısınma hem de aydınlanma tüketiminde kullanılarak enerji verimliliği sağlamaktadır.

Günüşığı kullanımı, ekonomik ve çevresel avantajlar sağlamanın yanında insan sağlığı üzerinde de etkilere sahiptir. Sabah güneş ışığı ile birlikte vücuttaki biyolojik saat aktif döngüsüne başlar ve beyin serotonin, kortizol ve adrenalin hormonlarını salgılar. İnsan bünyesinde yirmi dört saatlik periyotlar halinde tekrarlanan biyolojik saat, uyku-uyanıklık düzeni olarak da bilinen sirkadyen düzeni de etkiler. Sirkadyen düzen, kişilerin çalışma verimi, vücut sıcaklığı ve uyku halini yönetir. Biyoritm, uyku bozukluğu ve hasta ve personel memnuniyeti sağlık hizmetleri için önemli konulardır [2,3]. İnsanlar zamanlarının çoğunu iç mekanda geçirirler [4]. 1970'lerde ortaya çıkan hasta bina sendromu ve 1994'te Dünya Sağlık Örgütü tarafından yayımlanan "Herkes için İş Sağlığı" [5] bildirisinden bu yana iş sağlığı, sağlık çalışanları ve mimarlar arasında dikkat çekici bir konu haline gelmiştir. Tüm gün yapay ışık altında kalan kişilerin hem uyku düzeni hem de çalışma performanslarında düşüş yaşadıkları yapılan araştırma ve deneylerde raporlanmıştır. Işık, insanların ruh halini ve motivasyon düzeyini derinden etkilemektedir. Yapılarda kullanılan doğal aydınlatma sistemleri bu sorunun en iyi çözümü olarak kabul edilir. Gün ışığı, renk ve kalitesi bakımından insan gözü ile en uyumlu ışık kaynağıdır [6]. Bu kaynak kullanılarak, yapılarda düzgün yayılmış bir aydınlık ile kullanıcılar için gerekli olan görsel konfor koşulları sağlanmalıdır. Bu doğrultuda gün ışığı doğru ve uygun bir şekilde kullanıldığında, kullanıcılar rahat bir ortamda kolayca ve verimli bir şekilde çalışabilir ve hareket edebilirler. Günüşığı kullanımının ön planda yer aldığı yeşil mimariye olan ilginin gün geçtikçe artması ile günüşığı aydınlık düzeyleri önemli bir tasarım konusu haline gelmektedir [7].

Enerji tasarrufu, çevrenin korunmasında önemli bir faktör konumundadır. Binalar yoğun bir şekilde enerji tüketir ve her zaman buna ihtiyaç duyar. Tüm dünyada

ortalama olarak mesken ve ticari binalar aydınlatma kullanımı için, üretilen elektriğin yaklaşık %30'unu tüketmektedir. Binaların kullanım aşamasındaki enerji tüketimi, inşaat aşamasından farklıdır. Bunlar; ısıtma-soğutma, aydınlatma, havalandırma, sıcak su temini ve elektrikli cihazların kullanımını içerir. Bu tüketim yollarının kullanım oranları, binanın hizmet türüne göre farklılık göstermektedir. Örneğin, eğitim kurumlarının binalarında kullanım; aydınlatma, ısıtma-soğutma ve laboratuarlardaki makine ve cihazların enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Yapay aydınlatma, eğitim kurumlarında yüksek miktarda enerji talebi oluşturmaktadır. Bu nedenle, aydınlatma sistemlerinde iyileştirme yoluyla enerji tasarrufu sağlama gerekliliği doğmaktadır. Aydınlatmadan kaynaklanan elektrik tüketiminden tasarruf sağlamanın bir yolu, doğal gün ışığının kullanılmasıdır. Doğal bir ışık kaynağı olarak güneşin daha verimli kullanımı, aydınlatmada kullanılan elektrikten büyük oranda tasarruf sağlayacaktır. Gün ışığı, özellikle gündüz saatlerinde binaların aydınlatma gereksinimleri için bir çözüm olmaktadır [8]. Gün ışığı kullanımı ile aydınlatmanın yanında soğutma yükünün de azaltılmasının birleşmesiyle özellikle ticari binalarda %25-40 seviyelerine ulaşan enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [9].

Enerji tasarrufu sağlanması için incelenmesi gereken bir konu güneş ışığının aydınlık düzeyi değerinin bilinmesidir. Çünkü gün ışığı aydınlatmasının kullanılacağı bir yapının tasarlanmasında ilk adım, kullanılabilir gün ışığı aydınlık düzeyi miktarının ortaya konulması ve değerlendirilmesidir. Bu anlamda aydınlık değerinin bilinmesi, enerji planlamaları açısından büyük öneme sahiptir. Ülkemizde doğal aydınlatma çalışmaları uygulanmakta olup, bu uygulamaların temelinde meteorolojik faktörlerin göz önüne alınarak yapılan hesaplamalara pek rastlanılamamıştır. Daha doğrusu bu hesaplamaların yapılabilmesi için gerekli olan sağlıklı veri bulunmamaktadır. Ülkemizde meteorolojik değişkenlerin ölçümü resmi olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılmaktadır. Gerek MGM tarafından yapılan rutin meteorolojik ölçümlerde, gerekse özel kuruluşlarca yapılan çalışmalarda diğer meteorolojik değişkenler uzun yıllardır ölçülmesine rağmen, dış ortam gün ışığı aydınlık düzeyi verisi bulunmamaktadır. Elektrik tüketiminde ana bileşenlerden biri iç ve dış aydınlatmadır. Malesef bugüne kadar İstanbul'un gün ışığı aydınlığı ayrıntılı olarak değerlendirilmemiştir. Bu durum daha fazla elektrik tüketimine neden

olmaktadır. Daha fazla elektrik tüketimi demek, küresel iklim değişikliği ve gelecek nesillerin enerji kaynaklarının daha fazla azalması demektir.

İklim değişikliği risklerinin azaltılması, olabildiğince doğal enerji kaynaklarının kullanılabilmesi ile mümkündür. Bu kaynaklardan biri de sonsuz enerji kaynağı olan güneş ve göğün oluşturduğu gün ışığıdır. Gün ışığı aydınlık düzeyi değerlerinin bilinmesi, bina tasarımlarında gelişmiş doğal aydınlatma tekniklerinin kullanılması, insanların günlük yaşam konforu, enerji verimliliği, enerji tasarrufu, küresel iklim değişikliği ve ülkelerin enerji yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi için çok önemlidir. Bu stratejilerin geliştirilebilmesi için öncelikle düşünülen bölge hakkında herhangi bir değerlendirme yapmaya imkan sağlayacak veri tabanı bulunması gereklidir. Bahsedilen sebepler doğrultusunda çalışma alanı olarak şimdiye kadar gün ışığı aydınlık düzeyi veri tabanına sahip olmayan İstanbul ve çevresi seçilmiştir. Bu amaçla İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) meteoroloji gözlem parkına kurulan güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi ölçüm sistemi ele alınmış, ilave olarak İstanbul ve çevresinde kurulan güneş ışıınımı istasyonlarından alınan ölçümler birlikte değerlendirilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Güneş, en temel ve sonsuz enerji kaynağıdır. İklim değişikliğini yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla azaltmak ve etkin bir biçimde yönetmek için gerek şehir planlamalarında gerekse yapılarda güneş ve gökten yayılan ışığın bileşkesi olan gün ışığı konusunu göz önünde bulundurarak tasarımları şekillendirme zorunlu bir ihtiyaç halini almaktadır. Dolayısıyla, günümüz koşullarında gün ışığı tespitinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için, gün ışığı aydınlık düzeyleri bilgisi gerekmektedir. Bu çalışmada ilk adım olarak halihazırda aydınlık düzeyi veri tabanı bulunmayan İstanbul'da bir ölçüm sistemi kurularak aydınlık veri tabanı oluşturulması için gerekli zemin sağlanmıştır. Aydınlık düzeyi verisinin elde olmamasından yola çıkılarak, eğer bu değişken ile diğer yaygın bir meteorolojik değişken olan güneş ışıınımı arasında herhangi bir ilişki bulunabilirse, eksik olan aydınlık düzeyi verileri tamamlanabilir ya da eksik verilerin yerine halihazırda bulunan veriler kullanılabilir. Bu varsayımla bir sonraki adım olarak global güneş ışıınımı ile aydınlık düzeyi arasındaki ilişkiyi bulmak amaçlanmıştır. Aydınlık ölçüm sistemine ek olarak, İstanbul ve çevresinde farklı meteorolojik koşullara sahip istasyonlarda güneş ışıınımı ölçümleri

yapılmıştır. Yapılan aydınlık düzeyi ve güneş ışıını ölçüm verilerinin detaylı analizi ile söz konusu değişkenler arasında bulunan bağlantılar kullanılarak İstanbul ve çevresi için aydınlık haritaları oluşturulması tezin amaçları arasındadır. Tüm bunlara ilave olarak literatürde en çok kullanılan Perez dış ortam gün ışığı aydınlık modeli [1] detaylı olarak irdelenmiştir. Sabit katsayılı ve tek sınıflandırma kategorisine sahip Perez modeli yerine adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFİS) temelinde geliştirilen yeni modellerin oluşturulması ve İstanbul iklim şartlarında optimum gün ışığı aydınlık değerinin elde edilmesi tezin amaçlarındandır. Elde edilecek araştırma bulguları, bu uygulamanın verimini ve daha verimli hale getirilebilmesi için alternatif uygulamaların neler olması gerektiğini ortaya koyacaktır. Bu sayede enerji kayıplarının daha da azaltılarak enerji tasarrufunun maksimum seviyeye çıkarılabilmesi için bilimsel katkı sağlanmış olacaktır.

1.2 Literatür Araştırması

Küresel iklim değişikliğinin getirdiği zorunlu bir ihtiyaç olan tasarruf her alanda olduğu gibi elektrik tasarrufu konusunda da karşımıza çıkmaktadır. Sınırsız kaynağımız olan güneş ışığından ne kadar çok faydalanırsak, aydınlatma için kullanılan elektrikten o kadar çok tasarruf edebiliriz. Güneş ışığından en fazla yararlanmanın yolları tüm dünyada aranmaktadır. Birçok ülke, gün ışığından en yüksek faydayı sağlamak için yaz saati uygulamasını (YSU) kullanmaktadır [10]. Kaliforniya Enerji Komisyonu'nun 2001 yılında yayımladığı raporda, Yaz Saati Uygulaması'nda (YSU) farklı senaryolar için hesaplama yapılarak Amerika Birleşik Devletleri - Kaliforniya eyaleti için mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Rapora göre tüm yıl yaz saati uygulandığında günlük toplam olarak yaklaşık 3400 MWh (%0.5) enerji tasarrufu sağlanmaktadır [11]. Güneş ışığından faydalanmada sabit saat uygulaması (SSU) ile birlikte gün ışığının niceliği hakkında gerekli bilgiyi elde etmede elektrik tasarrufuna önemli oranda katkıda bulunulacaktır.

Gün ışığı günümüze kadar pek çok alana konu olmuş ve farklı amaçlara uygun olarak birçok model geliştirilmiştir. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Internationale de l'Eclairage, CIE) [12] tarafından çeşitli gökyüzü koşullarını temsil eden farklı katsayılar kullanarak "Standart Gökyüzü Parlaklık Modeli" (Standart Sky Luminance Model) oluşturulmuştur. Bu modele göre gökyüzü kapallılığı 15 türe ayrılmıştır.

Gökyüzünün parlaklığı, çeşitli hava koşulları ve geometrik parametrelere lineer olarak bağlı olmadığından standart model tüm gökyüzü durumlarını içerebilmektedir. Bu nedenle Janjai ve Plaon [13] CIE modeline alternatif olarak Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanarak bir model yaklaşımında bulunmuşlardır. Ölçüm verisi olarak 2 adet “solar monitoring” istasyonun verisi kullanılmıştır. Ölçümler için skyscanner EKO MS301LR ve EKO MS321LR modelleri ve “sky camera” kullanılmıştır. Kameradan alınan resim dataları, gökyüzü şartlarını tanımlamada kullanılmıştır. Ölçülen verinin 2007-2008 kısmı eğitim için, 2009 kısmı ise model testi için kullanılmıştır. Mutlak gökyüzü parlaklığını modellemek zor olduğu için, birçok çalışmada bağıl gökyüzü parlaklığı, L , kullanılmaktadır [13].

$$L = \frac{L_\gamma}{L_z} \quad (1.1)$$

Burada, L_γ ve L_z sırasıyla gök elemanının parlaklığını (cd/m^2) ve zenit parlaklığını (cd/m^2) temsil etmektedir.

CIE [12] modeline göre, bağıl gök parlaklığı; gök elemanının zenit açısına, güneşin zenit açısına ve gök elemanı ile güneş arasındaki açısal uzaklığa bağlıdır. Bu üç parametre, YSA modelinde gizli katman girdisi olarak alınmış ve çıktı olarak bağıl parlaklık elde edilmiştir. YSA sonuçları ve CIE modeli sonuçları karşılaştırıldığında YSA modelinin ölçümlere CIE’den daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür [13].

Enerjinin korunumu programları dahilinde gerçekleştirilen araştırmalarda toplam enerji tüketiminin azaltılmasını sağlayacak olanakların belirlenmesi konusu birçok sektörde olduğu gibi bina sektöründe de mevcuttur. Yenilenebilir enerjilerin ana kaynağı güneştir. Günümüzde mühendisler ve mimarlar tarafından, yapılara özellikle gün ışığı aydınlatması ile ilgili olarak pasif güneş enerjisi sistemleri uygulanmaktadır. Gün ışığı aydınlatmasının kullanımı, yeşil binalar için enerji planlamasında yeni bir enerji tasarrufu kaynağı olarak kabul edilmektedir [14–16]. Bu konudaki en önemli amaçlardan biri, binalardaki elektrik tüketiminin aydınlatma sistemleri tarafından olan oranını azaltma yoluna gitmektir. Bu azaltım için kullanılan veriler ise, enerji etkin bina tasarımı ve binalardaki gün ışığı tasarımında kullanılan, uzun dönem boyunca ölçülmüş yerel meteorolojik ve gün ışığı kullanılabilirlik verileridir. Dünyada birçok ülkede olduğu gibi, diğer meteorolojik veriler uzun yıllardır ölçülmesine rağmen, Türkiye’de de gün ışığı veri tabanı bulunmamaktadır [17]. Örneğin, Meteo Enerji

Ar-Ge grubunun yaptığı bir çalışmada, İstanbul-İkitelli bölgesinde düzenli olarak güneş ışıınımı ölçümleri alınmış ve bölgenin güneş ışıınımı açısından potansiyeli raporlanmıştır [18]. Ne yazık ki bugüne kadar yapılan çalışmalarda, İstanbul'daki gün ışığı aydınlık düzeyi bilgisi ele alınmamıştır. Bu bilgi eksikliği beklenenden daha fazla elektrik tüketimine neden olabilmektedir. Bahsedilen eksikliği gidermek için yapılan bir çalışmada ise hem güneş ışıınımı hem de aydınlık düzeyi ölçümleri eş zamanlı alınarak İstanbul için aydınlık düzeyi veritabanının oluşması sağlanmıştır. Bunun yanında güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi analizleri yapılmıştır [19]. Ayrıca güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyleri arasında bir ilişki kurularak İstanbul ve civarında gün ışığı aydınlık düzeyi potansiyelinin belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır [20].

İç ve dış ortam aydınlık düzeyleri, bireysel olarak evlerde ve bir bütün olarak düşünüldüğünde şehirlerin yanı sıra ülkeler ve dünya çağındaki elektrik tüketimini ilgilendirir. Büyük miktarda elektrik üretimi ve tüketimi, küresel ısınmanın etkilerini artırmakta ve gelecek nesiller için enerjinin kullanılabilirliğini azaltmaktadır [21–23]. Bir binanın enerji performansı ısıtma, sıcak su, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi temel kavramlardan oluşan ihtiyaçları karşılayabilme potansiyelidir. Gelecekte uzun dönem enerji tüketiminde, binaların payı önemli oranda artacaktır. Bu nedenle, yeni binaların minimum enerji performans gereksinimlerini karşılamak amacı ile bölgesel iklim durumları göz önüne alınarak tasarımları yapılmalıdır [24]. Sürdürülebilir enerji ve enerji verimliliği konularındaki gelişmeler, binalardaki temel elektrik ihtiyacı için minimum enerji tüketimi ile optimum gün ışığı kullanımını sağlayan tasarım stratejilerinin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Ancak, bu stratejilerin başarılı bir şekilde uygulamaya geçebilmesi için gün ışığı kullanılabilirliği ve aydınlık düzeylerine ilişkin veriler gerekmektedir. Açık gök koşullarının baskın olduğu Akdeniz ülkelerinde, gün ışığı, ısı ve görsel konfor koşulları ile yapı cephesi arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir [25].

Dış ortamdan cam yüzeylere, güneş ışığı ve güneş ışığının yansımasıyla oluşan gök ışığı gelir. Güneşten gelen ışık, ortamdaki havanın moleküllerine ve atmosferde bulunan toz ve su damlacıklarına çarpıp saçılarak gök ışığını oluşturur. Atmosferin içerdiği toz ve su molekülleri miktarı az olduğunda bu saçılma daha çok Rayleigh yasasına uygun olarak gerçekleşir ve ışığın dalga boyunun dördüncü kuvveti ile ters orantılı olarak en çok mavi ışınlar saçılır. Parçacık boyutu ile dalga boyu oranının

0.1 ile 0.25 arasında olduğu koşulda, saılma etkilerinin aılklanmasında Mie teorisi geçerlidir. Parıacığın boyutu büyüdükçe ileriye doğru saılma artar [26]. Atmosferde bir çok partikül madde bulunduğunda, Mie saılması güneş etrafındaki beyaz parıltıya neden olur. Ayrıca sis ve pusta beyaz ışığın oluşmasının sebebidir. Atmosferin su buharı ve toz içeriğı arttıkça göğün rengi beyazlaşır, saılan ışık oranı büyür ve göğün ışıklılığı (luminans) artar. Gökyüzünün aydınlık düzeyi ince beyaz bulutlar (Ci, Cs gibi) ya da ince siste maksimuma ulaşır, toz, duman, sis ve bulut kalınlığı arttıkça azalır [27]. Yağışlı havalarda yatay düzlem üzerindeki aydınlık düzeyi yaklaşık olarak 1000-3000 lüks olduğuna göre, yararlanılabilecek minimum aydınlığın, yağışsız havalarda minimum aydınlığına eşit ya da daha fazla olabileceğı kabul edilmiştir. Böylece, yağışlı günlerin oranından yararlanılarak gün ışığı durumu hakkında yaklaşık bir fikir elde edilebileceğı ileri sürülmüştür [28].

Hasdemir [29] tarafından yapılan bir çalışmada, MGM'nin Ankara-Keçiören'deki gözlem parkına 1 adet güneş ışıınımı ölçer ve 1 adet aydınlık ölçer yerleştirilmiş ve 1980-1982 ölçümleri değerlendirilmiştir. Gün ışığı aydınlık düzeyi ile güneş ışıınımı değeri arasındaki ilişki katsayıları hesaplanarak, daha önce ölçülen güneş ışıınım değeri, aydınlık değerlerine dönüştürülmüştür. Hesaplanan katsayıların, binaların gün ışığı ile aydınlatılmasında pencere tasarımına esas alınacak dış aydınlık düzeyinin seçiminde kullanılabileceğı sonucuna varılmıştır. Treado ve Kusuda [30] Washington yakınlarındaki Ulusal Standartlar Bürosunda güneş radyasyonu ve aydınlık düzeyi verilerini almışlardır. Bu değişkenler arasındaki ilişkiyi çeşitli gökyüzü koşullarında gözlemlemişlerdir. Ampirik denklemleri elde ettikten sonra, difüz ve global aydınlık düzeylerini difüz ve toplam güneş ışıınımının bir fonksiyonu olarak tahmin etmişlerdir. Chandra [31] ise farklı güneş yüksekliklerinde ve atmosfer koşullarında, kullanışlı ışığın ölçülmesi anlamına gelen aydınlık etkinliğı ifadesini kullanarak Hindistan'daki birkaç şehrin aydınlık düzeylerini hesaplamıştır. Muneer'in [32,33] önerdiğı gibi, gün ışığı aydınlık düzeyi tahminleri için güneş ışıınımı tahmin modelleri de kullanılabilir, çünkü bu parametre ve dış mekan aydınlatması benzer özellikler göstermektedir.

Binalardaki gün ışığı aydınlık değeriinin belirlenmesi için genel olarak kullanılan yöntemler; maket, bilgisayar programları ve sayısal denklemlerdir. Maketler daha çok yapay veya gerçek gökyüzü koşullarında, binaların doğal aydınlatma performanslarının değerlendirilmesinde kullanılır. Bilgisayar programları, binaların

yıllık enerji tüketimi, bina içerisindeki aydınlık dağılımı gibi hesaplamaların yanında güneşin konumu ve zaman ile ilgili tahmin yapabilmektedirler. Bina tasarımcıları ya da doğal aydınlatma ile ilgilenen araştırmacılar tarafından genellikle 3DStudiMax, Softimage, Maya, Light Wave 3D, Energy Plus, Lightscape, Relax Professional, Skyvision, Delight and OptiCAD programları kullanılmaktadır. Denklemler içerisinde kullanılan en temel formül, Denklem 1.2’de verilen ve Gün ışığı Faktörü (DF) olarak adlandırılan dış ortam ile iç ortamın aydınlık düzeyleri oranı kurularak ifade edilir. Yapılan bir çalışmada, gün ışığı aydınlık değerleri tahmini için üç katmanlı ve ileri beslemeli yöntem ile YSA modeli Microsoft Excel programında kurulmuştur. Model kurulurken Excel elektronik çizelge yöntemi ile simplex optimizasyon uygulanmıştır. Sonuçta, %2’lik bir hata oranı ile modelin kullanılabileceği belirtilmiş fakat model girdisi olarak gökyüzü açıklığı hesap edilmemiştir.

$$DF = 100 \frac{E_i}{E_e} \quad (1.2)$$

Burada, E_i ve E_e sırasıyla iç aydınlık değeri ve dış aydınlık değerini temsil etmektedir [34].

Onaygil ve Önder [35] İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi 4. katında gün ışığına duyarlı aydınlatma kontrol sistemi kurmuşlardır. Gün ışığı 500 lux değerinin üzerine çıktığında yapay aydınlatma otomatik olarak devreden çıkmaktadır. Hava koşulları, gözleme dayalı olarak ve MGM’den veri temin ederek gözönünde bulundurulmuştur. Sonuçta, iklim koşulları yılın %62’si açık gökyüzü şartlarına sahip olan İstanbul’dakine benzer şekilde olan bir bölgede, gün ışığına duyarlı aydınlatma kontrol sisteminin kullanılması ile yaklaşık %30’luk bir enerji tasarrufu sağlanabileceği belirtilmiştir.

Gökyüzünün aydınlık düzeyi ve bulutluluk durumu, esas olarak gün ışığı miktarını etkiler [36]. Elektrikli cihazların kullanımı, binaların enerji tüketiminin en önemli nedenlerinden birini oluşturmaktadır. Ofis binalarında tüketilen enerjinin % 20-30’unu ve konut sektörünün tükettiği enerjinin % 10’unu aydınlatma tüketimi oluşturmaktadır [37]. Bartzokas ve diğ. [38], beş yıl boyunca beş dakikalık aralıklarla toplanan global ve difüz aydınlık düzeyi ve güneş ışıınımı verilerini kullanarak kış aylarında Bratislava ve Atina’daki gökyüzü aydınlığının dağılımını araştırmışlardır. Gueymard [39] tarafından yapılan çalışmada bulutsuz bir atmosferde irradyans, illüminans (aydınlık

düzeyi) ve fotosentetik aktif radyasyon (FAR) tahmini yapmak için “Reference Evaluation of Solar Transmittance, 2 bands” (REST2) modeli geliştirilmiştir (daha doğrusu daha önce geliştirilen CRCR2 modeline eklemeler yapılmıştır.).

$$L_j = E_{j1} K_i \quad (1.3)$$

denkleminde yola çıkılmıştır. Burada, L_j , K_i ve E_{j1} sırasıyla aydınlık düzeyi (lx), band 1 etkinlik faktörü (ışık verimi) (luminous efficacy) (lm/W) ve band 1 yatay düzeye gelen spektral irradyansı ifade etmektedir. Modele göre aydınlık düzeyini etkileyen parametreler olarak hava kütlesi ve bulanıklılık (türbidite) kullanılmıştır. Türbiditeye bağlı olarak farklı hava kütleleri için aydınlık düzeyi değişimleri grafik olarak gösterilmiştir. Sonuçta, REST2 model tahminlerinin ölçüm datalarına göre daha başarılı olduğu bulunmuştur. Buna sebep olarak ise, ölçüm sensör filtresinin tam olarak düzgün kullanılamaması ileri sürülmüştür.

De Rosa ve ark. [40] tarafından yapılan çalışmada farklı gökyüzü koşulları için düşey yüzeydeki difüz aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Kurulan ölçüm düzeneğinde dört ana yön için düşey düzlemdeki aydınlık düzeyini ölçmek için dört adet güneş izleyicili fotometre ve 1 adet yatay düzlemdeki global aydınlık düzeyini ölçmek için fotometre kullanılmış, ayrıca yine 5 adet (1 yatay, 4 düşey) piranometre ve 1 adet pirheliometre kullanılmış, ölçümler 5 dk aralıklarla ve saatlik ortalama olarak alınmıştır. Yöntem olarak en çok bilinen ve referans alınan; Perez ve ark. modeli [1], Muneer modeli (Avrupa Güneş Işınımı Atlasında kullanılmıştır) [41–43] ve Robledo ve Soler metodu [44] ile karşılaştırma yapılmıştır.

$$K_d = \frac{E_{dv}}{G_{dv}} \quad (1.4)$$

denklemini kullanılmıştır [40].

Burada, G_{dv} , K_d ve E_{dv} , sırasıyla düşey difüz (yayılı) güneş ışıınımını (W/m^2), düşey difüz aydınlık etkinliğini (lm/W) ve düşey difüz aydınlık düzeyini (lx) ve ifade etmektedir. Perez ve ark. modelinde herhangi bir yöne bakan eğimli yüzeyler için difüz aydınlık düzeyini hesaplayan genel bir model geliştirilmiştir. Bu modelin uygulanabilmesi için toplamda 80 tane sabit bilinmesi gereklidir.

Cucumo ve ark. [45] bir yüzeyin aydınlık düzeyini hesaplamada Arcavacata bölgesi için yerel sabitler içeren difüz aydınlık etkinliği değerini kullanmayı önermiştir. Bu

metod, tüm gökyüzü şartlarında diğer modellerden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun sonucunda yerel katsayılar kullanılarak modellerin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Otezia ve Perez [46] yaptıkları çalışmada, 1980-2005 yıllarına ait saatlik ortalama yatay global ve difüz ışıınımı ölçümü yapmışlar ve bu 26 yıllık verileri kullanarak 4 ana yön için düşey ve yatay yöndeki difüz aydınlık düzeyi değerlerini hesaplamışlardır. Bunun için öncelikle Perez modeli ve Robledo ve Soler modeli referans alınmış, daha sonra bu modellere kendi ölçüm verilerini yerleştirerek sonuçları bulmuşlardır. Yöntem olarak yatay yüzeydeki difüz aydınlık düzeyinin tahmininde Robledo ve Soler modelini kullanmışlardır. Bu modeli oluşturmak için Temmuz 1994-Kasım 1995 yatay yüzeye gelen difüz ışıınım ve saatlik ortalama aydınlık düzeyi verilerini kullanmışlardır. Modeldeki tek girdi parametresi parlaklık indeksi, Δ , olan Denklem 1.5'i oluşturmuşlardır.

$$K_{dh} = 91.07\Delta^{-0.254}, \quad \Delta = \frac{D_h}{E_0 \sin \alpha} \quad (1.5)$$

Burada, D_h , E_0 ve α sırasıyla yatay difüz güneş ışıınımını, atmosfer dışına gelen güneş ışıınımını ve güneşin yükseklik açısını ifade etmektedir.

Yatay difüz aydınlık düzeyi ise Denklem 1.6 kullanılarak hesaplanır.

$$L_{dh} = K_{dh} D_h \quad (1.6)$$

Burada, L_{dh} ve K_{dh} sırasıyla yatay difüz aydınlık düzeyini ve yatay difüz aydınlık etkinliğini temsil etmektedir [46].

Düşey yüzeydeki aydınlık düzeyi tahmininde ise birinci adım olarak Perez modeli referans alınmıştır [46]. Perez ve ark. [47] tarafından 3 tip model geliştirilmiştir: Global, difüz ve direkt yatay aydınlık etkinliği modeli, eğimli yüzeylerdeki difüz ışıınım ve aydınlık düzeyi modeli ve gök ışııklılığı modeli. Yapılan çalışmada 2. tip modelin sadeleştirilmiş versiyonu [48] kullanılmıştır .

$$E_{dTLT} = E_{dh} \left[(1 - F_1) \cos^2 \frac{TLT}{2} + F_1 \frac{a_0}{a_1} + F_2 \sin TLT \right] \quad (1.7)$$

Burada, E_{dTLT} , F_1 ve F_2 sırasıyla eğimli yüzeye gelen difüz ışıınım (modelde düşey yüzey için $TLT = 90^\circ$ alınmıştır.), güneşe yakın difüz bileşen katsayısı ve ufuk parlaklığı katsayısını ifade etmektedir. Daha önce Robledo ve Soler'in [49] Madrid için hesaplamış olduğu F katsayılarını kullanmışlardır. İkinci adım olarak kullanılan

denklemlerde ise yine Robledo ve Soler'in Madrid için oluşturduğu ampirik katsayılar referans alınmıştır. Sonuç olarak, Madrid için uzun dönem verilerinden yararlanarak difüz aydınlık düzeyi için bir istatistiksel analiz yapmış ve güvenilir bir veri tabanı oluşturmuşlardır. Ayrıca buldukları yerel katsayıların bina tasarımında kullanılarak önemli oranda elektrik tasarrufu sağlayacağını belirtmişlerdir. Güney Kore'de yapılan bir çalışmada lineer çoklu regresyon analizi ile bir aydınlık düzeyi tahmin modeli geliştirilmiştir. Modelde 4 meteorolojik değişken olan güneşin yükseklik açısı, bağıl optik hava kütlesi, atmosferik parlaklık ve gökyüzü koşulu indeksi değerleri kullanılmıştır. Sonuçlar Littlefair [50], Perez [1], Chung [51] ve Muneer [32] modelleriyle karşılaştırıldığında yerel modelin daha başarılı olduğu görülmüştür [52]. Benzer olarak, Hindistan'da yapılan bir çalışmada ise 3 aydınlık modeli; Perez [1], Muneer-Kinghorn [53] ve Littlefair [50] karşılaştırılmış ve New Delhi için yarım saatlik ölçümler alınarak model sonuçları karşılaştırıldığında en başarılı sonucu Perez modelinin verdiği görülmüştür [54].

Yapılan başka bir çalışmada [55] ise iç mekanlarda aydınlatma sistemlerinin tasarımlarının öneminden ve bu ortamlardaki aydınlık düzeyinin tespiti için YSA kullanımından bahsedilmiştir. Aydınlık değerlerinin tahmini için ileri beslemeli (feed forward) YSA modeli kullanılmıştır. Ağın eğitiminde, sağladığı hız ve kararlılık sebebiyle Levenberg-Marquardt (LM) algoritması kullanılmıştır. Ölçümlerde lüksmetre kullanılmıştır. YSA ile tahmin edilen veriler 3 boyutlu olarak Matlab ortamında modellenmiştir. YSA sonuçları ile gerçek aydınlık verileri karşılaştırıldığında %1'lik bir hata oranı gözlemlenmiştir. Sonuçta, aydınlatma sistemlerinin tasarımları aşamasında, çeşitli bilgisayar programları ve sayısal hesaplama yöntemlerinin yanı sıra, yapay sinir ağ modeli uygulamasının da kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

Kandilli ve Ülgen [56] yaptığı çalışmada üç adet gün ışığı aydınlık düzeyi hesaplama yöntemini karşılaştırmış, bu yöntemlerin aynı ve farklı özelliklerini ortaya koymuştur. Bu modeller şunlardır:

Aydınlı Ortalama Gök Modeli

Aydınlı ortalama gök modeline göre [57] yatay bir yüzeydeki global dış aydınlık düzeyi, g , güneşten kaynaklanan aydınlık düzeyi, E_S , ile, açık, E_H , ve kapalı gökten kaynaklanan aydınlık düzeyinin, E_A , toplamı şeklinde ifade edilmektedir. Bağıl

güneşlenme süresi, σ , için zaman periyodu bir saat olarak alınmakta olup σ değerleri saatlik olarak belirlenmektedir.

$$g = E_S R_S + [E_H \sigma + E_A (1 - \sigma)] R_{SK} \quad (1.8)$$

Denklem 1.8’de verilen R_S ve R_{SK} sırasıyla, güneş ve gök düzeltme faktörlerini ifade etmektedir.

Perez Modeli

Perez modeli [1] gün ışığı ile ilgili çalışmalarda yaygın kullanılan ve literatürde sıklıkla referans alınan modellerin başında gelmektedir. Modelde gün ışığı aydınlık düzeyi belirlemelerinde öncelikli olarak ışıınım ve sıcaklık verilerinden yararlanılmaktadır. Bina yapısı ve bileşenleri kullanılarak güneş enerjisi sistemlerinin optimizasyonu ile tasarımı için enerji/gün ışığına dayalı kavramlar dizisi ortaya koyan modeller geliştirilmiştir. Perez gün ışığı aydınlık düzeyi modeli, gün ışığından yararlanma ile ilgili literatürdeki en başarılı modellerden biri olarak kabul edilmektedir. Modelin hesaplama yöntemi ile ilgili detaylar 5. bölümde verilmiştir.

IESNA Modeli

Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Topluluğu (Illuminating Engineering Society of North America - IESNA) tarafından yayımlanan uygulama kitabında, gün ışığı aydınlık düzeyinin hesaplanması için aşağıdaki yöntem önerilmiştir [58].

$$E_{XT} = G_{SC} \left\{ 1 + 0.034 \cos \left[\frac{2\pi}{365} (d_n - 2) \right] \right\} \quad (1.9)$$

Burada E_{XT} , G_{SC} ve d_n sırasıyla, atmosfer dışı aydınlık düzeyini, güneş sabitini (1367 W/m^2) ve yılın gün sayısını temsil etmektedir.

IESNA modeline göre aydınlık düzeyleri, güneşten kaynaklanan ve gökten kaynaklanan aydınlık düzeyleri olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Güneşten kaynaklanan aydınlık düzeyi ise direkt normal aydınlık düzeyi, E_{DN} , direkt yatay aydınlık düzeyi, E_{dH} , ve direkt düşey aydınlık düzeyi, E_{dV} , olmak üzere üç bileşene ayrılır ve Denklem 1.10-1.12’de verildiği gibi hesaplanır.

$$E_{DN} = E_{XT} \exp \left(\frac{-c}{\sin \alpha} \right) \quad (1.10)$$

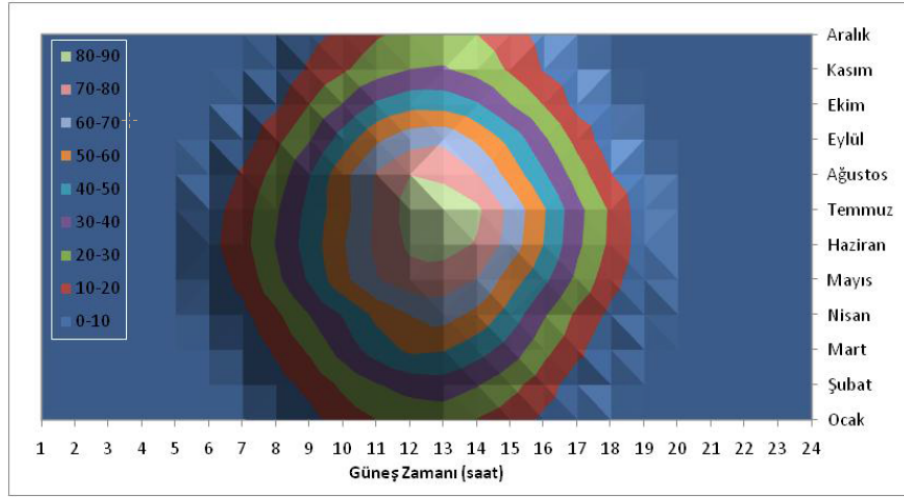
$$E_{dH} = E_{dN} \sin \alpha \quad (1.11)$$

$$E_{DV} = E_{DN} \cos Z \quad (1.12)$$

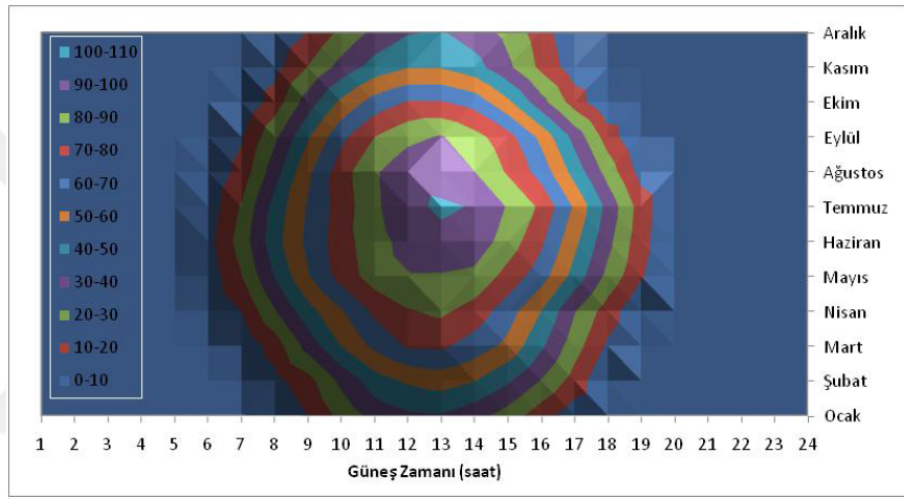
Burada c sabit , α ise güneş yükseklik açısıdır [58].

Gökten kaynaklanan aydınlık düzeyi, gök oran yöntemi ile belirlenmiştir. Buna göre, atmosferi geçen güneş ışığı toz, su buharı ve atmosferde asılı halde bulunan moleküller nedeniyle saçılmaya uğrar. Saçılan bu ışık açık, parçalı bulutlu ve bulutlu olarak üç kategoriye ayrılmaktadır. Gökyüzü oranı yöntemi ile IESNA modeli aydınlık düzeyi hesaplanmaktadır [58].

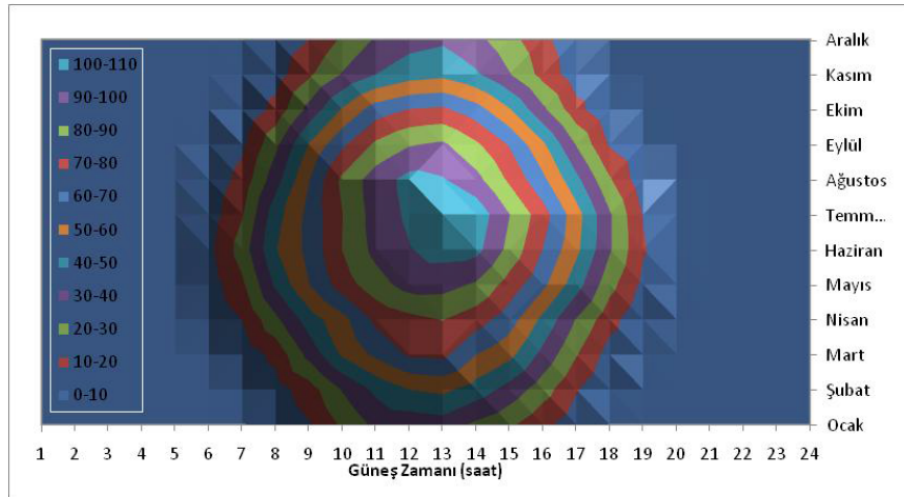
50–100 klux arasındaki aydınlık düzeyleri parlak güneş ışığını tanımlamaktadır. Şekil 1.1’de Ülgen ve Okutan [59] tarafından Aydınli, Perez ve IESNA modelleri kullanılarak yapılan teorik hesaplamaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Üç modelden elde edilen sonuçlar incelenmiş ve Perez ve IESNA modellerinin Aydınli modeline göre daha yüksek sonuçlar verdiği belirtilmiştir. İzmir değerleri göz önüne alındığında en yüksek aydınlık düzeylerinin; Aydınli modeline göre Mart-Eylül ayları, Perez modeline göre Şubat-Kasım ayları, IESNA modeline göre ise Şubat-Ekim ayları arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca güneş ışıınımı ile aydınlık düzeyi arasındaki korelasyonlarda en yüksek ilişkiyi 0.99 değeri ile Perez modelinin verdiği ifade edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.1 : İzmir için (a) Aydınli modeli (b) Perez modeli (c) IESNA modeline göre hesaplanmış yatay düzlemdeki aylık ortalama saatlik dış ortam gün ışığı aydınlık düzeyi (klux) değerleri [59].

Yukarıda bahsedilen modellerin içerisinde literatürde en çok kabul gören ve birçok çalışmada referans olarak kullanılan model, Perez [1] modelidir. Örneğin, Li ve Lam [60] çok iyi bilinen Perez modelinin sabitlerini kullanmışlar ve rapor etmişlerdir. İlave olarak, günışığı aydınlık modelleri geliştirmişler ve Hong Kong'da kaydedilen gözlem verilerini kullanarak bu modelleri doğrulamışlardır [61].



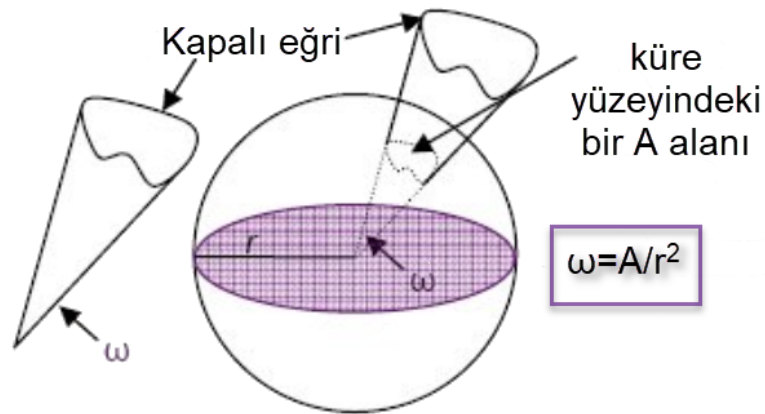
2. RADYOMETRİ VE FOTOMETRİ

2.1 Radyometri

Radyometri, elektromanyetik spektrumun herhangi bir bölümünden yayılan dalgaları ölçme bilimidir. Uygulamada, genellikle optik aletler kullanılarak kızılötesi, görünür ve ultraviyole bölgelerinin ölçülmesini kapsar. Radyometrik kapsama alanının kısa dalga boyu (ultraviyole) sınırı yaklaşık olarak 200 nm'dir. Bu değer yaklaşık olarak atmosferin ileteceği en kısa dalga boyuna karşılık gelir. İncelenen en uzun dalga boyu (kızılötesi) yaklaşık 100 μm 'dir. Bu dalga boyu, 0 °C (273,16 K) sıcaklıktaki bir termal radyatörden yayılan enerjinin % 99'unu içerir [62, 63]. Radyometri biliminde Uluslararası Birim Sistemi (SI) temel alınarak birtakım kavramlar kullanılmaktadır.

2.1.1 Katı açı

Katı açı, ω , iki boyutta bir düzlem açının tanımına benzer şekilde tanımlanmış bir üç boyutlu açısal hacimdir. Bir düzlem açısı, bir dairenin yarıçapı uzunluğundaki yay parçasını gören merkez açı olarak tanımlanır. Düzlem açının boyutsuz birimi tam daire için 2π radyandır. Şekil 2.1'de verilen katı açı ise, tepe noktası r yarıçaplı kürenin merkezinde olan, A alanına sahip küre yüzeyini ayıran koninin uzay açısıdır. Katı açının birimi steradyan (sr) olarak ifade edilir [64].



Şekil 2.1 : Katı açı [65].

2.1.2 Radyan enerji (Işınım enerjisi)

Radyan enerji (radiant energy), Q , elektromanyetik dalgalar aracılığıyla bir yerden bir yere taşınan enerjidir. Meteorolojik ve klimatolojik açıdan ise, radyan enerji güneş, yerküre veya atmosferden yayılan enerji ve bunlar tarafından radyasyonun absorblanmasını ifade eder. Joule veya kilowat-saat gibi enerji birimlerinde ölçülür. Işık fiziksel bir nesne tarafından absorblandığında, enerjisi başka bir forma dönüştürülür. Örneğin bir mikrodalga fırının yaydığı mikrodalga radyasyon, su molekülleri tarafından absorblandığında bir bardak suyu ısıtır. Mikrodalgaların radyan enerjisi, termal enerjiye (ısı) dönüştürülür [62, 66, 67].

Spektral radyan enerji

Spektral radyan enerji (spectral radiant energy), Q_λ , birim dalga boyu aralığındaki radyan enerji olarak tanımlanır. Örneğin, güneş gibi bir geniş bant kaynağı, elektromanyetik spektrumun büyük bir kısmında (radyo dalgalarından gama ışınlarına kadar) elektromanyetik radyasyon yayar. Bununla birlikte, radyan enerjisinin çoğu, spektrumun görünür kısmı içinde yoğunlaşmaktadır. Öte yandan, tek dalga boyulu lazer, monokromatik (sadece bir dalga boyunu kapsayan) bir kaynaktır yani tüm radyan enerjisi belirli bir dalga boyunda yayılır. Denklem 2.1 ile ifade edilen spektral radyan enerji, $\text{Joule}\mu\text{m}^{-1}$ biriminde ölçülür [62, 66].

$$Q_\lambda = dQ/d\lambda \quad (2.1)$$

Burada, λ , dalga boyunu (μm) temsil etmektedir.

2.1.3 Radyan akı (Işınım akısı, ışınım gücü)

Güç, birim zamandaki enerji olup saniyede joule veya watt olarak ölçülür. Radyan güç (radiant power) veya radyan akı (radiant flux) ise radyan enerjinin akış hızı olarak tanımlanır ve tercihen watt cinsinden ifade edilir. Görünen ışığı ölçen bir fotoğrafik ışıkölçer için elektrik akımının anlık büyüklüğü radyan akı ile doğru orantılıdır. Bir zaman periyodu boyunca ölçülen toplam akım miktarı ise ışık ölçer tarafından absorblanan radyan enerjiyle doğru orantılıdır. Bu sayede fotoğraf makinesinde bulunan flaşmetre, kamera flaşından alınan toplam radyan enerji miktarını ölçer. Radyan akı, Denklem 2.2 ile ifade edilmektedir. [62, 66]

$$\Phi = dQ/dt \quad (2.2)$$

Burada, Φ ve t sırasıyla, radyan akısı ve zamanı temsil etmektedir.

Spektral radyan akı

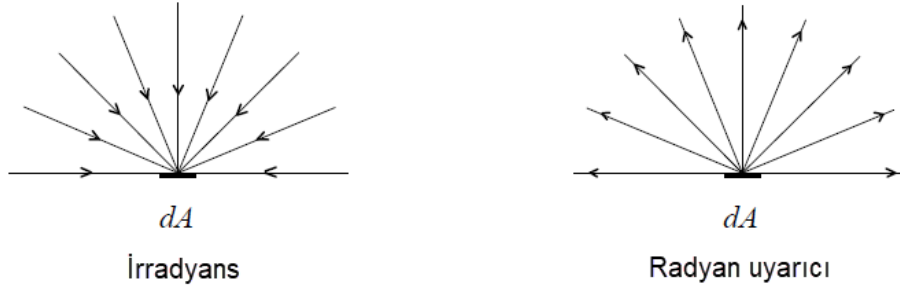
Spektral radyan akı (spectral radiant flux), birim dalga boyu aralığındaki radyan akı olarak tanımlanır ve Denklem 2.3 ile ifade edilir [66].

$$\Phi_\lambda = d\Phi/d\lambda \quad (2.3)$$

Burada, Φ_λ , spektral radyan akısı temsil etmektedir ve birimi $W\mu m^{-1}$ 'dir.

2.1.4 Radyan akı yoğunluğu

Radyan akı yoğunluğu (radiant flux density), A yüzeyinin herhangi bir noktasında birim alana gelen (veya yüzeyin herhangi bir noktasında birim alandan yayılan) radyan akıdır. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, yüzeye ulaşan radyan akıdan bahsedilirken irradyans, yüzeyden yayılan radyan akıdan bahsedilirken radyan uyarıcı ifadesi kullanılır. İrradyans; fiziksel olarak nesneler, nesneler arasında bulunan hava veya vakum gibi boşluklar, su ve cam benzeri saydam ortamlar gibi üç boyutlu uzayda herhangi bir yüzeyde ölçülebilir. Meteorolojik anlamda ise birim zamanda birim alana gelen güneş gücü (anlık enerji) olarak ifade edilir [62,66,68].



Şekil 2.2 : Radyan akı yoğunluğu [62].

Radyan akı yoğunluğu, H , Denklem 2.4 ile ifade edilir ve Wm^{-2} biriminde ölçülür.

$$H = d\Phi/dA \quad (2.4)$$

Spektral radyan akı yoğunluğu

Radyan akı yoğunluğu tüm dalga boylarındaki toplam ışıınım miktarını temsil eder. Her bir dalga boyu için ayrı düşünüldüğünde spektral radyan akı yoğunluğu (spectral

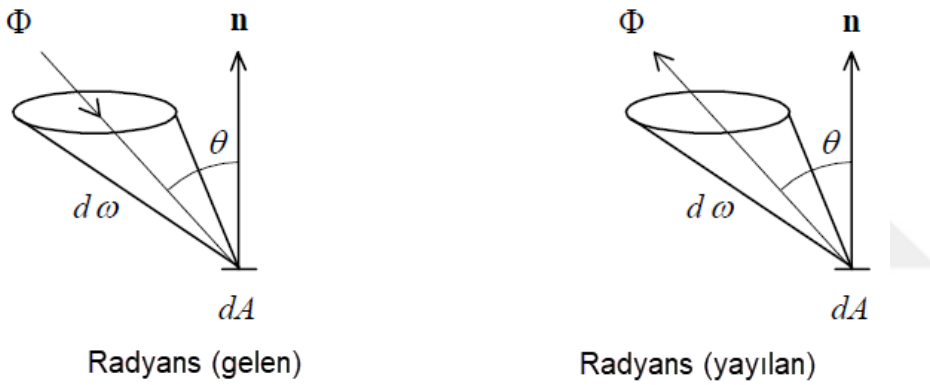
irradiance) olarak ifade edilir ve birim dalga boyu aralığındaki radyan akı yoğunluğu olarak tanımlanır. Spektral radyan akı yoğunluğu, Denklem 2.5 ile ifade edilir [62,66].

$$H_{\lambda} = dH/d\lambda \quad (2.5)$$

Burada H_{λ} , spektral radyan akı yoğunluğunu temsil etmektedir ve $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ biriminde ölçülmektedir.

2.1.5 Radyans (Parlaklık)

Radyans (radiance), belirli bir yöndeki bir noktaya gelen veya bir noktadan yayılan ışık ışınında bulunan sonsuz miktarda radyan akıdır. Diğer bir ifadeyle bir yüzeyden yayılan ve belirli bir katı açı ile belirli bir yöne düşen ışınım miktarıdır [62,66].



Şekil 2.3 : Radyans [62].

Radyans, $Wm^{-2}sr^{-1}$ biriminde ölçülür ve Denklem 2.6 ile ifade edilir [62].

$$\Psi = d^2\Phi/[dA(d\omega\cos\theta)] \quad (2.6)$$

Burada, Ψ ve θ sırasıyla, radyansı ve gelen ışının yüzeyin normaliyle yaptığı açığı temsil etmektedir.

Spektral radyans

Spektral radyans (spectral radiance), Ψ_{λ} , birim dalga boyu aralığındaki radyans olarak tanımlanır. Spektral radyans, Denklem 2.7 ile ifade edilir ve Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ olarak ölçülür [62,66].

$$\Psi_{\lambda} = d^3\Phi/[dA(d\omega\cos\theta)d\lambda] \quad (2.7)$$

2.1.6 Işınım şiddeti

Işınım şiddeti (radiant intensity), verilen bir yönde bir kaynaktan birim katı açıda yayılan radyan akı miktarıdır. Işınım şiddeti, τ , Denklem 2.8 ile ifade edilir ve Wsr^{-1} biriminde ölçülür [62, 66].

$$\tau = d\Phi/d\omega \quad (2.8)$$

Spektral ışınım şiddeti

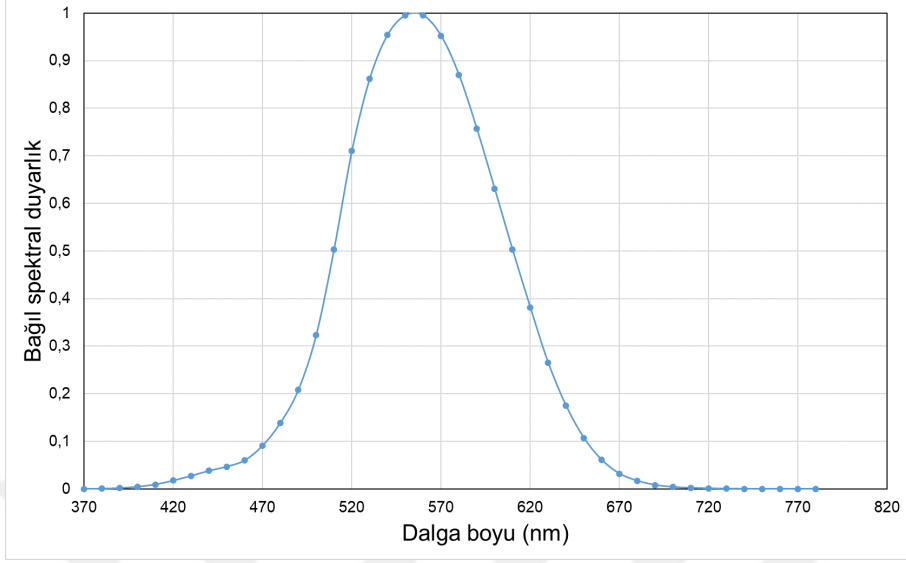
Spektral ışınım şiddeti (spectral radiant intensity), τ_λ , birim dalga boyu aralığındaki ışınım şiddeti olarak tanımlanır. Spektral ışınım şiddeti, Denklem 2.9 ile ifade edilir ve $Wsr^{-1}\mu m^{-1}$ biriminde ölçülür [62, 66].

$$\tau_\lambda = d\tau/d\lambda \quad (2.9)$$

2.2 Fotometri

Fotometri, radyometrinin bir alt kümesi ya da dalı olarak düşünülebilir. Radyometri elektromanyetik spektrumun tüm dalga boyları ve frekansları ile ilgilenirken, fotometri elektromanyetik spektrumun sadece insan gözünün duyarlı olduğu (spektral duyarlık) kısmı olan görünür ışıkla ilgilenir. İnsan gözü sadece yaklaşık 360 ve 800 nm arasında dalga boylarına sahip olan ışığa tepki verir. Göz yaklaşık 360 nm ile 410 nm arasında ve 720 ile 800 nm arasındaki dalga boylarındaki ışığa karşı çok daha az duyarlı olduğu ve pek çok kişi bu aralıklardaki birçok radyasyonda göremediği için, UV ve IR spektrumlarının görünür kenarları belirsizdir. Retinada bulunan koni hücreleri, gündüz görmesinden ve renk algılamadan sorumludur. Bu sebeple gündüz görmesine fotopik görme de denilebilir. İnsan gözünün spektral duyarlığı kişiden kişiye farklılık gösterse de, kabul edilmiş bir standart tepki aralığı benimsenmiştir. Şekil 2.4'te, 1931'de CIE tarafından standartlaştırılan insan gözünün fotopik görme koşulları altında spektral duyarlık eğrisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi insan gözünün maksimum ışık verimliliği, görünür spektrumun (555 nm) ortasında meydana gelmekte ve eğrinin kısa dalga boyu tarafında yaklaşık 410 nm ve uzun dalga boyu tarafında yaklaşık 720

nm değerinde neredeyse sıfıra düşmektedir. Diğer bir ifadeyle, insan gözü maximum hassasiyeti 555 nm dalga boyunda gösterir.



Şekil 2.4 : İnsan gözünün standart duyarlık eğrisi.

Fotometride, CIE tarafından standart fotopik eğri esas alınarak birtakım kavramlar kullanılmaktadır. Bunlardan en temel olan ve sık kullanılanları ışık akısı, ışık şiddeti, parıltı ve aydınlık düzeyi kavramlarıdır.

2.2.1 Işık akısı

Işık akısı (luminous flux), ϕ , bir ışık kaynağından birim zamanda yayılan toplam enerji miktarıdır. Yayılan enerji spektral duyarlık eğrisine göre değerlendirildiğinde, ışık kaynağından birim zamanda yayılan toplam ışık miktarını ifade eder. Işık akısı Denklem 2.10'da verildiği gibi hesaplanmaktadır [66, 70].

$$\phi = FVK_0 \quad (2.10)$$

Burada, F , V sırasıyla, enerji akısını ve gözüün spektral duyarlık derecesini, K_0 ise enerji akısının fotometrik eşdeğerini temsil etmektedir. Örnek olarak, sadece insan gözünün maksimum duyarlı olduğu 555 nm dalga boyunda ışık yayan bir ışık kaynağı, 1 W gücünde elektromanyetik ışınım yaydığında 683 lümen (lm) değerinde ışık akısı üretir.

2.2.2 Işık şiddeti

Işık şiddeti (luminous intensity), I , belirli bir yön için birim katı açıdaki ışık akısı miktarıdır. Işık şiddeti candela (cd) veya steradyan başına lümen (lm / sr) cinsinden ifade edilebilir [66, 70].

$$I = d\phi / d\omega \quad (2.11)$$

2.2.3 Parıltı

Birincil (kendisi ışık üreten) ya da ikincil (bir kaynaktan gelen ışığı yansıtan) ışık kaynağı olarak ışık yayan bir yüzeyin birim alanından belli bir doğrultuda yayılan ışık şiddetidir ve cd/m² cinsinden ifade edilmektedir. Parıltı (luminance), yüzeyin yansıtma özelliklerine bağlı olup ışık kaynağı ile yüzey arasındaki uzaklığa bağlı değildir.

Parıltı (objektif) ile parlaklık (subjektif) kavramları birbiri ile karıştırılabilmektedir. Parlaklık ifadesi yüzeyin parıltısına bağlıdır ve kişiden kişiye değişiklik göstermektedir. Örneğin gri bir bölgenin parıltısı sabittir. Ancak aynı gri bölgenin beyaz fon üzerindeki ile siyah fon üzerindeki görüntüleri birbirinden farklıdır. Siyah arka plandaki gri bölge, beyaz plandakine oranla daha aydınlık görünür [66, 70].

2.2.4 Aydınlık düzeyi

Işık düzeyi olarak da ifade edilen aydınlık düzeyi kavramı (luminous flux density, illuminance), E , yüzeyin A birim alanına birim zamanda gelen ışık akısı miktarıdır. Gün ışığı kullanılabilirliği, belli bir bölge, zaman ve gökyüzü koşulunda güneş ve gökten kaynaklanan ışık miktarını ifade etmektedir. Aydınlik düzeyi birimi lux ya da footcandle olup ışık akısı ile arasında Denklem 2.12’de gösterilen bağıntı vardır [66, 70].

$$E = \phi / A, (1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2) \quad (2.12)$$

Farklı ışık kaynakları ve yüzeyler için aydınlık düzeyi değerleri Çizelge 2.1’de verilmektedir. Yansıtıcı bir yüzey için 0.25-100 000 lux gibi geniş bir aralıkta cisimleri görebiliriz. Örneğin ay ışığının aydınlık düzeyi yaklaşık olarak 0.25–10 lux iken, parlak güneş ışığının aydınlık düzeyi 50 000-100 000 lux aralığındadır [70, 71].

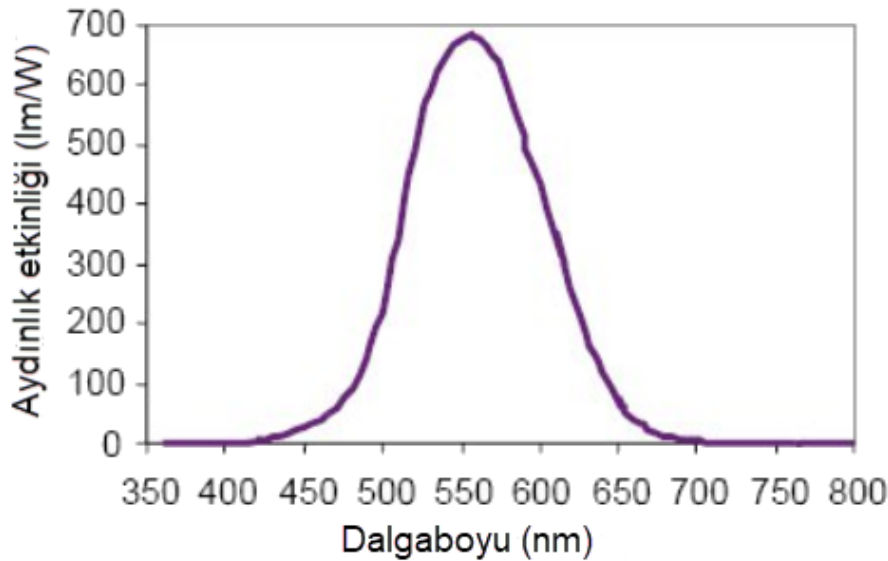
Çizelge 2.1 : Farklı yüzeyler için aydınlık düzeyi değerleri [70].

Yüzey	Aydınlık düzeyi (lux)
Bulutsuz bir yaz günü, öğle vakti	100000
Bulutsuz bir yaz günü, gölgede	10000
Parçalı bulutlu hava	5000
İyi aydınlatılmış ofis	1000
Orta aydınlatılmış oturma odası	100
Aydınlatılmış yol yüzeyi	5-30
Açık bir akşam ay ışığı	0.25

Gün ışığının bir binanın iç aydınlatmasında kullanımı için tasarlanması için ilk yapılması gereken iş, dış ortamdaki mevcut gün ışığı miktarını ortaya çıkarmak ve değerlendirmektir. Buna rağmen dünyada genel olarak temel gün ışığı aydınlık düzeyi verileri bulunmamaktadır.

2.2.5 Aydınlık etkinliği (Işık verimi)

Bir ışık kaynağı için verim ifade edilirken enerji akısının ne kadarının ışık akısına dönüştürüldüğünün tanımlanması gerekir. Aydınlık etkinliği, ışık kaynağının birim zamanda harcadığı enerjiye karşılık olarak ürettiği akıyı ifade eder. Işık akısının, radyometride karşılığı olan ışıyım akısına bölünmesi ile elde edilir ve lm/W biriminde ifade edilir [72, 73]. Şekil 2.5'te fotopik koşullar altında insan gözü için tipik aydınlık etkinliği aralığı gösterilmektedir. Fotopik bölgede, aydınlık etkinliği 555 nm ve 683 lm/W değerlerinde zirveye ulaşmaktadır.



Şekil 2.5 : İnsan gözü için aydınlık etkinliği eğrisi [65].

“Etkinlik” terimi normalde giriş ve çıkış birimlerinin farklı olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Örneğin, aydınlatmada, belirli miktarda elektrik gücü (Watt) tarafından üretilen ışık miktarından (lumen) bahsedilir. “Verimlilik” terimi ise genellikle boyutsuzdur. Örneğin, aydınlatma armatürü verimliliği, armatürden çıkan toplam lümenin ışık kaynağı tarafından üretilen toplam lümene oranıdır. “Verimlilik” ifadesi, kaynakların verimli kullanılması ile ilgili daha geniş kapsamlı konuları tartışmak için de kullanılmaktadır [74].

2.2.6 Aydınlık düzeyi tahmininde kullanılan atmosferik parametreler

Teknolojideki son gelişmeler, günışığından faydalanma sonucunda elektrik tüketiminde önemli miktarda tasarrufun mümkün olduğunu göstermiştir. Modern binalar, gün ışığından ve ısısından maksimum derecede yararlanmaya olanak tanıyan, bunun yanında hava koşullarına duyarlı olarak kontrol edilebilen gölge elemanlarıyla kamaşma ve aşırı ısınma olasılığından korunmayı arttıran tasarım ve ekipmanları sıklıkla kullanırlar. Son yıllarda bina yönetmeliklerinde aydınlatma veriminin artırılmasına yönelik teşvikler uygulanmaktadır. Bu düzenlemeleri karşılayabilmek adına tasarımcılar gün ışığından maksimum fayda sağlamaya yönlendirilmektedir. Binalarda pencerelerin daha hassas ve verimli tasarımı, eğimli (düşey) yüzey aydınlık modellerinin geliştirilmesini ve bu da yatay global ve difüz aydınlık düzeyi değerlerinin bilinmesini gerektirir. Ölçüm yokluğunda ise diğer ölçülen veya hesaplanan atmosferik parametrelerden aydınlık düzeyi tahmini elde etmek için birtakım modellere başvurmak gerekir. Birçok modelde güneş yüksekliği, atmosferin su buharı içeriği, Linke bulanıklık faktörü ve diğer atmosfer parametreler de dahil olmak üzere çeşitli yaklaşımlar benimsenmiştir. Burada bahsedilen atmosferik parametrelerin yanında, atmosfer dışına gelen güneş ışıınımını ve gün ışığı aydınlık düzeyini etkileyen astronomik parametreler de (güneşin zenit açısı, deklinasyon açısı, enlem açısı) kullanılmakta olup hesaplama yöntemleri ile ilgili detaylı bilgi [75–77] kaynaklarında bulunmaktadır.

2.2.6.1 Güneş ışıınımı

Global ve direkt güneş ışıınımı, güneş ışıınımı verileri arasında en yaygın kullanılan türü oluşturmaktadır. Ayrıca siperli piranometreler kullanılarak difüz ışıınım ölçümleri de yaygın olarak yapılabilmektedir. Geniş çaplı ölçüm ağına rağmen bu değişkenlerden

herhangi biri veya ikisinin olmaması durumunda modeller kullanılarak, belirli bir hata doğruluğunda ölçümü bulunan değişken hesaplanabilmektedir [1].

2.2.6.2 Çiy noktası sıcaklığı

Çiy noktası (işba) sıcaklığı, sabit basınç altında havanın doyması için soğutulması gereken sıcaklık olarak ifade edilir. Bir başka ifadeyle, sıvı suya göre doyma karışma oranının, gerçek karışma oranına eşit olduğu sıcaklıktır. Doymuş havanın basıncı, havada bulunan su buharı basıncı ile aynıdır [67]. Çiy noktası sıcaklığı, atmosfer sıcaklığı ve bağıl nem değerleri kullanılarak hesaplanabilmektedir. Çiy noktası ve hava sıcaklığı bilgileri, havanın ne kadar doymuş olduğuyla ilgili bilgi verir. Çiy noktası hava sıcaklığına yaklaştıkça hava da doymaya yaklaşır, eşit olduğunda ise hava doymuş demektir [78]. Yeryüzeyinde basınç genellikle konum ve zamana bağlı olarak küçük miktarlarda değişir. Bu nedenle, çiy noktası atmosferdeki nem içeriğinin iyi bir göstergesidir. Ayrıca, sıcak ve nemli bir havada konfor koşullarını düzenlenmesinde iyi bir göstergedir. Örneğin, çiy noktası sıcaklığı 20°C'nin üzerine çıktığında çoğu kişi rahatsız hissetmeye başlar ve yaklaşık 22°C'nin üzerinde bir çiy noktası olan hava genellikle aşırı nemli olarak kabul edilir. Çiy noktasının aksine, bağıl nem, içerdiği nem miktarına göre havanın sıcaklığı ile oldukça değişkenlik gösterir. Güneşli bir günde bağıl nem, hava sıcaklığındaki artış nedeniyle sabahtan öğle sonrasına doğru %50'ye kadar düşebilir. Ayrıca bağıl nem, konfor koşulları için bir gösterge olarak kullanılamamaktadır. Örneğin, %70'lik bir bağıl nem 20°C'lik bir sıcaklıkta oldukça rahat hissettirebilir, ancak aynı bağıl nem değeri 30°C'lik bir sıcaklıkta çoğu kişide önemli rahatsızlıklara neden olmaktadır [79]. Bu değer, bulunulan ortamdaki termal konfor koşullarının oluşturulması, ihtiyaca yönelik ortama nem sağlanması ya da nemden arındırılması gibi tasarım uygulamalarında kullanılmaktadır [80].

2.2.6.3 Bulutluluk

Gün ışığı hesaplamaları için gökyüzü bulut örtüsünün etkisi önemlidir. Bulutlar güneş ışımasını güçlü bir şekilde zayıflatırlar. Sonuç olarak, su damlacıkları tarafından uzaklaştırılan enerjinin neredeyse tamamı saçılmış durumda bulunur. Bulut örtüsünden kaynaklanan saçılma, güneş radyasyonunun aldığı mesafeyi arttırır. Bu nedenle, bulutlu bir atmosferdeki toplam aydınlık düzeyi, açık gökyüzü koşullarına göre daha fazla olacaktır [33].

Bulut kapalılığı ifadesi gökyüzü açıklık miktarını etkilerken, bulutların kalınlık ve opaklık dereceleri ise gökyüzünün parlaklık değeri hakkında fikir vermektedir. Örneğin kalın bulutlar daha opak oldukları için güneş ışınlamını daha az geçirirler ve ışınlamın atmosferde daha çok saçılmasına sebep olurlar.

2.2.6.4 Yağışa geçebilir subuharı miktarı

Yağışa geçebilir subuharı miktarı, yeryüzünden atmosferin tepesine kadar uzanan birim alanlı dik bir atmosfer sütununda yoğunlaşan suyun yüksekliği olarak tanımlanmaktadır [81]. Atmosferdeki yağışa geçebilir subuharı miktarı, iklim değişikliği ile birlikte global ortalama deniz yüzeyi sıcaklığı ile artması beklenen önemli bir iklim parametresidir [82]. Yağışa geçebilir subuharı miktarı, W , Denklem 2.13'te verildiği gibi hesaplanmaktadır [1]:

$$W = \exp(0.07T_d - 0.075) \quad (2.13)$$

Burada, T_d , çiy noktası sıcaklığını ($^{\circ}C$) temsil etmektedir.

2.2.6.5 Linke bulanıklık faktörü

Bulanıklık (türbidite), iklim modellemesi ve iklim değişikliğinde önemli yere sahip atmosferdeki su buharı ve aerosol miktarının bir ölçüsüdür. Aerosol ve su buharı birbirleriyle ilişkilidir, çünkü aerosoller, su buharından su damlacıklarının oluşumunda yoğunlaşma çekirdekleri olarak görev yaparlar. Bulutların yanında, aerosoller ve su buharı, atmosferde ışınlamın geçişini etkilemektedir. Genel olarak Angström bulanıklık katsayısı [83] veya Linke bulanıklık faktörü tarafından temsil edilen atmosferik bulanıklık, su buharı tarafından olan absorpsiyon ve aerosoller tarafından gerçekleşen saçılmanın bir fonksiyonudur. Ayrıca, açık ve kuru atmosferin optik kalınlığına da bağlıdır ve bu da bağıl optik hava kütlesiyle değişim gösterir. Açık gökyüzü koşullarında, Linke bulanıklık faktörü büyüdükçe atmosferden geçen ışınlam daha çok zayıflar. Bu yönüyle yere ulaşan radyasyonun bir göstergesi olduğundan, özellikle güneş ışınlamı ve gün ışığı aydınlık düzeyi tahmininde yararlıdır [33, 84]. Chaabane yöntemine göre Linke bulanıklık faktörü, T_L , Denklem 2.14'te verildiği gibi hesaplanır [84].

$$T_L = (0.9 + 9.4 \sin \alpha) \ln(G_{SC}/I_n) \quad (2.14)$$

Burada, I_n , direkt ışıının normal bileşenini (W/m^2) temsil etmektedir.

2.3 Radyometrik ve Fotometrik Büyüklükler Arasındaki İlişki

1979 yılında Conference Generale des Poids et Mesures konferansında kabul edilen kandela tanımı "belli bir yönde ışıının şiddeti $1/683 \text{ Wsr}^{-1}$ olan bir ışık kaynağının, $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ frekanslı aynı yöndeki ışık şiddeti" olarak kabul edilmiştir. Bu tanımdan yola çıkarak, radyometrik ve fotometrik büyüklükler arasında bir bağlantı kurmak mümkündür. Çizelge 2.2’de her iki bilimde yaygın kullanılan büyüklükler karşılaştırılmıştır. Buna göre, ışıının akısı kavramının temel birimi watt, buna karşılık gelen fotometrik büyüklük ise ışık akısı ve birimi kandela (cd) dır. Diğer birimler bu büyüklüklerden elde edilmektedir [85].

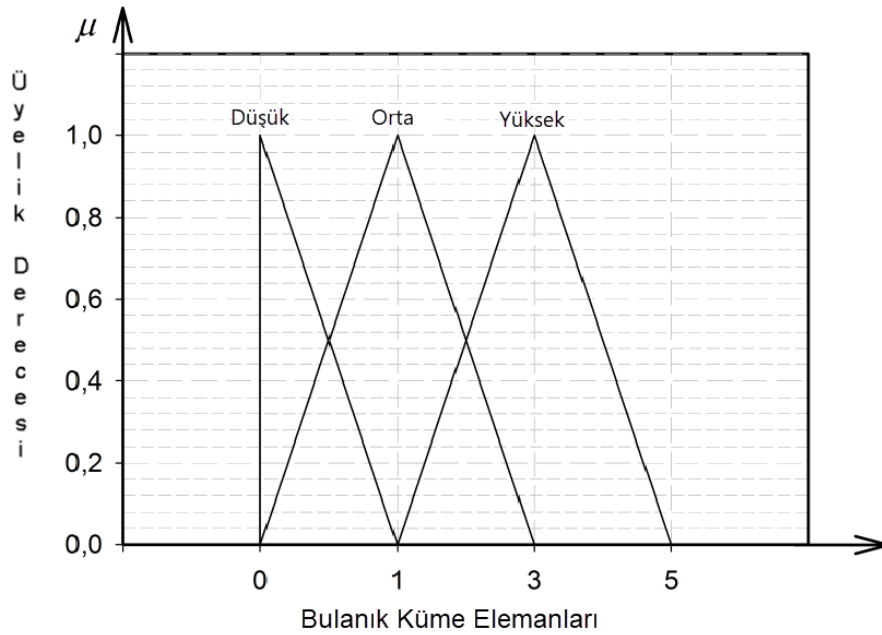
Çizelge 2.2 : Radyometrik ve fotometrik büyüklükler [85].

Radyometrik		Fotometrik	
Büyüklük	Birim	Büyüklük	Birim
İşınım Enerjisi	J	İşık Enerjisi	lm.s
İşınım Akısı	W	İşık Akısı	lm
İşınım Şiddeti	Wsr^{-1}	İşık Şiddeti	cd
İşınım Düzeyi (iradyans)	Wm^{-2}	Aydınlık Düzeyi	lux (lm.m^{-2})
Parlaklık (radyans, ışııma)	$\text{Wsr}^{-1}\text{m}^{-2}$	Parıltı	cd.m^{-2}

3. ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS)

3.1 Bulanık Mantık Kavramı

Son yıllarda bütünleşik optimizasyon problemlerinde daha iyi sonuçlar elde etmek için deterministik olmayan sezgisel yöntemlerin türetilmesinde doğa ve sosyal sistemler ile bazı benzetmelerden yararlanan bir alan olan Doğadan Esinlenerek Keşif (Nature-Inspired Heuristics), önemli ve umut verici araştırma alanlarından biri konumuna gelmiştir. Bulanık mantık yaklaşımı da bu tür bir yöntemdir [86]. Elemanların üyeliğinin ikili terimlerle değerlendirildiği (bir eleman kümeye aittir ya da ait değildir) klasik kümeler kuramının aksine bulanık kümeler, elemanların üyeliğinin dereceleri olan kümelerdir. Bulanık küme teorisi, bir kümedeki elemanların üyeliğinin $[0,1]$ aralığında bir üyelik fonksiyonu yardımı ile kademeli olarak değerlendirilmesine izin verir. Şekil 3.1'de verilen örnekte görüldüğü gibi 2 elemanı, hem "orta" hem de "yüksek" kümelerinde üyelik derecelerine sahiptir [87].



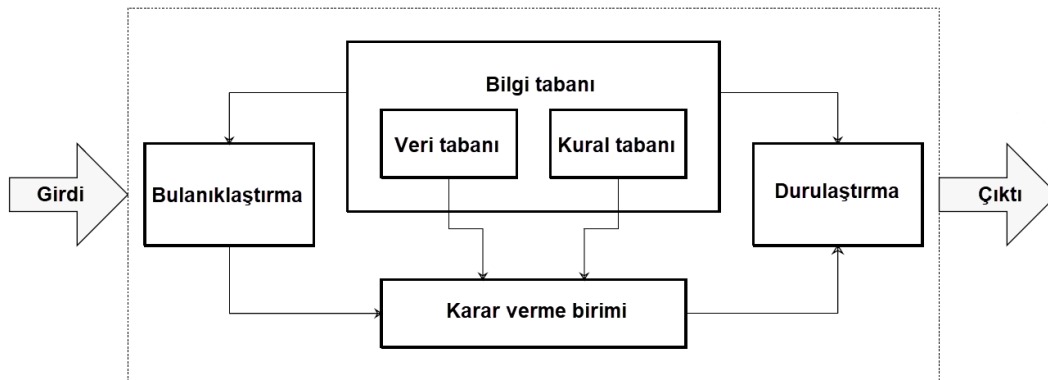
Şekil 3.1 : Örnek bulanık üyelik fonksiyonu [87].

3.2 Bulanık Çıkarım Sistemleri

Bulanık çıkarım sistemleri (Fuzzy Inference Systems, FIS), uzmanın tecrübe ve bilgi birikimleri ile sözel verilerin modele katılmasını sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler, herhangi bir sayısal işlem kullanmadan insan bilgisinin niteliksel yönlerini modelleyebilir. Model değişkenleri bulanık alt kümeler ile ifade edilirler ve söz konusu çıkarımlar için bulanık küme işlemleri yapılır [88, 89].

Bir bulanık çıkarım sistemi temel olarak Şekil 3.2’de verildiği gibi kural tabanı (bulanık kurallar topluluğu), veri tabanı (bulanık kurallarda kullanılan üyelik fonksiyonları) ve düşünme mekanizmasından (kurallara göre çıkarım prosedürü) oluşur. Kural tabanı ve veri tabanı birlikte bilgi tabanını oluşturur. Bulanık çıkarım sistemleri tarafından gerçekleştirilen bulanık düşünme adımları şunlardır [90]:

- Her bir dilsel değerin üyelik derecesini elde etmek için öncül kısımda giriş değişkenleri üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılır. (Bu adım genellikle bulanıklaştırma olarak adlandırılır).
- Her bir kuralın öncül kısımlarına bulanık işlemlerin uygulanması sonucunda bulanık değer olarak çıktılar elde edilir.
- Her bir kuralın nitelikli sonucu, bir bulanık kümede birleştirilir.
- Duru bir çıktı üretmek için yeterli sonuçlar bir araya getirilir. (Bu adım, durulaştırma (berraklaştırma) olarak adlandırılır.)



Şekil 3.2 : Bulanık çıkarım sistemi [90].

Bulanık çıkarım sistemleri “eğer-ise” adı verilen bulanık kurallara dayanan çeşitli kompleks ve doğrusal olmayan sistemleri modellemek için kullanılmaktadır.

Temel olarak bir bulanık eğer-ise kuralı Denklem 3.1’de verilen formdadır [90].

$$\text{EĞER } x \text{ A İSE } y \text{ B dir} \quad (3.1)$$

Burada, x ve y sırasıyla girdi ve çıktı değişkenlerini, A ve B ise ait oldukları bulanık kümelerin dilsel değerlerini temsil etmektedir.

Günlük yaşamda bulanık eğer-ise kuralları oldukça yaygın olarak kullanılır. Literatürde, Mamdani ve Takagi-Sugeno (TS) gibi bulanık kural tabanlı sistemler için geliştirilmiş çeşitli çıkarım teknikleri vardır. Mamdani bulanık çıkarım metodolojisinde, Denklem 3.2’de verildiği gibi, girdiler ve çıktılar belirli kural tabanlı formdaki bulanık ilişkisel denklemlerle temsil edilir. TS sistemine göre, Denklem 3.3’te verildiği gibi, çıktı değişkeni girdi değişkenlerinin lineer ya da sabit bir fonksiyonudur [89,91].

$$\text{EĞER basınç yüksek İSE hacim düşüktür.} \quad (3.2)$$

$$\text{EĞER hız yüksek İSE kuvvet} = k \times (\text{hız})^2 \quad (3.3)$$

Bulanık mantık kuralında öncül kısım birden fazla koşul içerebilir. Bu durumda koşullar arasındaki bağlantılar "ve, veya, değil" operatörleri ile sağlanır. Örneğin, 2 girdili değişkene sahip bir sistem için bulanık kural yapısı Denklem 3.4’te verilmiştir [90].

$$\text{EĞER } x \text{ A}_1 \text{ VE } y \text{ B}_1 \text{ İSE } f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1 \quad (3.4)$$

Mamdani sistemi süreçleri kontrol etme amacına daha uygundur. TS sistemi ise hesaplama açısından kolaylık sağlar, çünkü durulaştırma işlemine gerek kalmadan direkt olarak sayısal çıktı üretir. Bu sebeple, TS sistemi veri modellemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. ANFIS yönteminin uygulanmasında da TS sistemi, literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır [92].

3.3 Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA) biyolojik sinir sistemlerinin özelliklerine benzer şekilde, bilginin işlenmesi için geliştirilmiş sistemlerdir. İnsan beyninin çalışma sistemini referans olarak klasik yöntemlerle çözülemeyen problemleri çözmeye çalışır [93].

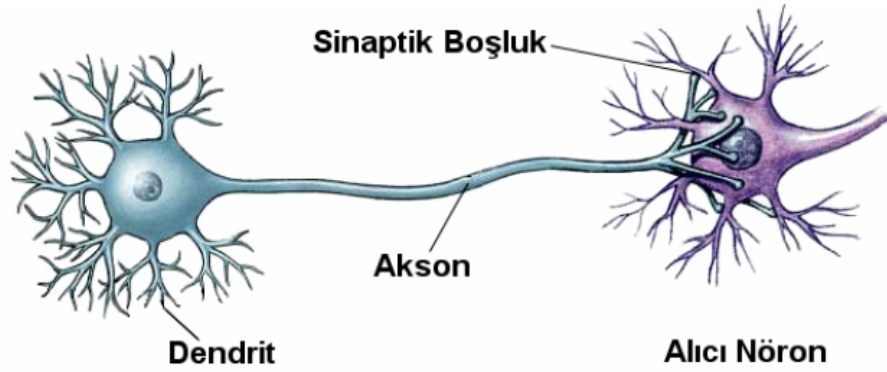
Karmaşık modeller geliştirme becerisi sayesinde bilim adamları tarafından yaygın bir şekilde benimsenmekte ve özellikle meteoroloji ve klimatoloji alanında çeşitli görevleri çözmek için kullanılmaktadır [94,95].

Yapay sinir ağları, meteorolojik ve klimatolojik analiz ve öngörü konularının yanında üretim planlama, kan analizlerinin sınıflandırılması, beyin modellemesi çalışmaları, kalite kontrol, parmak izi tanıma, otomatik araçların denetimi, kredi kartı hilelerini saptama, akıllı araçlar ve robotlar için optimum rota belirleme, mekanik parçaların ömürlerinin tahmin edilmesi, ses tanıma, denetim, elektrik işareti tanıma, el yazısı tanıma, hastalıkların tanımlanması ve tedavisi, radar ve sonar sinyalleri sınıflandırma, spam maillerin filtrelenmesi, vb. gibi tıptan ulaştırmaya, ekonomiden iletişime pek çok alanda kullanılmaktadır [96].

Yapay sinir ağları nadiren birkaç yüz veya birkaç binden fazla işlemci elemanına sahipken, insan beyinde yaklaşık 100 milyar nöron (sinir hücresi) bulunur. Bu yüzden yapay ağlar, insan beyni kapasitesinden hala uzaktır. İnsan beyni çok daha karmaşıktır ve ne yazık ki, mental fonksiyonlarının çoğu hala tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Ancak milyarlarca sinir hücresinin, beyin fonksiyonlarında önemli oranda rol oynadıkları bilinmektedir [97].

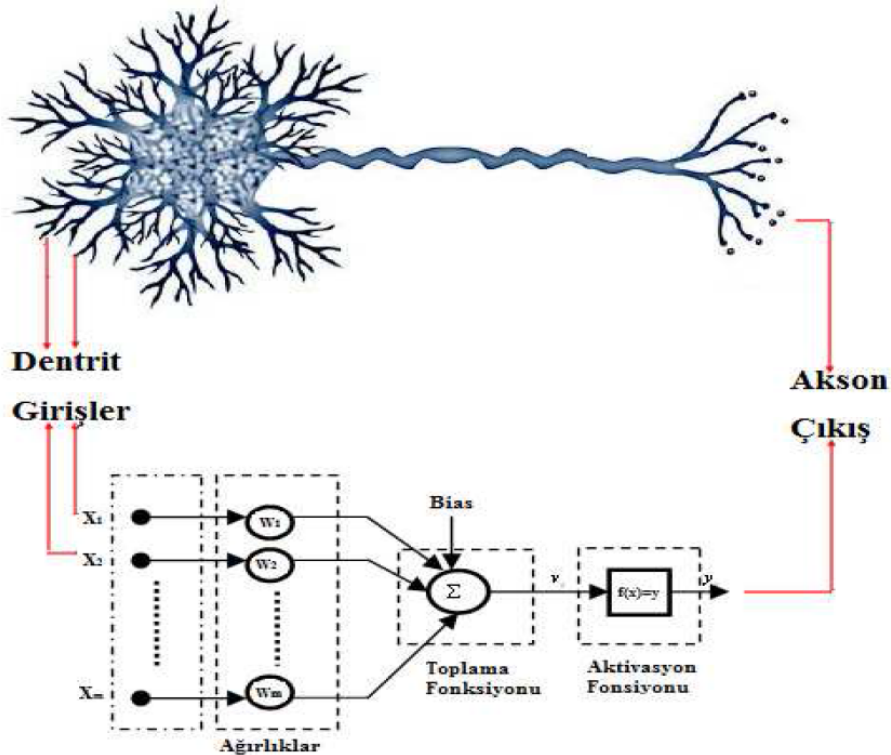
Yapay sinir ağlarının genel yapısı

İnsan beyinde birbirine bağlı olarak bulunan nöronlar, insan duyusunun işlenmesini gerçekleştirecek bir araç olarak görev yapar. Bir sinir ağı milyarlarca sinir hücresinden oluşur. Bir sinir hücresi ise Şekil 3.3'te verildiği gibi, dendritler, sinapslar, akson ve hücre zarı tarafından kaplanan bir hücre gövdesinden oluşur. Her bir hücrenin dendrit adı verilen dalları vardır. Dendritler, bilginin akson yoluyla vücut hücrelerine iletilmesinde rol oynar. Akson, sinyali hücre gövdesinden nörona taşıyan uzun bir yapıdır. Dendritler ve aksonlar arasındaki küçük bir alanda bulunan, nöronlar arasındaki buluşma noktası bir sinaps olarak bilinir. Girilen herhangi bir bilgi, elektrik sinyalleri şeklinde kodlanır ve kodlanan sinyaller sinapslar ile nöronlar arasında iletilir. Benzer yapıdaki bir sinir hücresinden çıkan bilgi bir sonraki sinir hücresinde girdi bilgisini oluşturur. Bu iletimin sinapslarla düzenlenmesi ile birlikte öğrenme işlemi gerçekleşmiş olur [95].



Şekil 3.3 : Biyolojik sinir hücresi [98].

McCulloch ve Pitt, biyolojik nöronlarda meydana gelen sürece benzer şekilde, bilginin alınması ve iletimi özelliklerine sahip bir nöron modeli önermişlerdir [99]. Bahsedilen model, YSA modellerinin geliştirilmesinde bir referans haline gelmiştir. Bir nöron, ağırlık işlevini ve çalışmasını belirlemede rol oynamaktadır. Biyolojik sinir hücresinde bulunan nöron, dendrit, hücre gövdesi, akson ve sinapsların yerini yapay sinir hücresinde sırasıyla, işlemci elemanı, girdi, transfer fonksiyonu, yapay nöron çıkışı ve ağırlıklar alır. Ağırlık değerleri, yapay sinir ağlarını birbirine bağlayan bağlantıların değerleridir. Ağırlık eğitimi, ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemi ile gerçekleşir. Biyolojik bir sinir hücresi ve yapay bir sinir hücresinin matematiksel modeli Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



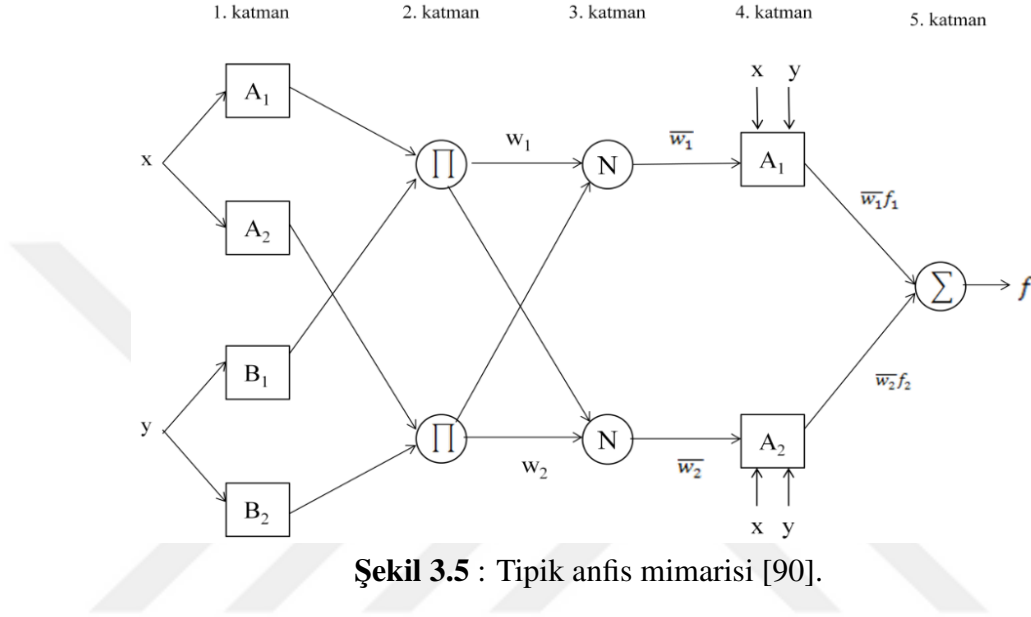
Şekil 3.4 : Biyolojik ve yapay sinir hücrelerinin karşılaştırılması [100].

YSA mimarisi üç farklı katmandan oluşur. İlk katman girdi katmanıdır. Bu katman, diğer bir hücreden veya hücrenin kendisinden gelen veri veya girdi alıcısı olarak davranır. Gelen veriler daha sonra bir sonraki katmana gönderilir. Bu tabakada, nöronların sayısı birden fazla olabilir. Nöronların sayısını belirlemek için herhangi bir bağlayıcı kural yoktur; nöron sayısı ağda kullanılacak giriş sayısına bağlıdır. Bir sonraki katman gizli (ara) katmandır. Bu katman, girdi katmanından veri veya elektrik sinyali alabilen nöronlar içerir. Bazı ağlarda birden fazla gizli katman bulunabilir. Bu katmanlara giren veri veya elektrik sinyali aritmetik, matematik vb. gibi fonksiyonlar kullanılarak işlenir. Bu katmanda işlenen veri sonuçları çıkış katmanına gönderilir. Çıkış katmanı, aktivasyon fonksiyonundaki mevcut limitlere göre analiz edilen verilerin geçerliliğini belirlemede rol oynar. Çıktı katmanına gelen veriler ağırlık değerleri kullanılarak çıktı değerine dönüştürülür ve dış dünyaya gönderilir. Bu tip bir model çok katmanlı algılayıcıdır. YSA mimarisi, yapılarına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak iki türe ayrılır. İleri beslemeli ağlarda, veri veya gelen sinyallerin sadece bir yönde hareket etmesine izin verilir. Her katmanın çıktısının önceki katmana herhangi bir etkisi yoktur. Bu durumda bir sinir hücresi, ürettiği çıktıyı girdi olarak kullanamaz. Geri beslemeli ağlar, ileri beslemeli sinir ağlarının mimarisine benzer bir tasarıma sahiptir. Ancak, önceki katmanlar arasında geri besleme döngüleri vardır. Bu durumda çıktılar, önceki nöronlara girdi olarak kullanılabilir [95, 101, 102]. Bunların yanında öğrenme stratejilerine göre de danışmanlı, danışmansız, takviyeli öğrenme gibi yapay ağ türleri de mevcuttur. Farklı problemlere yönelik farklı ağ modelleri geliştirilmiştir. Literatürde en fazla kullanılan ağlar tek ve çok katmanlı algılayıcılar, vektör kuantizasyon modelleri (LVQ), kendi kendini organize eden model (SOM), adaptif rezonans teorisi modelleri (ART), Hopfield ağları, Elman ağı, radyal tabanlı ağlar olarak bilinmektedir [103, 104].

3.4 ANFIS Mimarisi

Nöro-bulanık (sinirsel bulanık) sistemler, geleneksel bulanık mantık sistemlerinin temel elemanlarını ve fonksiyonlarını gerçekleştiren çok katmanlı adaptif ağlardır ve bulanık mantığın uzman bilgisi ile yapay sinir ağlarının paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyetini kullanırlar. TS modelleri, YSA ve Bulanık Mantık (BM) ilke ve kurallarının birlikte kullanılmasına olanak sağlar. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık

Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems- ANFIS), YSA ve bulanık mantığın birleşimidir ve her iki yöntemin avantajlarını birleştirir [105]. Modelin performansı, modeli oluşturan bulanık kurallar, kural tabanı ve sayısı, üyelik fonksiyonlarının şekli, sayısı ve kullanılan parametreler gibi pek çok bileşene bağlıdır [106]. Şekil 3.5'te iki girişli tipik bir anfis mimarisi gösterilmektedir. Anfis modelleri katmanlardan oluşur [90, 95, 107].



Şekil 3.5 : Tipik anfis mimarisi [90].

1. Katman (Bulanıklaştırma katmanı): Bu mimarinin ilk tabakası bulanık tabakadır. Bu katmanın her düğümü, bulanık kümenin üyelik derecesini oluşturur. Bu katmandaki her i düğümünün çıkışı, Denklem 3.5 ve 3.6'da verilen üyelik fonksiyonudur. Üyelik fonksiyonu Gauss, üçgen, yamuk üyelik fonksiyonu ya da başka bir tip üyelik fonksiyonu olabilir.

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2 \quad \text{veya} \quad (3.5)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3, 4 \quad (3.6)$$

Burada, μ_{A_i} ve $\mu_{B_{i-2}}$ sırasıyla A_i ve B_{i-2} bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonlarını temsil etmektedir.

2. Katman (Kural katmanı): Bu katmanda Π ile etiketlenmiş olan her düğüm, VE/VEYA operatörleri kullanılarak gelen sinyallerin çarpımı olan ürünü gönderir. Çıkış sinyali, ilgili kuralın gerçekleştirme derecesini gösterir. Gerçekleştirme derecesi aynı zamanda, bulanık kuralı "yerine getirme derecesi" veya "ateşleme kuvveti" olarak

adlandırılır ve kuralın önceden belirlenmiş olan kısmının ne ölçüde karşılandığını gösterir. Gerçekleme derecesi, ω_i , Denklem 3.7 yardımıyla hesaplanır.

$$O_{2,i} = \omega_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \quad (3.7)$$

3. Katman (Normalizasyon katmanı): Bu katmandaki her düğüm N ile etiketlenmiştir. i. düğüm, i. kuralın gerçekleme derecesinin tüm kuralların gerçekleme derecelerinin toplamına oranını Denklem 3.7'ye göre hesaplar. Bu katmanın çıkışları normalize edilmiş gerçekleme derecesi, $(\bar{\omega}_i)$, olarak isimlendirilir.

$$O_{3,i} = \bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\sum_i \omega_i} \quad (3.8)$$

4. Katman (Durulaştırma katmanı): Bu katmandaki her bir düğümde verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanır. Hesaplanan değerler durulaştırma işlemi ile bulanık değerden kesin değere dönüştürülür. Bu katmandaki parametreler (p, q, r) , sonuç parametreleri olarak adlandırılır. Düğüm çıkışı, Denklem 3.9 ile verilen çıkış üyelik fonksiyonudur.

$$O_{4,i} = \bar{\omega}_i f_i = \bar{\omega}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (3.9)$$

5. Katman (Toplam katmanı): Bu katmandaki tek düğüm Σ ile etiketlenmiştir. Denklem 3.10 ifadesi yardımıyla, gelen tüm sinyalleri toplayarak toplam çıkışı hesaplanır. Beşinci katman sonucunda anfis modeli çıktı değeri elde edilir [90,95,107].

$$O_{5,i} = \sum \bar{\omega}_i f_i = \frac{\sum \omega_i f_i}{\sum \omega_i} \quad (3.10)$$

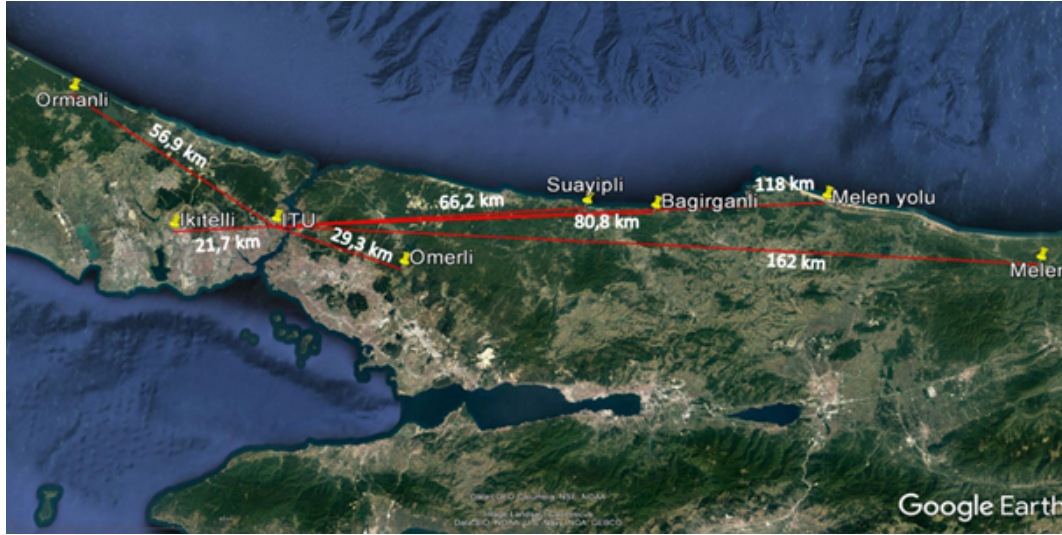
4. ÇALIŞMA ALANI, KURULAN SİSTEM VE VERİ

4.1 Çalışma Alanı

Gün ışığının sayısal ve karakteristik özellikleri, çalışılan bölgenin yüksekliği, atmosferin bulanıklılığı, zaman gibi bazı coğrafi ve meteorolojik parametrelere bağlıdır. Bu sebeple, gün ışığının temel alındığı tasarımlarda, bulunulan bölgenin iklimsel karakteristiğinin belirlenmesi önemlidir [108].

İstanbul dünyanın en büyük metropoliten alanlarından biridir ve Türkiye'nin kuzeybatı kesiminde yer almaktadır. Çalışma alanı Boğaz bölgesine yakın olmakla birlikte bu sayede, kara ve deniz iklimleri buralarda etkileşime girmektedir. Yaz aylarında ılıman Akdeniz iklimi mevcuttur. Çalışma alanı yılın yaklaşık 4-5 ayı boyunca kuru hava şartları ve sıcak dönemler yaşar. Sibiry'a ve Balkan Yarımadası'ndan gelen yüksek basınç sistemleri ve İzlanda'dan gelen alçak basınç sistemleri, kış aylarında çalışma alanına egemendir. Bu nedenle, kışın genellikle kuzey-doğu ya da güneyden esen rüzgarlar bölgeye büyük miktarda yağmur ve kar getirmektedir [109].

Bu tezde, çalışma alanı olarak İstanbul ve çevresi seçilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) meteoroloji gözlem parkı referans istasyon olarak alınmış ve ilave olarak yedi farklı istasyonun ölçüm verileri kullanılmıştır. Bu noktalar İstanbul içinde ve çevresinde dağılmış olup farklı topoğrafyaları temsil etmektedir. Ölçüm istasyonlarının konumları ve İTÜ referans istasyonundan diğer ölçüm istasyonlarına olan mesafeler Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Ayrıca Çizelge 4.1'de tüm istasyonlar için koordinat bilgileri belirtilmektedir.



Şekil 4.1 : İstanbul ve çevresi çalışma alanı (Kaynak: Google Earth).

Çizelge 4.1 : İstasyonların koordinatları.

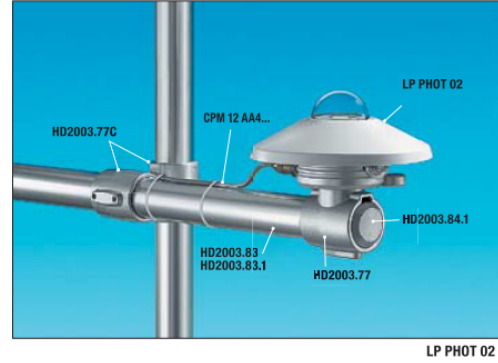
İstasyon adı	Enlem (°N)	Boylam (°E)
İTÜ	41.099771	29.024841
İkitelli	41.086907	28.766637
Ormanlı	41.388134	28.463922
Ömerli	41.010516	29.352549
Şuayipli	41.140276	29.811724
Bağırçanlı	41.129747	29.352549
Melen yolu	41.149750	30.423950
Melen	41.015448	30.951621

4.2 Ölçüm Sistemi ve Özellikleri

Çalışma kapsamında İTÜ meteoroloji gözlem parkına bir adet Delta Ohm marka LP-PHOT 02 model dış ortam aydınlık düzeyi ölçüm sensörü kurulmuştur (Şekil 4.2). LP PHOT 02 içerisindeki LP PHOT 02AC ve LP PHOT 02AV problemleri yüzeyden geçen ışık akısı (lümen) oranını belirleyerek aydınlık düzeyini lux cinsinden ölçmektedir. LP PHOT 02, uzun süreli dış ortam kurulumu için tasarlanmış ve üretilmiştir. Harici kullanım için fotometrik ölçüm, klimatolojik ve meteorolojik uygulamalarda gün ışığı aydınlık düzeyinin ölçümü için kullanılır [110].



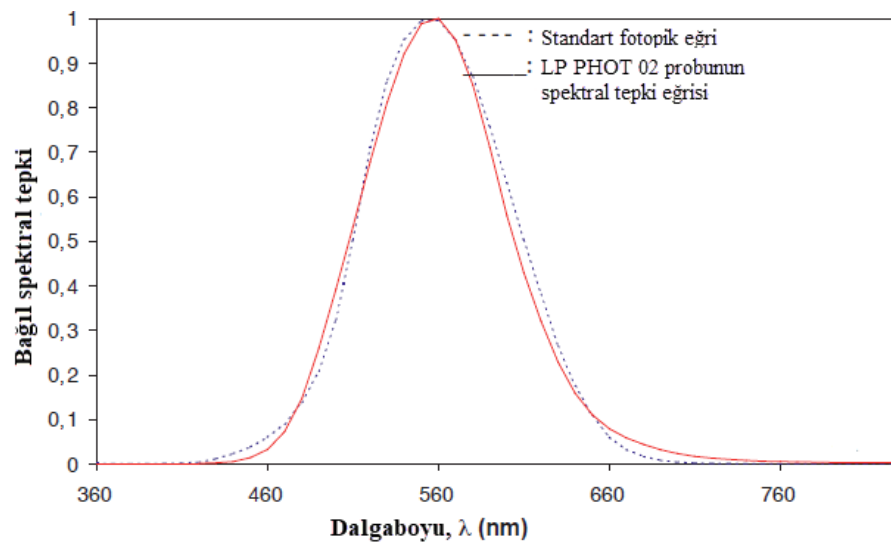
(a) Ölçüm sensörü



(b) Ölçüm sensörü yardımcı elemanları

Şekil 4.2 : Aydınlık düzeyi ölçüm sensörü [110].

Bir fotometrik probun spektral tepki eğrisi, standart fotopik eğri olarak bilinen insan gözü ile uyumlu olmalıdır. Aydınlik değerlerinin doğru ve yeterli bir şekilde ölçülmesi için kosinüs-düzeltemeli ve renk-düzeltemeli ışıık ölçerler kullanılmalıdır. Kosinüs-düzeltemeli ışıık ölçer, farklı açılardan gelen ışıık düzleme 90 derecelik açıyla düşüyormuş gibi hesaplayarak ölçüm yapar. Renk-düzeltemeli ışıık ölçer ise insan gözüne uyum sağlayacak hassasiyeti sağlar. LP PHOT 02 probu, insan gözünün tepkisine uyması için filtreler tarafından düzeltilen bir spektral tepkiye sahip katı hal sensörü çalışma prensibine dayanmaktadır. Şekil 4.3'te insan gözüne ait standart fotopik eğri ile kurulan lüksmetrenin spektral duyarlığını gösteren eğri arasındaki uyum görülmektedir. LP PHOT 02 ve standart fotopik eğri arasındaki spektral tepki farkı f'1 hatası ile hesaplanır [110]. Kurulan sensörün teknik özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.3 : Standart fotopik ve aydınlık düzeyi ölçüm sensörüne ait tipik spektral tepki eğrileri [110].

Çizelge 4.2 : LP PHOT 02 -Teknik Özellikler [110].

Tipik Hassasiyet	$0.5 \div 2.0 \text{ mV/klux}$
Tepkime Süresi	$< 0.5 \text{ s}(95\%)$
Empedans	$0.5 \div 1 \text{ k}\Omega$
Ölçüm Aralığı	$0 - 150 \text{ klux}$
İzleme Açısı	$2\pi \text{ sr}$
Spektral aralık	Standart fotopik eğri
Çalışma Sıcaklığı	$-40^{\circ}\text{C} \dots + 80^{\circ}\text{C}$
Kosinüs faktörü/yön sapması	$< (8\%)(0^{\circ} \text{ ve } 80^{\circ} \text{ arasında})$
Uzun dönem kararsızlığı(1 yıl)	$< \pm 3 \%$
Sıcaklık tepkisi	$< 0.1\%/^{\circ}\text{C}$
Ağırlık	0.90 kg

Aydınlık düzeyi ölçümüne ek olarak, İTÜ meteoroloji gözlem parkına daha önceden kurulmuş olan 1 adet yatay piranometre ve 1 adet siperli piranometre ölçümlerde kullanılmış ve data logger aracılığı ile verilerin toplanması sağlanmıştır. Yapılan çalışmada yatay yüzeye gelen global güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi arasında bir ilişki kurulması ve bu ilişkinin kullanılması önerilmektedir. Ayrıca İstanbul geneline ait aydınlık haritalarının oluşturulması önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda İTÜ ve diğer noktalarda ölçülen global güneş ışıınımı verileri birlikte değerlendirilmiştir. İTÜ meteoroloji gözlem parkına kurulan ölçüm sistemi Şekil 4.4'te verilmektedir.

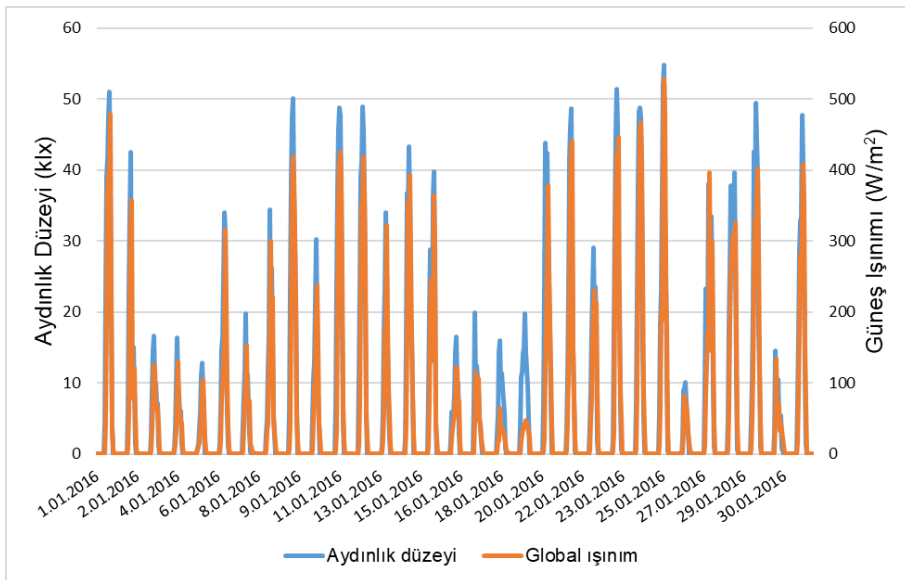


Şekil 4.4 : İTÜ meteoroloji gözlem parkına kurulan ölçüm sistemi.

4.3 Veri

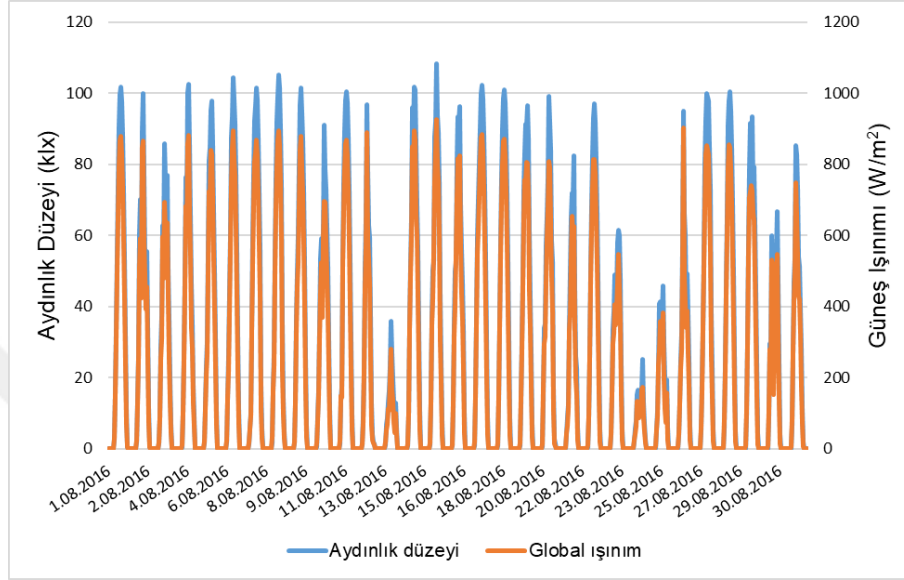
Yapılan tez çalışmasında 2015-2017 yıllarındaki veriler kullanılmıştır. İTÜ istasyonu referans istasyon olarak kabul edilmiş ve lüksmetreden 1-dakikalık aydınlık düzeyi verileri ile piranometreden saatlik güneş ışıınımı verileri toplanmıştır. Bunun yanında siperli piranometreden de saatlik difüz ışıınım ölçümleri alınmıştır. Model hesaplamaları için direkt ışıınım verileri gerekli olduğunda ise global ve difüz ışıınım ölçümleri kullanılarak, direkt ışıınım değerleri elde edilmiştir. Global ışıınım ölçümü dünyada ve ülkemizde yaygın olarak yapılmaktadır. Bu sayede güneş ışıınımı verisine ulaşmak genellikle oldukça kolaydır. Bu durumun tersine gün ışığı aydınlık düzeyi ölçümleri dünya genelinde birçok ülkede bir miktar artış gösterse de ülkemizde hala düzenli olarak ölçülmemektedir. Eğer çalışılan bölgeye ait gün ışığı ölçümleri yapılmıyorsa veya halihazırdaki verilerin test edilmesi amaçlanıyorsa çeşitli yaklaşımlar ile ortaya konmuş teorik yöntemler kullanılabilir [59].

Yapılan literatür araştırmasından elde edilen bulgulara göre güneş ışıınımlı ile aydınlık düzeyi arasında oldukça yüksek oranda bir bağlantı bulunabilmektedir. Bulunan ilişki sayesinde elde olmayan aydınlık düzeyleri bilgisine ulaşabilmek için halihazırda ölçümü yapılan güneş ışıınımlı verileri kullanılabilir. Literatürden elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda tez çalışması için aydınlık düzeyi ölçümünün yapılmasına ve güneş ışıınımlı ile literatürde bulunan bağlantılara benzer şekilde ilişki aranmasına karar verilmiştir. Örneğin yılın kış ve yaz dönemlerini temsil etmesi açısından Şekil 4.5 ve 4.6'da İTÜ'de yapılan Ocak ve Ağustos aylarına ait saatlik güneş ışıınımlı ve aydınlık düzeyi ölçüm değeri birarada verilmektedir. Meteorolojik anlamda her ne kadar yaz mevsimini temsil etmede genellikle Temmuz ayı kullanılsa da İTÜ dışındaki güneş ışıınımlı istasyonlarında Temmuz ayı ölçüm verileri elde olmadığından tüm istasyonlar arasında eş zamanlı konfigürasyon ve değerlendirme sağlaması için tez içerisindeki değerlendirmelerde yaz mevsimini temsilen Ağustos ayı kullanılmıştır. Tüm veri noktaları için istasyon bazında oluşturulan ölçüm grafikleri ise eklerde verilmiştir. Yapılan ölçümlere göre, güneş ışıınımlının periyodik değişimiyle oldukça uyumlu olarak değişen aydınlık düzeyi arasındaki ilişki her iki ayda da net olarak görülmektedir. Ocak ayı içerisinde maksimum güneş ışıınımlı değeri ayın 25'inde ve yaklaşık olarak 530 W/m^2 olarak gözlenirken, aydınlık düzeyi maksimum değeri de aynı gün ve yaklaşık 54 klux olarak ölçülmüştür. Kış ayı ve bulutluluğun yüksek olmasının da etkisiyle ayın neredeyse üçte birinde 120 W/m^2 'den düşük güneş ışıınımlı ve 20 klux'ten düşük aydınlık düzeyi değeri gözlenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Ocak ayı global güneş ışıınımlı ve aydınlık düzeyi değişimi.

Yaz ayı olan Ağustos'ta ise Ocak ayına göre değerler neredeyse iki katına çıkmış ve ayın sadece 24'ünde en düşük güneş ışınlımı ve aydınlık düzeyi sırasıyla yaklaşık 180 W/m^2 ve 25 klux olarak ölçülmüştür. Ağustos ayı genelinde yüksek ölçümler gözlenmekle birlikte, bu değerler bir anlamda yıl içerisindeki maksimumları temsil etmektedir (Şekil 4.6).

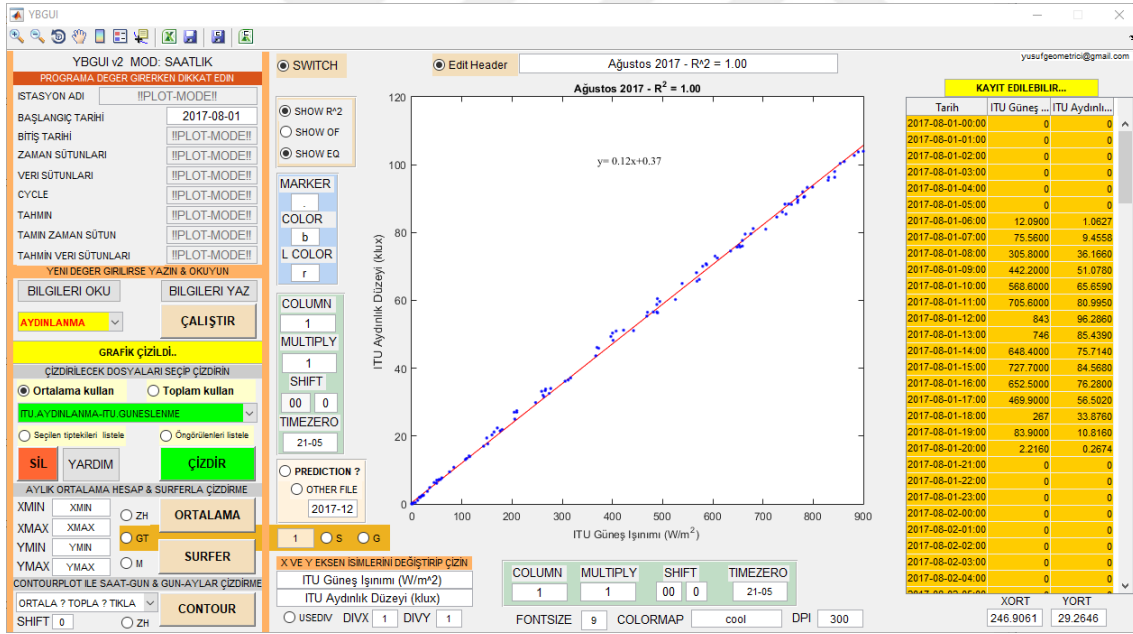


Şekil 4.6 : Ağustos ayı global güneş ışınlımı ve aydınlık düzeyi değişimi.

İTÜ'ye ek olarak, İstanbul ve çevresinde bulunan İSKİ Genel Müdürlüğüne ait 7 istasyonda 10 dakikalık güneş ışınlımı verileri toplanmıştır. Bunların arasında her bir istasyonun kurulum süreci farklı olduğundan veri başlangıç ve bitiş tarih aralıkları değişkenlik göstermektedir. Tüm istasyonlara ait verisi olan aylar ve ölçüm aralıkları Ek A'da detaylı olarak verilmiştir. Çalışmada seçilen her bir istasyon için ne kadar ölçüm verisi varsa onun üzerinden değerlendirmesi yapılmıştır. Böylece güvenilir veriye ulaşmak için kendi içerisinde değerlendirilen her bir istasyonda ölçüm bilgisinin maksimum düzeyde tutulması sağlanmıştır. İstasyonların birbirleri arasındaki ilişkilendirmelerde ise ortak zaman verisi kullanılmıştır.

Ölçüm alınan istasyonlardaki hava koşulları, elektrik kayıpları, sensör üzerinde oluşan toz, kir, vs. etkiler nedeniyle kaydedilen verilerin hepsinin kullanılması mümkün olmadığından en temiz verinin kullanımı yoluna gidilmiştir. Örneğin, İTÜ meteoroloji parkının çevresinde bulunan aydınlatma direkleri sebebiyle bazı akşam saatlerinde piranometre ve lüksmetrede sıfırdan farklı değerlere rastlanmıştır. Ayrıca farklı istasyonlar için farklı zaman dilimleri (GMT(+2) veya GMT(+3)

kullanılmıştır. Bu ve benzeri hataları gidermek ve tezin bundan sonraki aşamalarını etkileyecek hesaplamaları maksimum hassasiyetle yapabilmek amacı ile öncelikle çok detaylı bir şekilde veri analizi yapılmıştır. Bunun için MATLAB programlama dilinden yararlanılarak bir kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur (Şekil 4.7). Oluşturulan arayüz, ilk adım olarak sadece ham verinin kullanılabilir veriye dönüştürülmesi ve elde edilen verilerin işlenmesi amaçlarına hizmet etse de, zamanla ihtiyaca yönelik farklı versiyonları geliştirilerek güneş ışınlımı ve aydınlık düzeyi haritalarının oluşturulması, daha sonraki adım olan Perez modelinin incelenmesi, modele yapılan katkılar sonucu oluşturulan yeni modellerdeki hata karşılaştırmalarına kadar önemli hesap adımları bu arayüz kullanılarak yapılmıştır. Oluşturulan arayüzün kapsamı genişletilerek, sadece bu tez için özel bir kullanım kısıtına sahip olmayıp, daha sonra yapılacak olan çalışmalarda herhangi bir türdeki verilerin işlenmesi ve istenen düzeyde istatistiksel hesaplamaların yapılması, görselleştirilmesi gibi çeşitli birtakım işlerde de kullanılabilecek düzeyde geliştirilmiş ve çok işlevsel hale getirilmiştir.



Şekil 4.7 : Oluşturulan grafik kullanıcı arayüzü.

5. YÖNTEM

Çalışılan problem beş aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama olarak, çalışmada kullanılacak parametrelerin ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sürecinden sonra, ölçülen parametrelerin kendi içinde ve birbirleri aralarında analizleri yapılmış ve ilişkiler kurulmuştur. Kurulan bağıntılardan faydalanılarak çalışılan bölge için aydınlık düzeyi haritaları oluşturulması işlemine geçilmiştir. Daha sonra ise, literatürde sıklıkla referans gösterilen Perez aydınlık düzeyi [1] modeli incelenmiştir. Son aşama olarak model üzerinde birtakım yöntemler uygulanarak farklı varyasyonlar oluşturulmuş ve modelde iyileştirmeler sağlanmıştır.

5.1 Aydınlık Düzeyi – Güneş Işınımı İlişkisinin Kurulması

Güneş ışıını günümüze kadar pek çok alana konu olmuş ve farklı amaçlara uygun olarak birçok model geliştirilmiştir. Buna karşın, ülkemizde aydınlık düzeyi ölçümü rutin olarak yapılmamaktadır. Bu sebeple aydınlık düzeyi bilgisine ulaşabilmek için, diğer bir meteorolojik değişken olan güneş ışıını verisi kullanılmıştır. Eğer güneş ışıını ile aydınlık düzeyi arasında bir ilişki kurulabilirse aydınlık düzeyleri hakkında bir bilgi elde edilebilecek ya da eksik veri tamamlanmasında kullanılabilecektir.

Tezin amacı doğrultusunda İTÜ meteoroloji istasyonunda kurulu bulunan piranometre-den ölçülen güneş ışıını verileri ile lüksmetreden ölçülen aydınlık düzeyi değerleri eş zamanlı olarak karşılaştırılmış ve her ay için aralarındaki ilişki incelenmiştir. Daha sonra İstanbul ve çevresinde İSKİ Genel Müdürlüğü'ne ait kurulu bulunan 7 adet güneş ışıını istasyonundan saatlik güneş ışıını verileri alınmıştır. İTÜ istasyonu referans kabul edilerek, aydınlık düzeyi verileri ile İstanbul ve çevresindeki 7 istasyonda ölçülen güneş ışıını verileri eş zamanlı olarak analiz edilmiştir. Yapılan analizle birlikte kurulan regresyon ilişkileri yorumlanarak güneş ışıını ve aydınlık düzeyi haritalarının oluşturulması işlemine temel sağlamıştır.

5.2 Haritalandırma

Global güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi alansal ve zamansal değişkenlerdir. Herhangi bir bölgede güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyinin belirlenmesinde coğrafi ve topoğrafik şartlar önem taşımaktadır. Birçok topoğrafik değişken enlem ve mikro-ölçekte vadi ve tepelerin bilgilerini içermektedir. Bu değişkenlere ek olarak, çarpık kentleşme yapıları ve şehirlerdeki hava kalitesinin yüzeye gelen güneş ışıınımı ve gün ışığı aydınlık düzeyi üzerine etkileri yadsınamayacak düzeydedir. Herhangi bir enlemde, gelen güneş ışıınımı ve gün ışığı aydınlık düzeyi şartları, bulunulan yerin yükseklik ve yerleşim koşullarına göre değişkenlik gösterir. Bu alansal değişkenlikler, güneş ışıınımının alansal tahmininde net olarak formüle edilmemektedir. Bu nedenle, bahsedilen tahminler, düzensiz ve plansız yapılaşma gibi şehirlerin kompleks yapısını içermemektedir. Güneş ışıınımının alansal modellenmesinde kullanılan hemen hemen bütün interpolasyon metodları mesafe konseptine dayanır. Alansal değişkenlik, fiziğin bir parçası olarak kullanılan bölgeye uygun duruma getirilmiş faktörlerin karakteristiğidir [111]. İncelenen olgunun alansal değişimi, güneş ışıınımı ile ilgili mühendislikler, tarım, uzaktan algılama ve diğer yer ve gök bilimleri gibi pek çok uygulamada büyük önem taşımaktadır [112]. Bölgeye uygun duruma getirilen değişkenler rastgele dağılmış bir dizi istasyonda sabit zaman aralığında (saat, gün, ay, vb.) ölçülmektedir. Bu türde saçılmış veriye hitap eden birkaç yöntem vardır. Alansal tahminlerde çeşitli zorluklarla karşılaşılabilir. Bu zorluklar, hem güneş ışıınımının lokal olarak rastgele davranışından hem de ölçüm alanlarının düzensiz konfigürasyonundan kaynaklanmaktadır [113].

Sahada yapılan birçok ölçüm göz önünde bulundurulduğunda, bir bölgenin güneş ışıınımı haritası, semivaryogramlar ve Kriging gibi basit jeostatistiksel algoritmalar aracılığıyla üretilebilir [114]. Semivaryogramlar Kriging prosedürlerinin temelidir. Çünkü çalışılan olgunun alansal korelasyon yapısını temsil etmektedirler [115–117]. Kriging yaklaşımı, vadiler, tepeler, pürüzlülük vb. gibi topoğrafik koşullar hakkında dolaylı olarak bilgi veren semivaryogram modeline dayanmaktadır. Diğer bir deyişle, semivaryogram, semivaryans ve mesafe arasındaki ilişkiyi belirtmek için kullanılan alansal bir modeldir. Bu model, referans bölge ve diğer bölge değerleri arasındaki kare farkları kullanır ve homojen bir alansal dağılımı temsil eder [113]. Alansal interpolasyon yöntemleri ve güneş ışıınımı tahminleri Şen [112] tarafından kapsamlı

bir şekilde araştırılmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi, global güneş ışıınımı ve gün ışığı aydınlık düzeyi, diğer meteorolojik değişkenler gibi alansal ve zamansal değişim özelliklerine sahiptir. Bu değişkenler, ölçüm istasyonlarının birbirleri arasındaki mesafeleri, güneşin konumu ve çevresel koşullara bağlıdır.

Referans istasyon ile diğer noktalar arasında bulunan bağlantılar yorumlanarak referans istasyon dışındaki istasyonlar için aydınlık düzeyi kestirimi yapılmıştır. Her bir istasyon için aydınlık düzeyi değerleri, verisi bulunan aylar için kestirimi yapılarak harita oluşturulması işlemine geçilmiştir. Şekil 4.1’de gösterilen ölçüm noktalarının birbirine uzaklığı göz önüne alınarak alansal interpolasyon yapılmıştır. İnterpolasyonda semivaryogram modeline dayalı Kriging yaklaşımı kullanılmıştır.

5.3 Perez Modeli

Aydınlık düzeyini belirlemede kullanılan bu modelde kısa zaman aralıklı (saatlik veya daha az) global ve direkt ışıınım verileri kullanılmıştır. Bu kısım spektral etkileri içermekte olup ayrıca 3 saatlik çiy noktası sıcaklığı değerleri kullanılmaktadır. Bu doğrultuda ışıınım ve sıcaklık değerlerinden aydınlık etkinliği modeli ile aydınlık düzeyi sonuçlarına ulaşılabilir. Modelde, aydınlık düzeyi değerlerini hesaplamak için gökyüzü koşulları sekiz farklı kümeye bölünmüştür. Her bir gökyüzü durumu için farklı katsayılar kullanılmıştır. Girdiler, bütün gökyüzü şartlarını (en kapalıdan-en açık gökyüzüne) parametrik olarak ifade eden dört temel bileşen olan; zenit açısı, gökyüzü açıklığı, gökyüzü parlaklığı ve yağışa geçebilir subuharı miktarını türetmede kullanılmaktadır [1].

Verilen bir zamanda, yer yüzeyindeki gözleyicinin gök küresindeki uzantısı, zenit olarak tanımlanır. Zenit açısı, lokal zenit ile güneş-dünyayı birleştiren doğru arasındaki açıdır. Güneşin zenit açısı, Z , Denklem 5.1’de verildiği gibi hesaplanmaktadır [118]:

$$Z = \cos\omega\cos\varphi\cos\delta + \sin\varphi\sin\delta \quad (5.1)$$

Burada ω , φ ve δ sırasıyla saat, enlem ve deklinasyon açılarını temsil etmektedir. Saat açısı olarak tanımlanan günün zamanı, incelenen bölgenin boylamı ile güneş ışıınlarını dünya merkezine birleştiren doğru arasındaki açıdır. Saat açısı genellikle

güneş öğlesinden (güneşin gökyüzünde en yüksekte bulunduğu zaman) itibaren sayılır ve saatte 15° değişir. Saat açısını hesaplamada Denklem 5.2 kullanılır [75,77].

$$\omega = (t_s - 12)15 \quad (5.2)$$

Burada, t_s saat cinsinden güneş zamanıdır. Aynı zamanda t_s 'nin değeri güneş öğlesinde 12 dir ve 90 dakika sonra 13,5 olur. Bu denklem güneşin gökyüzünde saatte 15 derece hareket etmesi olgusuna dayanır [77].

Güneş ve dünyanın merkezini birleştiren doğrunun, ekvator düzlemi ile yaptığı açı deklinasyon açısı olarak adlandırılır. Deklinasyonda değişim artık yıldan dolayı meydana gelir. Ekinokslarda, 24 saatte deklinasyondaki maksimum değişim $(1/2)^\circ$ den küçüktür. Bu yüzden hesaplamalarda deklinasyon $(1/2)^\circ$ hata ile 24 saat boyunca sabit kabul edilir [75]. Deklinasyon açısını hesaplamada Denklem 5.3 kullanılır [119]:

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (d_n + 284) \right] \quad (5.3)$$

Burada, d_n : yılın günü (1=1 Ocak, 365=31 Aralık) olarak temsil edilmektedir.

Gökyüzü açıklığı, ε , Denklem 5.4'de verildiği gibi hesaplanır [1]:

$$\varepsilon = [(D_h + I)/D_h + \kappa Z^3] / [1 + \kappa Z^3] \quad (5.4)$$

Burada, D_h , I ve κ sırasıyla yatay difüz ışıınım (W/m^2), I direkt ışıının normal bileşeni (W/m^2) ve κ bir sabit olup değeri 1.041 dir. Yukarıdaki formüle Z^3 eklenmesinin sebebi, gökyüzü açıklığının güneşin zenit açısına olan bağılılığını ortadan kaldırmaktır.

Model, atmosferin iki farklı karakteristiği üzerinde durmaktadır. Bunlardan, ε değişimleri tamamen kapalı bir gökyüzünden, düşük bulanıklılığa sahip açık bir gökyüzüne geçişi ifade eder. Denklem 5.4 kullanılarak elde edilen ε değerleri belli aralıklara bölünerek her bir gökyüzü koşulunu temsilen sekiz sınıf belirlenmiştir. Sekiz sınıfın kategorisini belirlemede kullanılan ε alt ve üst sınır değerleri Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Perez modelinde kullanılan ayırık gökyüzü açıklığı sınıfları [1].

ε sınıfı	alt sınır	üst sınır
1 Kapalı	1	1.065
2.	1.065	1.230
3.	1.230	1.500
4.	1.500	1.950
5.	1.950	2.800
6.	2.800	4.500
7.	4.500	6.200
8. Açık	6.200	–

ε kategorileri belirlendikten sonra her bir sınıf için dört sabit katsayı (a_i , b_i , c_i , d_i) kullanılmıştır. Her ε aralığına karşılık gelen a_i , b_i , c_i , d_i katsayıları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Perez modelinde kullanılan sabit katsayılar [1].

ε sınıfı	a_i	b_i	c_i	d_i
1	96.63	-0.47	11.50	-9.16
2	107.54	0.79	1.79	-1.19
3	98.73	0.70	4.40	-6.95
4	92.72	0.56	8.36	-8.31
5	86.73	0.98	7.10	-10.94
6	88.34	1.39	6.06	-7.60
7	78.63	1.47	4.93	-11.37
8	99.65	1.86	-4.46	-3.15

Modeldeki bir diğer atmosfer karakteristiği olan gökyüzü parlaklığı, Δ , bulutların opaklık ve kalınlık geçişlerini yansıtmaktadır. Δ , Denklem 5.5’teki gibi hesaplanır [1]:

$$\Delta = D_h m / I_0 \quad (5.5)$$

Burada m ve I_0 sırasıyla bağıl optik hava kütlelerini ve atmosfer dışına gelen güneş ışınlamını (W/m^2) temsil etmektedir.

Yağışa geçebilir subuharı miktarının hesaplanmasında Denklem 2.13 ile verilen formül kullanılmıştır.

Global aydınlık düzeyi, güneş ışınlamı ve diğer gökyüzü parametreleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [1].

$$g = G[a_i + b_i W + c_i \cos(Z) + d_i \ln(\Delta)] \quad (5.6)$$

Burada, g ve G sırasıyla, global yatay aydınlık düzeyini (lux) ve global yatay güneş ışınlımını (W/m^2) temsil etmektedir.

5.4 Modele Getirilen Katkılar

5.4.1 Yağışa geçebilir subuharı miktarı

Perez [1] modelinin oluşumunda kullanılan ampirik katsayı adedinin fazla olması, modelin bölgeye özgü yapısını arttırmaktadır [60, 120]. Aydınlık düzeyi değerlerini elde etmek için Perez modelinde Denklem 5.6'te kullanılan yağışa geçebilir subuharı miktarının hesaplanmasında Denklem 2.13'te verilen ifade kullanılmıştır. Topçu [121] tarafından yapılan çalışmada, atmosfer yerden 400 hPa basınç seviyesine kadar beş tabakaya ayrılıp yukarı atmosfer verileri kullanılarak İstanbul, Ankara ve İzmir için aylık ortalama yağışa geçebilir subuharı miktarı değerleri hesaplanmıştır. Tezde verisi kullanılan çalışma bölgesi, İstanbul alanını kapsadığından Denklem 2.13'teki genel ifade yerine İstanbul için hesaplanmış yerel katsayıları içeren 5.7 eşitliği kullanılarak modelin yapısında değişikliğe gidilmiştir.

$$W_{İstanbul} = \exp(a + bT_d) \quad (5.7)$$

Burada $W_{İstanbul}$, İstanbul için yağışa geçebilir subuharı miktarını (cm) temsil etmektedir. a ve b sabit olup İstanbul için değerleri sırasıyla, 0.102 ve 0.057 dir.

5.4.2 Bulanıklaştırma ve sınıflandırma

Çalışmada kullanılan Perez [1] modelinde hesaplanan ε değerleri ayrı olarak kategorilere ayrılmıştır. Bu sınıflandırma sonucunda belirlenen a_i , b_i , c_i , d_i katsayıları da yine bir sınıftan diğerine atlarken önceki ve sonraki aldığı değer arasında herhangi bir geçiş söz konusu değildir. Aradaki kesin sınıf geçişlerini yumuşatmak için tez çalışmasında bulanık mantık temelli yaklaşım olan ANFIS benimsenmiştir. ANFIS, yapay sinir ağlarının paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyeti ile bulanık mantığın çıkarım özelliğini kullanan melez bir yapay zeka yöntemidir [107]. Bu yöntemle birlikte tüm ε ve a_i , b_i , c_i , d_i katsayılarının kendi aralarındaki sert geçişler yumuşatılmıştır. Bu sayede ayrık sınıflandırma yerine sınıflar arasında süreklilik

sağlanmıştır. Yeni modelin kurulmasında Matlab (Fuzzy Logic Toolbox) yazılımından yararlanılmıştır. Bu süreçle ilgili örnek çalışma Bölüm 5.4.3'te detaylı verilmiştir.

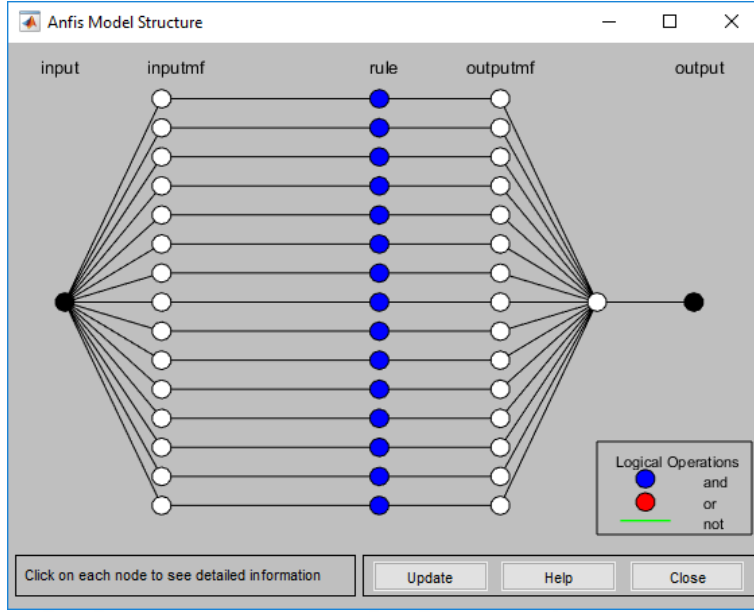
Perez [1] modelinde ε 'un aldığı her bir değere göre gökyüzü açıklığı 8 sınıfta incelenmiş ve her bir sınıfa karşılık olarak sabit a_i , b_i , c_i , d_i katsayıları belirlenerek bu katsayılar doğrultusunda aydınlık düzeyleri hesaplanmıştır. Tezde önerilen metodolojiyle, Perez modelinde kullanılan 8 sınıfın yanında bulanık modelde; 15, 7 ve 3 sınıf oluşturulmuştur. Buna ilave olarak, bilinen Perez modelinde 8 yerine 4 ve 2 sınıf aralıkları kullanılarak modelin farklı gruplara dayalı yeni versiyonları oluşturulmuştur. Diğer bir ifadeyle, bir yerine farklı sınıflandırmalar ile yeni modeller oluşturulmuş ve bu yeni sınıflara göre aydınlık düzeyleri her bir grup için yeniden hesaplanmıştır.

Hem bulanıklaştırma hem de sınıflandırma metodolojileri birlikte kullanılarak yeni modeller oluşturulmuştur. Sonuçta; 15 sınıflı bulanık model, 7 sınıflı bulanık model, 3 sınıflı bulanık model, 4 sınıflı klasik model ve 2 sınıflı klasik modeller ortaya çıkmıştır.

5.4.3 15 sınıflı bulanık model

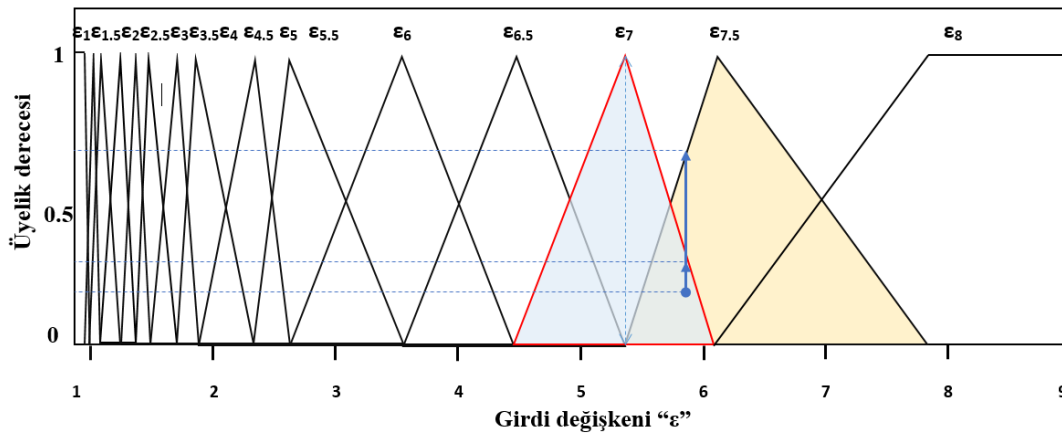
Perez modelinde a_i , b_i , c_i , d_i katsayıları için kullanılan 8 ana sınıfa ilave olarak bulanık mantık temelinde 7 ara sınıf daha belirlenerek her bir sınıf arasında sürekli bir geçiş sağlanmıştır.

Kurulan Anfis modelinin temel yapısını bir adet girdi parametresi (ε) ve bir adet çıktı parametresi (a_i , b_i , c_i veya d_i) oluşturmaktadır (Şekil 5.1). Modelin esas yapısında bir adet girdi (ε) ve dört adet çıktı (a_i , b_i , c_i ve d_i) parametreleri yatmaktadır. Gösterimde ağ yapısında karışıklığa yol açmamak adına, her bir çıktı parametresi için tek girdili ve tek çıktılı dört adet ara model oluşturulmuş ve elde edilen çıktılar ayrı ayrı hesaba katılarak ana modelde birleştirilmiştir. Sonuçta bir girdi ve dört çıktıya sahip ana model elde edilmiştir.



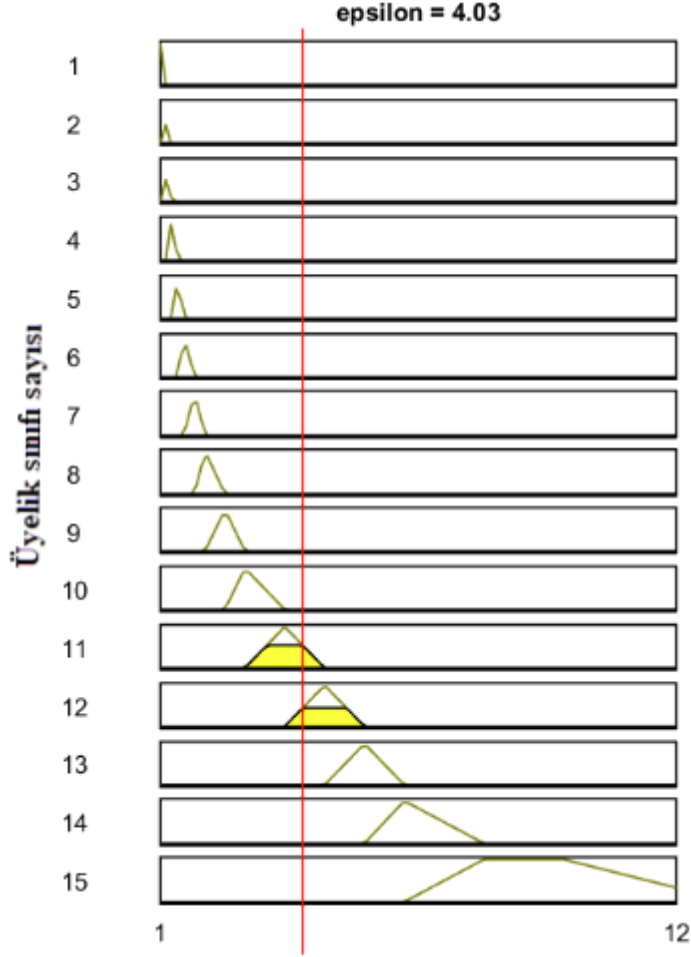
Şekil 5.1 : 15 sınıflı anfis modeli yapısı.

Üyelik fonksiyonları bulanık mantık için en önemli öğelerden olup model tabanını oluşturur. Örnek olması açısından 15 sınıflı bulanık model kurulumu adımları verilmiştir. Bunun için gerekli olan üyelik fonksiyonlarını oluşturmada girdi parametresi olarak ϵ , çıktı parametresi ise a_i, b_i, c_i, d_i katsayıları kullanılmıştır. Model girdi parametre tipi üçgen, çıktı parametre tipi sabit fonksiyon olarak belirlenmiştir. Şekil 5.2’de girdi parametresi (ϵ) için oluşturulan üyelik fonksiyonları görülmektedir. Örnek olması açısından Şekil 5.2’deki durumlar değerlendirildiğinde yeni yaklaşımın farkı ortaya çıkacaktır. Yeni yaklaşımda sabit katsayıların üyelik derecesi korunurken, ara gruplarda ise komşu iki sınıfın farklı ağırlıkları etki etmektedir. Örneğin, ϵ_7 sınıfında değer korunurken, $\epsilon_{7.3}$ ’te ise önceki ve sonraki grubun ağırlıklarına göre hesaplama yapılabilmektedir.

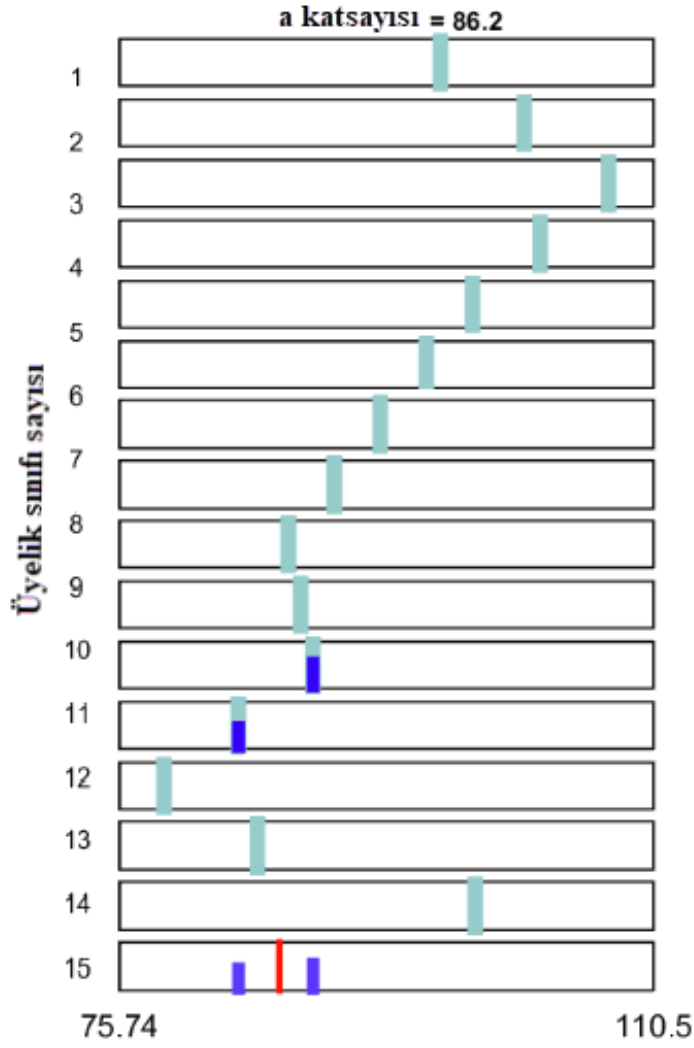


Şekil 5.2 : 15 sınıflı bulanık model için oluşturulan üyelik fonksiyonları.

Bulanık mantık modellemesindeki avantajlardan biri, kuralların uzman tarafından değiştirilebilme özelliğidir. Yani, Şekil 5.3 ve 5.4 üzerinden örnek verilecek olursa, klasik mantıkta 11. veya 12. sınıflardan yalnızca birisinin kuralı geçerli iken, burada uzman inisiyatifinde olarak 11. ve 12. sınıfların kural katkıları kullanılarak hesaba katılmış ve çıktı parametresi olan a_i değeri 86.2 olarak hesaplanmıştır.

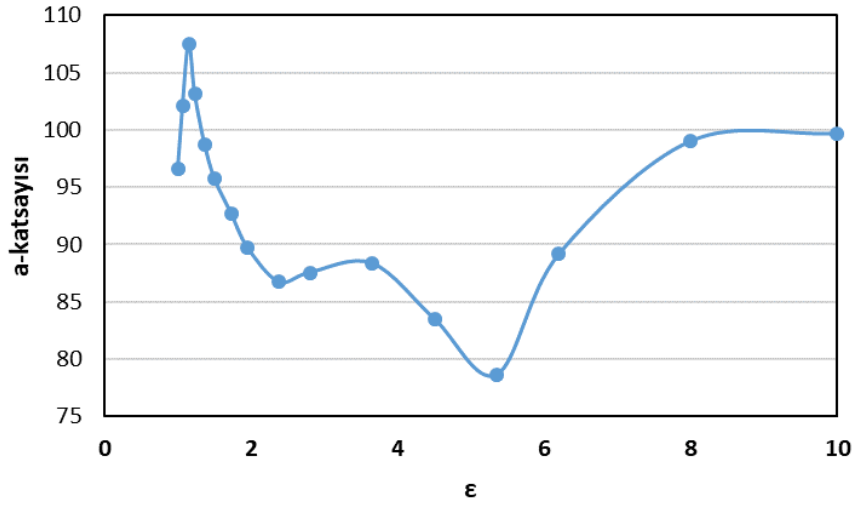


Şekil 5.3 : 15 sınıflı bulanık model kuralları - ϵ değerleri.

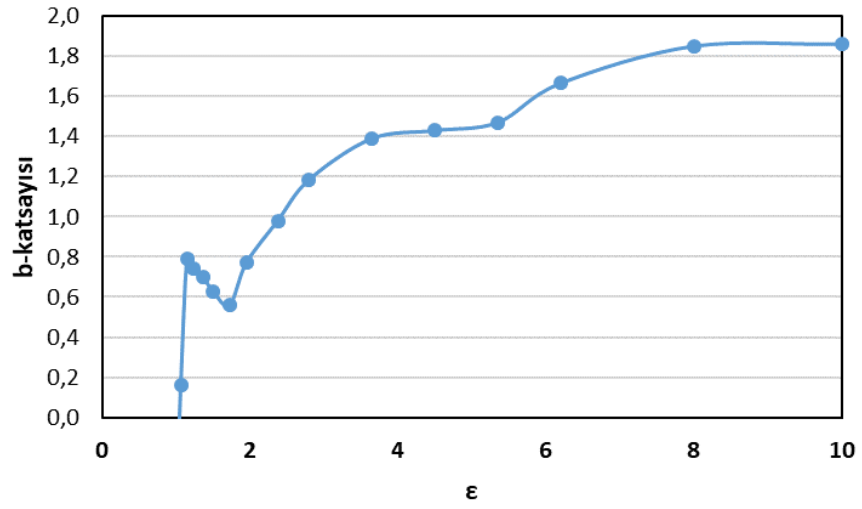


Şekil 5.4 : 15 sınıflı bulanık model kuralları - a_i değerleri.

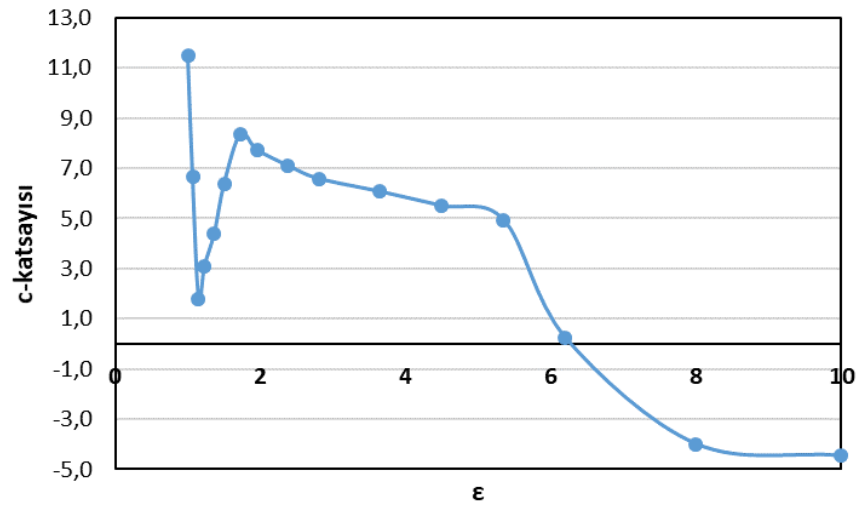
Sonuçta hedef olarak belirlenen model katsayıları a_i , b_i , c_i ve d_i 'nin ε ile değişimi elde edilmiş ve Şekil 5.5-5.8'de verilmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi, Perez modelindeki ayrık değerler sorunu yeni yaklaşım olarak önerilen anfis modeliyle giderilmiş, fonksiyon sürekli hale getirilmiştir. ε değerlerinin her bir sınıf için tanımlanan alt ve üst sınır değerleri ve sonuçta tüm katsayıların elde edilen değerleri sırasıyla Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te görülmektedir.



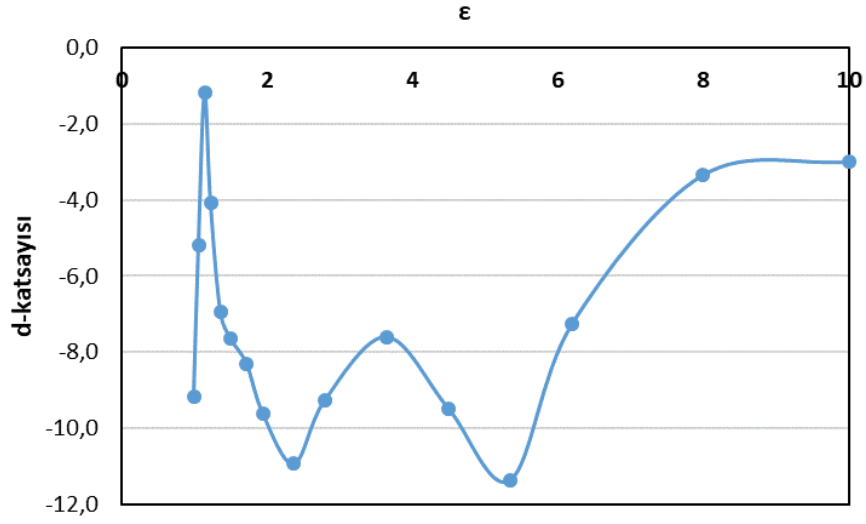
Şekil 5.5 : 15 sınıflı bulanık model a_i katsayısı değerleri.



Şekil 5.6 : 15 sınıflı bulanık model b_i katsayısı değerleri.



Şekil 5.7 : 15 sınıflı bulanık model c_i katsayısı değerleri.



Şekil 5.8 : 15 sınıflı bulanık model d_i katsayısı değerleri.

Çizelge 5.3 : 15 sınıflı bulanık modelde kullanılan sınıf aralıkları.

Sınıf adı	Epsilon (ϵ) değerleri
1	[1 1 1.033 1.065]
1.5	[1.033 1.065 1.148]
2	[1.065 1.148 1.23]
2.5	[1.148 1.23 1.365]
3	[1.23 1.365 1.5]
3.5	[1.365 1.5 1.725]
4	[1.5 1.725 1.95]
4.5	[1.725 1.95 2.375]
5	[1.95 2.375 2.8]
5.5	[2.375 2.8 3.65]
6	[2.8 3.65 4.5]
6.5	[3.65 4.5 5.35]
7	[4.5 5.35 6.2]
7.5	[5.35 6.2 7.05]
8	[6.2 7.05 10.05 10.05]

Çizelge 5.4 : 15 sınıflı bulanık model katsayıları.

Sınıf adı		a_i		b_i		c_i		d_i
1	a1	96.63	b1	-0.47	c1	11.5	d1	-9.16
1.5	a1.5	102.085	b1.5	0.16	c1.5	6.645	d1.5	-5.175
2	a2	107.54	b2	0.79	c2	1.79	d2	-1.19
2.5	a2.5	103.135	b2.5	0.745	c2.5	3.095	d2.5	-4.07
3	a3	98.73	b3	0.7	c3	4.4	d3	-6.95
3.5	a3.5	95.725	b3.5	0.63	c3.5	6.38	d3.5	-7.63
4	a4	92.72	b4	0.56	c4	8.36	d4	-8.31
4.5	a4.5	89.725	b4.5	0.77	c4.5	7.73	d4.5	-9.625
5	a5	86.73	b5	0.98	c5	7.1	d5	-10.94
5.5	a5.5	87.535	b5.5	1.185	c5.5	6.58	d5.5	-9.27
6	a6	88.34	b6	1.39	c6	6.06	d6	-7.6
6.5	a6.5	83.485	b6.5	1.43	c6.5	5.495	d6.5	-9.485
7	a7	78.63	b7	1.47	c7	4.93	d7	-11.37
7.5	a7.5	89.14	b7.5	1.665	c7.5	0.235	d7.5	-7.26
8	a8	99.65	b8	1.86	c8	-4.46	d8	-3.15

Anfis'e dayalı oluşturulan diğer model yapıları ve sonuçları Ek E'de verilmiştir.

5.5 Kullanılan İstatistiksel Bilgiler

Model sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasında literatürde yaygın olarak kullanılan hata türlerinden olan Yüzde Bağıl Hata (Percentage Relative Error, RE) (%), Yüzde Karesel Ortalama Hatanın Karekökü (Percentage Root Mean Square Error, RMSE) (%) ve Yüzde Ortalama Sapma Hatası (Percentage Mean Bias Error, MBE) (%), Denklem 5.8-5.10 [122–124] kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\%RE = 100 \frac{|X_{\text{model}} - X_{\text{ölçüm}}|}{|X_{\text{ölçüm}}|} \quad (5.8)$$

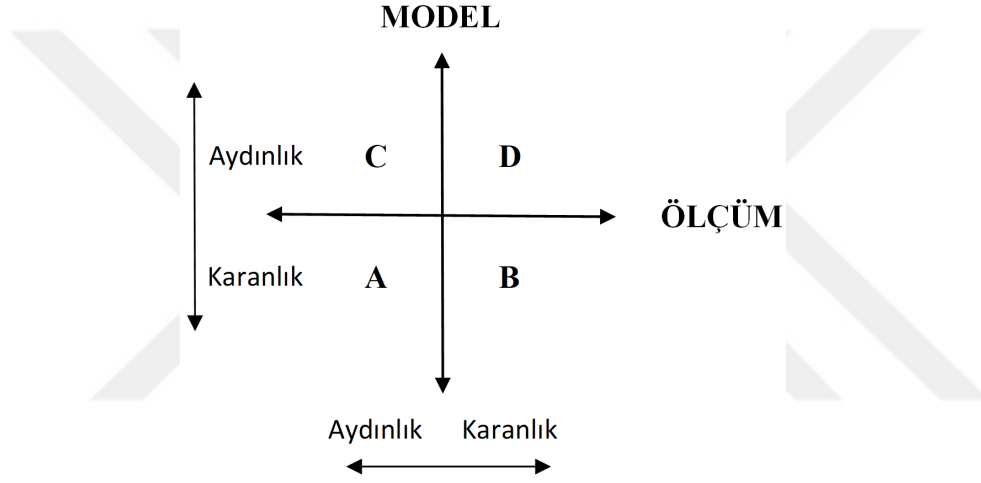
$$\%RMSE = 100 \sqrt{\frac{\sum (X_{\text{model}} - X_{\text{ölçüm}})^2}{n}} \quad (5.9)$$

$$\%MBE = 100 \frac{\sum (X_{\text{model}} - X_{\text{ölçüm}})}{\sum X_{\text{ölçüm}}} \quad (5.10)$$

Burada, X_{model} , $X_{\text{ölçüm}}$ ve n ifadeleri sırasıyla, hesaplanan, ölçülen değerleri ve veri sayısını temsil etmektedir.

Çalışmada hesaplanan sonuçları değerlendirmede "yakalama olasılığı" (probability of detection, POD) ve "yanlış uyarı oranı" (false alarm ratio, FAR) istatistiksel

yaklaşımları kullanılmıştır. Kullanılan istatistik bilgileri Şekil 5.9’da düzeni gösterilen farklı dört büyüklüğü (A, B, C ve D) esas alarak tanımlanmıştır [125]. Genellikle ortalama açık bir gün için aydınlık düzeyi değeri yaklaşık olarak 10000 lux olarak belirlenmiştir [126]. İstatistiksel değerlendirmeye göre bu değer üzerinde aydınlık düzeyine sahip olan günler aydınlık, altında kalan günler aydınlık değeri açısından yetersiz, bir anlamda karanlık varsayılmıştır. Burada A değeri, hem ölçüm hem de model sonuçlarına göre gün ışığı aydınlık düzeyinin yetersiz olduğu durumu, B değeri ise, ölçüm sonuçlarına göre aydınlık düzeyinin yeterli olması durumunda model sonuçlarına göre yetersiz olma yüzdesini yani olasılığını gösterir. C ve D büyüklükleri de benzer şekilde tanımlanmışlardır [127, 128].



Şekil 5.9 : Ölçüm - model aydınlık olasılıkları.

Yakalama olasılığı, POD (Probability of detection), modelin doğru kestirim yaptığı aydınlık günlerin (D) ölçülen tüm aydınlık gün sayısına (B+D) olan oranını gösterir. Başka bir ifadeyle, modelin, gözlenen aydınlık günleri doğru yakalama olasılığını gösterir. POD değeri Denklem 5.11 kullanılarak hesaplanır.

$$POD = \frac{D}{B + D} \quad (5.11)$$

POD değerinin 1 olması durumunda model tüm aydınlık günleri yakalama başarısına sahiptir.

Yanlış uyarı oranı, FAR (False alarm ratio), modelin aydınlık günleri sayması durumunda (C ve D), yanlış kestirim yapılan aydınlık değerlerinin (C), aydınlık ve karanlık gözlemler toplamına (C+D) olan oranını gösterir. Başka bir deyişle modelin,

yanlış uyarı verme olasılığını ifade eder. FAR değeri Denklem 5.12 kullanılarak hesaplanır.

$$POD = \frac{C}{C + D} \quad (5.12)$$

FAR değerinin 0 olması durumunda, bu modelin yanlış aydınlık düzeyi kestirimi hesaplamaması anlamına gelmektedir [127].





6. BULGULAR VE TARTISMA

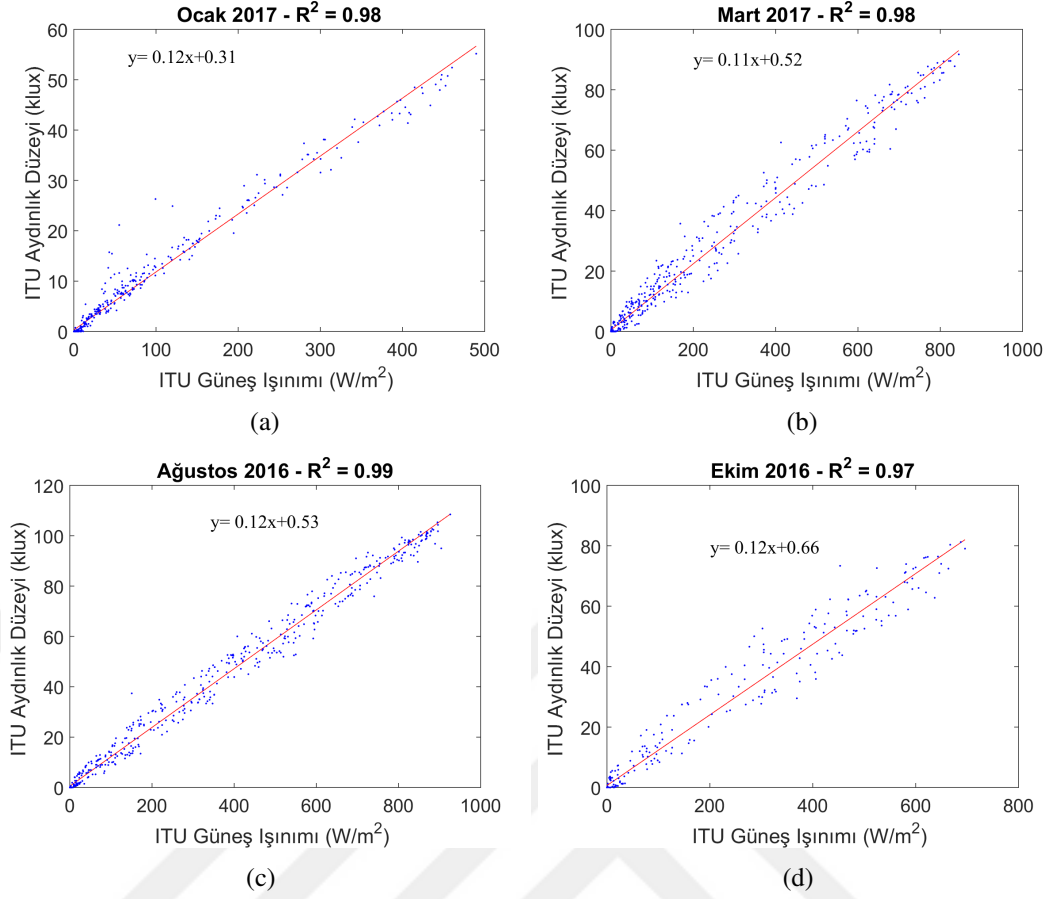
Bu bölümde, 2015-2017 yılları arasında ölçüm alınan aylar için elde edilen global güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi ilişkilerine dayalı sonuçlar verilmiştir. Burada karmaşıklığa yol açmamak adına her mevsimden birer ay temsili olarak seçilmiştir. Diğer verisi olan tüm ayların sonuçları EK B bölümünde verilmiştir.

İlave olarak İTÜ referans istasyonu için ölçülen güneş ışıınımı ve ölçülen aydınlık düzeyi değerleri, diğer yedi istasyon için ölçülen güneş ışıınımı ve hesaplanan aydınlık düzeyi değerleri daha detaylı olarak incelenmiştir. Bu sebeple yine her mevsimi temsilen seçilen dört ay için kontur grafikleri çizilmiştir. Grafiklerde güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi değerlerinin her ay için gün içerisindeki salınımları görülebilmektedir. Burada karmaşıklığa yol açmamak adına İTÜ referans istasyonuna ait kontur grafikleri bu bölümde verilmiş olup tüm istasyonlara ait kontur grafikleri EK C bölümünde verilmiştir.

Son olarak Perez [1] modelinde kullanılan yağışa geçebilir subuharı formülü yerine, Bölüm 5'te anlatılan İstanbul için elde edilen yağışa geçebilir subuharı ifadesi kullanılmıştır. Bunun sonucunda çalışılan bölge için aydınlık düzeyleri hesaplanmıştır. Bunlara ilave olarak, detayları yine 5. Bölüm'de anlatılan ANFİS yöntemi ve sınıflandırma yöntemi ile elde edilen sonuçlar paylaşılmış olup her modelin sonucu ölçüm datalarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, istatistikte yaygın olarak kullanılan hata türlerinden olan Yüzde Bağıl Hata (Percentage Relative Error, RE) (%), Yüzde Karesel Ortalama Hatanın Karekökü (Percentage Root Mean Square Error; RMSE) (%) ve Yüzde Ortalama Sapma Hatası (Percentage Mean Bias Error; MBE) (%), kullanılarak değerlendirilmiştir. Buna ilave olarak "yakalama olasılığı" (probability of detection, POD) ve "yanlış uyarı oranı" (false alarm ratio, FAR) değerleri hesaplanmıştır.

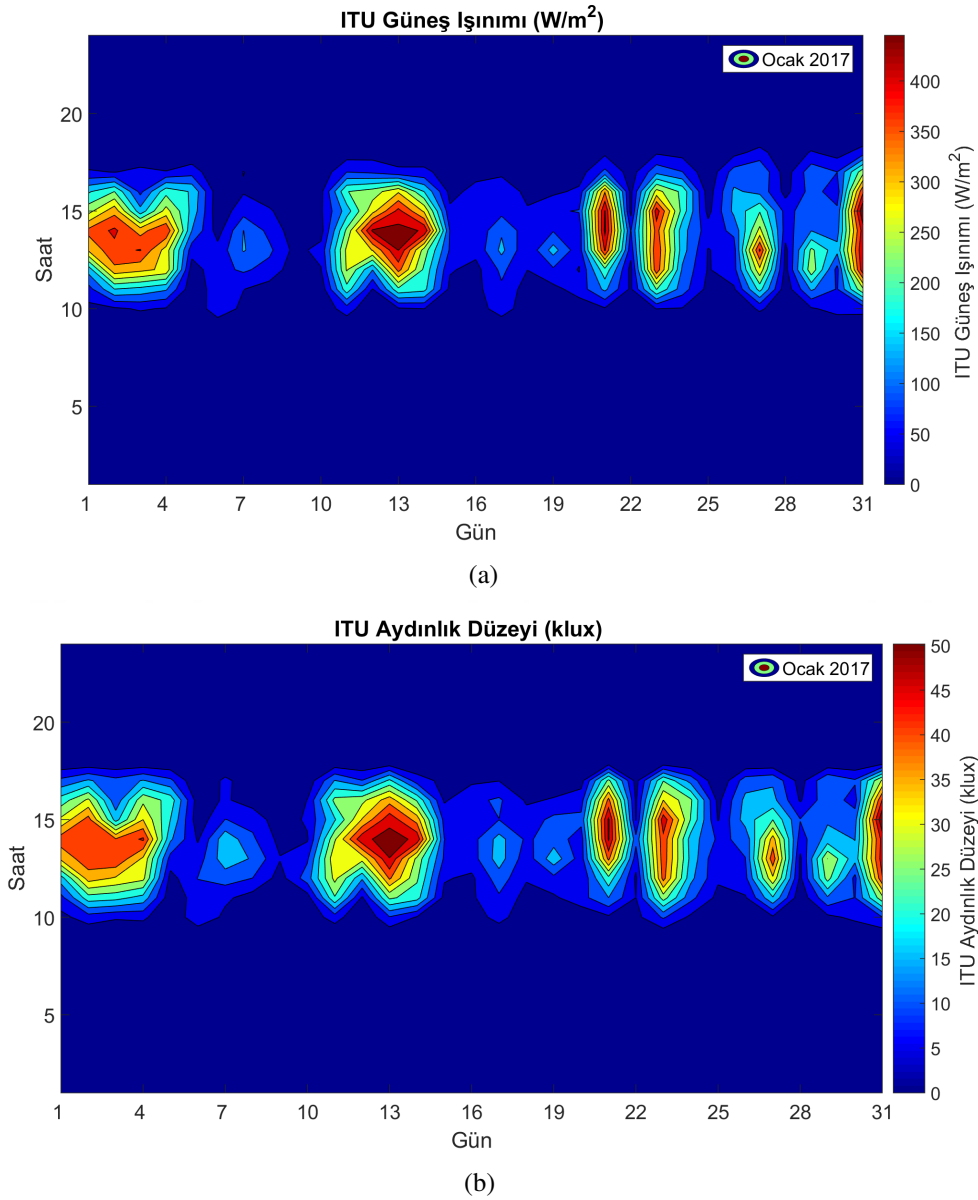
6.1 Güneş Işınımı - Aydınlık Düzeyi Sonuçları

İTÜ istasyonu için dört mevsimi temsilen seçilen aylara ait ölçülmüş olan global güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi ilişkisini gösteren saçılma diyagramları Şekil 6.1(a-d)'de gösterilmektedir. Şekil 6.1(a)'da Ocak ayı için verilen dağılımda global güneş ışıınımı ile aydınlık düzeyi arasında lineer bir ilişki olduğu görülmektedir. Kış mevsiminin yüksek bulut kapallılığı özelliğinden dolayı düşük global güneş ışıınımı değerlerinde saçılmanın arttığı görülmektedir. Şekil 6.1(b)'de görüleceği üzere Mart ayında korelasyon her ne kadar kış mevsimi ile aynı gibi görünse de, atmosferdeki kararsızlıklardan dolayı saçılma bu dönemde artmıştır. Global güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi arasındaki determinasyon katsayısının yaz mevsiminde maksimum değerine ulaştığı Şekil 6.1(c)'de net bir biçimde görülmektedir. Bu dönemde bulutluluk, hava kirliliği ve bağıl nem gibi meteorolojik faktörlerin etkisi azalmış olup bu artışa katkı sağlamıştır. Şekil 6.1(d)'den anlaşılacağı üzere Ekim ayında lineerlik diğer mevsimlere göre düşüktür. Bahar mevsimindeki bulutluluk geçişlerinin artması buna sebebiyet vermektedir.



Şekil 6.1 : İTÜ için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışıınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

İTÜ referans istasyonu için oluşturulmuş, kış mevsimini temsil eden Ocak (2017) ayı boyunca gün içerisindeki her saate ait global güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi salınım değerlerini gösteren kontur grafikleri Şekil 6.2’de verilmiştir. Şekil 6.2 (a)’ya bakıldığında Ocak ayı genelinde güneş ışıınımının düşük değerlerde seyrettiği ve ay boyunca günlük kesintilerin olduğu görülmektedir. Yani bazı günlerde tamamen kapalı havanın olduğu görülmektedir. Buna rağmen ayın birkaç gününde ay ortalamasına göre yüksek denilebilecek 400 W/m^2 civarında güneş ışıınımı da gözlemlenmiştir. Aydınlık düzeyi değerleri için Şekil 6.2 (b)’ye bakıldığında ise genel anlamda güneş ışıınımı ile benzer özellikler göstermekle birlikte kesintilerin daha az olduğu ve gün içerisindeki salınımın daha yüksek olduğu görülmektedir.

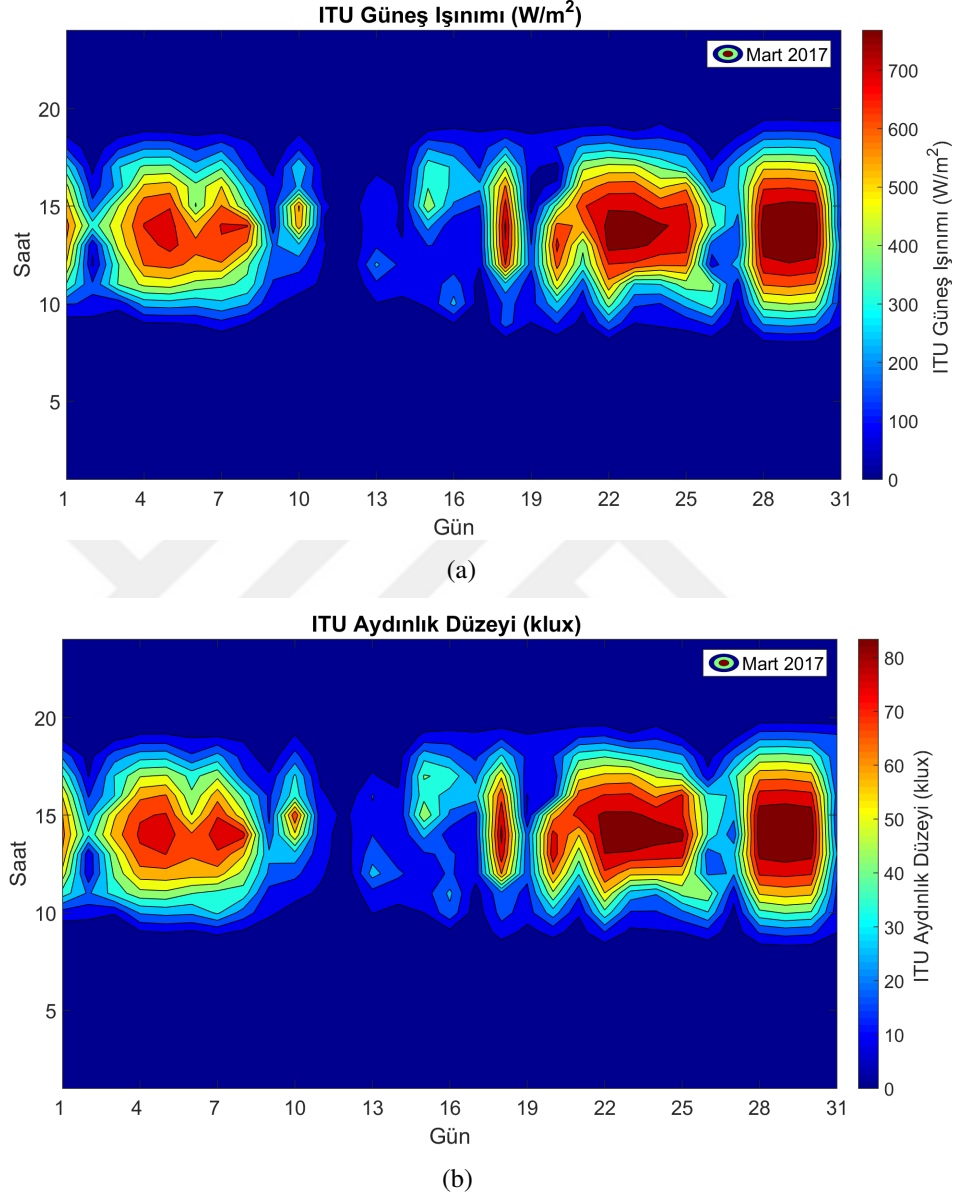


Şekil 6.2 : İTÜ’de ölçülen (a) global güneş ışınlmı (b) gün ışığı aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değışimi (Ocak-2017).

Şekil 6.2’ye benzer olarak, İTÜ istasyonunda ölçülen global güneş ışınlmı ve aydınlık düzeyi değerlerinin, ilkbahar mevsimini temsil eden Mart (2017) içerisindeki günlük salınımı Şekil 6.3’te gösterilmektedir. Atmosferin kararsız yapısı Mart ayında belirgin bir şekilde etkisini göstermektedir. Bu etki sebebi ile güneş ışınlmının günlük doğal döngü frekansı artmış gibi görünüyor. Ay boyunca yüksek değerler ve kesintilerin bir arada olması bahar mevsiminde bulutluluk geçişlerinin arttığını göstermektedir.

Mart ayına ait günlük aydınlık düzeyi salınımını gösteren kontur grafiğı Şekil 6.3 (b)’de verilmiştir. Ay boyunca global güneş ışınlmına çok benzer bir davranış sergileyen aydınlık düzeyi değerlerindeki salınımın bazı günlerde arttığı

görülmektedir. Artışın daha çok bulut kapalılığının yüksek olduğu günlere denk geldiği gözlemlenmiştir. Özellikle ayın ilk haftasında devamlı bir süreklilik görülmektedir. Güneş ışıınının genel yapısına benzer şekilde bahar mevsiminin karakteristik özellikleri aydınlık düzeyi değerlerine de yansımaktadır.

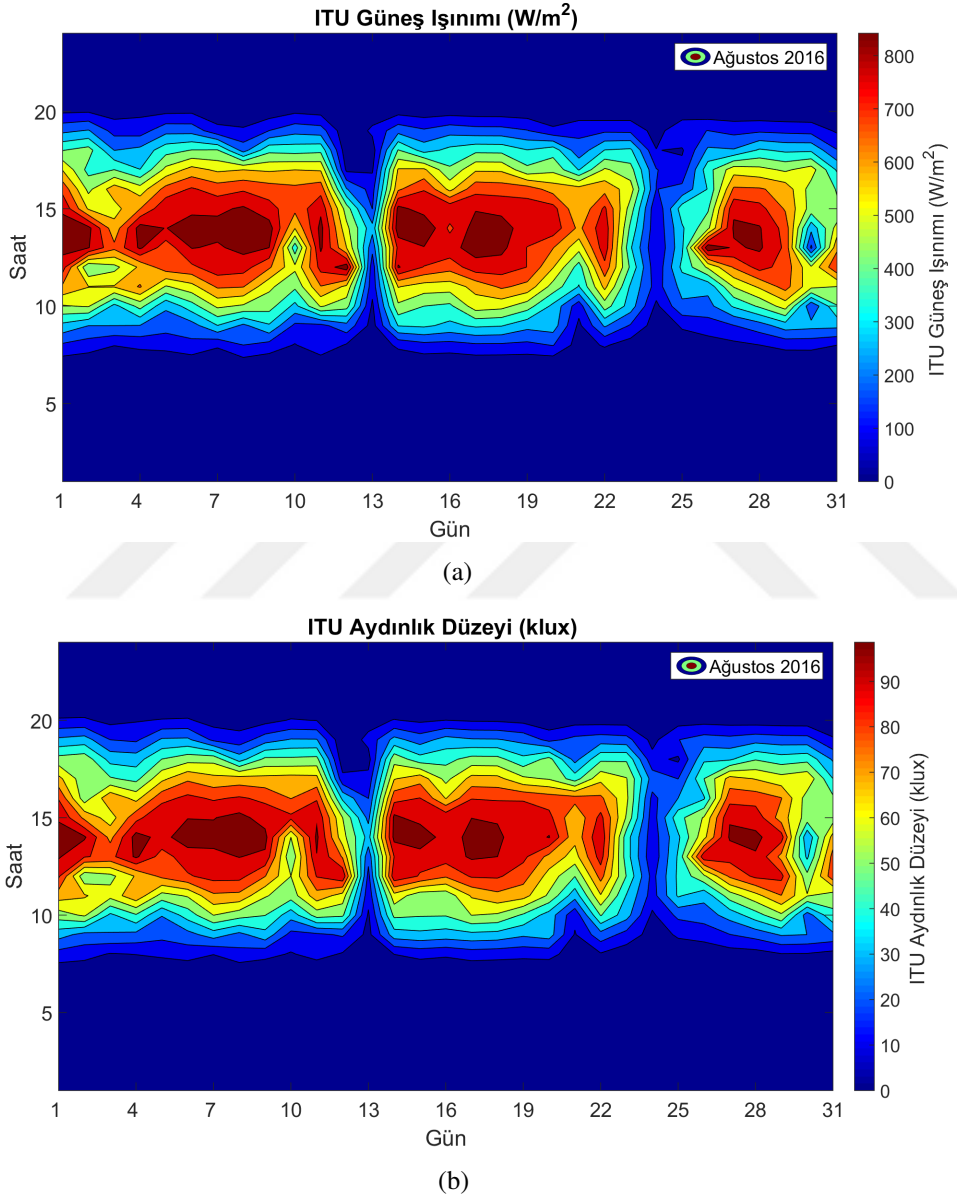


Şekil 6.3 : İTÜ’de ölçülen (a) global güneş ışıınını (b) gün ışığı aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (Mart-2017).

Ağustos (2016) ayına ait günlük global güneş ışıınını ve aydınlık düzeyi değerleri Şekil 6.4’te verilmiştir. Yaz ayı olan Ağustos’ta sürekliliğin ay başından itibaren kendisini gösterdiği Şekil 6.4(a)’dan açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Sadece ayın 13’ü ve 24’ünde ölçülen global güneş ışıınını değerleri, havanın kapalı olduğunu

göstermektedir. Gözlenen maksimum güneş ışınlamının 800 W/m^2 değerini aştığı görülmektedir.

Yine Şekil 6.4(b)'de görüleceği üzere, diğer aylardan farklı olarak Ağustos ayında belirgin bir artış gösteren aydınlık düzeyi değerleri de yaz mevsimi özelliğini iyi bir biçimde yansıtmaktadır. Genel olarak yaz mevsiminde 80-100 klux değerlerinde aydınlık düzeyi gözlemlenmiştir.

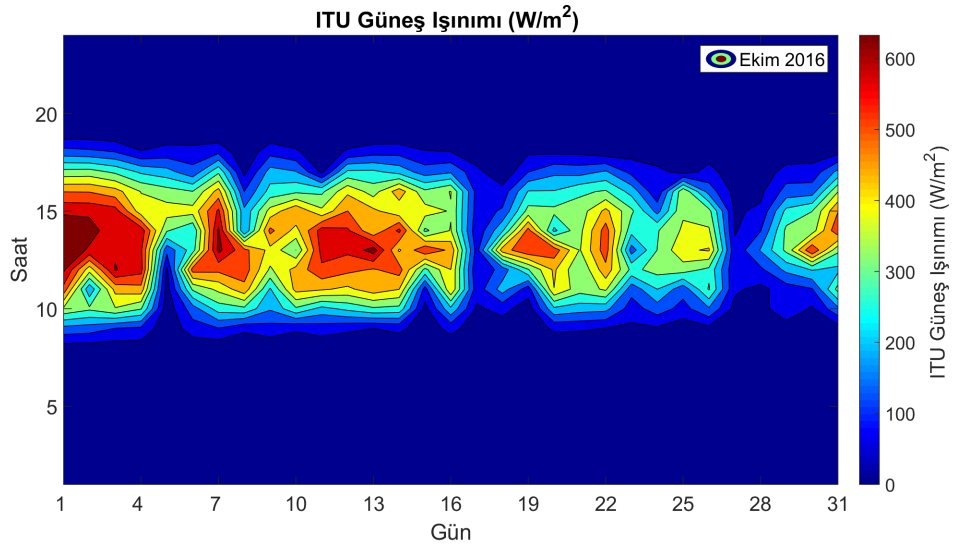


Şekil 6.4 : İTÜ’de ölçülen (a) global güneş ışınlamı (b) gün ışığı aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (Ağustos-2016).

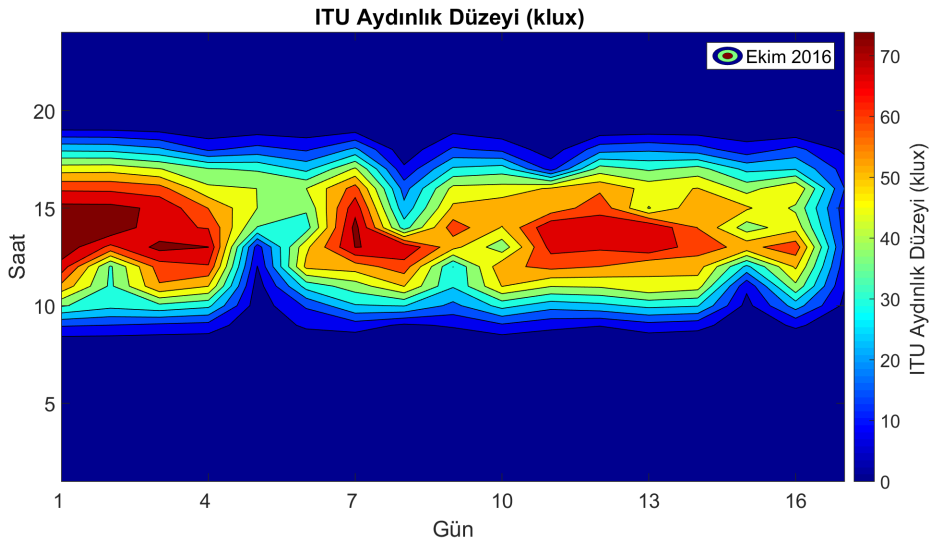
Son olarak yılın sonbahar mevsimini temsil eden Ekim (2016) ayı için İTÜ istasyonuna ait global güneş ışınlamı ve aydınlık düzeyi değerlerinin günlük salınımları Şekil 6.5’te verilmiştir. Şekil 6.5(a)’ya bakıldığında Ekim ayının ilk yarısında nispeten yüksek

güneş ışınlamı değerlerinin ardından sonraki günlerde yine bahar mevsiminin genel karakteristik özelliği olarak bir süreksizlik söz konusunun olduğu görölmektedir. Ay genelinde ortalama olarak 400-500 W/m² güneş ışınlamı değerleri gözlemlenmiştir.

Şekil 6.5(b)'de Ekim ayına ait gün ışığı aydınlık düzeyi salınımları görölmektedir. Ekim ayında 17 gün boyunca güvenilir aydınlık düzeyi datası mevcuttur. gün ışığı aydınlık düzeyinde, güneş ışınlamına benzer biçimde ayın ilk haftasında daha yüksek değerler ölçölmüştür. Genel istikrarsızlık durumu, sonbahar mevsimi karakteristiği gereği olarak tekrar görölmektedir.



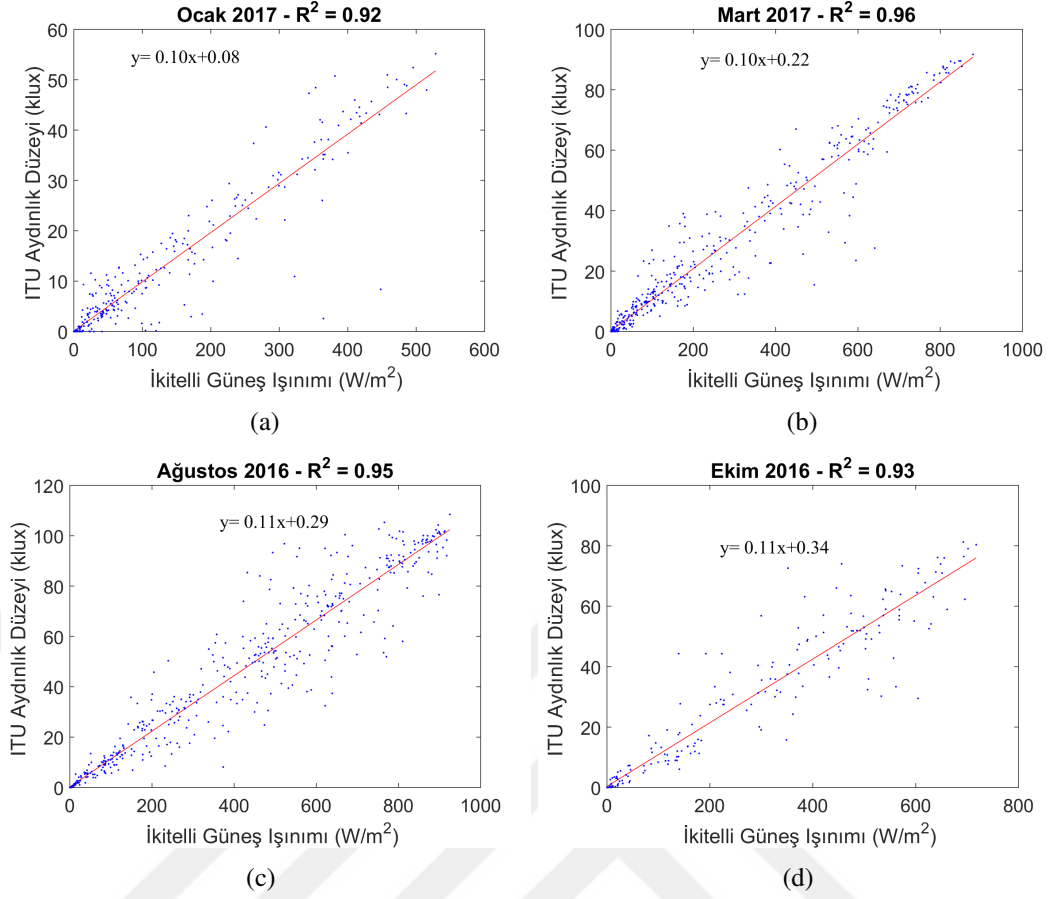
(a)



(b)

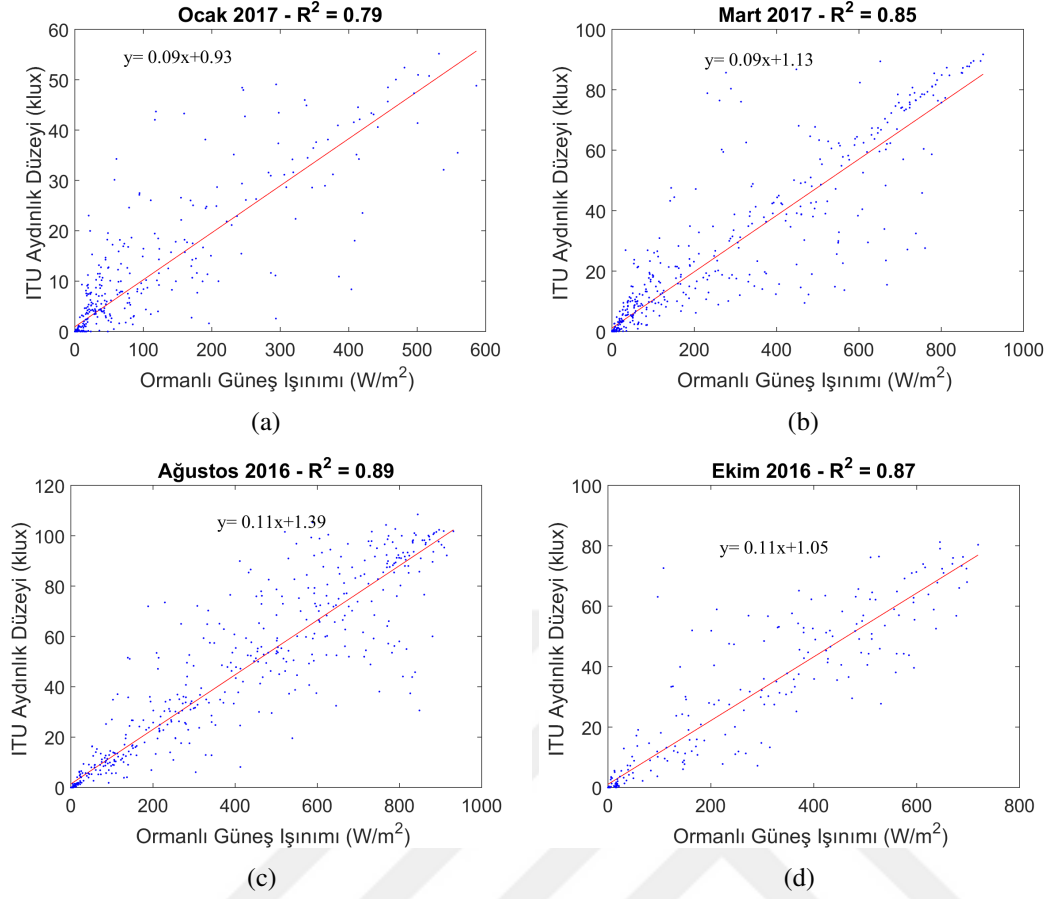
Şekil 6.5 : İTÜ'de ölçölen (a) global güneş ışınlamı (b) gün ışığı aydınlık düzeyi değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (Ekim-2016).

İstanbul, Boğaz'la birlikte Asya ve Avrupa kıtalarına ayrılan kıtalararası bir şehirdir. Bu tez çalışmasında, İTÜ istasyonuna ek olarak Avrupa yakasında iki ve Asya yakasında beş istasyon incelenmektedir. Tez çalışmasında referans olarak kullanılan İTÜ istasyonuna en yakın istasyon olan İkitelli istasyonu, İstanbul-Avrupa yakasında yer almakta olup, İTÜ'ye 21.7 km mesafededir. İkitelli için dört mevsimi temsilen seçilen her bir aya ait global güneş ışıınımı ve İTÜ istasyonunda ölçülen gün ışığı aydınlık düzeyi ilişkisini gösteren saçılma diyagramları Şekil 6.6'da gösterilmektedir. Genel olarak İTÜ istasyonunda ölçülen aydınlık düzeyi ile İkitelli'de ölçülen global güneş ışıınımı arasında güçlü bir lineer korelasyon vardır. Şekil 6.6 (a)'da görüleceği üzere, Ocak ayında İkitelli global güneş ışıınımı ve İTÜ gün ışığı aydınlık düzeyi ilişkisinde belirlilik katsayısı her ne kadar diğer aylara nispeten en küçük değere sahip olsa da ($R^2=0.92$) istatistiksel olarak yüksek bir ilişki olarak kabul edilmektedir. Şekil 6.6 (b)'de verilen Mart ayında ise İTÜ güneş ışıınımı ile İkitelli aydınlık düzeyi ilişkisine bakıldığında determinasyon katsayısının diğer aylardan daha yüksek olan 0.96 değerine ulaştığı görülmektedir. Bu durum istatistiksel olarak lineerliğin arttığını düşündürse de bahar mevsiminin klasik karakteristik yapısı diyagramda saçılmanın artması ile kendisini göstermektedir. Ağustos ayında benzer olarak $R^2=0.95$ değerine ulaşıldığı ve saçılmadaki artışın sürdüğü Şekil 6.6 (c)'de görülmektedir. Güçlü korelasyonla birlikte oluşan birtakım lineerlikten olan sapmalar, istasyon civarında bulunan kentsel çevrenin etkileri ile açıklanabilir. Şekil 6.6 (d)'de verilen Ekim ayına ait saçılma diyagramında atmosferik kararsızlık nedeniyle daha fazla gözlenen bulutluluk geçişlerinin etkisi ile datada lineerlikten sapmalar olduğu görülmektedir.



Şekil 6.6 : İkitelli için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışınlm ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

Bir başka istasyon olan Ormanlı, Terkos baraj gölüne yakın olup, şehrin kuzey-batısındaki bir kırsal alanda bulunmaktadır. Şekil 6.6'ya benzer olarak Ormanlı gün ışığı aydınlık düzeyi ile İTÜ güneş ışınlmı arasındaki ilişkiyi, seçilen dört ay için gösteren saçılma diyagramları Şekil 6.7'de verilmiştir. Şekil 6.7 (a)'da görüleceği üzere Ocak ayında Ormanlı güneş ışınlmı ile İTÜ aydınlık düzeyi arasındaki determinasyon katsayısı diğer aylara nispeten düşüktür ($R^2=0.79$). Daha çok kış mevsiminin kapalı gökyüzü şartları bu duruma katkı sağlamaktadır. Mart ayında ise Ocak ayna benzer şekilde korelasyon düşük olup, düşük güneş ışınlmı değerlerinde saçılmaların attığı Şekil 6.7 (b)'de görölmektedir. Şekil 6.7 (c)'de ise beklenildiği üzere Ağustos ayında güneş ışınlmı ile aydınlık düzeyi arasındaki saçılmalarda artışa rağmen en yüksek korelasyona ulaşıldığı görölmektedir ($R^2=0.89$). Ekim ayında ise tam tersi durum söz konusu olup daha az saçılma durumuna karşın R^2 değerinin 0.87'ye düştüğü Şekil 6.7 (d)'de görölmektedir.

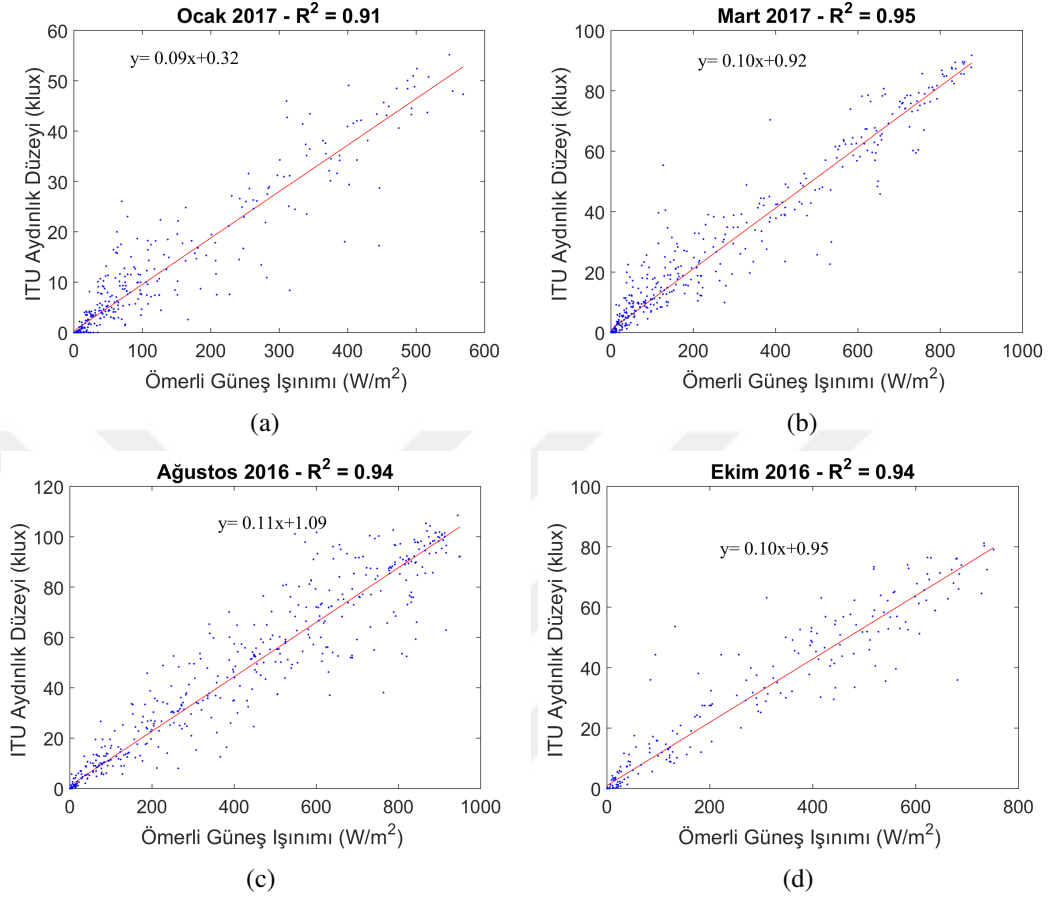


Şekil 6.7 : Ormanlı için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

Genel olarak Avrupa yakasında bulunan istasyonlar için güneş ışınımı ile aydınlık düzeyi arasında yüksek korelasyon bulunduğu söylenebilir. Aslında, şehrin kırsal ve kentsel alanları arasındaki farklar, güneş ışınımı miktarını etkilemektedir. Şekil 6.1 ve 6.6’da görülen İTÜ referans istasyonu ile Avrupa yakasında bulunan diğer noktalar arasındaki saçılma grafiği bu durumu doğrulamaktadır.

Asya yakasındaki güneş ışınımı istasyonlarından biri, İstanbul’un en büyük barajlarından birinin yanında bulunan Ömerli’dir. Ömerli güneş ışınımı ile İTÜ aydınlık düzeyi arasındaki dört aylık ilişkiyi gösteren diyagramlar Şekil 6.8’de verilmiştir. Bu istasyon, orman örtüsüne sahip kırsal bir alanda bulunmaktadır. Ayrıca İTÜ referans istasyonuna Asya yakası üzerindeki diğer istasyonlar içerisinde en yakın konumda bulunmaktadır (Şekil 4.1). Genel olarak İTÜ’de ölçülen aydınlık verileri ile burada ölçülen güneş ışınımı verileri arasında doğrusal bir ilişki vardır. Asya yakasındaki istasyonlar göz önüne alındığında, gerek mesafe olarak en kısa konumda bulunması gerekse İTÜ’ye diğer istasyonlardan daha benzer kentsel koşullara sahip

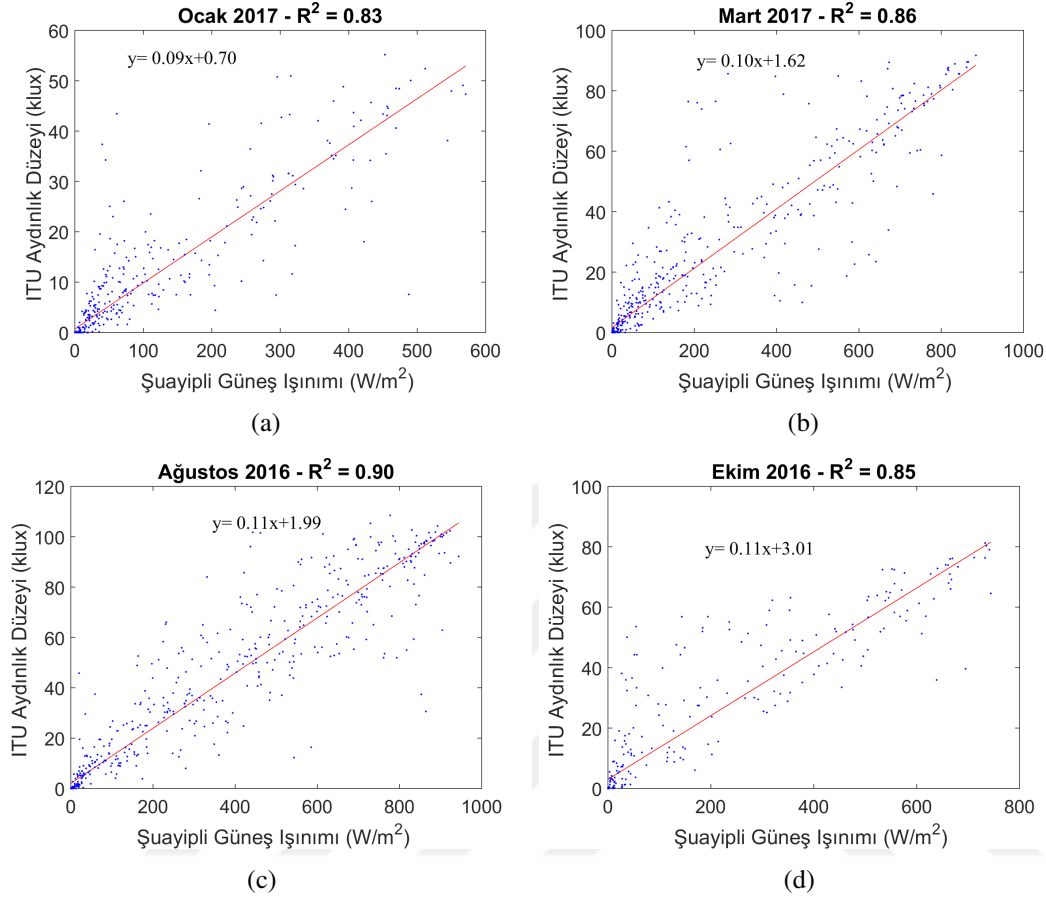
olması nedeniyle İTÜ aydınlık düzeyi - Ömerli güneş ışıını ilişkisinde tüm aylarda Asya yakası içerisindeki en yüksek korelasyona ulaşan istasyon olduğu Şekil 6.8 (a-d)'de görülmektedir.



Şekil 6.8 : Ömerli için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışıını ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

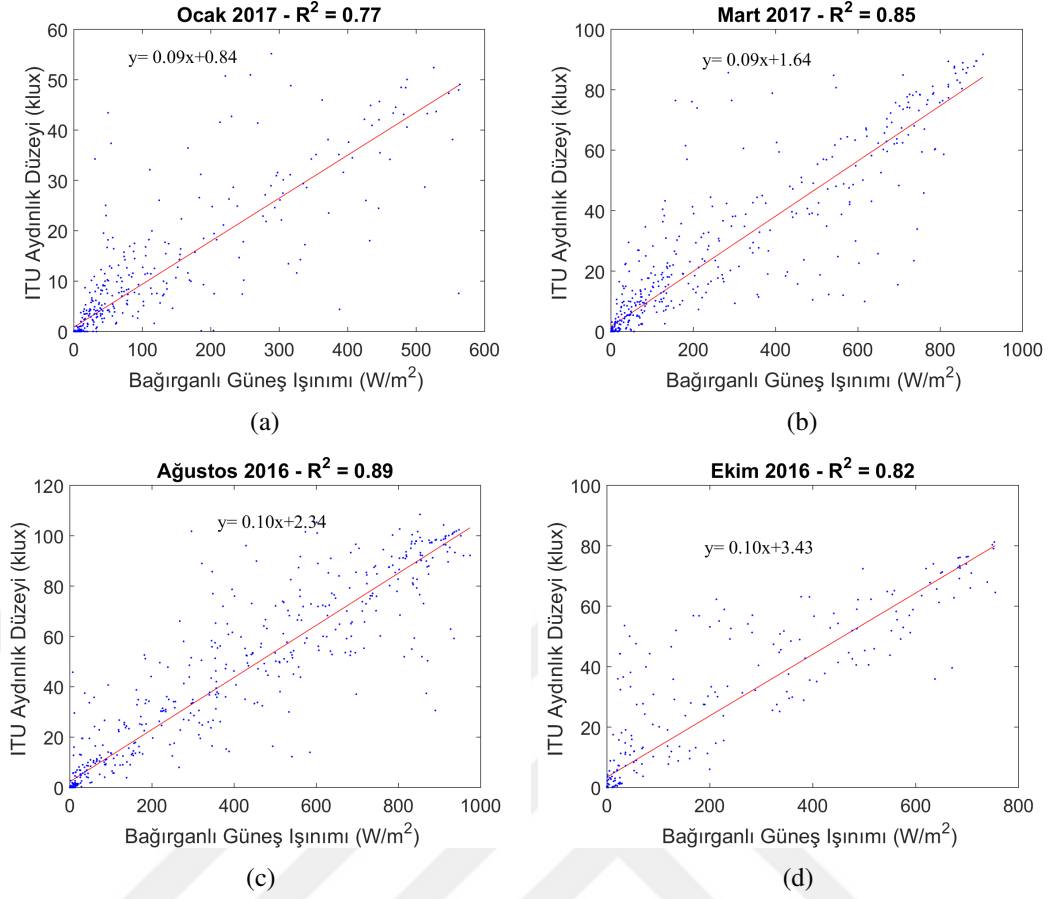
Asya yakasında bulunan bir başka istasyon Şuayipli'ye ait global güneş ışıını ile İTÜ gün ışığı aydınlık düzeyi saçılma diyagramları Şekil 6.9'da verilmiştir. Şuayipli, İTÜ'den 66.2 km uzaklıkta bulunan bir başka kırsal alan istasyonudur. Şekil 6.9 (a)'da Ocak ayına ait saçılma diyagramında R^2 değerinin 0.83 olduğu görülmektedir. Lineer korelasyonun büyüklüğü, uzaklık ile kademeli olarak azalır. Bununla birlikte, bu azalan değer istatistiksel olarak kabul edilebilir bir aralık içinde yer almaktadır. Şekil 6.9 (b)'de gösterilen Mart ayı grafiğinde saçılmanın daha çok düşük güneş ışıını değerlerinde yoğunlaştığı görülmekte iken Şekil 6.9 (c)'de gösterilen Ağustos ayı saçılmalarında hem düşük hem de yüksek güneş ışıını değerlerinde yayılma söz konusudur. Buna rağmen lineerlik durumu korunmaktadır. Ekim ayına ait saçılma diyagramı Şekil 6.9 (d)'de görüldüğü üzere, lineerliğin devam etmesinin yanında saçılmadaki yayılma da etkisini sürdürmektedir. Şuayipli istasyonu Karadeniz kıyısına

yakın bir konumda yer almaktadır (Şekil 4.1). Bu nedenle bu istasyonda, yüzeyden gelen güneş ışınımını azaltmada çok etkili olan bulut etkisi görülebilmektedir.



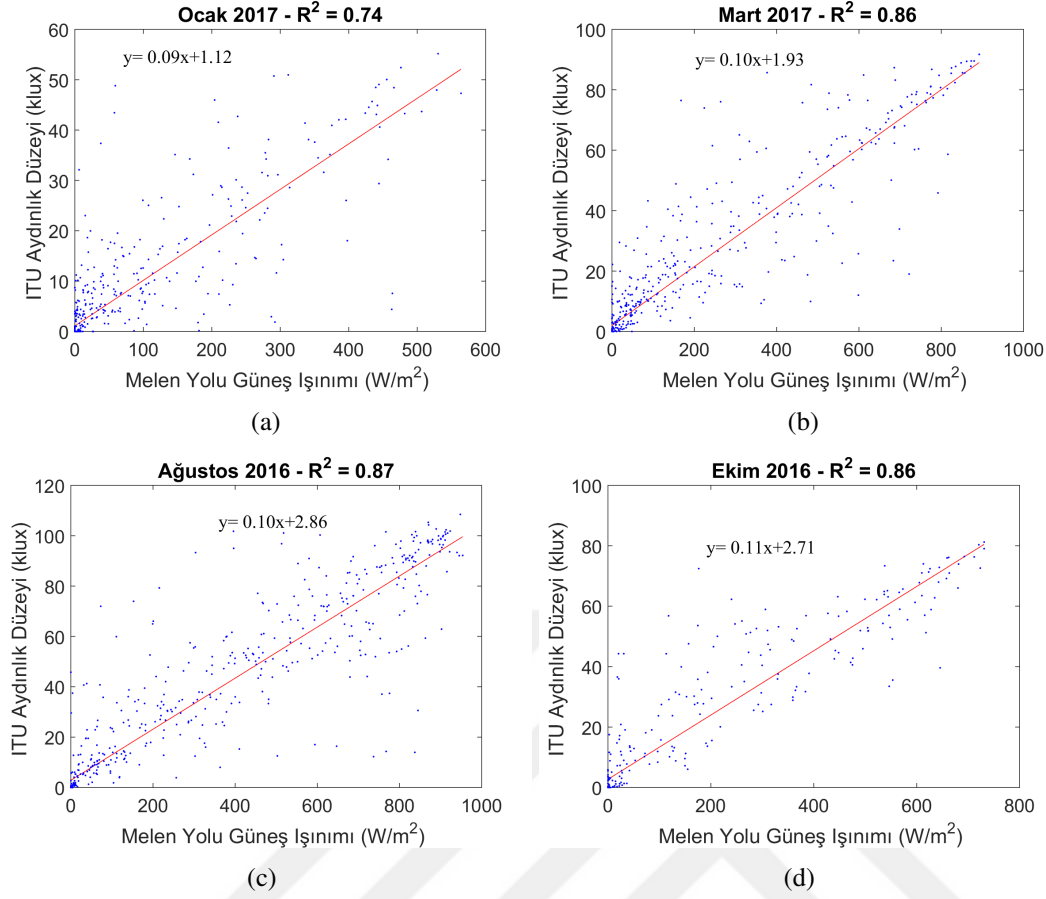
Şekil 6.9 : Şuayipli için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

Şekil 6.10'da Asya yakasındaki bir diğer istasyon olan Bağırhanlı'da ölçülen global güneş ışınımı ile İTÜ referans istasyonunda ölçülen aydınlık düzeyi değerlerinin saçılma diyagramı verilmiştir. Bağırhanlı da Şuayipli gibi, Karadeniz'in kıyılarına yakın ve İTÜ'den daha uzak konumda bulunan bir istasyondur. Dolayısıyla buna göre, lineer korelasyonun kuvveti de azalan bir eğilim göstermektedir (Şekil 6.10 (a)). Buna rağmen, Şekil 6.10 (b) ve (c)'de görüldüğü üzere determinasyon katsayısı Mart ayında 0.85, Ağustos ayında ise 0.89 dur. Bu da, değişkenler arasında ilişki kurarken istatistiksel olarak anlamlı bir değer olarak kabul edilebilir. Şekil 6.10 (d)'de görüldüğü gibi Ekim ayında Şuayipli'ye benzer bir dağılım söz konusudur.



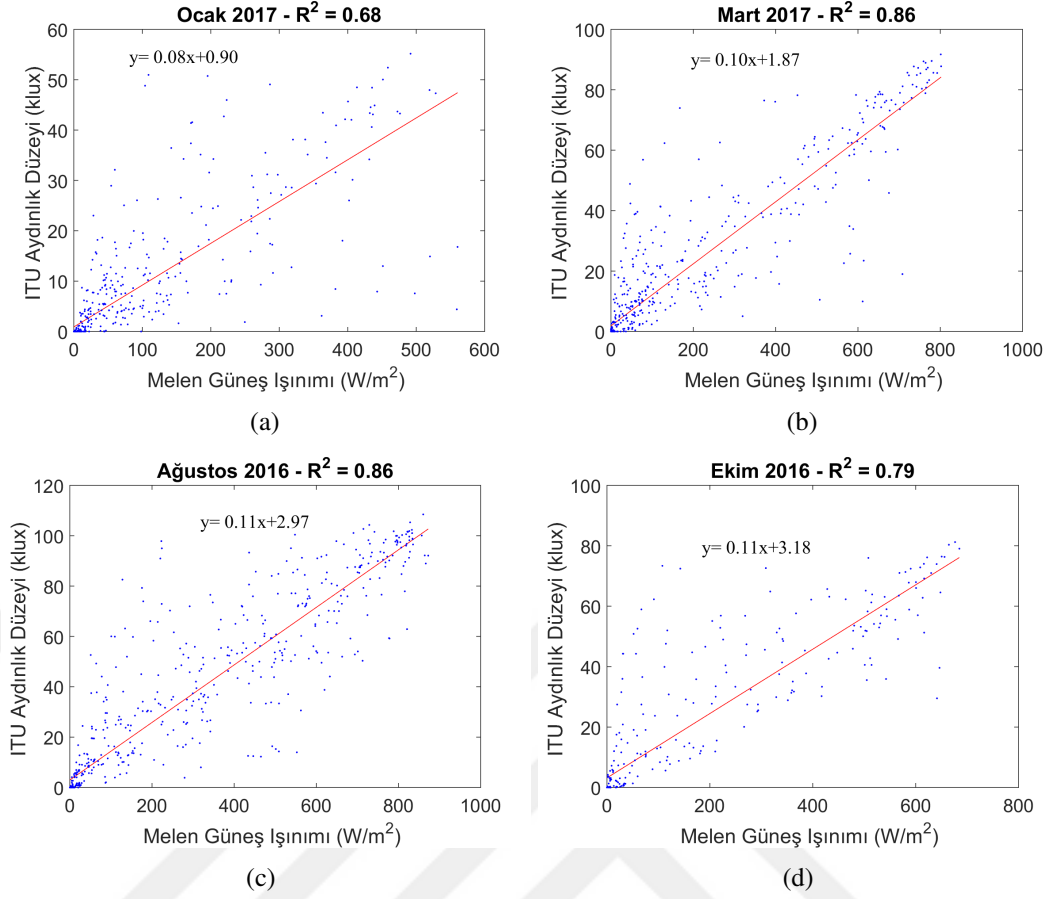
Şekil 6.10 : Bağıranlı için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

İTÜ aydınlık düzeyi ile Melen Yolu istasyonu güneş ışınımı saçılma diyagramları Şekil 6.11’de dört ay için verilmiştir. İTÜ ve Melen Yolu istasyonları arasındaki uzaklık yaklaşık olarak 120 km’dir. Bu istasyon aynı zamanda Karadeniz’in kıyı bölgesinde, orman örtüsünün olmadığı bir alanda yer almaktadır. Ölçümler, buralarda yüksek güneş ışınımı potansiyeli olması gerektiğini göstermektedir. Ancak bu uzak mesafe, Şekil 6.11 (a-d)’de verilen saçılma diyagramlarında bazı sapmaların oluştuğu Melen Yolu’nda görüldüğü üzere, istasyonların klimatolojik özelliklerinde farklılıklara sebep olmaktadır.



Şekil 6.11 : Melen Yolu için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

İTÜ'den en uzak mesafede bulunan son istasyon, bir içme suyu barajının yakınında olan ve yüksek topografyaya sahip ormanlık bir bölgede bulunan Melen istasyonudur. Bu istasyona ait dört ayda ölçülen güneş ışınlımı ile İTÜ aydınlık düzeyi ilişkisini gösteren saçılma diyagramları Şekil 6.12'de verilmiştir. Özellikle Ocak ayındaki korelasyonda nispeten en büyük azalmanın olduğu görülmektedir (Şekil 6.12 (a)). Diğer istasyonlar gibi, mesafe artışı korelasyonda bir azalmaya neden olmaktadır. Yine Mart ayında düşük güneş ışınlımı değerlerindeki saçılma yoğunlaşmış olup, determinasyon katsayısı Ağustos ile aynı değere ulaşmıştır (Şekil 6.12 (b-c)). Şekil 6.12 (d)'de ise Ekim ayında saçılmanın devam ettiği ve R^2 değerinin 0.79'a düştüğü görülmektedir. Melen'de tüm aylarda, özellikle Ocak ayında görülen en fazla düşüşle birlikte, bu korelasyon hala kabul edilebilir derecede yüksektir.



Şekil 6.12 : Melen için (a) 2017 Ocak (b) 2017 Mart (c) 2016 Ağustos (d) 2016 Ekim ayında global ışınım ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

Genel olarak, Şekil 6.8 - 6.12’de görüldüğü gibi, kentsel ve kırsal alanlar arasındaki farklar ile bulut etkileri birlikte İTÜ’nün aydınlık düzeyi ile güneş ışınlımı verileri arasındaki ilişkinin doğrusallığında azalmaya neden olmaktadır.

Sonuç olarak, her mevsimi temsil eden dört ayın sonuçları incelenmiş ve referans istasyonun aydınlık değerleri ile diğer istasyonların güneş ışınlımı verileri arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Çizelge 6.1’de her bir istasyonun kendi arasında İTÜ ile ve tüm istasyonların birbiri ile toplu olarak karşılaştırması sunulmaktadır. Değerlendirmelerden çıkan sonuç olarak İstanbul’un doğusu ile batısı farklı karakteristik özellikler göstermektedir. İstanbul’un doğu kesiminde ilişki, giderek artan mesafeyle ters orantılı olarak azalmaya meyillidir. Örneğin, ilkbaharda (Mart), aydınlık düzeyi ve güneş ışınlımı alansal homojenliği artan bir eğilim göstermektedir. Başka bir deyişle, Mart ayında bölgenin bulutluluğu hemen hemen benzer özellikler taşımaktadır. Sonbaharda, ilkbaharda olduğu gibi, referans istasyonda ölçülen aydınlık

verileri ile diğ er istasyonlarda  l   len güneş ışınımı değ erleri arasında, İT 'ye en uzak istasyon olan Melen hariç, yüksek bir korelasyon vardır ( izelge 6.1).



Çizelge 6.1 : İTÜ’de ölçülen ve diğer 7 istasyon için hesaplanan aydınlık düzeyi determinasyon katsayıları ve oluşturulan denklemler.

İstasyonlar	Ocak		Mart		Ağustos		Ekim	
	Denklem	R ²	Denklem	R ²	Denklem	R ²	Denklem	R ²
ITU - ITU	$y=0.12x+0.31$	0.98	$y=0.11x+0.52$	0.98	$y=0.12x+0.53$	0.99	$y=0.12x+0.66$	0.97
ITU - İkitelli	$y=0.10x+0.08$	0.92	$y=0.10x+0.22$	0.96	$y=0.11x+0.29$	0.95	$y=0.11x+0.34$	0.93
ITU - Ormanlı	$y=0.09x+0.93$	0.79	$y=0.09x+1.13$	0.85	$y=0.11x+1.39$	0.89	$y=0.11x+1.05$	0.87
ITU - Omerli	$y=0.09x+0.32$	0.91	$y=0.10x+0.92$	0.95	$y=0.11x+1.09$	0.94	$y=0.10x+0.95$	0.94
ITU - Suayıplı	$y=0.09x+0.70$	0.83	$y=0.10x+1.62$	0.86	$y=0.11x+1.99$	0.90	$y=0.11x+3.01$	0.85
ITU - Bağırhanlı	$y=0.09x+0.84$	0.77	$y=0.09x+1.64$	0.85	$y=0.10x+2.34$	0.89	$y=0.10x+3.43$	0.82
ITU - Melen Yolu	$y=0.09x+1.12$	0.74	$y=0.10x+1.93$	0.86	$y=0.10x+2.86$	0.87	$y=0.11x+2.71$	0.86
ITU - Melen	$y=0.08x+0.90$	0.68	$y=0.10x+1.87$	0.86	$y=0.11x+2.97$	0.86	$y=0.11x+3.18$	0.79

Çizelge 6.1’de verilen İTÜ aydınlık düzeyi ile diğer istasyonların global güneş ışıını verisinden faydalanılıp her bir istasyon için elde edilen denklemler kullanılarak zamansal güneş ışıını ve aydınlık düzeyi konturları çizilmiştir. Elde edilen bu konturlar Ek-B’de verilmiştir.

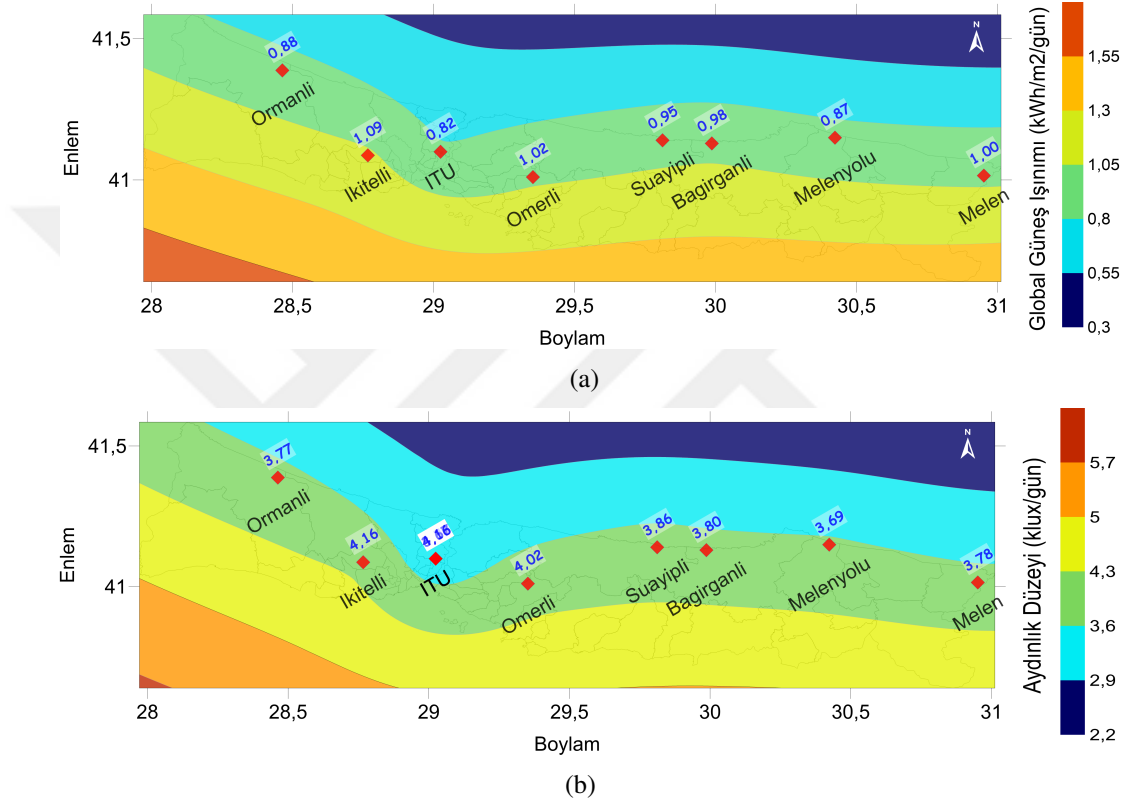
6.2 Haritalandırma Sonuçları

Saçılma diyagramlarında görüleceği üzere, tüm istasyonlarda ölçülen global güneş ışıını ve İTÜ istasyonunda ölçülen aydınlık düzeyleri arasında, R^2 değerinin zaman zaman 1.0 a yaklaştığı bir ilişki bulunmaktadır. Sonuçlardan yansıyan bu güçlü korelasyon, diğer istasyonlarda ölçülen güneş ışıını değerlerinin İTÜ’de yapılan aydınlık düzeyi ölçümleriyle karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır.

Ölçüm alınan bölgede veya bölgeden uzak olan alanlar için güneş radyasyonu değerleri Kriging ile interpolasyona tabi tutulmuştur. Çalışılan değişkenin alansal değişimleri Golden Software’in bir yazılım paketi olan Surfer 13 kullanılarak haritalar halinde gösterilmiştir. Çalışılan bölge içerisindeki ölçüm yapılan tüm istasyonlarda güvenilir datası bulunan aylar için haritalar oluşturulmuştur. Yılın dört mevsimini temsil eden aylara ait haritalar Şekil 6.13 - 6.16’da sunulmaktadır. Diğer aylara ait haritalar ise Ek D’de verilmiştir. Alansal interpolasyon metodolojilerinin uygulanması, araziden uzak noktalarda bazı hatalara neden olur. Bu çalışmada özellikle 41°N ve 41.5°N enlemleri arasındaki alanın yorumlanması daha doğru olacaktır.

Ocak (2017) ayında tüm istasyonlarda ölçülen güneş ışıınının alansal interpolasyonu ve İTÜ istasyonu referans alınarak diğer istasyonlar için kestirimi yapılan aydınlık düzeyinin alansal interpolasyonu sonucu oluşturulan haritalar Şekil 6.13’te verilmektedir. Şekil 6.13 (a)’da görüleceği üzere Ocak ayı global güneş ışıını dağılımında, İstanbul’un güneyinden kuzey bölgelerine kademeli olarak azalan iki alansal kümelenme gözlemlenmiştir. Global güneş ışıını verileri, İstanbul’un merkezi kesimindeki yerleşim ve sanayi faaliyetleri tarafından ortaya çıkan kentsel etkilerin neden olduğu birtakım sapmalar göstermektedir. İstanbul’da, Boğaz’ın topoğrafyası da güneş radyasyonu potansiyelinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, İTÜ istasyonu en düşük değer olan 0.82 kWh/m²/gün değerini göstermektedir. İTÜ’nün aksine, İTÜ’ye en yakın mesafede yer alan ve şehrin Avrupa yakasında bulunan İkitelli istasyonu, en yüksek güneş ışıını seviyelerini görmektedir.

Şekil 6.13 (b)'de Ocak ayı aydınlık düzeyi haritası gösterilmektedir. Kentsel yaşamın Ocak ayı aydınlık düzeyi üzerindeki en fazla etkisi, haritanın merkezine yakın bölgede görülebilir. Yine güneş ışınlamında olduğu gibi, İstanbul'un kuzey ve güney kısımlarında iki ana aydınlık düzeyi kümeleri bulunmaktadır. Güneybatı kısmı en yüksek aydınlık seviyelerini gösterse de, aydınlık düzeyi ve güneş radyasyonu arasındaki karşılaştırma özellikle güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda olmak üzere genel olarak homojen bir yapıya sahiptir.



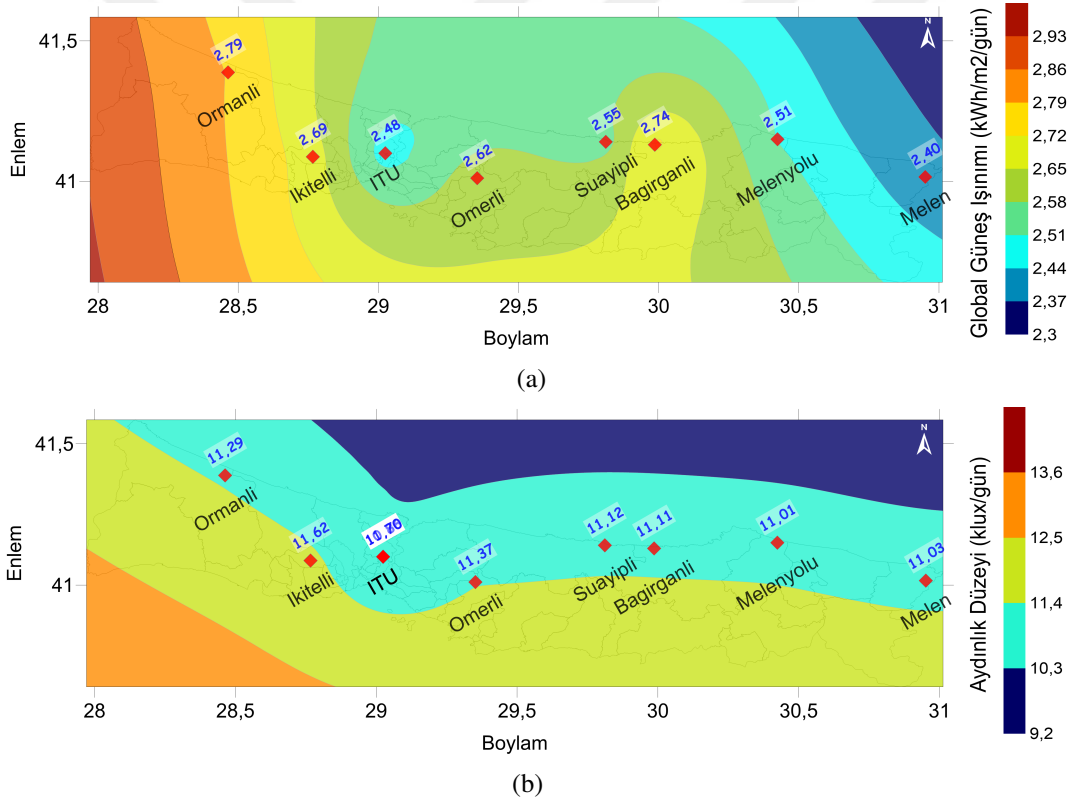
Şekil 6.13 : 2017 Ocak ayı için (a) global güneş ışınlamı (b) aydınlık düzeyi haritaları.

Şubat (2017) ayı için güneş ışınlamı ve aydınlık düzeyi haritaları Şekil D.2'de verilmiştir. Ocak ayına göre ortalama olarak daha yüksek değerler görülmektedir. Güneş ışınlamı potansiyeli açısından en yüksek değer İkitelli istasyonunda gözlemlenmiştir (Şekil D.2 (a)). Çalışma alanındaki istasyonların genel olarak bölgenin kuzeydoğusunun etkisi altında olduğu görülmektedir. Şekil D.2 (b)'de görülen aydınlık düzeyi haritasına göre ise bu ayda kararlı atmosfer etkilerinin artmasıyla daha homojen bir yapıya kavuşmuştur.

Şekil 6.14'te Mart (2017) ayı için oluşturulan global güneş ışınlamı ve aydınlık düzeyi haritaları gösterilmektedir. Bu ayda, sonuçlar genellikle kuzey-güney yönünde bölgesel olarak homojendir. Şekil 6.14 (a)'dan da anlaşılacağı üzere güneş radyasyonu

potansiyeli, İstanbul'un batı kesiminde daha büyüktür, buradaki istasyonların enlem derecesi, çalışma alanının doğu kesiminden daha yüksektir. Bir diğer önemli nokta ise, İTÜ ve Bağırzanlı istasyonlarının davranışları tipik olduğu için, bu aylarda güneş ışıınım özelliklerinin bölgesel olarak iki kümeye ayrılmasıdır. Bu değişim, bu aydaki bulutlulukta görülen farklılıklarla açıklanabilir.

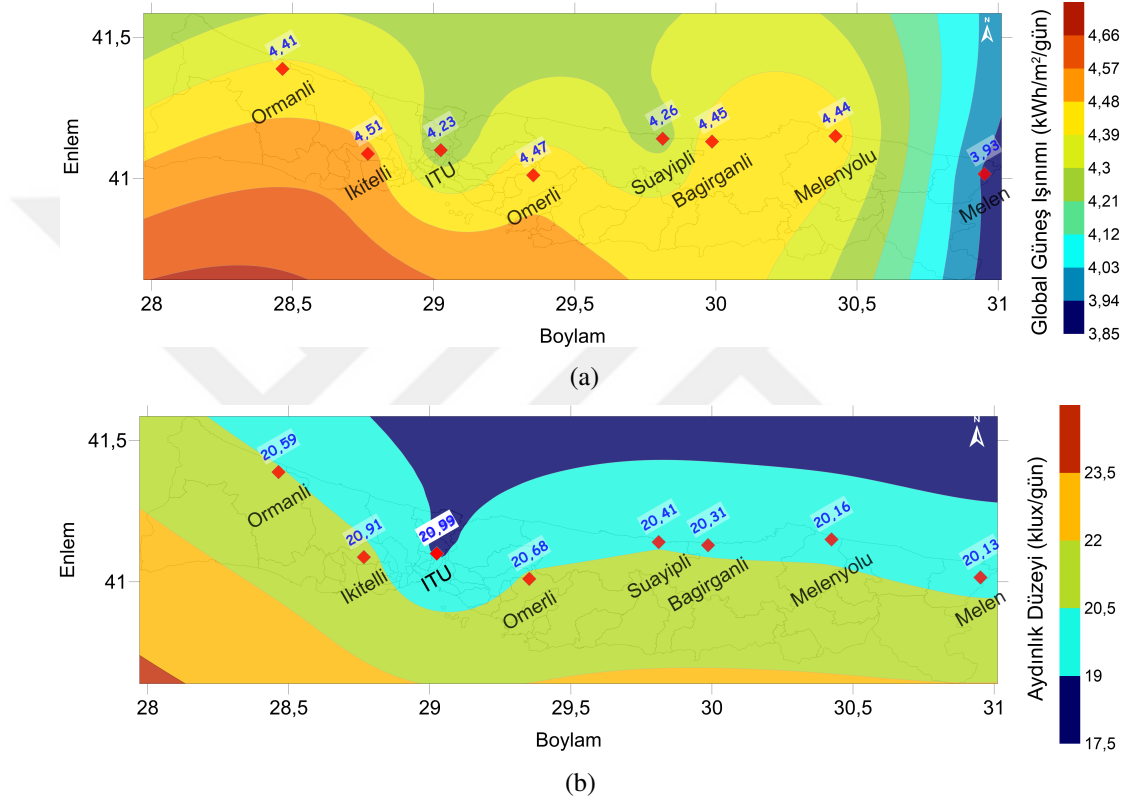
Mart ayı aydınlık düzeyi haritası Şekil 6.14 (b)'de gösterilmektedir. Ölçülen ve hesaplanan aydınlık düzeyi verileri, İstanbul Boğazı yakınında bulunan İTÜ dışında genellikle homojendir. Hava kirliliği ve subuharı miktarındaki artışların yanı sıra topoğrafya farklılıkları homojenlikten sapmaya sebebiyet vermektedir. Bu bölge güneş radyasyonu kadar belirgin bir biçimde olmasa da aydınlık düzeyleri açısından da kendisine has birtakım özellikler göstermektedir.



Şekil 6.14 : 2017 Mart ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.

Ağustos (2016) ayı için oluşturulan global güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi haritaları Şekil 6.15'te verilmiştir. Buna göre Şekil 6.15 (a)'ya bakıldığında güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek değerlerinin genellikle Ağustos ayında görülmesinin beklendiği ve bu beklentinin gerçekleştiği görülmektedir. Çalışma alanında, sonuçların alansal olarak homojen bir yapı göstermesi beklense de, güneş ışıınımındaki değişkenlik çok yüksektir. Şehir ısı adası etkileri Ağustos ayında bu

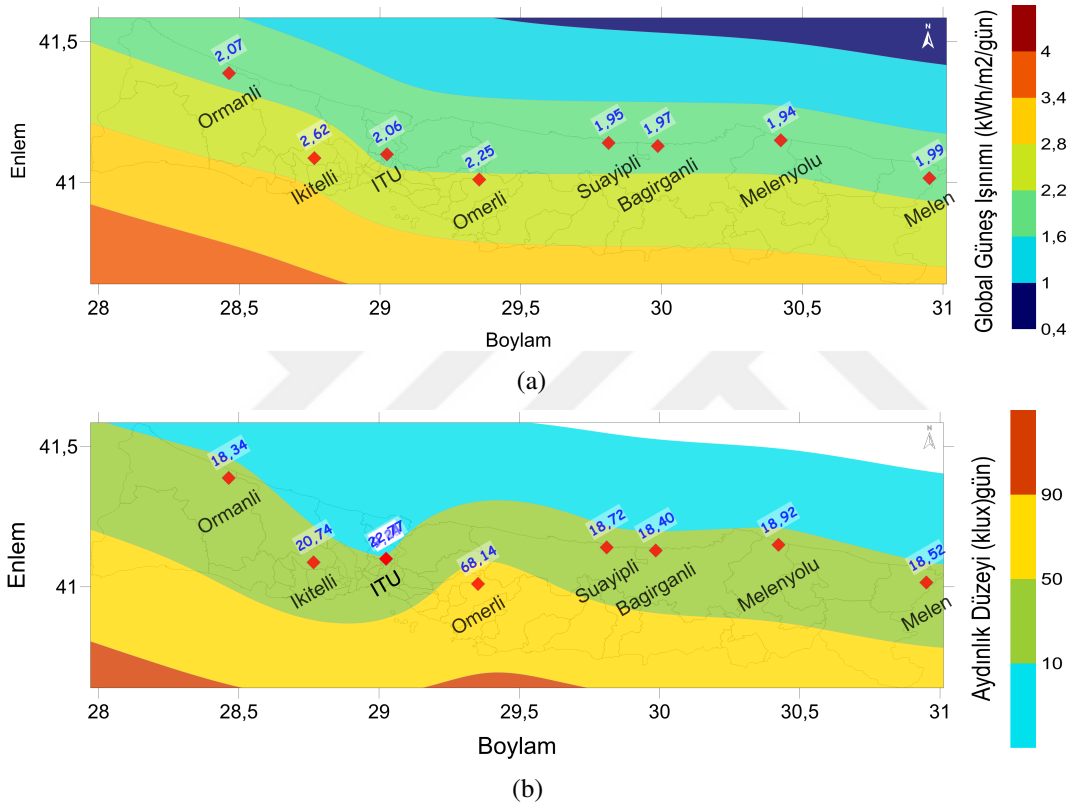
duruma neden olmaktadır ve en yüksek güneş ışıını potansiyeli İstanbul'un güney kesiminde görülmektedir. En düşük güneş ışıını potansiyelinin gözlemlendiği Melen bölgesinde beklenmedik bir değer oluşmuştur. Şekil 6.15 (b)'de verilen Ağustos ayı gün ışığı aydınlık düzeyi haritasında ise güneş radyasyonundan farklı olarak, aydınlık düzeyinin bu bölgede nispeten homojen bir hal aldığı görülmektedir. Ancak, bölgenin kuzeydoğu kesimindeki aydınlık değerleri, İstanbul'un güney kesiminden biraz daha düşüktür.



Şekil 6.15 : 2016 Ağustos ayı için (a) global güneş ışıını (b) aydınlık düzeyi haritaları.

Eylül (2016) ayı için oluşturulan güneş ışıını ve aydınlık düzeyi haritaları Şekil D.7'de verilmiştir. İstanbul'da efektif yağışlar genellikle sonbaharda başlar ve ilkbahar sonuna kadar ara ara devam eder. Şekil D.7 (a)'da görüleceği üzere Eylül ayında en yüksek güneş ışıını değeri 3,86 kWh/m²/gün ile İkitelli istasyonunda ortaya çıkmıştır. Şekil D.7 (b)'de Eylül ayına ait aydınlık düzeyi haritası oluşturulmuştur. Bölgede kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda oluşan homojen yapının sürekliliğini İTÜ istasyonu konumu itibarıyla bozmaktadır. Bu homojenliğin bozulmasında İTÜ'nün de kapsama alanı içerisinde bulunduğu Boğaz etkisi rol oynamaktadır.

Ekim (2016) ayına ait güneş ışınlamı ve aydınlık düzeyi haritaları Şekil 6.16'da verilmiştir. Şekil 6.16 (a)'da görüleceği üzere ölçümler Ekim ayında da güneş radyasyonunun en yüksek değerlerinin İkitelli'de ortaya çıktığını göstermektedir. Yaz mevsimi etkilerinin giderek azalmasıyla birlikte bölgedeki güneş ışınlamı, daha belirgin bir homojenliğe kavuşmuştur. Şekil 6.16 (b)'de görülen Ekim ayındaki gün ışığı aydınlık düzeyi değerleri sonbaharda astronomik koşullara bağlı olarak azalır ve hemen hemen kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda hizalanmış bir alansal değişime sahiptir.



Şekil 6.16 : 2016 Ekim ayı için (a) global güneş ışınlamı (b) aydınlık düzeyi haritaları.

6.3 Yağışa Geçebilir Subuharı - İstanbul Modeli Sonuçları

Perez [1] modelinde global aydınlık düzeyi için yağışa geçebilir subuharı hesaba katılarak hesaplanmıştır. Yağışa geçebilir subuharını hesaplamada ise Bölüm 5'te anlatılan Denklem 2.13'teki genel ifade kullanılmıştır. Tezde çalışılan bölge için de öncelikle aynı yöntem kullanılarak İstanbul için aydınlık düzeyi hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra, yağışa geçebilir subuharını hesaplamada yine Bölüm 5'te verilen Topçu [121] tarafından geliştirilmiş olan yarı logaritmik formül (Denklem 5.7) kullanılmıştır. Bu formül İstanbul, Ankara ve İzmir illeri için bölgeye özgü yerel katsayıları içerdiğinden,

aydınlık düzeyi hesabında Denklem 5.7'in kullanımı tercih edilerek İstanbul için aydınlık modeli (Perez ($W_{İstanbul}$)) oluşturulmuştur. Her iki modelden elde edilen yağışa geçebilir subuharı değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar aydınlık düzeyi hesabında kullanılmıştır. Sonuçta bulunan aydınlık düzeyi değerleri ölçümlerle karşılaştırılarak modellerin hataları aylık olarak çizelgeler halinde (Çizelge 6.2-6.12) verilmiştir. Hata karşılaştırmasında istatistikte en çok başvurulan Yüzde Bağlı Hata (RE), Yüzde Karesel Ortalama Hatanın Karekökü (RMSE) ve Yüzde Ortalama Sapma Hatası (MBE) değerleri karşılaştırılmıştır.

Perez klasik modeli ile sonuçlar karşılaştırıldığında, genel olarak Perez ($W_{İstanbul}$) modelinin RE, RMSE ve MBE sonuçlarında ortalama %1-2 civarında azalma sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte Temmuz ayında az miktarda da olsa (RE: %0.14, RMSE: %0.19, MBE: %0.19) artışa sebep olmuştur. Modelin fiziksel yapısına getirilen önerinin İstanbul özelinde sonuçlara katkı sunduğu görülmüştür.

6.4 Sınıflandırma ve Bulanık Model Sonuçları

Perez'de kullanılan sabit katsayılar yerine, her sınıf aralığı için değişen katsayılar hesaplanmış ve süreklilik konseptini içeren bulanık model oluşturulmuştur. Modelin detayları Yöntem bölümünde verilmiştir.

Perez klasik model [1], Perez klasik modele dayalı dört sınıflı (Perez(4 sınıf)) ve iki sınıflı model (Perez (2 sınıf)) ve ANFİS temeline dayalı 15-sınıflı bulanık model (Anfis (15 sınıf)), 7-sınıflı bulanık model (Anfis (7 sınıf)) ve 3-sınıflı bulanık model (Anfis (3 sınıf)) sonuçları ölçüm değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Oluşturulan tüm modellerin ölçümlerle karşılaştırılması sonucu elde edilen istatistiksel hata değerleri, her ay için (Çizelge 6.2-6.12)'de verilmiştir. Ocak 2017 için hesaplanan hata sonuçlarına göre en küçük (R^2) değeri Perez klasik modelde elde edilirken, Anfis (15 sınıf) modelinde 1 değeri bulunmuştur. Buradan aslında tüm modellerin ölçümlerle yüksek değişim oranına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ancak RE, RMSE ve MBE değerlerine bakıldığında İstanbul için model sonuçlarının beklenildiği kadar mükemmel olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bir diğer göze çarpan nokta ise Perez klasik modelinde elde edilen hata değerlerinin Anfis (15 sınıf) modelinde önemli oranda azalmasıdır.

Çizelge 6.2 : Hata karşılaştırmaları (Ocak 2017).

Ocak	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	27.35	23.11	15.72
Perez ($W_{İstanbul}$)	26.97	21.33	15.14
Perez (4 sınıf)	26.38	19.28	14.3
Perez (2 sınıf)	27.39	22.79	16.19
Anfis (15 sınıf)	21.52	9.35	7.28
Anfis (7 sınıf)	24.44	14.85	11.13
Anfis (3 sınıf)	24.57	14.82	11.22

Çizelge 6.3'te Şubat (2017) ayına ait tüm modeller için hesaplanan hata değerleri karşılaştırılmıştır. Bu ayda Çizelge 6.2 ile benzer değerler elde edilmiştir. Buna karşın klasik Perez modeli ile kıyaslandığında, Anfis (15 sınıf) modeli sayesinde RE değerinde %26.02'den %19.36'ya düşen bir iyileştirme sağlanmıştır.

Çizelge 6.3 : Hata karşılaştırmaları (Şubat 2017).

Şubat	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	26.16	17.29	11.28
Perez ($W_{İstanbul}$)	26.02	16.78	11.07
Perez (4 sınıf)	24.48	12.99	8.48
Perez (2 sınıf)	25.48	15.05	9.88
Anfis (15 sınıf)	19.36	6.28	3.89
Anfis (7 sınıf)	22.66	9.52	5.73
Anfis (3 sınıf)	22.85	9.55	5.81

İTÜ aydınlık düzeyi Mart (2017) ayına ait ölçüm dataları referans alınarak oluşturulan tüm modellerin hataları Çizelge 6.4'te gösterilmektedir. İstanbul için yerel katsayıların kullanıldığı Perez ($W_{İstanbul}$) modeli, anlamlı bir iyileştirme sağlamazken (RE=%29.41) klasik modeldeki sekiz grup yerine dört sınıf modeli kullanıldığında bağıl hata da az da olsa bir azalma (RE=%21.81) sağlamıştır. Bunun yanında RMSE ve MBE değerlerindeki azalma ise daha dikkat çekici olmakla birlikte Anfis (15 sınıf) modeli için değerleri sırasıyla, %4.8 ve %1.21 dir. RMSE ve MBE'nin küçük değerlere sahip olması bir anlamda modellerin tutarlılığını göstermektedir.

Çizelge 6.4 : Hata karşılaştırmaları (Mart 2017).

Mart	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	29.88	16.6	8.48
Perez (W_{Istanbul})	29.41	15.1	7.75
Perez (4 sınıf)	27.82	10.95	4.14
Perez (2 sınıf)	29.59	13.67	6.29
Anfis (15 sınıf)	21.81	4.8	1.21
Anfis (7 sınıf)	26.12	8.35	2.16
Anfis (3 sınıf)	26.57	8.87	1.92

Benzer şekilde Nisan (2017) için modellerin hataları hesaplanarak karşılaştırılan sonuçlar Çizelge 6.5'te sunulmuştur. Yaklaşık %28 lere varan bağıl hataların olduğu, buna karşılık sadece Anfis (15 sınıf) modelinde %14.55 seviyesine düştüğü görülmektedir. Benzer şekilde %16.07 ve %6.52 olan RMSE ve MBE değerlerinin %3.76 ve %-0.03'e düştüğü göze çarpmaktadır. Negatif ve sıfıra yakın RMSE ve MBE değerleri, modelin küçük değerlerdeki tahmin yeteneğinin arttığını göstermektedir.

Çizelge 6.5 : Hata karşılaştırmaları (Nisan 2017).

Nisan	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	27.43	16.07	6.52
Perez (W_{Istanbul})	26.23	13.82	5.32
Perez (4 sınıf)	21.66	8.78	1.85
Perez (2 sınıf)	26.15	12.11	4.03
Anfis (15 sınıf)	14.55	3.76	-0.03
Anfis (7 sınıf)	22.46	10.09	2.08
Anfis (3 sınıf)	24.35	11.83	2.78

Çizelge 6.6'da Mayıs (2016) ayı için hesaplanan model hataları verilmektedir. Bu ayla birlikte modellerin tutarlılığında bir artış söz konusudur. Özellikle Anfis modellerinde, diğer tüm Perez modellerine göre önemli iyileştirmelerin sağlandığı göze çarpmaktadır. Bağıl hatadaki %16.68'den %4.57 düşüş ile en iyi performans yine Anfis (15 sınıf) modeline aittir. Bunu izleyen Anfis (7 sınıf) ve Anfis (3 sınıf) modellerinin performansları da istatistiksel olarak oldukça tutarlı olduklarını işaret etmektedir. Bunun yanında MBE değerleri de sıfıra çok yaklaşmıştır. Bu da bahar ayı olan Mayıs'ta gökyüzü kapalılığındaki azalışlara ve mevsimsel sistem geçişlerindeki artışa rağmen modellerin oldukça iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Çizelge 6.6 : Hata karşılaştırmaları (Mayıs 2016).

Mayıs	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	16.68	17.05	7.78
Perez ($W_{İstanbul}$)	14.28	13.47	5.62
Perez (4 sınıf)	9.95	7.55	2.43
Perez (2 sınıf)	12.36	9.99	4.79
Anfis (15 sınıf)	4.57	3.05	0.59
Anfis (7 sınıf)	7.93	5.99	0.99
Anfis (3 sınıf)	8.02	6.32	1.32

Haziran (2016) için hesaplanan model sonuçları Çizelge 6.7’de gösterilmektedir. Klasik modele göre İstanbul için yağışa geçebilir subuharı gözönünde bulundurularak hesaplanan modelde bir iyileştirme olmakla birlikte, 4 sınıflı Perez modelinin de hatalardaki azalışa katkı sağladığı görülmektedir. Bu durumun aksine 2 sınıflı Perez modelinin kullanılmak istenmesi halinde ise klasik modele nazaran olumlu bir katkı görülse de tercih edilme için bir gereklilik bulunmamaktadır. Asıl istenen katkıyı Anfis modelleri vermekle birlikte en fazla iyileştirmeyi yine 15 sınıflı Anfis modeli sağlamaktadır.

Çizelge 6.7 : Hata karşılaştırmaları (Haziran 2016).

Haziran	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	15.86	12.15	8.59
Perez ($W_{İstanbul}$)	14.83	10.9	7.92
Perez (4 sınıf)	12.04	6.85	4.92
Perez (2 sınıf)	14.98	10.04	8.46
Anfis (15 sınıf)	6.29	2.64	1.5
Anfis (7 sınıf)	11.2	5.67	2.88
Anfis (3 sınıf)	11.38	6.24	1.85

Çizelge 6.8’de Temmuz (2016) için hesaplanan modellerin hata değerleri karşılaştırılmıştır. Haziran’da az da olsa klasik modele iyileştirme katkısı sunabilen 2 sınıflı Perez modelinin katkısı bu ayda olumsuzla dönmüştür. Buna rağmen tüm modeller içerisinde en yüksek başarıyı yine Anfis (15 sınıf) modeli göstermeye devam etmektedir.

Çizelge 6.8 : Hata karşılaştırmaları (Temmuz 2016).

Temmuz	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	13.94	9.87	8.54
Perez ($W_{İstanbul}$)	14.08	10.06	8.73
Perez (4 sınıf)	12.8	6.99	5.94
Perez (2 sınıf)	14.73	10.15	9.09
Anfis (15 sınıf)	6.94	2.61	1.92
Anfis (7 sınıf)	11.78	6.26	4.31
Anfis (3 sınıf)	11.94	6.94	3.01

Ağustos (2016) için hesaplanan model sonuçları Çizelge 6.9’da karşılaştırılmaktadır. Görüleceği üzere klasik modelde %15.2 olan bağıl hata, Perez ($W_{İstanbul}$) modelinde %14.57’ye, 4 sınıflı modelde %10.94’e düşmüştür. En yüksek başarıyı ise önceki aylarda olduğu gibi 15 sınıflı Anfis modeli göstermiştir.

Çizelge 6.9 : Hata karşılaştırmaları (Ağustos 2016).

Ağustos	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	15.2	12.8	9.84
Perez ($W_{İstanbul}$)	14.57	11.4	9.12
Perez (4 sınıf)	10.94	7.09	5.67
Perez (2 sınıf)	13.76	10.79	9.12
Anfis (15 sınıf)	5.94	3.23	2.2
Anfis (7 sınıf)	11.1	6.7	5.24
Anfis (3 sınıf)	11.11	6.65	4.91

Bahsedilen modeller için Eylül (2016) ayına ait hata karşılaştırmaları Çizelge 6.10’da verilmektedir. İlk bakışta farkedileceği gibi klasik Perez modelinde bağıl hata %18.52 iken Anfis (15 sınıf) sayesinde hata %5.33 değerine kadar düşmektedir. Benzer şekilde MBE değerlerine bakıldığında diğer modeller arasında Anfis (15 sınıf) modelinin başarısı %1.87 ile göze çarpmaktadır.

Çizelge 6.10 : Hata karşılaştırmaları (Eylül 2016).

Eylül	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	18.52	16.7	11.8
Perez ($W_{İstanbul}$)	16.39	13.03	9.61
Perez (4 sınıf)	11.71	7.9	5.6
Perez (2 sınıf)	15.58	11.74	9.07
Anfis (15 sınıf)	5.33	3.28	1.87
Anfis (7 sınıf)	11.58	7.47	5.31
Anfis (3 sınıf)	11.47	7.31	5.01

Çizelge 6.11’de Ekim (2016) ayına ait model hataları karşılaştırılmaktadır. Buna göre, Eylül ayındaki kadar dikkat çekici olmasa da klasik model ile kıyaslandığında bağlı hatada bir miktar düşüş olduğu görülmektedir. Ekim ayında RMSE’de %21.99’dan %4.39 değerine düşmekle anlamlı derecede iyileştirme sağlanmıştır.

Çizelge 6.11 : Hata karşılaştırmaları (Ekim 2016).

Ekim	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	25.1	21.99	14.72
Perez (W_{İstanbul})	22.98	17.75	12.02
Perez (4 sınıf)	18.38	10.31	6.93
Perez (2 sınıf)	21.7	14.61	10.81
Anfis (15 sınıf)	10.99	4.39	2.31
Anfis (7 sınıf)	19.79	13.27	8.36
Anfis (3 sınıf)	20.05	13.55	8.42

Son olarak Aralık (2016) ayına ait modellerin hata sonuçları Çizelge 6.12’te karşılaştırılmaktadır. Diğer aylara nazaran Aralık’ta klasik modele göre hatalardaki azalma daha düşük seviyelerde kalmakla birlikte yine en iyi sonucu 15 sınıflı Anfis modeli vermektedir.

Çizelge 6.12 : Hata karşılaştırmaları (Aralık 2016).

Aralık	RE (%)	RMSE (%)	MBE (%)
Perez (klasik)	16.17	19.67	9.29
Perez (W_{İstanbul})	16.18	19.62	9.25
Perez (4 sınıf)	14.79	13.77	9.08
Perez (2 sınıf)	16.77	20.05	9.85
Anfis (15 sınıf)	13.66	11.09	7.29
Anfis (7 sınıf)	18.27	15.28	7.47
Anfis (3 sınıf)	18.44	15.4	7.76

İklim koşulları yılın %62’si açık gökyüzü şartlarına sahip olan İstanbul’dakine benzer olan bir bölgede, gün ışığı aydınlık düzeyinin 10000 klux değerini aştığı, başka bir ifadeyle aydınlık sayılan günler için tüm modellerin yakaladığı aydınlık günlerin ölçüsü olan yakalama olasılığı, POD, Çizelge 6.13’ten görüldüğü üzere 0.95 ile 0.98 arasındadır. Aydınlık düzeyi yetersiz olduğu halde modellerin aydınlık gün olarak verdiği oranı temsil eden yanlış uyarı oranı, FAR, ise 0.05 ile 0.07 olarak hesaplanmıştır. Arada büyük bir fark olmamakla birlikte, klasik Perez modeli ile 15 sınıflı bulanık Perez modeli aynı FAR değerlerine sahip olup, bulanık modelin gözlemleri yakalama olasılığı %5 daha fazladır.

Çizelge 6.13 : Tüm modeller için POD ve FAR yaklaşımları.

Model	POD	FAR
Perez (klasik)	0,93	0,07
Perez ($W_{İstanbul}$)	0,95	0,06
Perez (4 sınıf)	0,95	0,05
Perez (2 sınıf)	0,95	0,06
Anfis (15 sınıf)	0,98	0,07
Anfis (7 sınıf)	0,95	0,06
Anfis (3 sınıf)	0,95	0,06



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi meteoroloji gözlem parkına yatay olarak yerleştirilen lüksmetre ve piranometre cihazları kullanılarak sırasıyla, bir dakikalık ve saatlik ölçümler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca bu ölçümlere ek olarak İstanbul ve çevresindeki yedi istasyonda daha saatlik global güneş ışıınımı ölçümleri yapılmış ve hesaplamalarda İTÜ meteoroloji parkı referans istasyon olarak seçilmiştir.

- İTÜ’de ölçülen saatlik global güneş ışıınımına karşılık gelen saatlik gün ışığı aydınlık düzeyi ortalama değerleri arasında ilişki oluşturulmuştur. Bunun sonucunda gün ışığı aydınlık düzeyinin global güneş ışıınımı verileriyle oldukça orantılı olduğu görülmüştür. Ocak ayında ilişkilerin düşük olduğu görülmüştür. Bunun temelinde kış mevsiminde bulut kapallılığı ve türbidite yoğunluğunun artması yatmaktadır. Özellikle kış ve bahar aylarında, bahsedilen meteorolojik değişkenler gün ışığı aydınlık düzeyinde önem kazanmaktadır. Yaz mevsimini temsil eden Ağustos ayında ise genellikle yüksek ilişkilerin olduğu görülmüştür.
- Referans istasyonun ve diğer istasyonların ölçüm değerleri arasındaki korelasyonlar da değerlendirilmiştir. Hesaplanan ilişkilere dayanarak, diğer istasyonların aydınlık değerleri, İTÜ istasyonunda ölçülen aydınlık verileri kullanılarak kestirimi yapılmıştır. Bunun için ölçüm alınan İTÜ istasyonu ve diğer istasyonlar için güneş ışıınımı verileri analiz edilerek Kriging ile interpolasyona tabi tutulmuştur ve İstanbul ve çevresi için gün ışığı aydınlık haritaları hazırlanmıştır. Sonuçlar, bölgedeki güneş radyasyonu ve gün ışığı aydınlık düzeyleri arasında çok yüksek korelasyonlar olduğunu göstermektedir. Buna göre, kış ve bahar aylarında güneş radyasyonu ve aydınlık düzeyi arasındaki doğrusallık azalırken, yaz aylarında bu değişkenler arasındaki korelasyonun yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle bu çalışma, İstanbul ve çevresindeki aydınlık düzeylerinin, güneş ışıınımı bilgilerinin kullanılarak hesaplanabileceğini göstermektedir. Genellikle bölgenin güney kesimlerine gidildikçe gün ışığı aydınlık düzeyi değerleri artmaktadır. Referans

istasyon olarak kullanılan İTÜ, Boğaz etkisiyle düşük güneş ışıınımı değerlerine sahip iken genellikle en yüksek değerler İkitelli istasyonunda görülmüştür. Bunun temelinde ise kentleşme etkileri yatmaktadır. Referans istasyonla arasında 162 km bulunan Melen'de ise topoğrafyanın da etkisiyle diğer istasyonlara oranla daha düşük güneş ışıınımı ve aydınlık değerleri elde edilmiştir.

- Aydınlık düzeylerini hesaplamada literatürde kullanılan modeller araştırılmış ve çalışılan bölge için uygunluk hesabı yapılmıştır. Sonuçta, literatürde sıklıkla referans alınan ve yüksek başarı oranına sahip Perez modeli İstanbul alanına uygulanmış ve ölçümlerle karşılaştırıldığında R^2 değerlerinin 1'e çok yakın olduğu görülmüştür. İstatistiksel hata sonuçları hesaplandığında ise hataların düşünülen oranda düşük çıkmadığı görülmüştür. Bunun üzerine araştırılan modele yeni katkılar getirilmiştir.
- Modele getirilen ilk katkı olarak, bahsedilen modelde kullanılan dört temel atmosferik değişkenden biri olan yağışa geçebilir subuharı miktarı ifadesi değiştirilmiştir. Bunun yerine daha önce Topçu tarafından geliştirilmiş olan yarı logaritmik yağışa geçebilir subuharı denklemi kullanılmıştır. Yeni denklemin kullanılması ile çalışılan bölge olan İstanbul alanı için özel olarak türetilen katsayılar kullanılmış ve modelde en az % 1-2'lik iyileşme sağlanmıştır.
- Bahsedilen modelde kullanılan gökyüzü açıklığı (ϵ) ifadesi hesaplanmıştır. Bulunan değerlere göre gökyüzü sekiz ayrık kategoriye ayrılmış her bir (ϵ) değerine karşılık gelen kullanılan sabit katsayılar yine ayrık olarak değerlendirilmiştir. Bu ayrık sınıflandırma, sonuçlar arasında bir sınıftan diğerine geçerken keskin farklara sebep olmaktadır. Sorunu gidermek için bulanık mantık temelli bir yapay zeka yöntemi olan Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems- ANFIS) yaklaşımı önerilmiştir. Böylece, getirilen katkı ile ayrık sınıfların sebep olduğu keskin sınıf geçişleri yumuşatılmış ve her bir sınıf için modelde kullanılan sabit katsayılar yerine bulanık mantık prensibine uygun olarak sürekli değerler sunan bir bulanık model oluşturulmuştur.
- Son olarak Perez modelinde bahsedilen sekiz ayrık sınıf yerine 15, 7 ve 3 sınıflı bulanık modellerin yanında, 4 ve 2 ayrık sınıflara sahip bulanık olmayan (klasik) modelleri geliştirilmiştir.

- Sonuçta bulanıklaştırma ve sınıflandırma yaklaşımlarının birlikte kullanılması ile klasik Perez modeline alternatif olarak farklı modeller önerilmiştir. Tüm modellerden elde edilen sonuçlar ölçümler ile karşılaştırılmış ve elde edilen hatalar her ay için çizelgeler halinde sunulmuştur. Buna ilave olarak, hesaplanan sonuçları değerlendirmede "yakalama olasılığı" (probability of detection, POD) ve "yanlış uyarı oranı" (false alarm ratio, FAR) istatistiksel yaklaşımları da kullanılmıştır. Genel olarak en iyi sonucu Anfis yaklaşımının kullanıldığı 15 sınıflı model vermiştir. Bunun temelindeki en büyük sebep sınıf geçişlerindeki keskinliğin giderilmesi ve modelin sürekli hale getirilmesi yatmaktadır. Önerilen modellerden en iyi sonucu veren ikinci model olarak ise sabit katsayılı ve 4 sınıflı model vermiştir. Buradan da anlaşılabacağı üzere, klasik modelde kullanılan sekiz sınıfa çok da gerek kalmadığı görülmektedir.

Tezde önerilen ilk katkı modele fiziksel anlamda parametreleri değiştirmede, ikinci katkı modele süreklilik kazandırmada kullanılmıştır. Son katkı olan sınıflandırma ise aydınlık düzeyi modelini temsil eden optimum sınıf sayısını bulmada kullanılmıştır. Bu çalışmanın, özellikle enerji verimliliği ve bina tasarımı ile ilgilenen araştırmacılar için yararlı olduğu düşünülmektedir. İstanbul ve çevresinde enerji verimliliğini arttırmak için gün ışığı araçlarının bir an önce iç ve dış aydınlatma uygulamalarında kullanılması gerektiği önerilmektedir. İlave olarak, planlamacıların ve mühendislerin, bu haritaları kullanarak İstanbul'un doğal gün ışığı koşullarını dikkate almaları şiddetle tavsiye edilmektedir. Gelecek çalışmalarda aydınlık düzeyi tahminleri ile ilgili modellerin geliştirilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J. ve Stewart, R.** (1990). Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance, *Solar Energy*.
- [2] **Demirbaş, C.** (2016). Yaz/Kış Saati Uygulamasının Psikolojik Temelleri ve Etkileri, *A.D. Şahin, B. Durna ve Y.S. Güçlü, (düzenleyenler), 10th International Clean Energy Symposium*, Su Vakfı, İstanbul, s.362–375.
- [3] **Dorene, M.** (2018). Rewriting Lighting for Healthcare, *NEMA electroindustry magazine*, 12–13, https://www.nema.org/news/EIPDF/EI{_}Feb18.pdf.
- [4] **Choi, J.H., Beltran, L.O. ve Kim, H.S.** (2012). Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility, *Building and Environment*, 50, 65–75.
- [5] **WHO Collaborating Centres for Occupational Health** (1994). Declaration on occupational health for all, *World Health Organization Office of Occupational Health*.
- [6] **Li, D.H. ve Lam, J.C.** (2001). Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls, *Energy and Buildings*, 33, 793–803.
- [7] **Boubekri, M., Cheung, I.N., Reid, K.J., Wang, C.H. ve Zee, P.C.** (2014). Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: A case-control pilot study, *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10(6), 603–611.
- [8] **Yüksek, İ., Görgülü, S., Kocabey, S., Tuna, M. ve Dursun, B.** (2015). Assesment of daylighting performances of classrooms: A case study in Kırklareli University, Turkey, *Light and Engineering*.
- [9] **Rea, M.S. ve Dorene, M.** (1994). *Lighting controls: a scoping study*, Rensselaer Polytechnic Institute Lighting Research Center, Troy, NY.
- [10] **Karasu, S.** (2010). The effect of daylight saving time options on electricity consumption of Turkey, *Energy*.
- [11] **Kandel, A. ve Metz, D.** (2001). *Effects of Daylight Saving Time on California Electricity Use*, Teknik Rapor, California Energy Commission (CEC), http://www.energy.ca.gov/reports/2001-05-23{_}400-01-013.PDF.
- [12] **Comission Internationale de L'Eclairage**, (2002), Spatial distribution of daylight_CIE standard general sky.

- [13] **Janjai, S. ve Plaon, P.** (2011). Estimation of sky luminance in the tropics using artificial neural networks: Modeling and performance comparison with the CIE model, *Applied Energy*.
- [14] **Wang, L., Lin, W.B.L. ve Lee, W.J.L.** (2009). Energy saving of green buildings using natural daylight, *2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, 1–7.
- [15] **Feng, W. ve Li, H.M.** (2011). Green Building Design Practices - Analysis of the Design of Leisure Office Center, *Applied Mechanics and Materials*, 90-93, 890–893.
- [16] **Sharp, F., Lindsey, D., Dols, J. ve Coker, J.** (2014). The use and environmental impact of daylighting, *Journal of Cleaner Production*, 85, 462–471.
- [17] **Hasdemir, B.** (1995). *A new method for the estimation of lacking daylight illumination data by using available meteorological data in Turkey*, (Doktora tezi), Middle East Technical University, Ankara.
- [18] **Şahin, A.D., İzgi, E., Öztöpal, A., Durna, B. ve Doğanşahin, K.** (2016). *Güneş Enerjisi Ölçüm İstasyonu Verilerinin Takibi Analizi ve Raporlanması*, Teknik Rapor, İSKİ - Meteo Enerji, İstanbul.
- [19] **Durna, B. ve Şahin, A.D.** (2017). Daylight Illumination Analyses Of Istanbul, *International Conference on Energy and Thermal Engineering*, İstanbul.
- [20] **Durna, B. ve Şahin, A.D.** (2018). Mapping of Daylight Illumination Level On The Basis Of Global Solar Radiation In and Around Istanbul, Turkey, *Weather*.
- [21] **Vlachou, A., Vassos, S. ve Andrikopoulos, A.** (1998). Global warming: Least-cost electricity planning to meet CO₂emissions limits, *Environmetrics*, 9(4), 359–376.
- [22] **Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A. ve Kolokotsa, D.** (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review, *Energy and Buildings*, 98, 119–124, <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778814007907>.
- [23] **Leung, B.C.M.** (2018). Greening existing buildings [GEB] strategies, *Energy Reports*, 4, 159–206, <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352484717301841>.
- [24] **T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2016). *Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı*, Teknik Rapor, Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Teknik Yardım Projesi.
- [25] **Tsikaloudaki, K.** (2005). A study on luminous efficacy of global radiation under clear sky conditions in Athens, Greece, *Renewable Energy*.
- [26] **Aslan, Z., Topçu, S., Barla, M.C. ve Özdemir, G.** (2004). *Atmosfer Fiziği: Enerji, Optik ve Akustik*, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul, 1. baskı sürüm.

- [27] Nave, R., Blue Sky and Rayleigh Scattering & Mie Scattering, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html>.
- [28] Sirel, Ş., (1965). Güneş ışığı ile Aydınlatma ve Pencere Boyutları.
- [29] Hasdemir, B. (1985). Türkiye’de Gün Işığı Aydınlanma Dağılımı, *Turkey Civil Engineering 8th Technical Congress Proceedings Book, (düzenleyen), Turkey Civil Engineering 8th Technical Congress Proceedings Book*, Ozgun Publisher, s.407–422.
- [30] Treado, S. ve Kusuda, T. (1981). Solar radiation and illumination, *Final Report National Bureau of Standards, Washington, DC. National Engineering Lab*.
- [31] Chandra, M. (1996). Luminous efficacy of solar radiation and evaluation of natural illumination - A review, *Energy Conversion and Management*, 37(11), 1623–1634, <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0196890496000088>.
- [32] Muneer, T. (1995). Solar irradiance and illuminance models for Japan I: Sloped surfaces, *Lighting Research and Technology*, 27(4), 209–222.
- [33] Muneer, T., Gueymard, C. ve Kambezidis, H. (2004). *Solar radiation and daylight models*, Amsterdam : Elsevier, 2nd ed. sürüm, <http://lib.ugent.be/catalog/rug01:000815380>.
- [34] Kazanasmaz, Z.T., Günaydın, M. ve Binol, S. (2009). Bürolarda güneş ışığı aydınlık değerlerinin öngörülmesi, 9. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*.
- [35] Onaygil, S. ve Güler, Ö. (2003). Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control systems with an example from Istanbul, *Building and Environment*, 38, 973–977.
- [36] Mardaljevic, J. (2001). The BRE-IDMP dataset: a new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques, *Lighting Research and Technology*, 33(2), 117–134.
- [37] Chirarattananon, S., Chaiwiwatworakul, P. ve Pattanasethanon, S. (2002). Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok, *Renewable Energy*, 26(1), 69–89.
- [38] Bartzokas, A., Darula, S., Kambezidis, H.D. ve Kittler, R. (2003). Sky luminance distribution in Central Europe and the Mediterranean area during the winter period, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 65(1), 113–119.
- [39] Gueymard, C.A. (2008). REST2: High-performance solar radiation model for cloudless-sky irradiance, illuminance, and photosynthetically active radiation - Validation with a benchmark dataset, *Solar Energy*, 82(3), 272–285.

- [40] **De Rosa, A., Ferraro, V., Kaliakatsos, D. ve Marinelli, V.** (2008). Calculating diffuse illuminance on vertical surfaces in different sky conditions, *Energy*.
- [41] **Muneer, T., Gul, M.S. ve Kubie, J.** (2000). Models for Estimating Solar Radiation and Illuminance From Meteorological Parameters, *Journal of Solar Energy Engineering*, 122, 146–153.
- [42] **Muneer, T. ve Kambezidis, H.** (1997). *Solar Radiation and Daylight Models for the Energy Efficient Design of Buildings*, sayı 1. c. in *Solar Radiation and Daylight Models for the Energy Efficient Design of Buildings*, Architectural Press, <https://books.google.com.tr/books?id=3ZJFAAAAYAAJ>.
- [43] **Scharmer, K. & Greif, J., Scharmer, K. ve Greif, J.** (2000). *The European Solar Radiation Atlas*.
- [44] **Robledo, L. ve Soler, A.** (2003). Modeling the luminous efficacy of diffuse solar radiation on inclined surfaces for all sky conditions, *Energy Conversion and Management*, 44(1), 177–189.
- [45] **Cucumo, M.A., De Rosa, A., Ferraro, V., Kaliakatsos, D. ve Marinelli, V.** (2008). Predicting diffuse illuminance on vertical surfaces at Arcavacata di Rende (Italy) for various types of sky, *Building and Environment*.
- [46] **Oteiza, P. ve Pérez-Burgos, A.** (2012). Diffuse illuminance availability on horizontal and vertical surfaces at Madrid, Spain, *Energy Conversion and Management*.
- [47] **Perez, R., Stewart, R., Arbogast, C., Seals, R. ve Scott, J.** (1986). An anisotropic hourly diffuse radiation model for sloping surfaces: Description, performance validation, site dependency evaluation, *Solar Energy*, 36(6), 481–98.
- [48] **Perez, R., Seals, R., Ineichen, P., Stewart, R. ve Menicucci, D.** (1987). A new simplified version of the perez diffuse irradiance model for tilted surfaces, *Solar Energy*, 39(3), 221–31.
- [49] **Robledo, L. ve Soler, A.** (2001). On the luminous efficacy of diffuse solar radiation, *Energy Conversion and Management*, 42(10), 1181–1190, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890400001321>.
- [50] **Littlefair, P.J.** (1988). Measurements of the luminous efficacy of daylight, *Lighting Research & Technology*, 20, 177–188.
- [51] **Chung, T.M.** (1992). A study of luminous efficacy of daylight in Hong Kong, *Energy and Buildings*, 19, 45–50.
- [52] **Kong, H.J. ve Kim, J.T.** (2013). Modeling luminous efficacy of daylight for Yongin, South Korea, *Energy and Buildings*, 62, 550–558.

- [53] **Muneer, T. ve Kinghorn, D.** (1998). Luminous efficacy models—evaluation against UK data, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27(1), 163–170, <https://doi.org/10.1080/00994480.1998.10748221>{\%}0D.
- [54] **Patil, K.N., Garg, S.N. ve Kaushik, S.C.** (2013). Luminous efficacy model validation and computation of solar illuminance for different climates of India, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5.
- [55] **Şahin, M., Büyüktümtürk, F. ve Oğuz, Y.** (2013). Yapay Sinir Ağları ile Aydınlik Kalitesi Kontrolü, *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 13(2), 1–10, [http://fenbildergi.aku.edu.tr/1302/025201\(1-10\).pdf](http://fenbildergi.aku.edu.tr/1302/025201(1-10).pdf).
- [56] **Kandilli, C. ve Ulgen, K.** (2008). Solar Illumination and Estimating Daylight Availability of Global Solar Irradiance, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30(12), 1127–1140.
- [57] **Aydinli, S.** (1981). *Über die Berechnung der zur Verfügung stehenden Solarenergie und des Tageslichtes.*, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [58] **Illuminating Engineering Society of North America** (1997). *Recommended Practice for the Calculation of Daylight Availability*, Teknik Rapor.
- [59] **Ülgen, K. ve Okutan, H.** (t.y.). *Günüşiği Potansiyelinin Hesaplanması: İzmir Örneği.*
- [60] **Li, D.H. ve Lam, J.C.** (1999). Evaluation of Perez slope irradiance and illuminance models against measured Hong Kong data, *International journal of ambient energy*, 20(4), 193–204, <https://doi.org/10.1080/01430750.1999.9675340>.
- [61] **Li, D.H. ve Lam, J.C.** (2000). Evaluation of slope irradiance and illuminance models against measured Hong Kong data, *Building and Environment*, 35(6), 501–509, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132399000438>.
- [62] **Ashdown, I. ve Eng, P.** (1994). *Measuring Light*, John Wiley & Sons, New York.
- [63] **Palmer, J.M. ve Grant, B.G.** (2010). *The art of radiometry*, SPIE Press Bellingham.
- [64] **Mevzuat Bilgi Sistemi**, (2002), Uluslararası Birimler Sistemine Dair Yönetmelik, <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.6401{\&}MevzuatIliski=0{\&}sourceXmlSearch=>.
- [65] **Arecchi, A.V., Messadi, T. ve Koshel, R.J.** (2007). *Field Guide to Illumination*, SPIE Press Bellingham.
- [66] **Illuminating Engineering Society**, (2017), ANSI/IES RP-16-17, Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering, <https://www.ies.org/standards/ansi-ies-rp-16>.

- [67] **Meteoroloji Genel Müdürlüğü**, Meteoroloji Sözlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojisozlugu.aspx?m=Äř{\&}k=aa44>.
- [68] **Ceylan, E.**, (2015), Güneş Enerjisi Santrali (GES) Kullanılan Birimler, <http://makale.eceylan.com/gunes-enerji-santrali-ges-kullanilan-birimler/>.
- [69] **McCluney, W.R.** (2014). *Introduction to Radiometry and Photometry*, Artech House applied photonics series, Artech House Publishers, second sürüm, <https://books.google.com.tr/books?id=w-jmBgAAQBAJ>.
- [70] **Onaygil, S.** (t.y.). Aydınlatma Aygıt Tasarımı Temel İlkeleri Ders Notu.
- [71] **Benya, J., Heschong, L., McGowan, T., Miller, N. ve Rubinstein, F.** (2003). *Advanced Lighting Guidelines*, Teknik Rapor, New Buildings Institute, California.
- [72] **Sirel, Ş.** (2012). *Aydınlatma Sözlüğü*, YEM Yayın, <http://www.yfu.com>.
- [73] **Kandilli, C.** (2007). *Günüştüğü ile Çalışan Aktif Hibrit Aydınlatma Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansa Etki Eden Parametrelerin Araştırılması*, (Doktora tezi), Ege Üniversitesi.
- [74] **U.S. Department of Energy**, (2009), Energy Efficiency of White LEDs.
- [75] **Iqbal, M.** (1983). *An introduction to solar radiation*, Academic Press, <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780123737502>.
- [76] **Duffie, J.A. ve Beckman, W.A.** (1974). *Solar Energy Thermal Processes*, A Wiley-Interscience Publication, Wiley : New York., <https://books.google.com.tr/books?id=iKoGAAAAMAAJ>.
- [77] **Yerli, B.** (2009). *Güneş Enerjisi Fizibilite Hesabı ve Derince/Kocaeli Uygulaması*, (Lisans bitirme tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [78] **Ackerman, S.A. ve Knox, J.A.** (2015). *Meteoroloji - Atmosferimizi Anlamak*, NOBEL Akademik Yayıncılık, 3rd baskı sürüm.
- [79] **Wallace, John Michael Hobbs, P.V.** (2006). *Atmospheric science : an introductory survey*, Elsevier Academic Press, second sürüm, <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780127329512>.
- [80] **Talaia, M. ve Vigario, C.** (2016). *Dew Point Temperature: A Risk or a Need*, Riscos e Catastrofes, Univ Coimbra, Rua Da Ilha, Coimbra, 3000-214, Portugal.
- [81] **American Meteorological Society**, Meteorology Glossary, http://glossary.ametsoc.org/wiki/Precipitable{_}water.
- [82] **Liang, J. ve Liang, J.** (2013). Climate change, *Chemical Modeling for Air Resources*, 143–161, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124081352000070>.

- [83] Ångström, A. (1961). Techniques of Determining the Turbidity of the Atmosphere, *Tellus A*, 13, 214–223.
- [84] Chaâbane, M., Masmoudi, M. ve Medhioub, K. (2004). Determination of Linke turbidity factor from solar radiation measurement in northern Tunisia, *Renewable Energy*, 29(13), 2065–2076, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148104000977>.
- [85] Samedov, F. ve Durak, M. (2003). Metrolojik kapsamda optik ölçüm ve kalibrasyonlar, *V. Ulusal Ölçümbilim Kongresi*, Eskişehir, s.60–66.
- [86] Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, 8(3), 338–353, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001995586590241X>.
- [87] Kuvvetli, Y. (2017). Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi İle Dönen Ürünlerin Fiyatlandırılması, *Alphanumeric Journal*, 5(2), 207–214, <http://dergipark.gov.tr/doi/10.17093/alphanumeric.309051>.
- [88] Gopalakrishnan, K. ve Ceylan, H. (2009). Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System-Based Backcalculation Approach to Airport Pavement Structural Analysis, *Material Design, Construction, Maintenance, and Testing of Pavements*.
- [89] Öztöpal, A., Yerli, B., Kaymak, M.K., Izgi, E. ve Şahin, A.D. (2010). Rüzgâr Şiddetinin Bulanık Mantık - Yapay Sinir (Anfis) Yaklaşımıyla Kısa Süreli Tahmini, *VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'10*, Bursa.
- [90] Jang, J.S.R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 23(3), 665–685, <https://ieeexplore.ieee.org/document/256541>, 1301.2786.
- [91] Jang, J.S.R., Sun, C.T. ve Mizutani, E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*.
- [92] Yıldırım, Y. ve Sokhi, R. (2008). Bulanık Mantık Yaklaşımı (ANFIS) Kullanarak Otoyoldan Kaynaklanan Ozon Konsantrasyonunun Modellenmesi, *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, Hatay, s.893–902.
- [93] Dorvlo, A.S., Jervase, J.A. ve Al-Lawati, A. (2002). Solar radiation estimation using artificial neural networks, *Applied Energy*, 71(4), 307–319, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261902000168>.
- [94] Stergiou, C. ve Siganos, D. (t.y.). *Neural Networks*, Teknik Rapor, http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise/_96/journal/vol4/cs11/report.html.
- [95] Suparta, W. ve Alhasa, K.M. (2016). *Adaptive Neuro-Fuzzy Interference System*, Springer International Publishing, 1 sürüm.

- [96] **Keskenler, M.F. ve Keskenler, E.F.** (2017). Geçmişten Günümüze Yapay Sinir Ağları ve Tarihçesi, *Takvim-i Vekayi*, 5(2), 8–18.
- [97] **Agatonovic-Kustrin, S. ve Beresford, R.** (2000). Basic concepts of artificial neural network (ANN) modeling and its application in pharmaceutical research, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 22(5), 717–727, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0731708599002721>{\#}BIB3.
- [98] **Öğücü, M.O.** (2006). *Yapay Sinir Ağları ile Sistem Tanıma*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [99] **McCulloch, W.S. ve Pitts, W.** (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115–133, arXiv:1011.1669v3.
- [100] **Şahin, M.** (2014). *Farklı Teknik ve Fiziksel Özelliklerdeki Ortamların Bakım Katsayılarının Belirlenmesi ve Aydınlik Düzeylerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi*, (Doktora tezi), Marmara Üniversitesi.
- [101] **Tang, H., Tan, K.C. ve Yi, Z.** (2007). *Neural Networks: Computational Models and Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1 sürüm.
- [102] **Doğan, O.** (2012). *Talep Tahmininde Sinirsel Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Yöntemi(Anfis) Kullanımı ve Yalın Yapay Sinir Ağı Metodu ile Karşılaştırmalı Bir Uygulama*, (Doktora tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [103] **Akıllı, A. ve Atıl, H.** (2014). Süt Sığırcılığında Yapay Zeka Teknolojisi: Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları, *Hayvansal Üretim*, 55(1), 39–45.
- [104] **Öztemel, E.** (2012). *Yapay sinir ağları*, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul, 3. basım sürüm.
- [105] **Vassilopoulos, A. ve Georgopoulos, E.,** (2010). Novel computational methods for fatigue life modeling of composite materials, *Fatigue Life Prediction of Composites and Composite Structures*.
- [106] **Shekarchizadeh, M., Nemati Chari, M., Dormohammadi, H. ve Mahmoodzadeh, F.** (1995). *Prediction of Compressive Strength Of Concrete Using Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS)*.
- [107] **Demirel, Ö., Kakilli, A. ve Tektaş, M.** (2010). ANFIS ve ARMA modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 601–610.
- [108] **Ünver, R., Öztürk, L., Adigüzel, Ş. ve Çelik, Ö.** (2003). Effect of the facade alternatives on the daylight illuminance in offices, *Energy and Buildings*, 35, 737–746.
- [109] **Şahin, A.D.** (2001). *Türkiye rüzgarlarının alan-zaman modellenmesi (Spatio-temporal modelling winds of Turkey)*, (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi.

- [110] **Delta Ohm**, (2007), Photonetric Probes, http://www.deltaohm.com/ver2012/download/LP{_}PHOT02{_}D{_}uk.pdf.
- [111] **Cressie, N.A.C.** (1993). *Statistics for Spatial Data*, New York.
- [112] **Şen, Z. ve Şahin, A.D.** (2000). Solar irradiation polygon concept and application in Turkey, *Solar Energy*, 68(1), 57–68.
- [113] **Şen, Z. ve Şahin, A.D.** (2001). Spatial interpolation and estimation of solar irradiation by cumulative semivariograms, *Solar Energy*, 71(1), 11–22.
- [114] **Journel, A.G. ve Huijbregts, C.J.** (1978). *Mining geostatistics*, Academic press, New York.
- [115] **Krige, D.G.** (1952). A Statistical Approach to Some Basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand, *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, 52, 201–203.
- [116] **Sen, Z.** (1989). Cumulative semivariogram models of regionalized variables, *Mathematical Geology*, 21(8), 891–903.
- [117] **Sen, Z.** (1992). Standard cumulative semivariograms of stationary stochastic processes and regional correlation, *Mathematical geology*, 24(4), 417–435.
- [118] **Duffie, J.A. ve Beckman, W.A.** (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes: Fourth Edition*, John Wiley & Sons, New Jersey, arXiv:1011.1669v3.
- [119] **Cooper, P.I.** (1969). The absorption of radiation in solar stills, *Solar Energy*, 12(3), 333–346.
- [120] **Perez, R., Stewart, R., Seals, R. ve Guertin, T.** (1988). *The Development and Verification of the Perez Diffuse Radiation Model*, Teknik Rapor.
- [121] **Topçu, S.** (1989). Atmosferdeki Yağışa Geçebilir Subuharı Miktarının Hesaplanması, *Coğrafya Araştırmaları*, 1(1), 109–114.
- [122] **Tíba, C. ve Leal, S.S.** (2012). Measuring and modelling illuminance in the semi-arid Northeast of Brazil, *Renewable Energy*, 48, 464–472.
- [123] **Maxwell, E.L., Stoffel, T.L. ve Bird, R.E.** (1986). *Measuring and Modelling Solar Irradiance on Vertical Surfaces*, Teknik Rapor, Solar Energy Research Institute.
- [124] **Cuccoli, F. ve Facheris, L.** (2002). Estimate of the tropospheric water vapor through microwave attenuation measurements in atmosphere, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(4), 735–741.
- [125] **Wilks, D.S.** (2011). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Academic Press, Elsevier Science, <https://books.google.com.tr/books?id=IJuCVtQ0ySIC>.

- [126] **NOAO (National Optical Astronomy Observatory)** (2015). Recommended Light Levels (Illuminance) for Outdoor and Indoor Venues, *Community Science and Data Center*, 1–5, https://www.noao.edu/education/QLTkit/ACTIVITY{_}Documents/Safety/LightLevels{_}outdoor+indoor.pdf.
- [127] **Öztopal, A.** (2007). *Uydu ve Yer Kaynaklı Meteorolojik Değişkenlerle Kısa Vadeli Yağış Modellemesi İçin Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı*, (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [128] **Matzkanin, G.A. ve Yolken, H.T.** (2001). *A Technology Assessment of Probability of Detection (POD) for Nondestructive Evaluation (NDE)*, Teknik Rapor, Nondestructive Testing Information Analysis Center (NTIAC), Austin, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a398282.pdf>.



EKLER

EK A: Tüm istasyonlara ait ölçüm aralıkları ve veri sayıları

EK B: Tüm istasyonlara ait güneş ışıınımı ve İTÜ aydınlık düzeyi saçılma diyagramları

EK C: Güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi kontur grafikleri

EK D: Güneş ışıınımı ve aydınlık düzeyi haritaları

EK E: Anfis modelleri





EK A

Çizelge A.1 : İTÜ istasyonunda her ay için ölçülen saatlik global güneş ışıınımı veri sayıları.

Yıl (Ay)	Veri sayısı
2012 (Ekim)	300
2012 (Kasım)	720
2012 (Aralık)	744
2013 - 2017 (Ocak-Aralık)	43800
2018 (Ocak)	589

Çizelge A.2 : Referans istasyonda (İTÜ) her ay için ölçülen dakikalık aydınlık düzeyi ve İkitelli istasyonunda ölçülen 10 dakikalık global güneş ışıınımı veri sayıları.

Ay (Yıl)	İstasyonlar ve veri sayıları	
	İTÜ	İkitelli
Ağustos (2015)	-	661
Eylül (2015)	-	4320
Ekim (2015)	-	4364
Kasım (2015)	18499	4320
Aralık (2015)	44608	4176
Ocak (2016)	44610	4464
Şubat (2016)	41735	4176
Mart (2016)	44608	4464
Nisan (2016)	43173	4320
Mayıs (2016)	44609	4320
Haziran (2016)	43152	4320
Temmuz (2016)	44602	4464
Ağustos (2016)	44607	4464
Eylül (2016)	43172	4320
Ekim (2016)	24855	3888
Kasım (2016)	-	4320
Aralık (2016)	20658	4416
Ocak (2017)	44611	3827
Şubat (2017)	40292	3805
Mart (2017)	44609	4462
Nisan (2017)	43170	4317
Mayıs (2017)	4320	4462
Haziran (2017)	-	4174
Temmuz (2017)	-	4462
Ağustos (2017)	43141	-
Eylül (2017)	43168	-
Ekim (2017)	43163	-
Kasım (2017)	43164	-
Aralık (2017)	1444	-

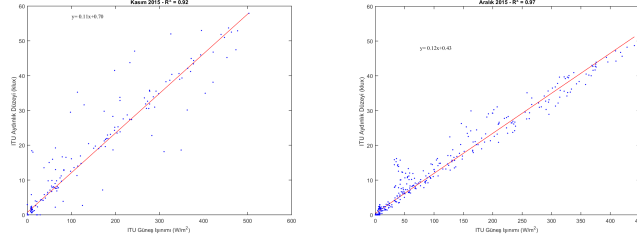
Çizelge A.3 : Diğer istasyonlarda her ay için ölçülen 10 dakikalık global güneş ışınımı veri sayıları.

İstasyonlar ve veri sayıları						
Ay (Yıl)	Ormanlı	Ömerli	Bağırganlı	Şuayipli	Melen Yolu	Melen
Temmuz (2016)	1908	1522	1517	1769	548	1749
Ağustos (2016)	4464	4464	4464	4464	4464	4464
Eylül (2016)	4320	4320	4320	4320	4320	4320
Ekim (2016)	4463	4464	4464	4464	4464	4464
Kasım (2016)	4320	4320	4320	4320	4320	4320
Aralık (2016)	4464	4463	4464	4464	4464	4464
Ocak (2017)	4464	4464	4464	4464	4464	4464
Şubat (2017)	4032	4032	4032	4032	4032	4032
Mart (2017)	4464	4464	4464	4464	4464	4464
Nisan (2017)	4320	4320	4320	4320	4320	4320
Mayıs (2017)	4464	4464	4464	4464	4464	4464
Haziran (2017)	4320	4320	4320	4320	4320	4320
Temmuz (2017)	4464	4462	4464	4464	4464	4464
Ağustos (2017)	4464	4464	4464	4464	4464	4464
Eylül (2017)	1389	3649	3649	3651	3652	3671

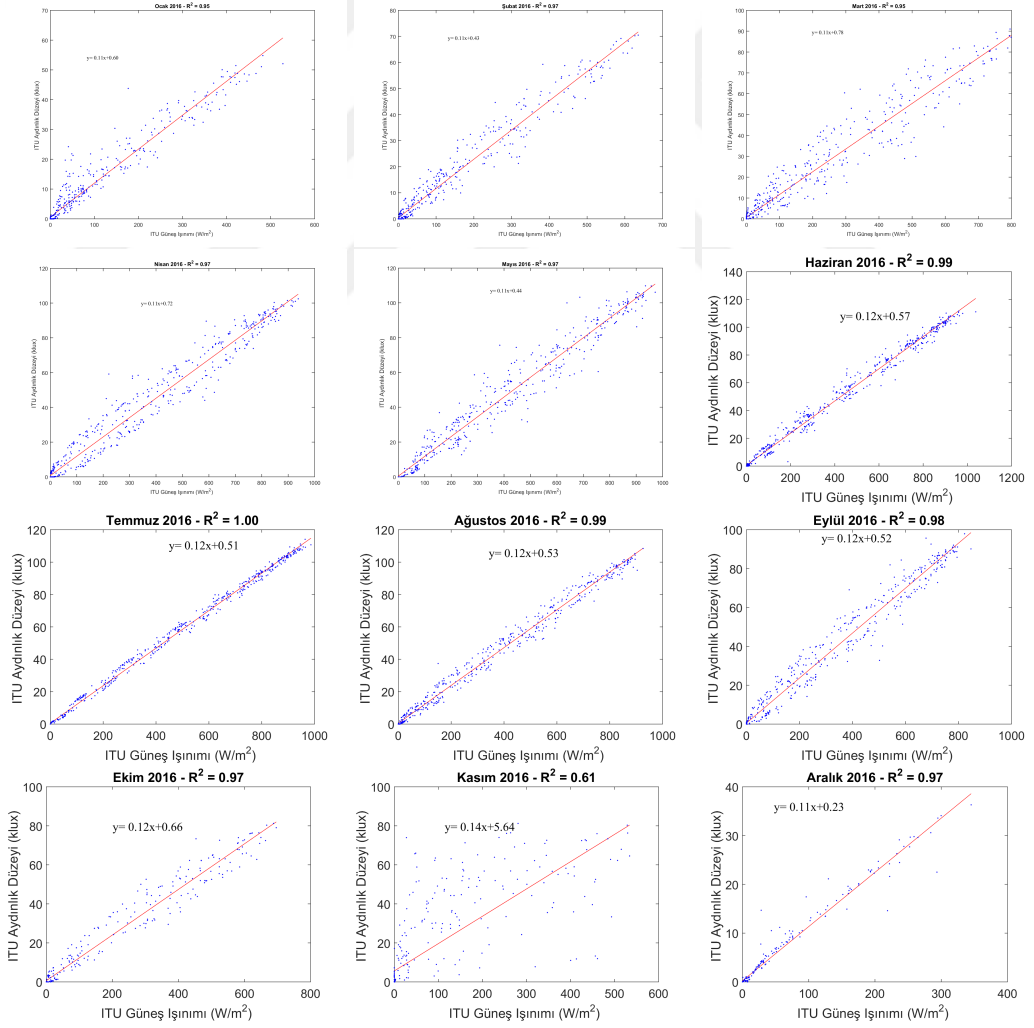


EK B

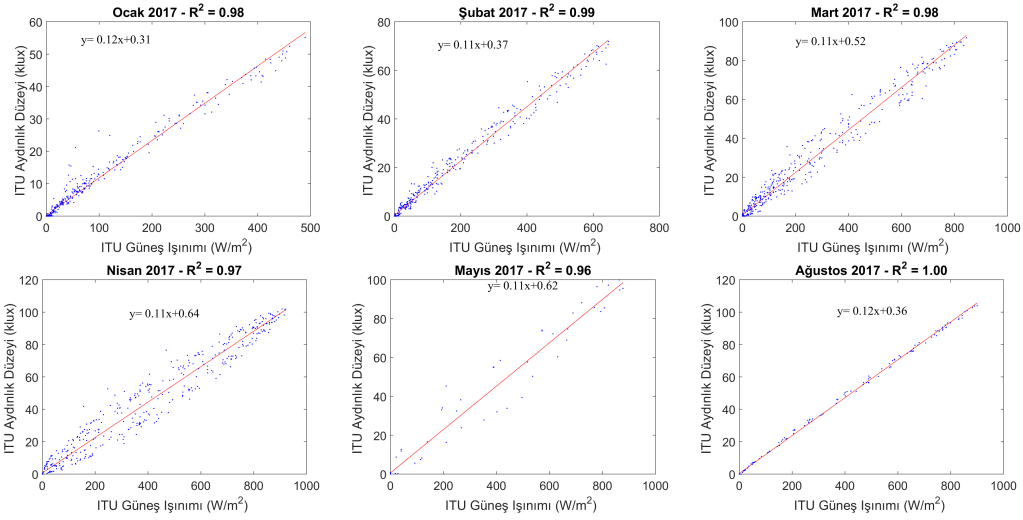
İTÜ



Şekil B.1 : İTÜ 2015 yılı her ay için global güneş ışıını ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

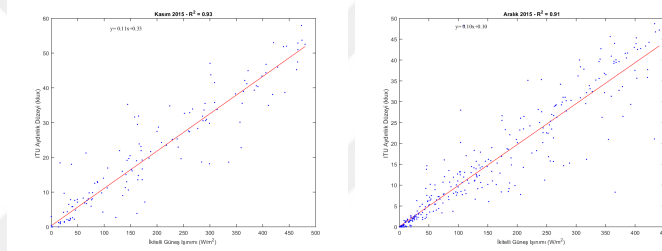


Şekil B.2 : İTÜ 2016 yılı her ay için global güneş ışıını ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

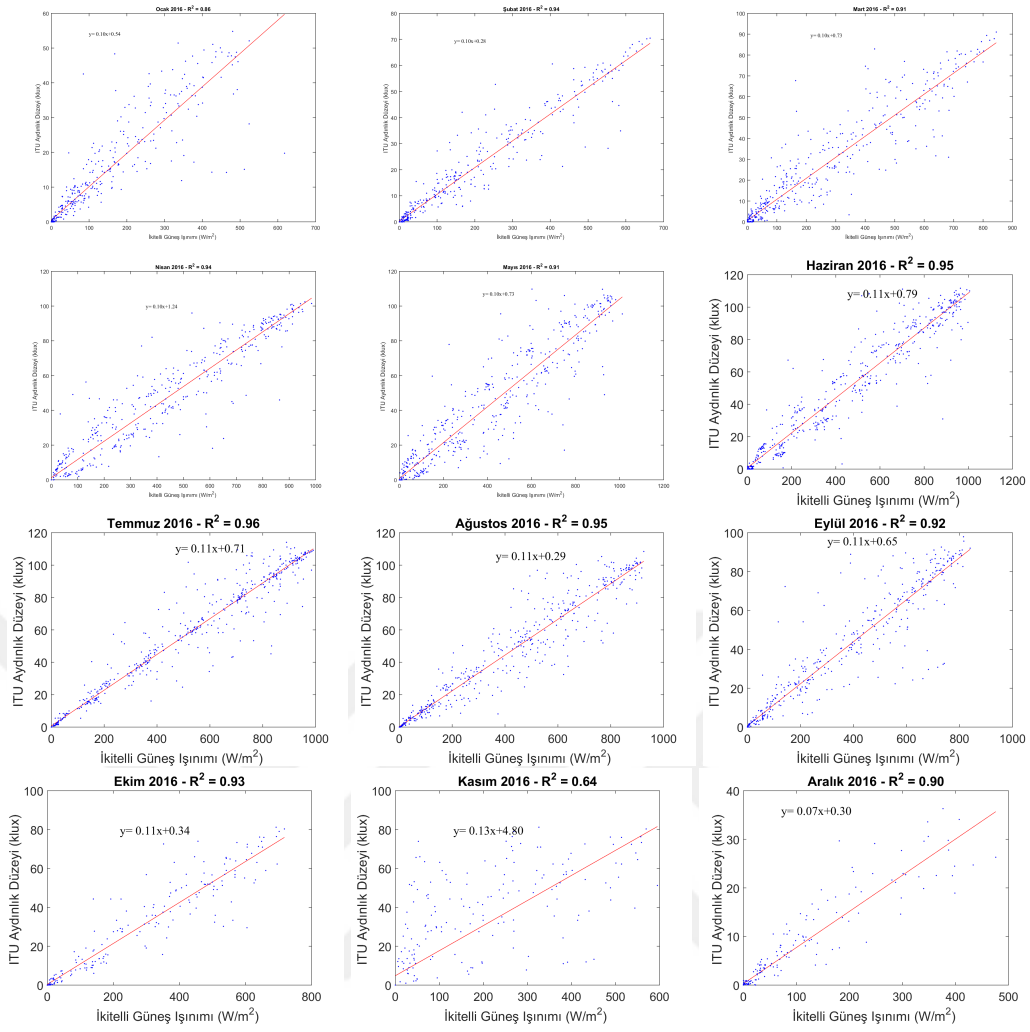


Şekil B.3 : İTÜ 2017 yılı her ay için global güneş ışınlması ve aydınlık düzeyi saçılma diyagramları.

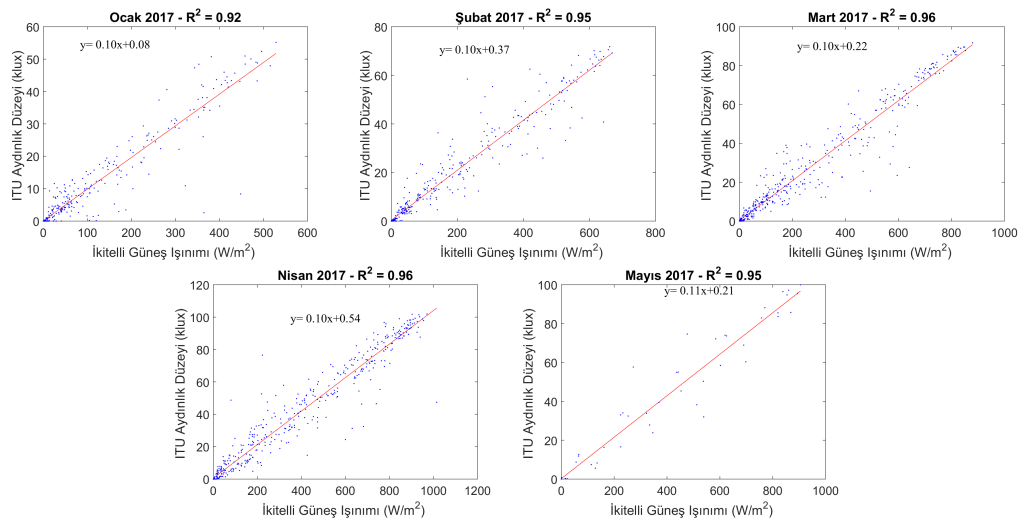
İkitelli



Şekil B.4 : İkitelli global güneş ışınlması - İTÜ aydınlık düzeyi 2015 yılı her ay için saçılma diyagramları.

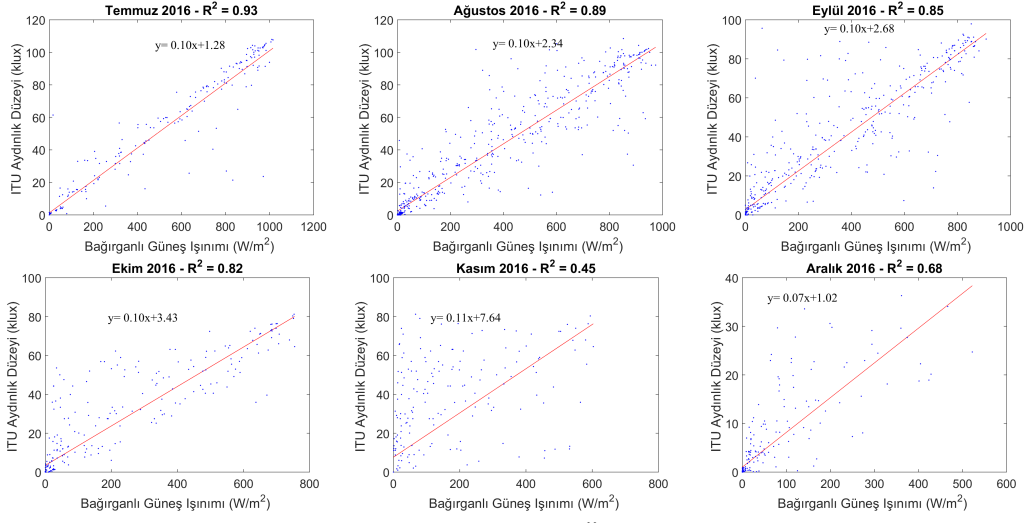


Şekil B.5 : İkitelli global güneş ışınlımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.

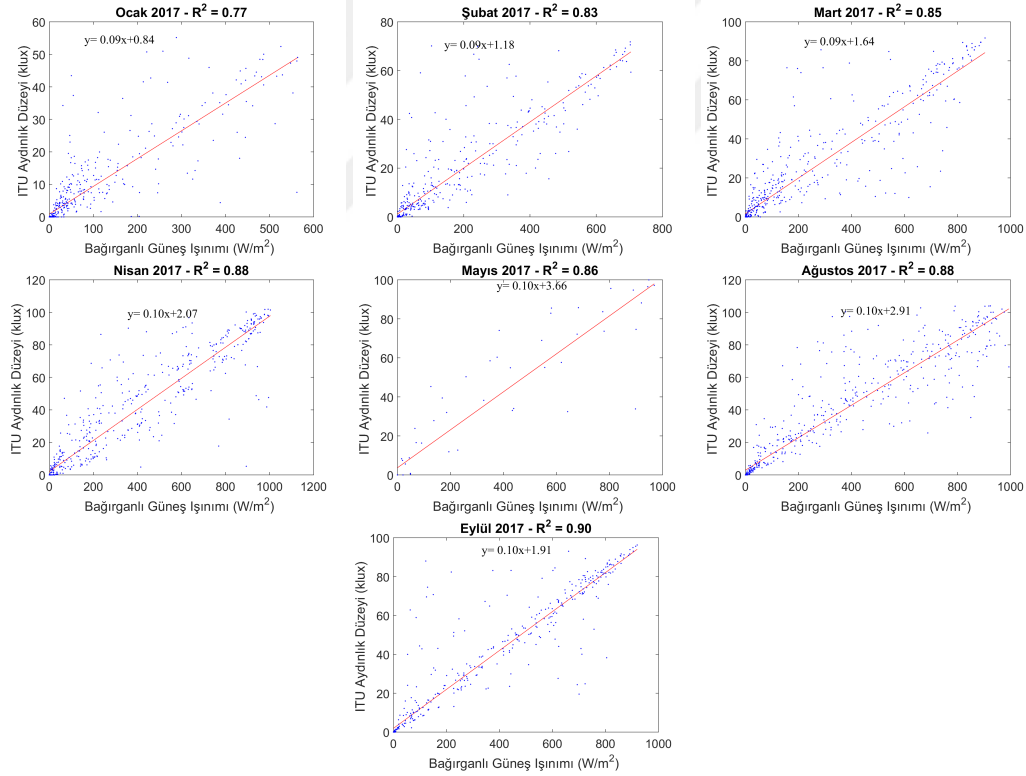


Şekil B.6 : İkitelli global güneş ışınlımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.

Bağıranlı

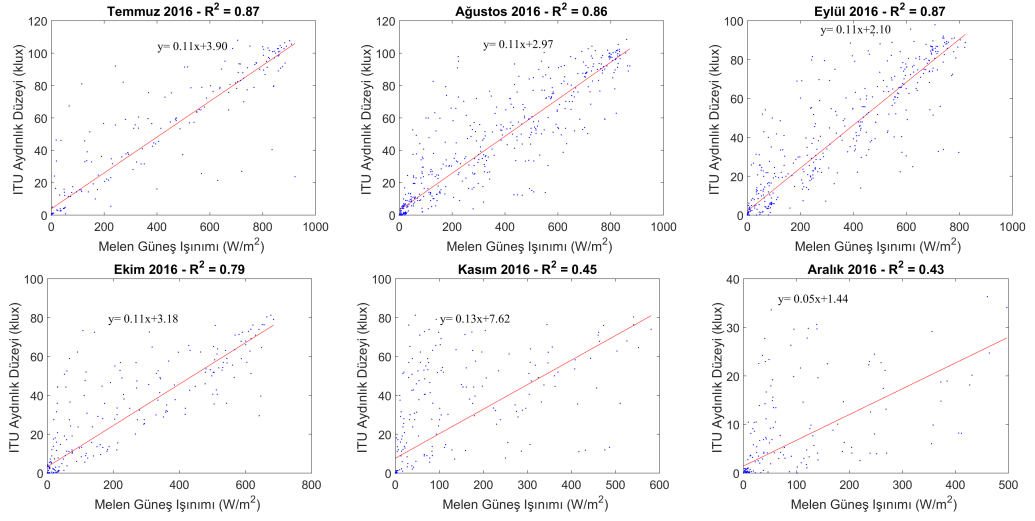


Şekil B.7 : Bağıranlı global güneş ışınlamı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.

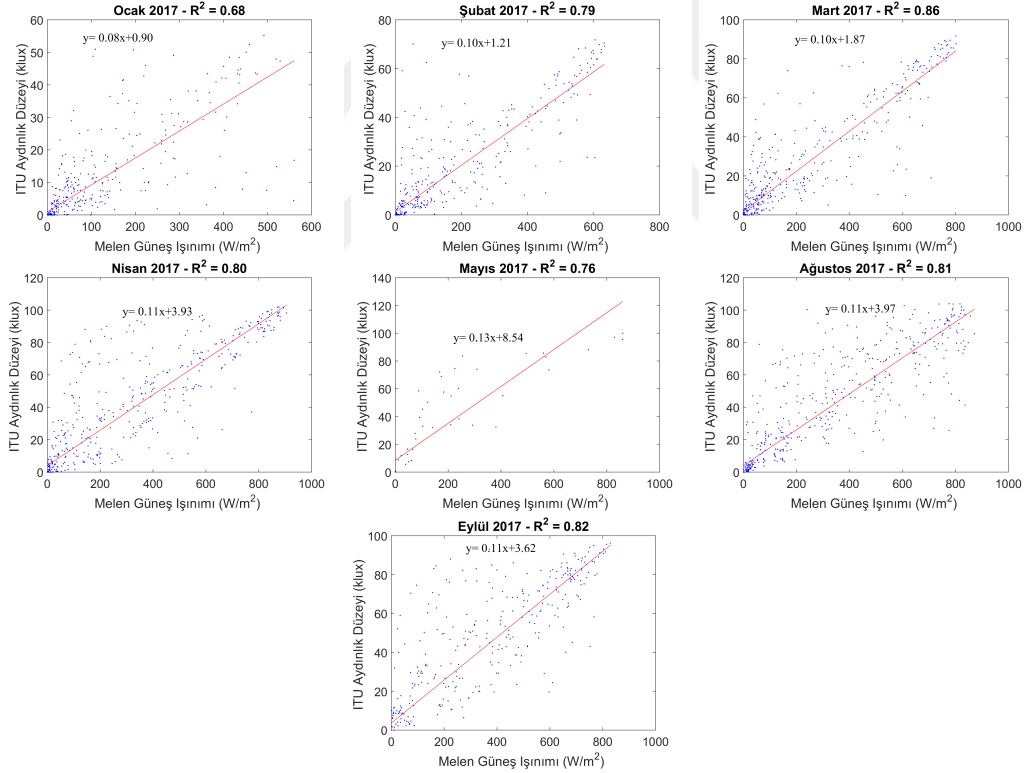


Şekil B.8 : Bağıranlı global güneş ışınlamı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.

Melen

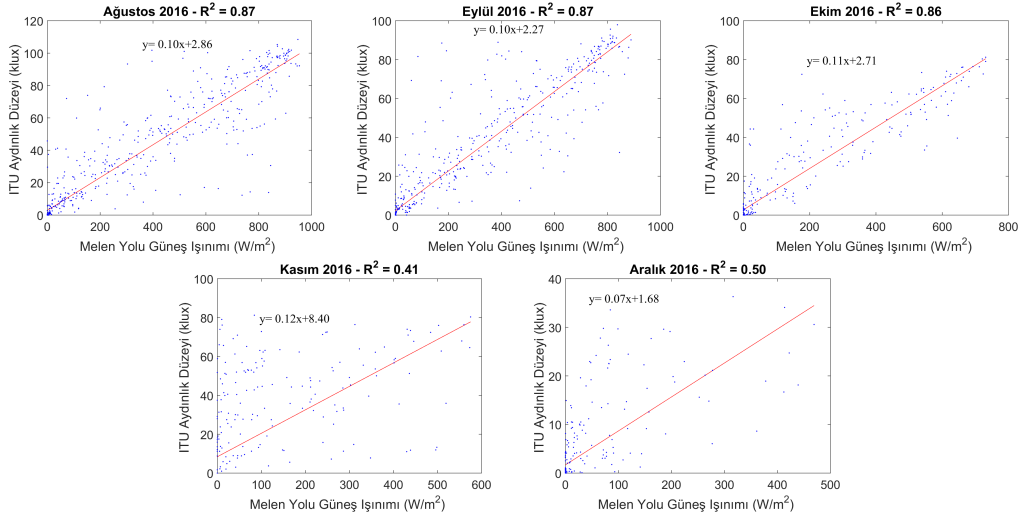


Şekil B.9 : Melen global güneş ışınlamı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.

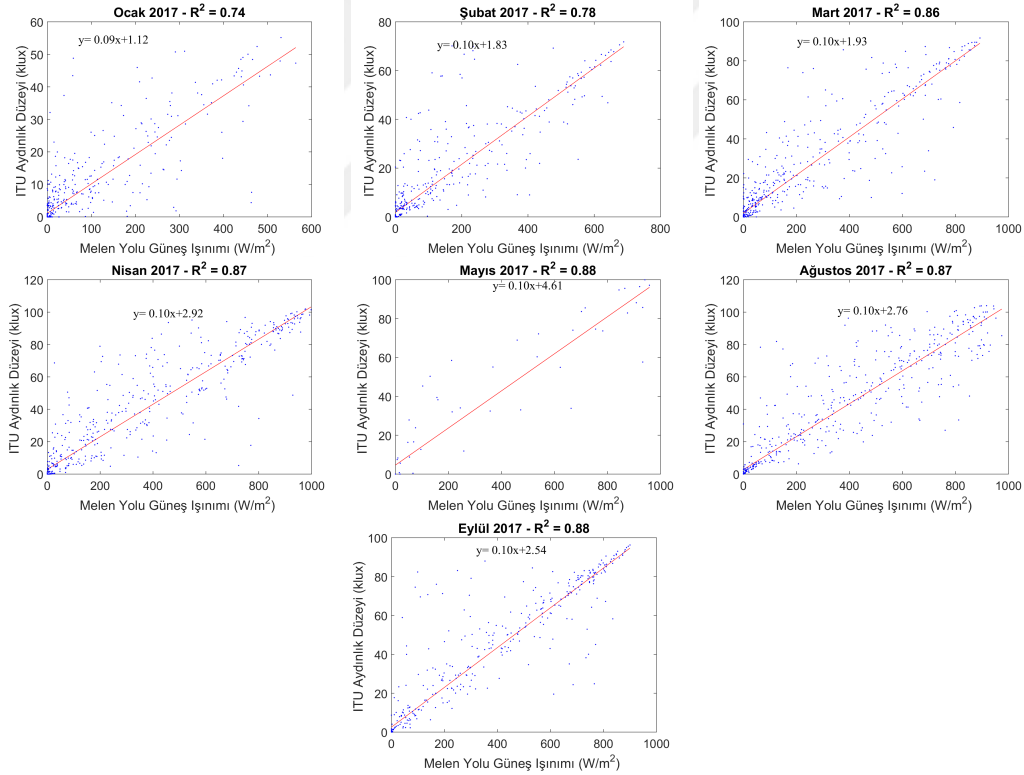


Şekil B.10 : Melen global güneş ışınlamı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.

Melen Yolu

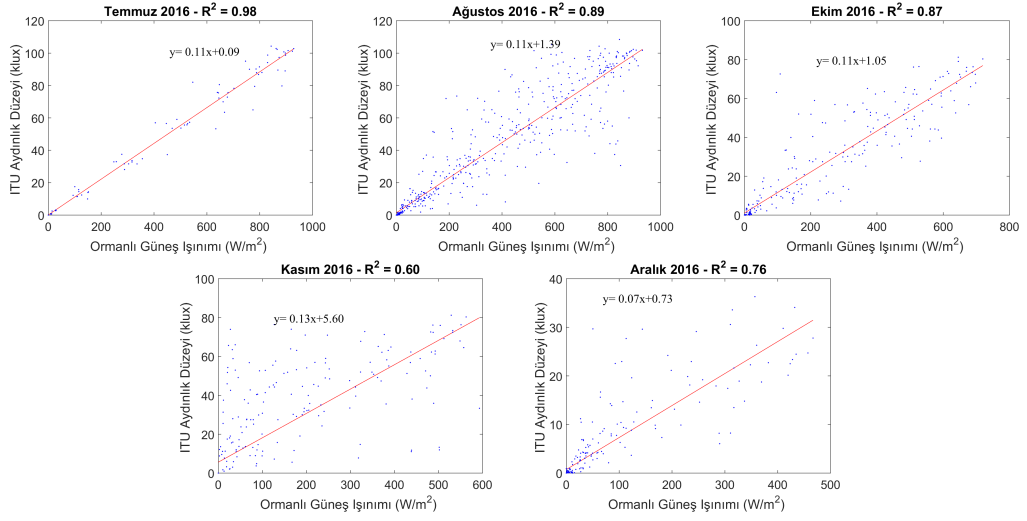


Şekil B.11 : Melen Yolu global güneş ışınlması - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.

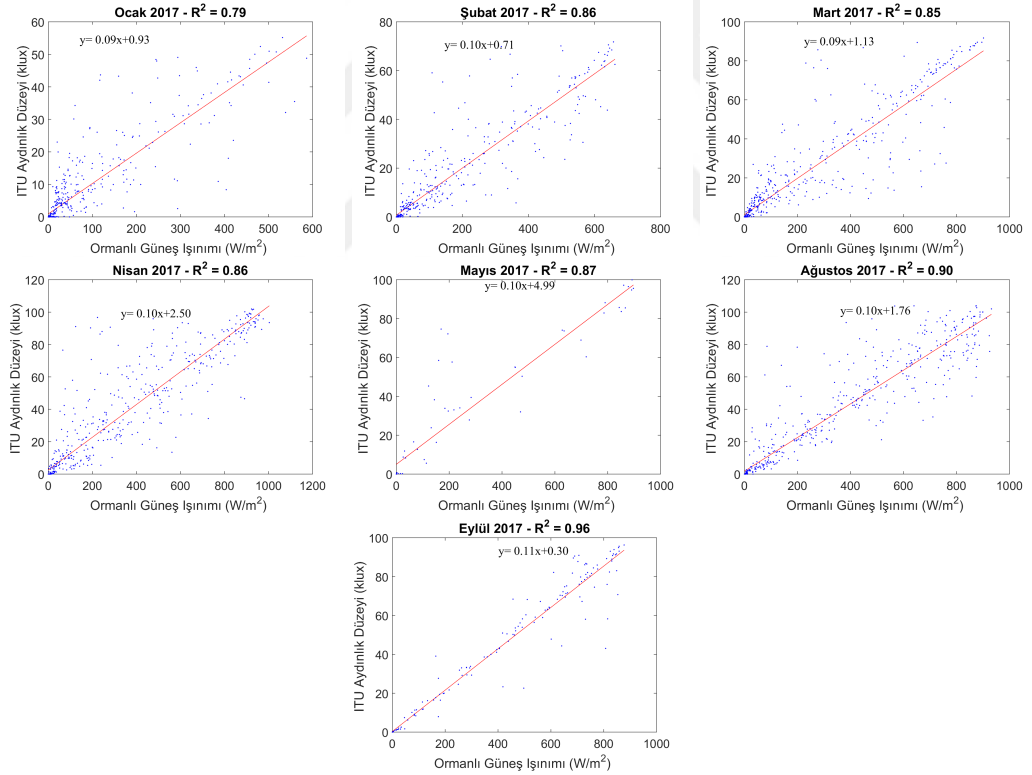


Şekil B.12 : Melen Yolu global güneş ışınlması - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.

Ormanlı

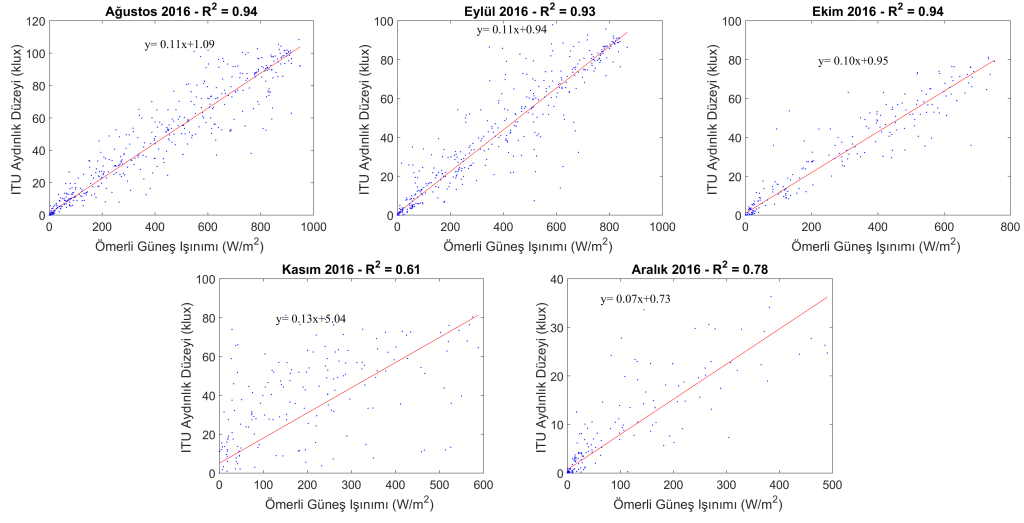


Şekil B.13 : Ormanlı global güneş ışınlımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.

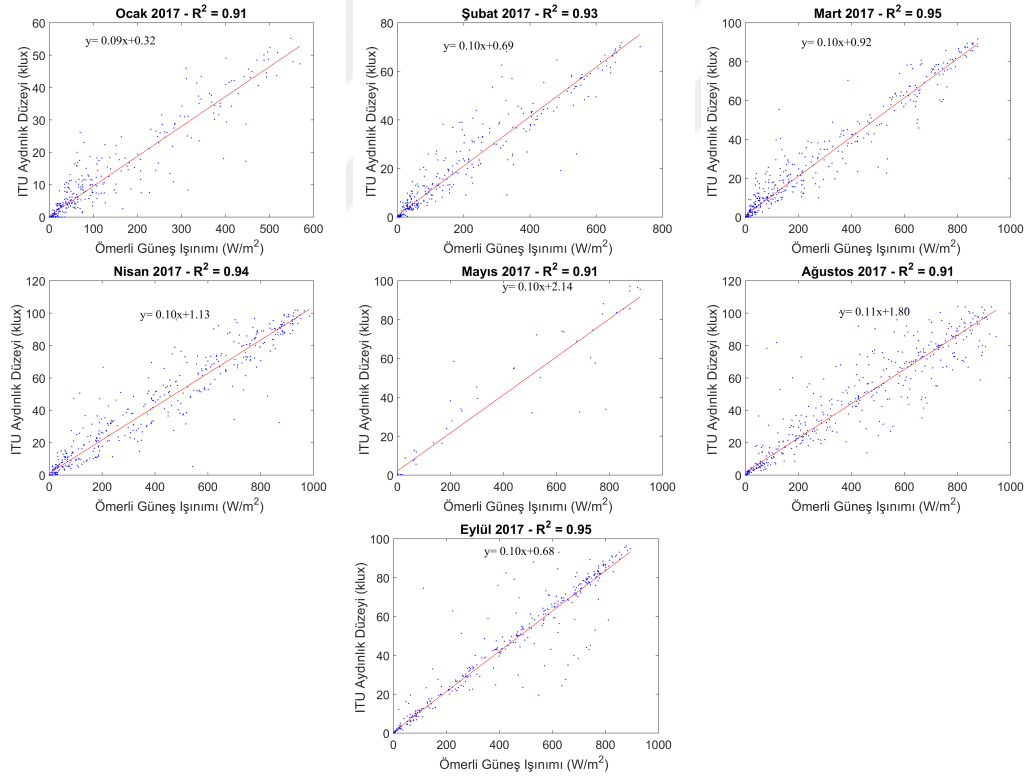


Şekil B.14 : Ormanlı global güneş ışınlımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.

Ömerli

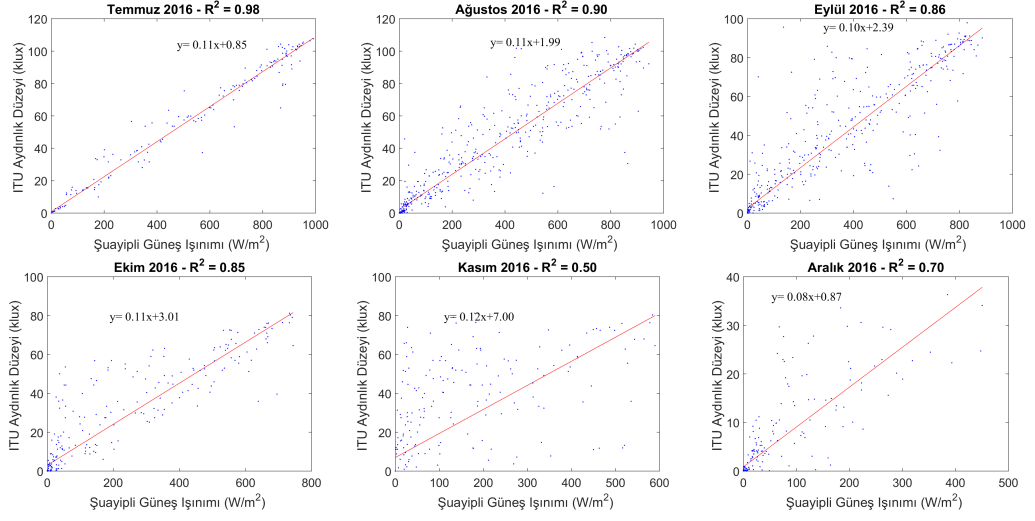


Şekil B.15 : Ömerli global güneş ışınlımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.

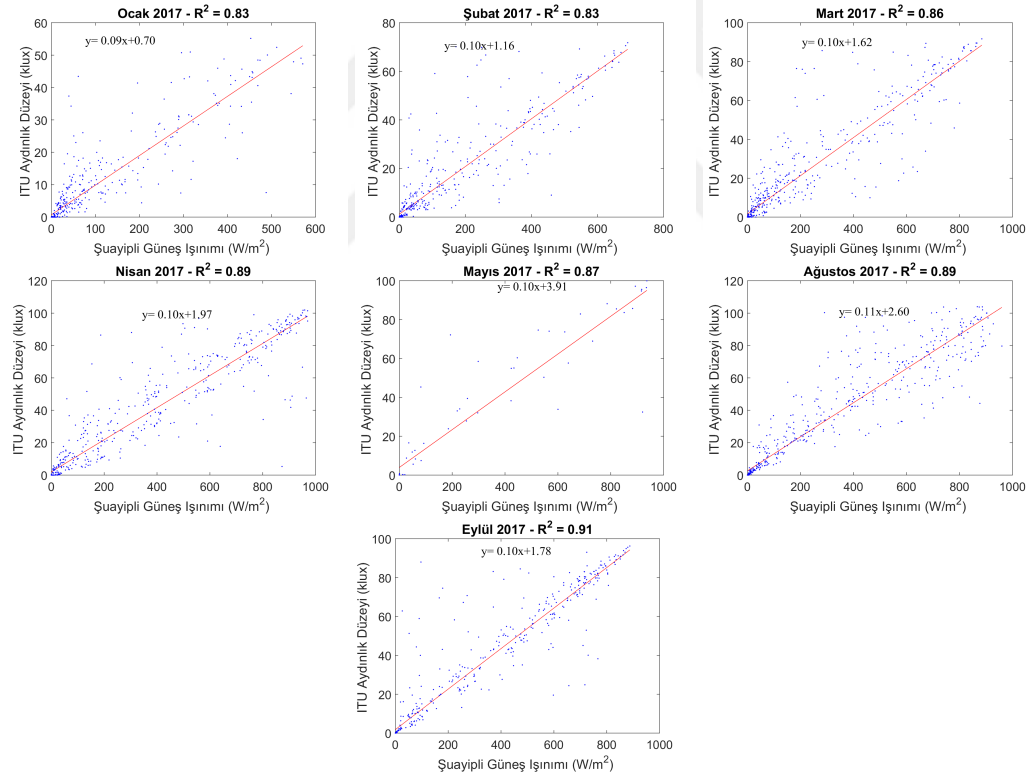


Şekil B.16 : Ömerli global güneş ışınlımı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.

Şuayipli



Şekil B.17 : Şuayipli global güneş ışınlmı - İTÜ aydınlık düzeyi 2016 yılı her ay için saçılma diyagramları.

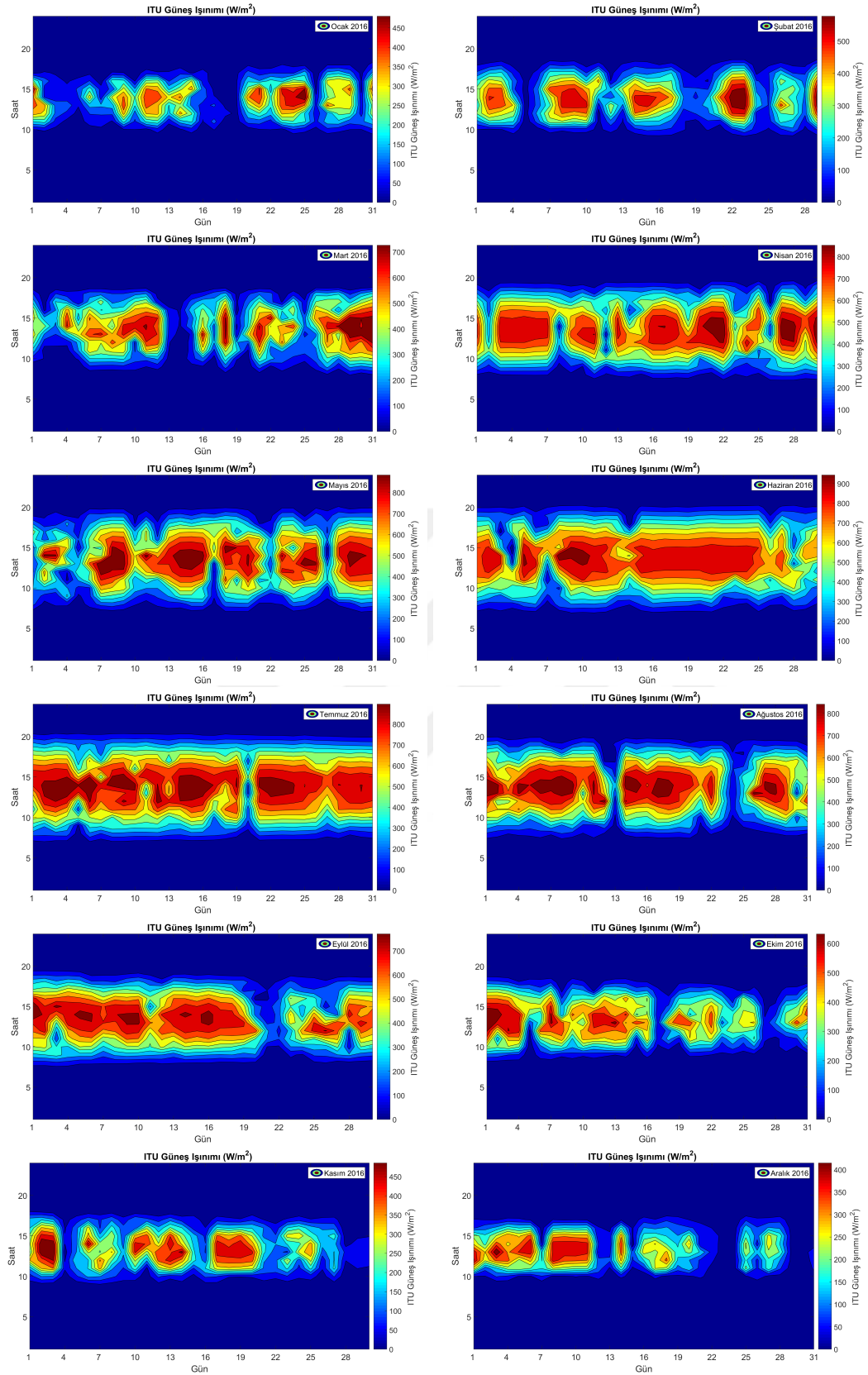


Şekil B.18 : Şuayipli global güneş ışınlmı - İTÜ aydınlık düzeyi 2017 yılı her ay için saçılma diyagramları.

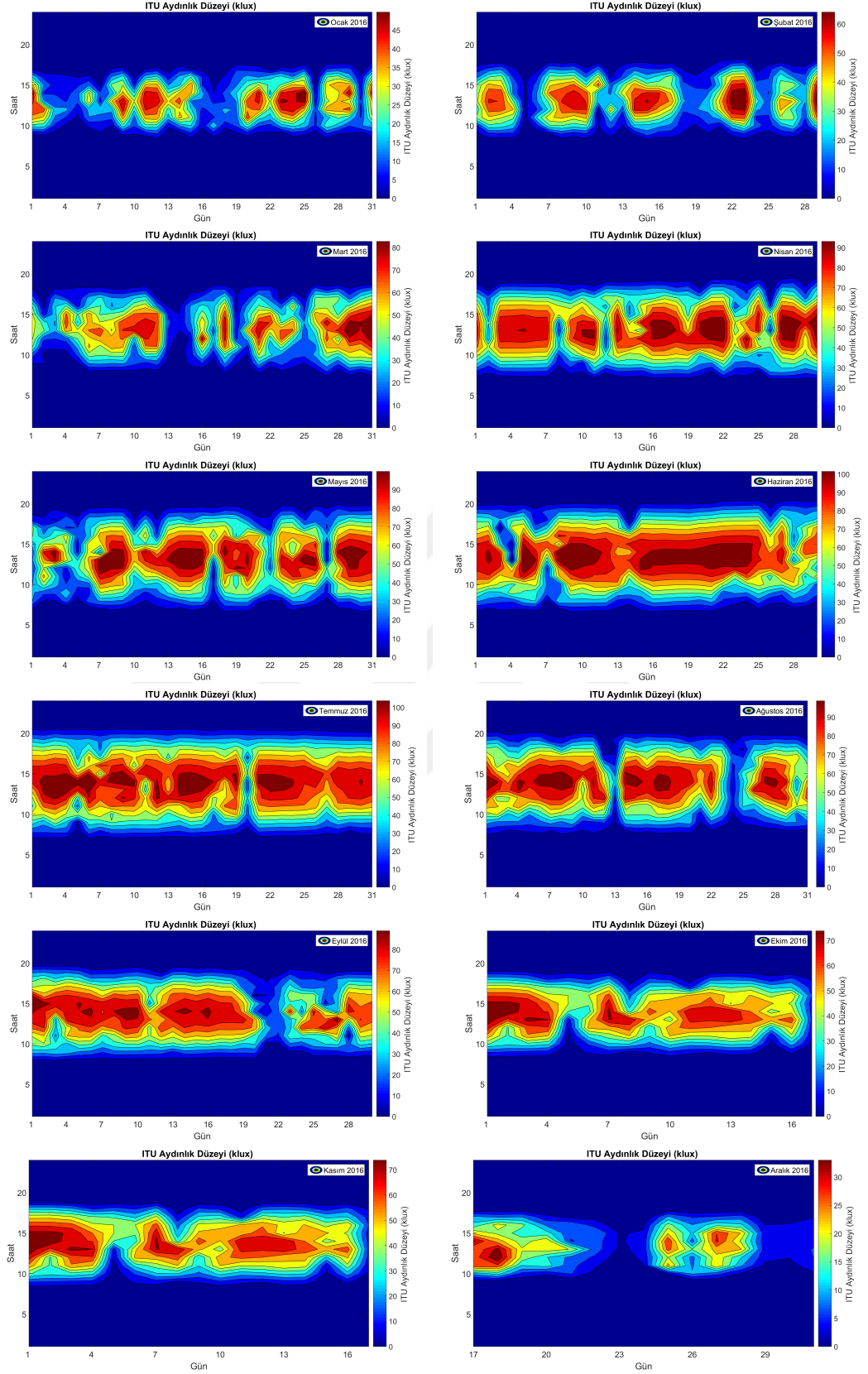


EK C
İTÜ



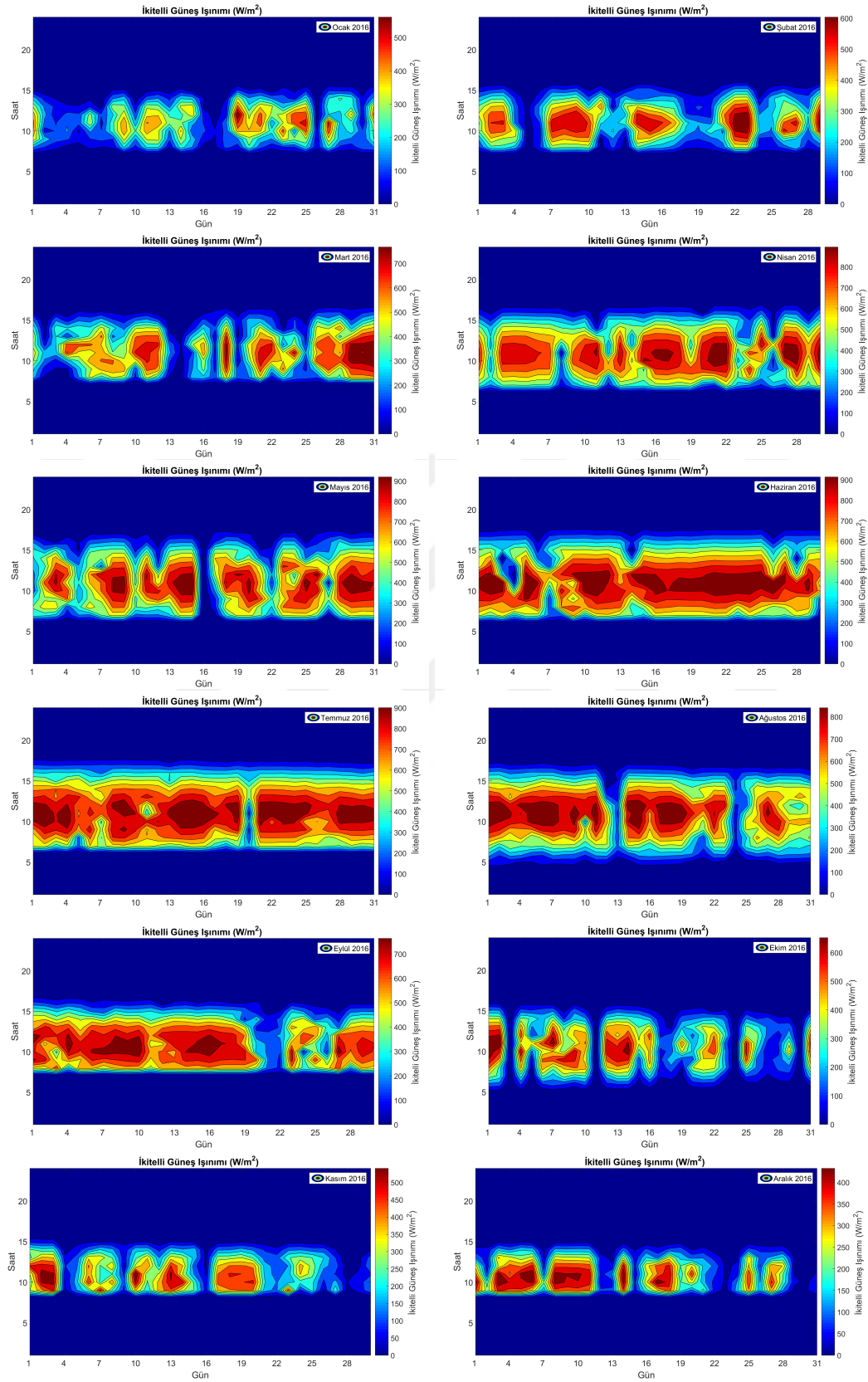


Şekil C.1 : İTÜ’de ölçülen global ışınlm değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

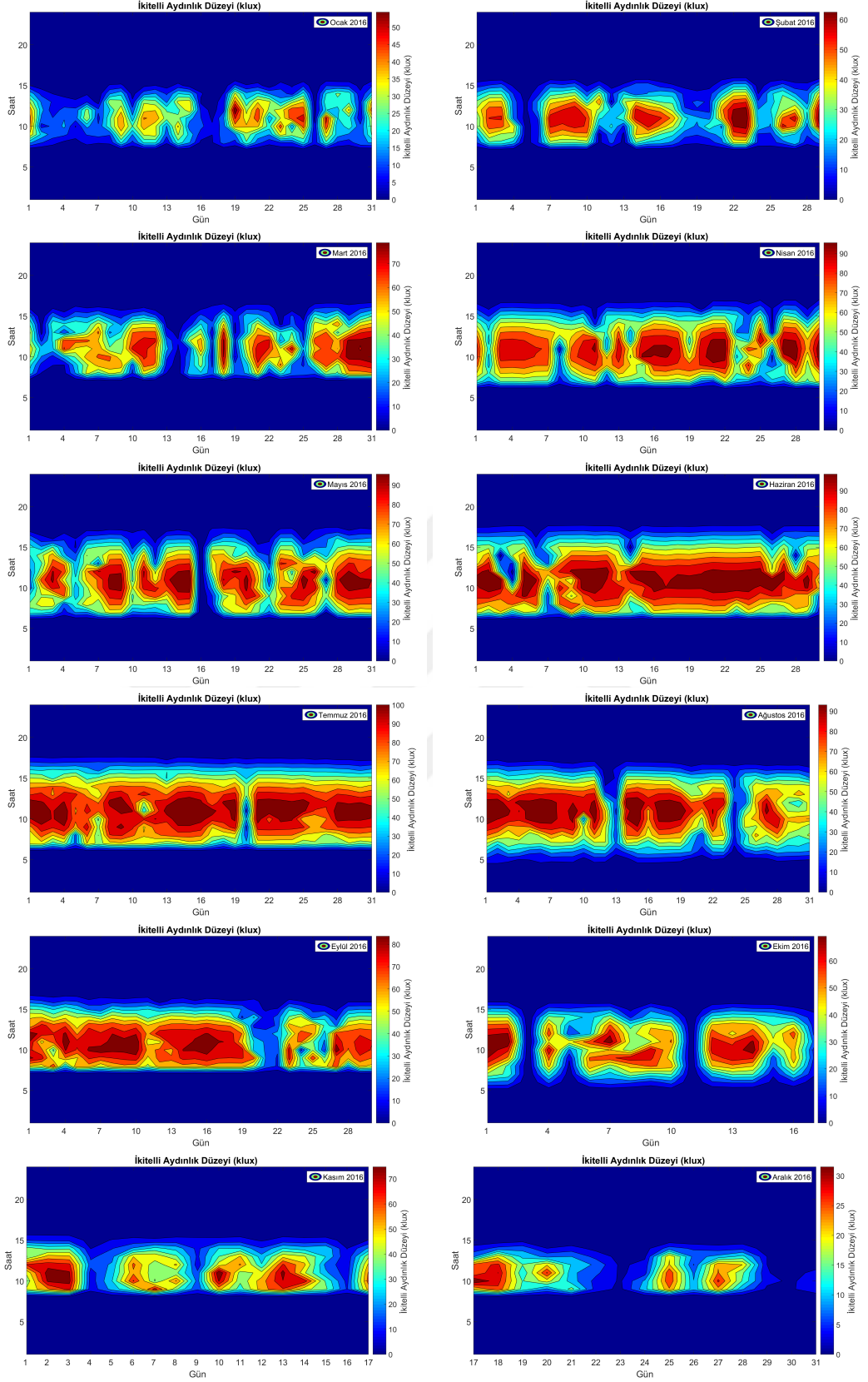


Şekil C.2 : İTÜ’de ölçülen günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

İkitelli

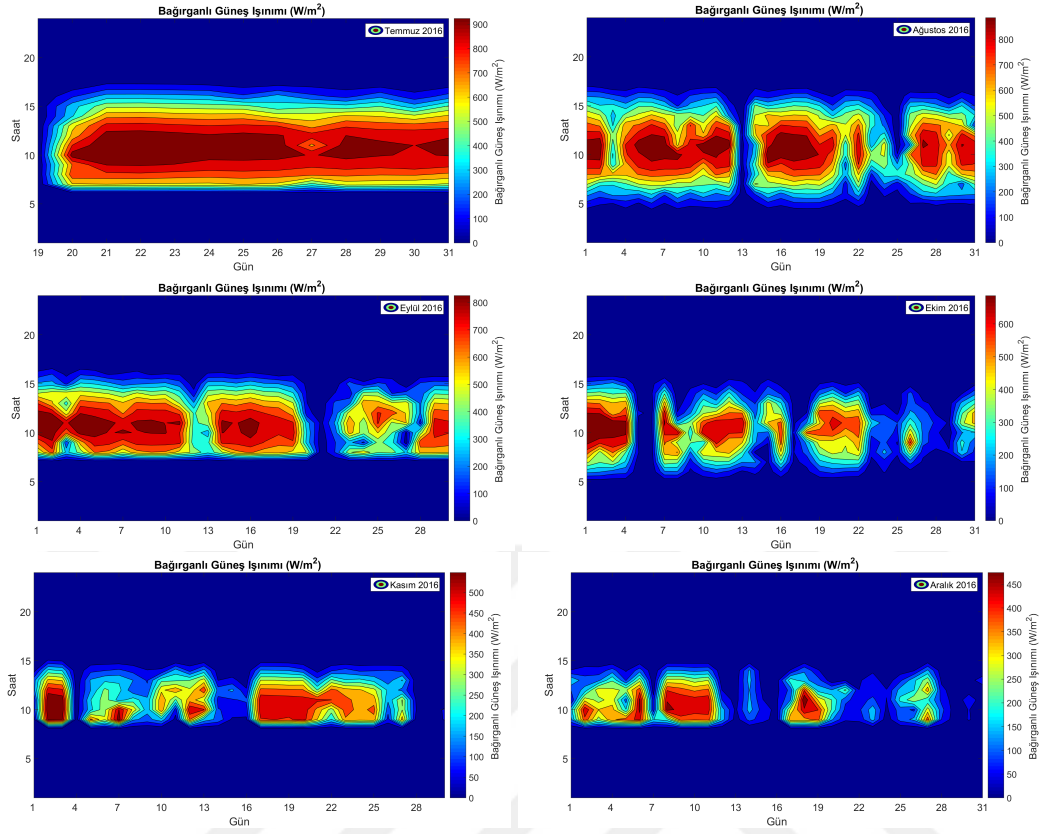


Şekil C.3 : İkitelli’de ölçülen global ışınlam değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

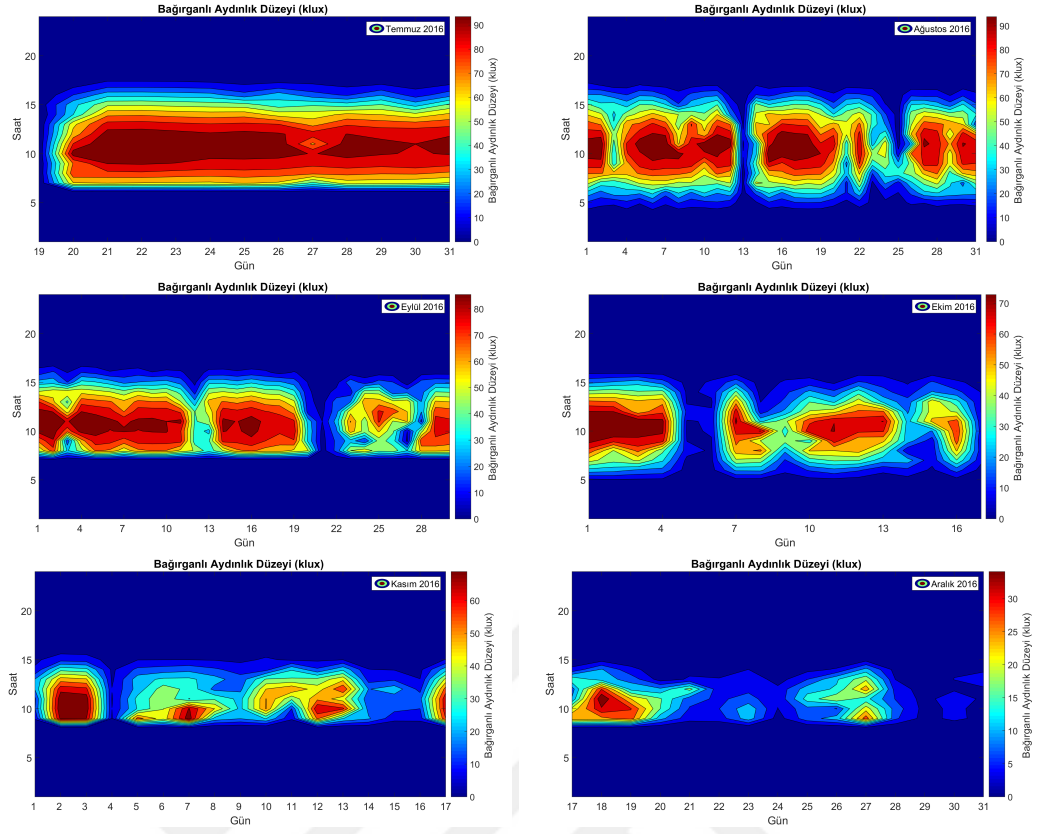


Şekil C.4 : İkitelli için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

Bağırçanlı

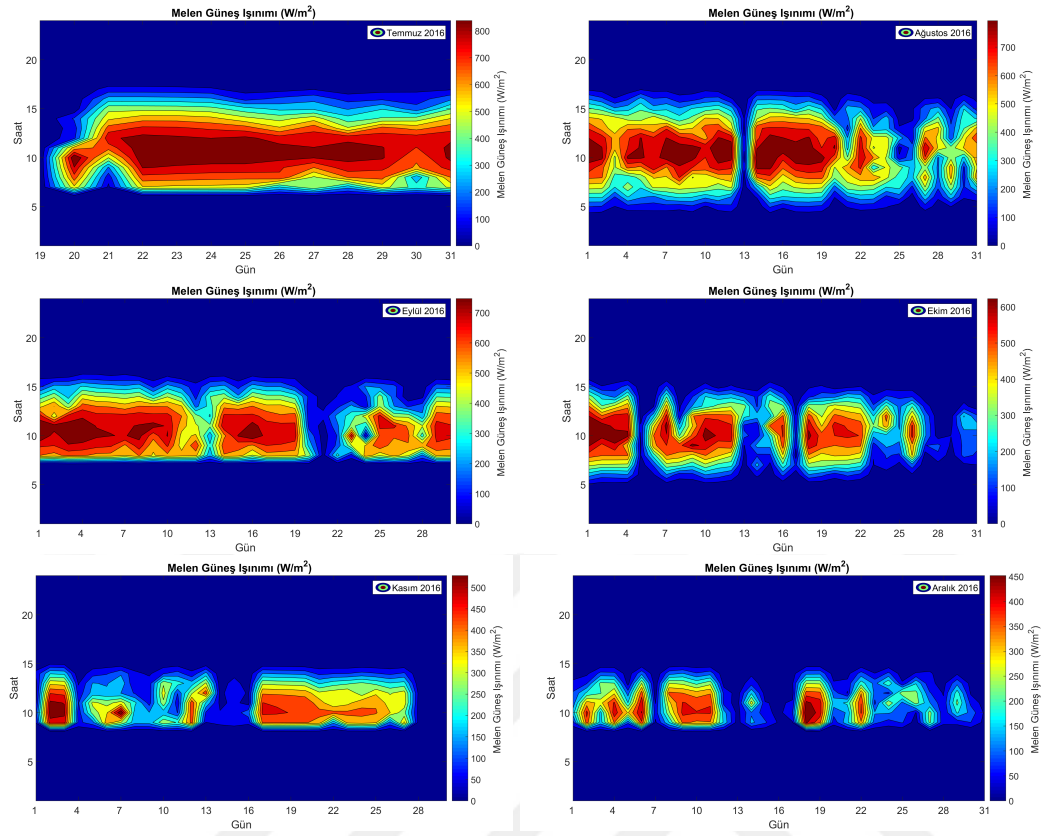


Şekil C.5 : Bağırçanlı’da ölçülen global ışıınım değęerlerinin saatlik ortalamalarının g¼nl¼k değışimi (2016).

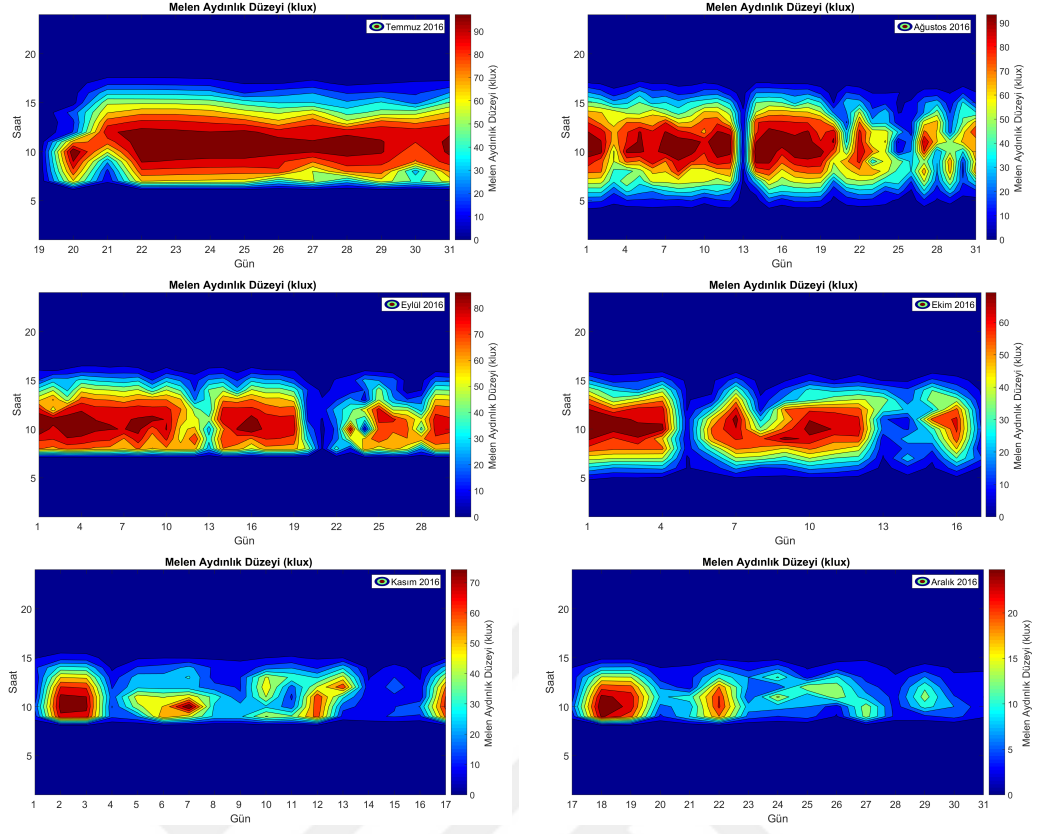


Şekil C.6 : Bağırçanlı için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

Melen

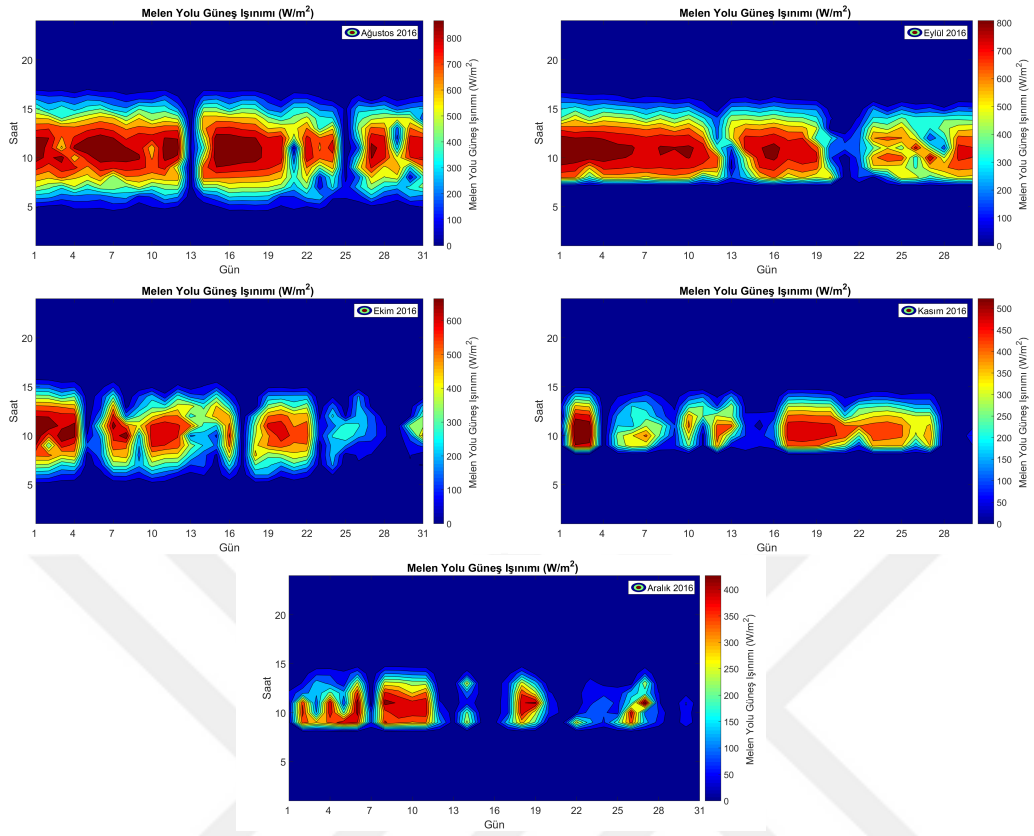


Şekil C.7 : Melen’de ölçülen global ışınlam değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

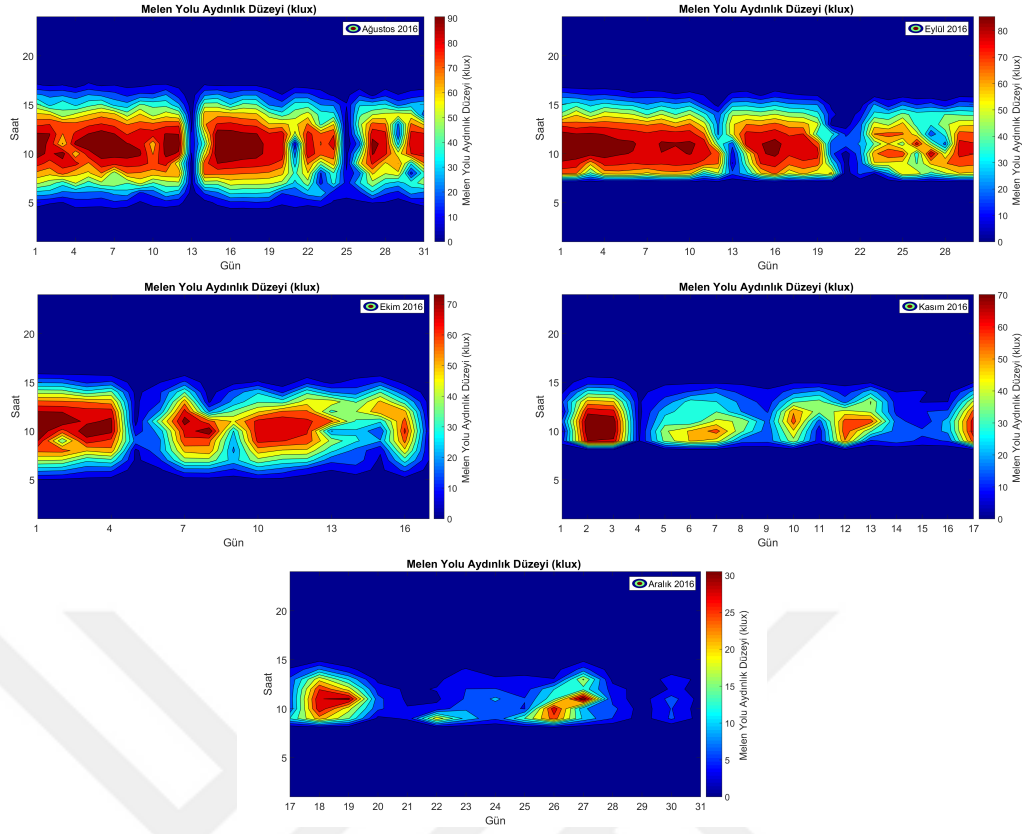


Şekil C.8 : Melen için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

Melen Yolu

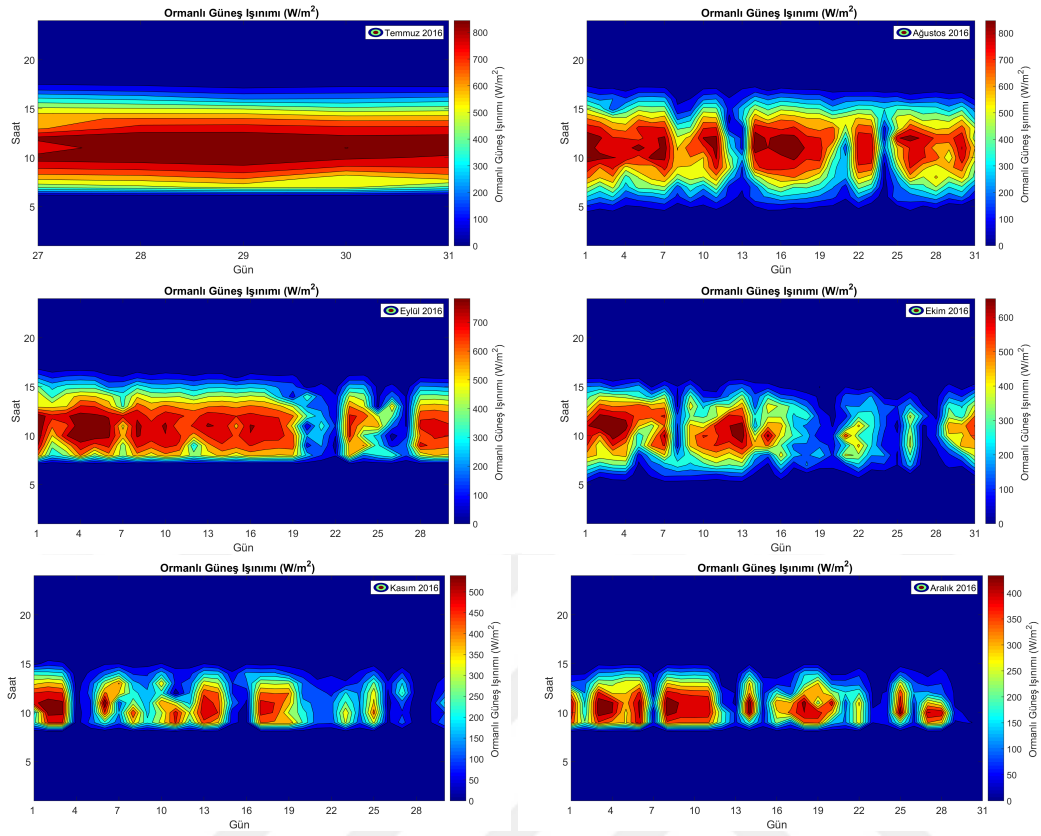


Şekil C.9 : Melen Yolu'nda ölçülen global ışınlam değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

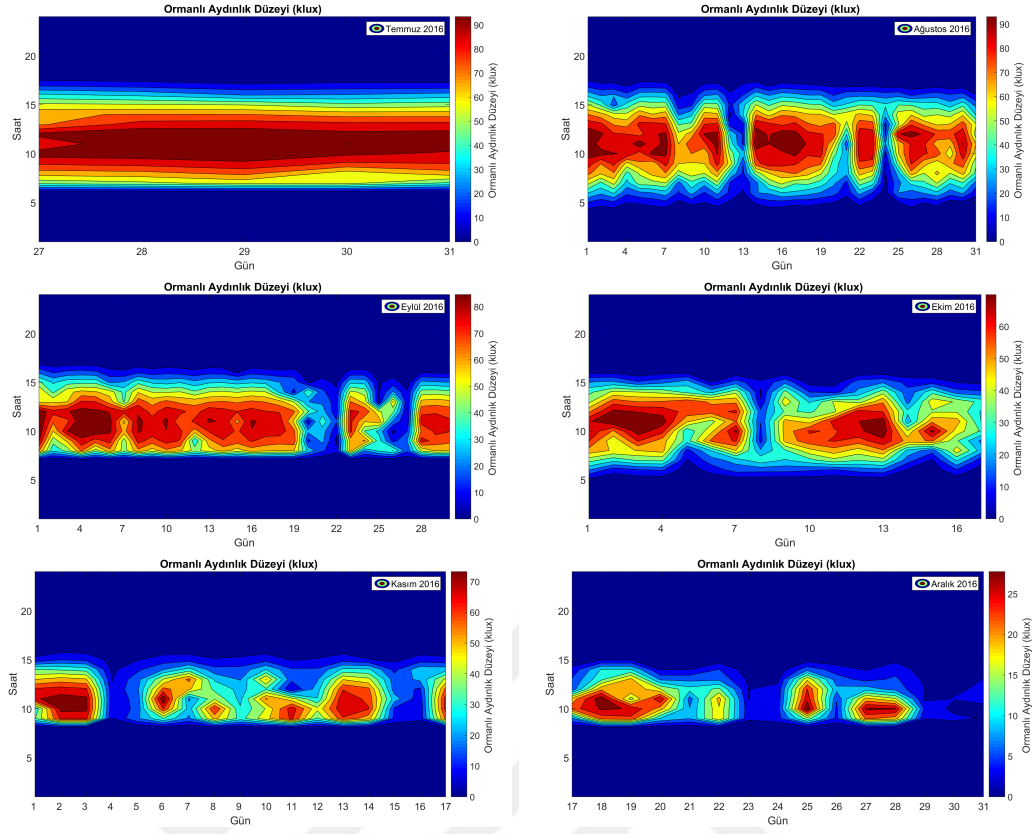


Şekil C.10 : Melen Yolu için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

Ormanlı

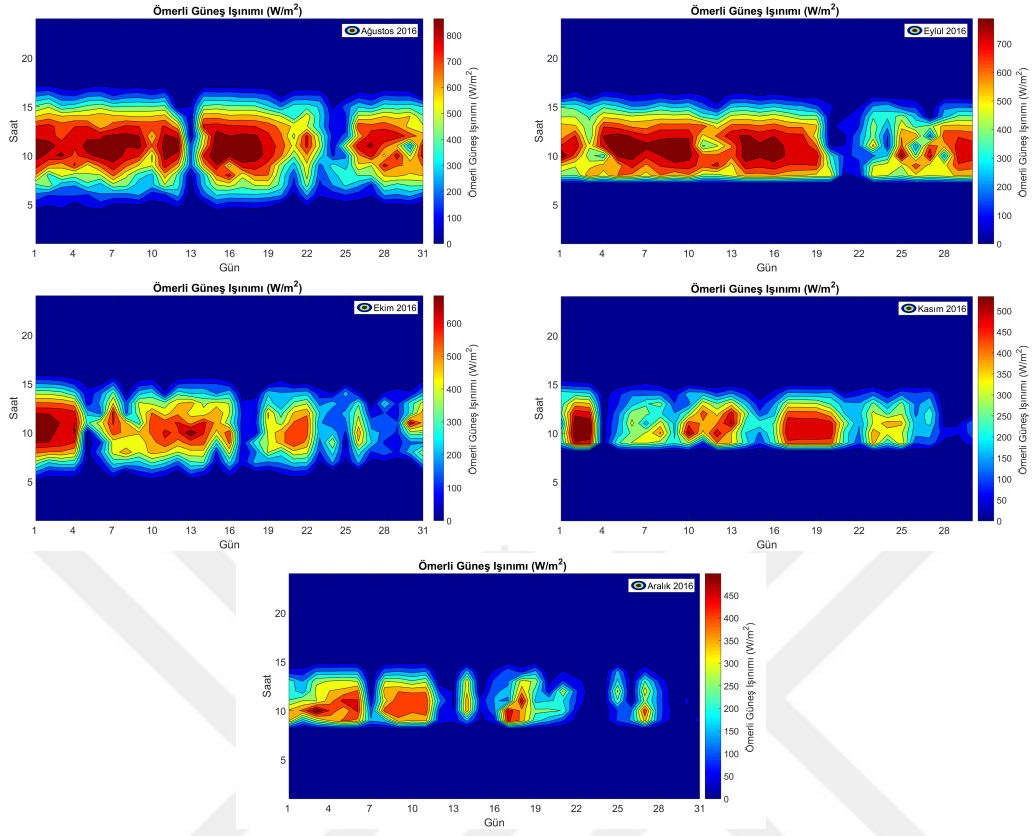


Şekil C.11 : Ormanlı'da ölçülen global ışınlm değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değışimi (2016).

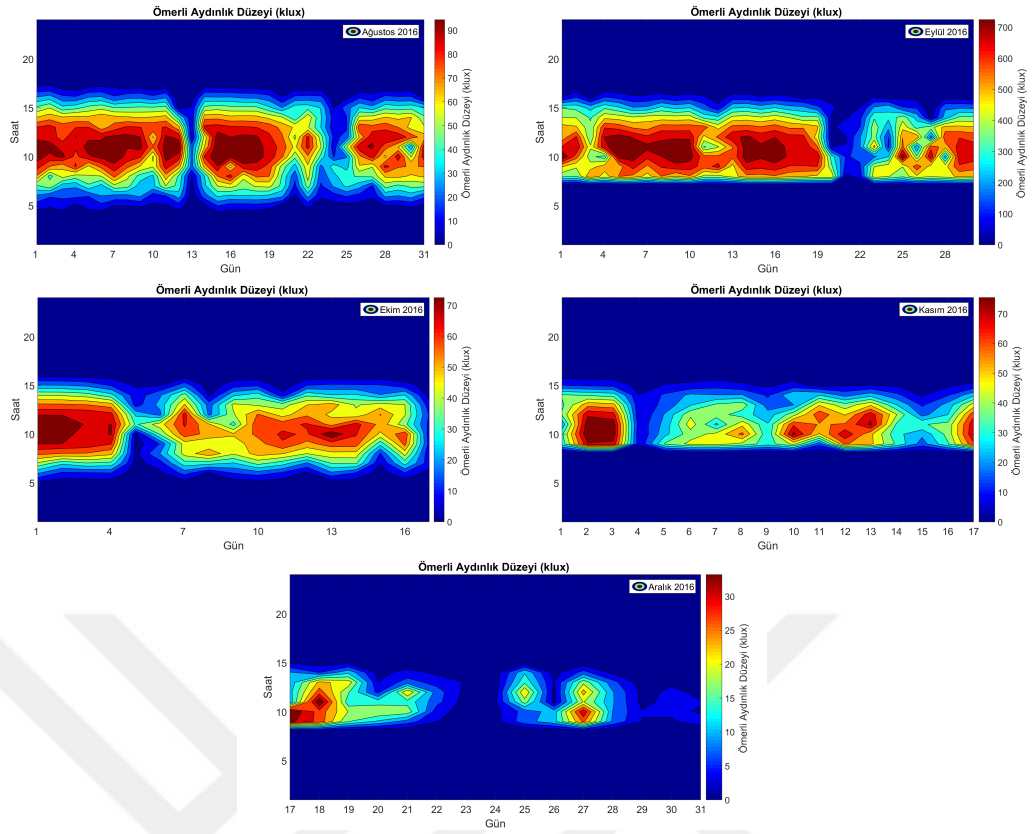


Şekil C.12 : Ormanlı için hesaplanan günışığı günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

Ömerli

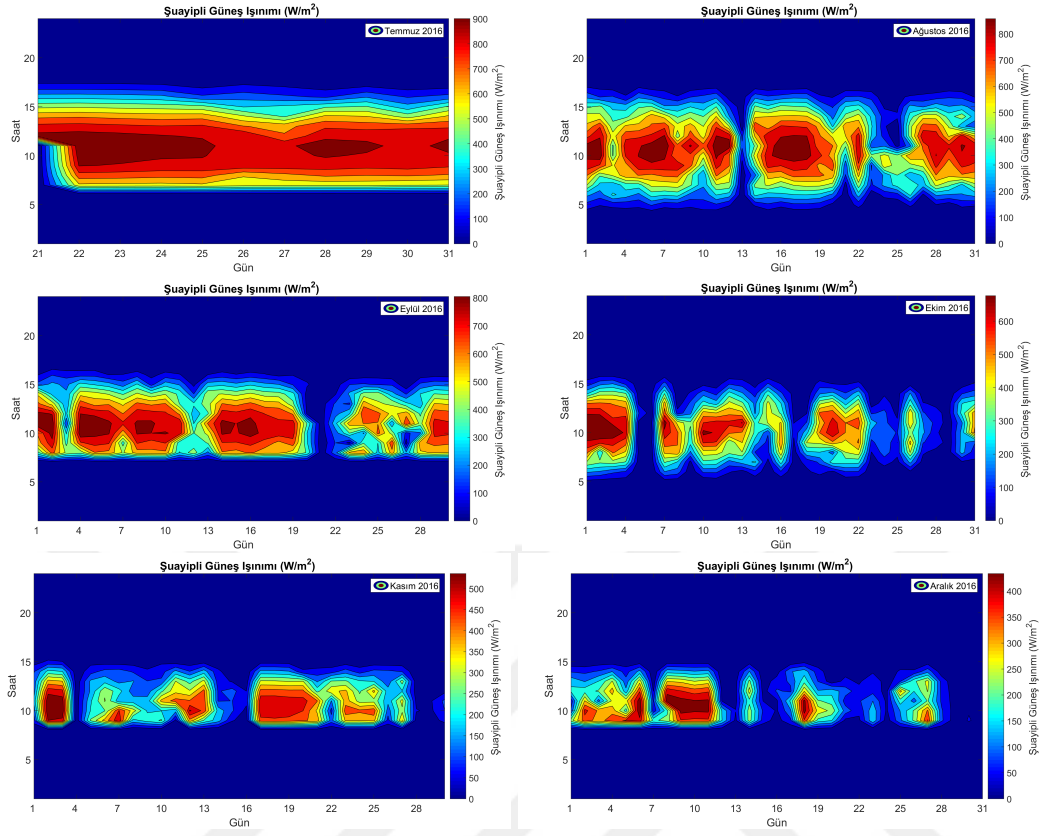


Şekil C.13 : Ömerli’de ölçülen global ışıınım değęerlerinin saatlik ortalamalarının g¼nl¼k değışimi (2016).

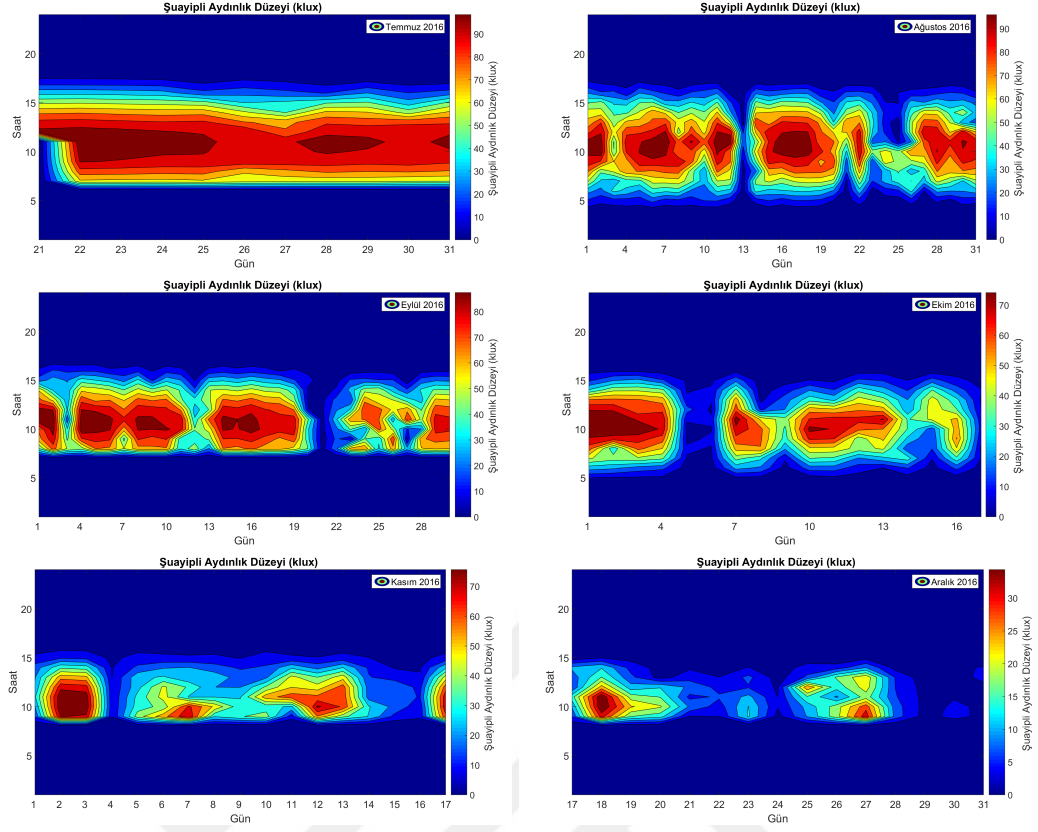


Şekil C.14 : Ömerli için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).

Şuayipli



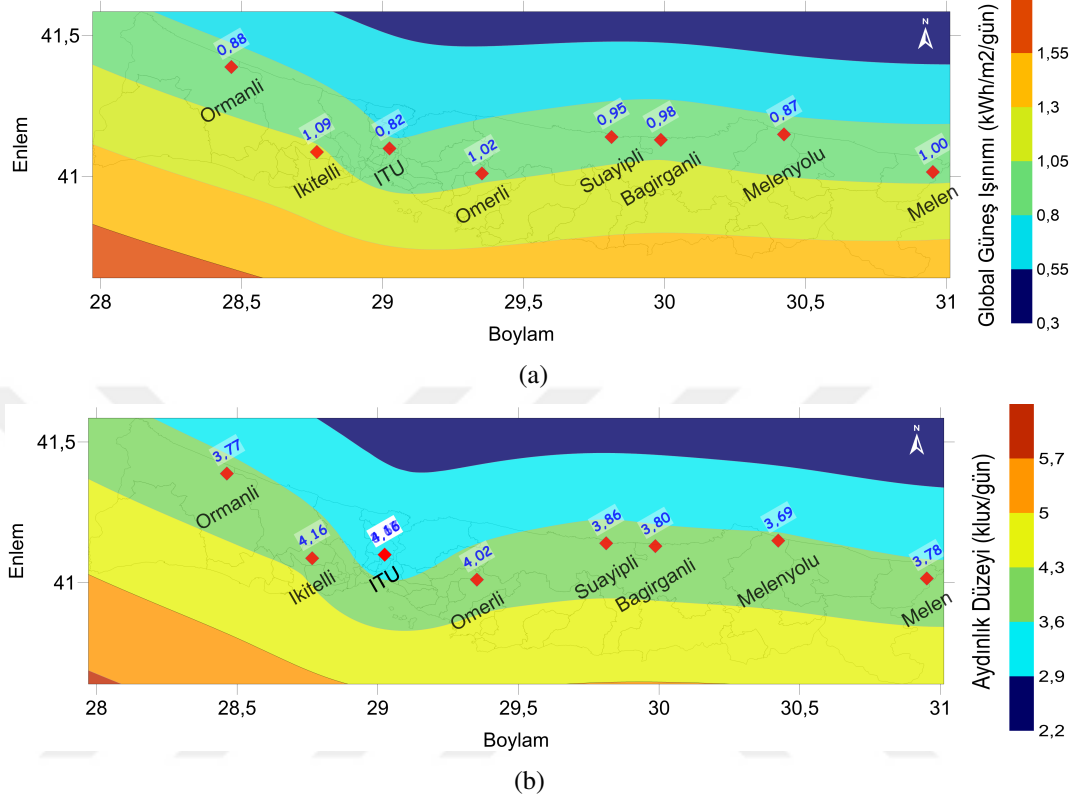
Şekil C.15 : Şuayipli’de ölçülen global ışınlm değerlerinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).



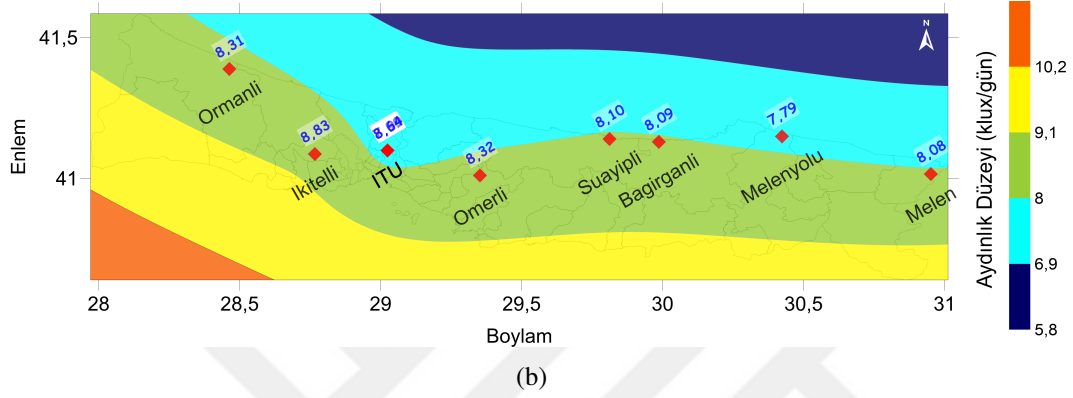
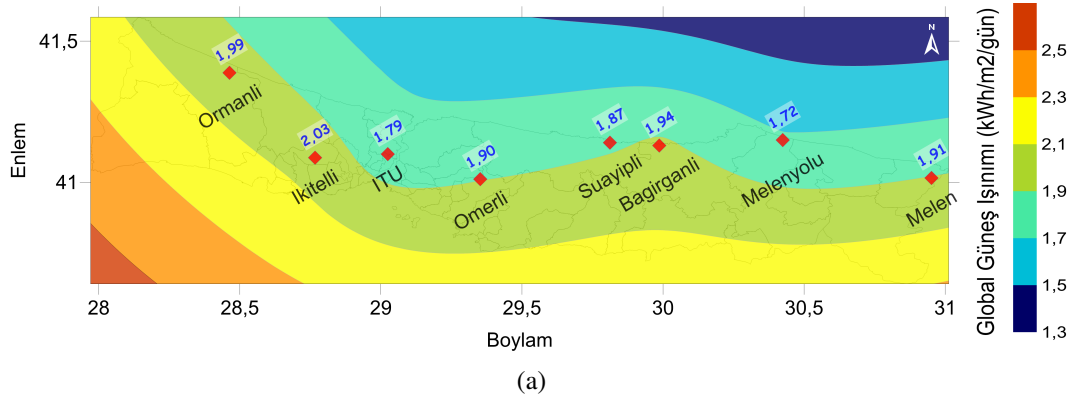
Şekil C.16 : Şuayipli için hesaplanan günışığı aydınlık düzeyinin saatlik ortalamalarının günlük değişimi (2016).



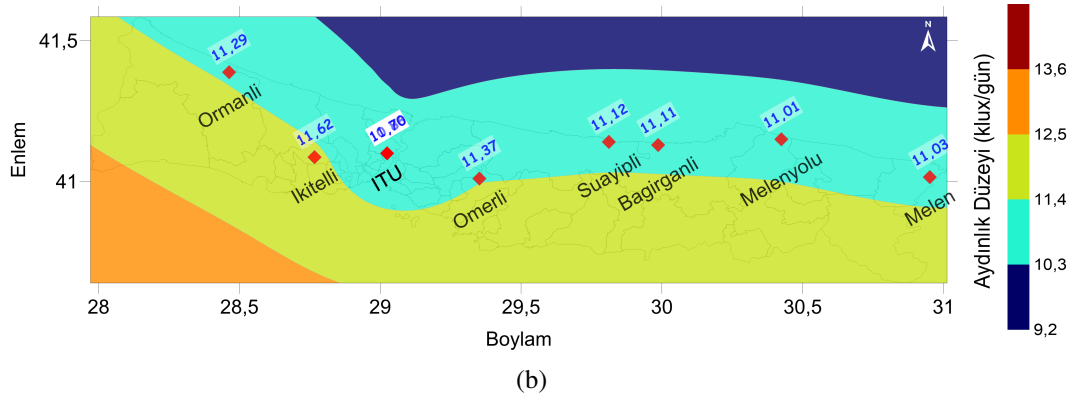
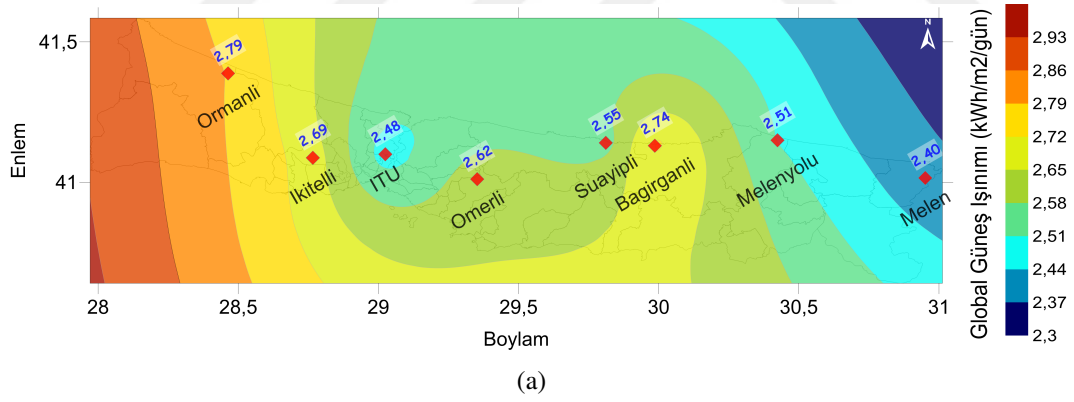
EK D



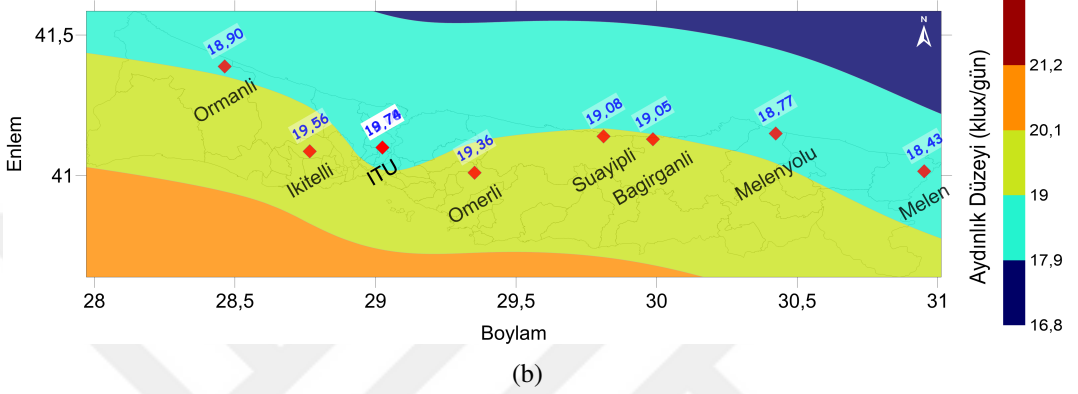
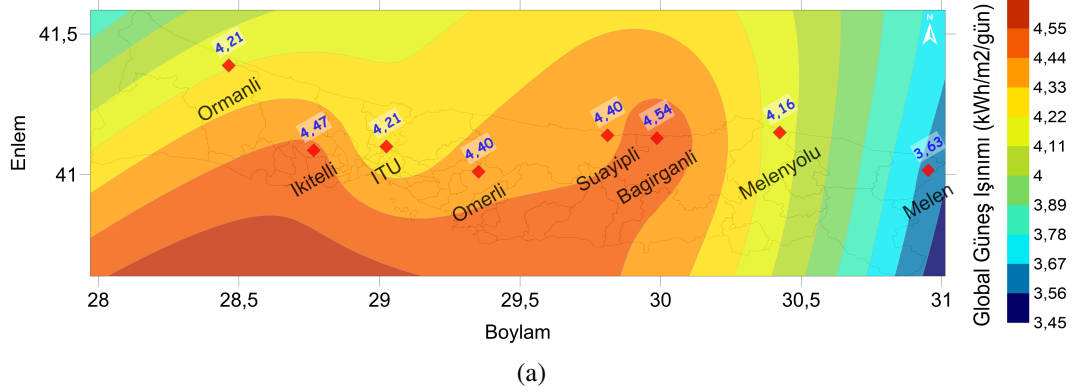
Şekil D.1 : 2017 Ocak ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.



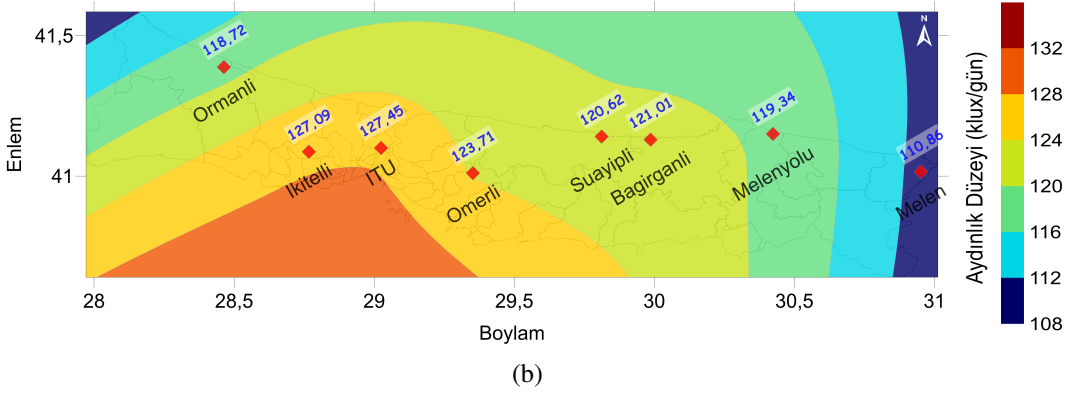
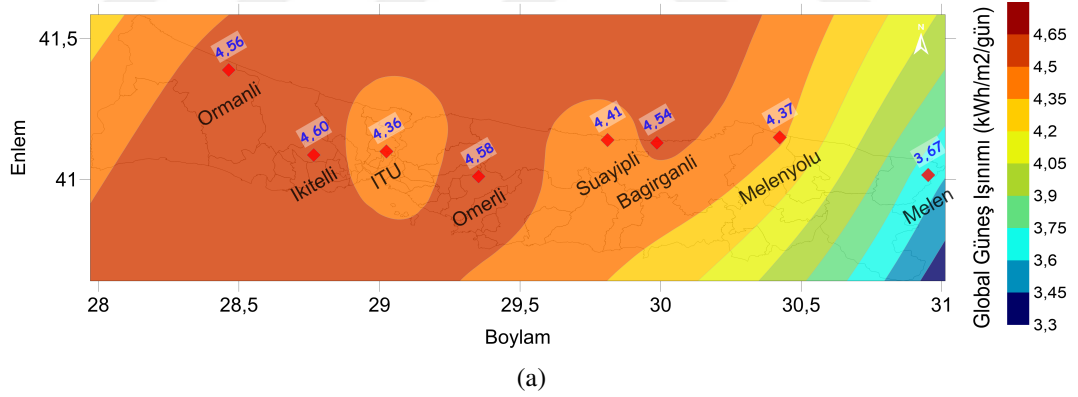
Şekil D.2 : 2017 Şubat ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.



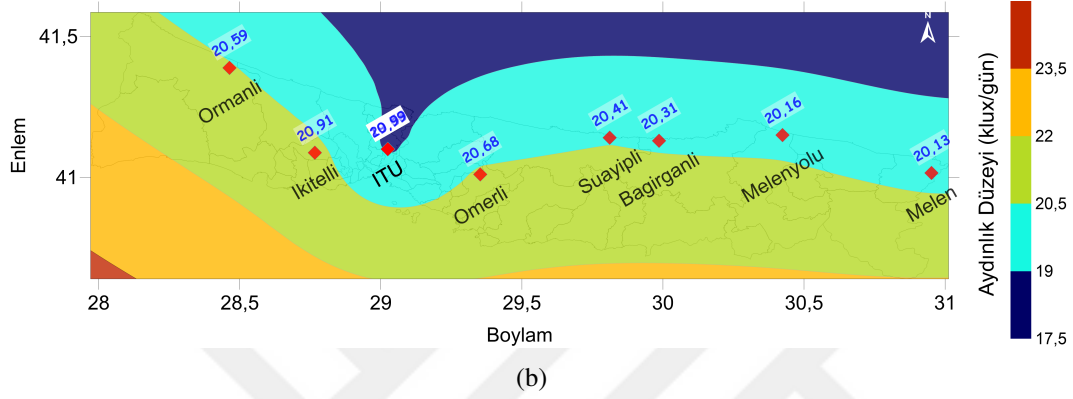
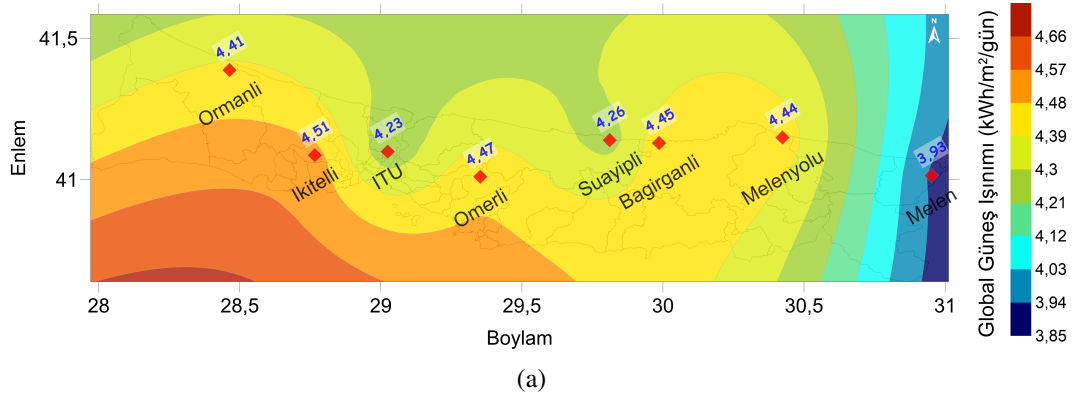
Şekil D.3 : 2017 Mart ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.



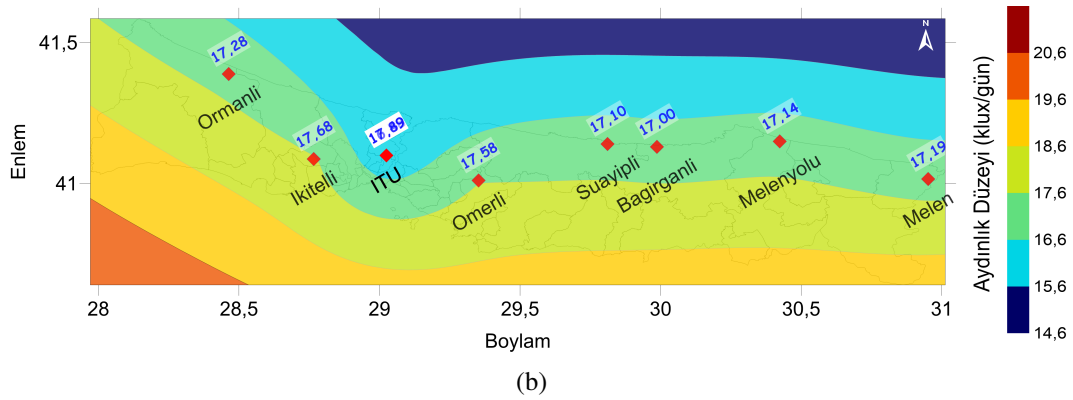
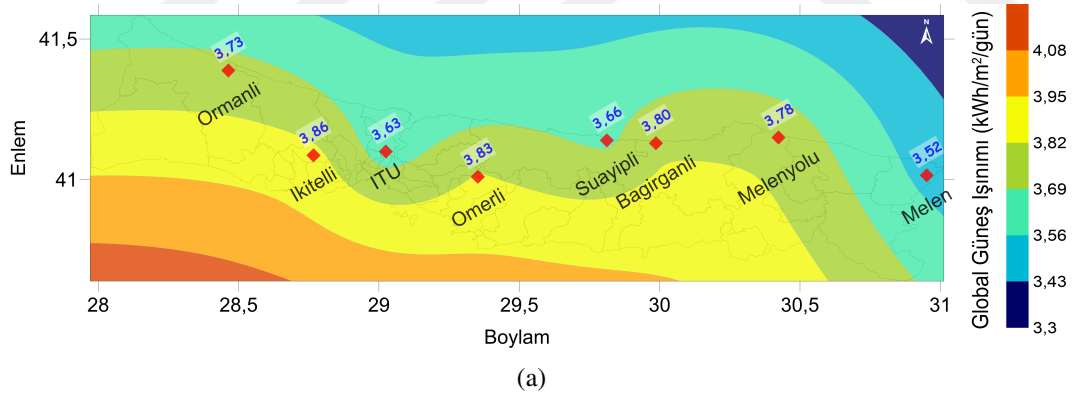
Şekil D.4 : 2017 Nisan ayı için (a) global güneş ışıınımmı (b) aydınlık düzeyi haritaları.



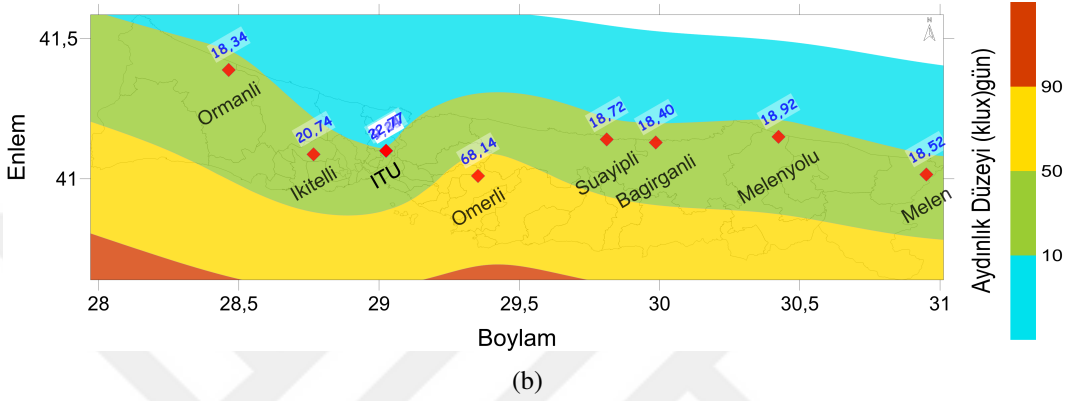
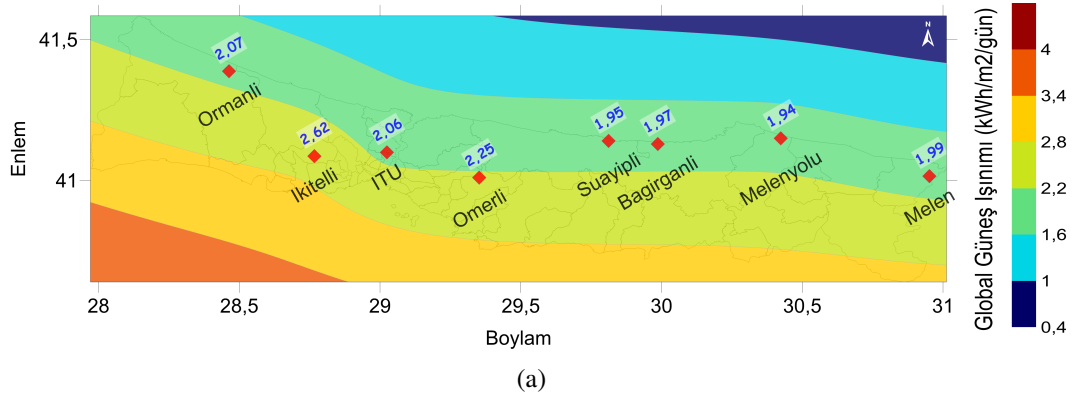
Şekil D.5 : 2017 Mayıs ayı için (a) global güneş ışıınımmı (b) aydınlık düzeyi haritaları.



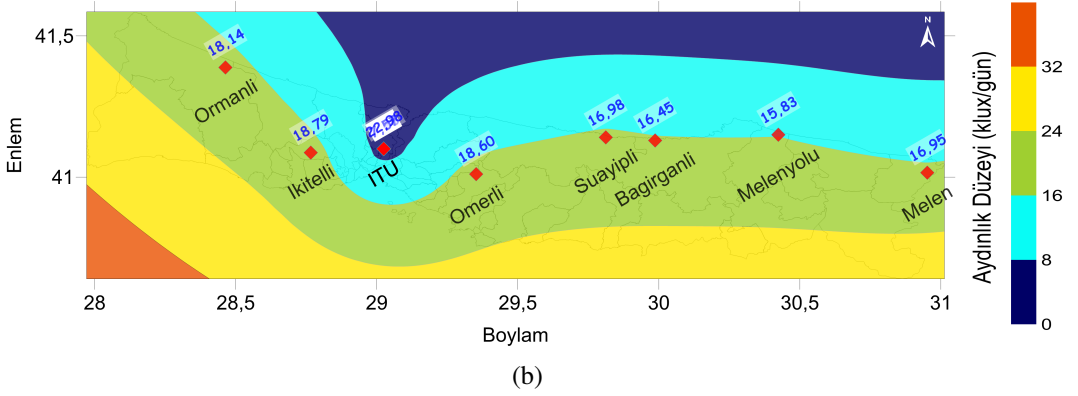
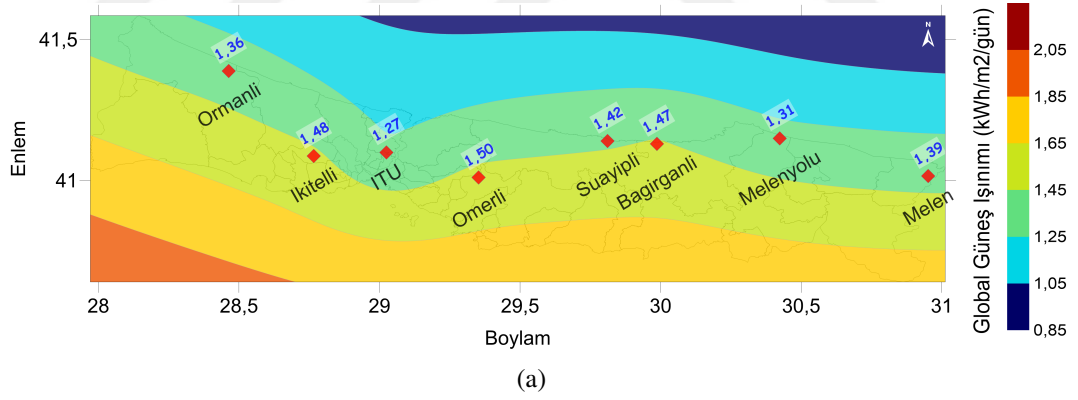
Şekil D.6 : 2016 Ağustos ayı için (a) global güneş ışıını (b) aydınlık düzeyi haritaları.



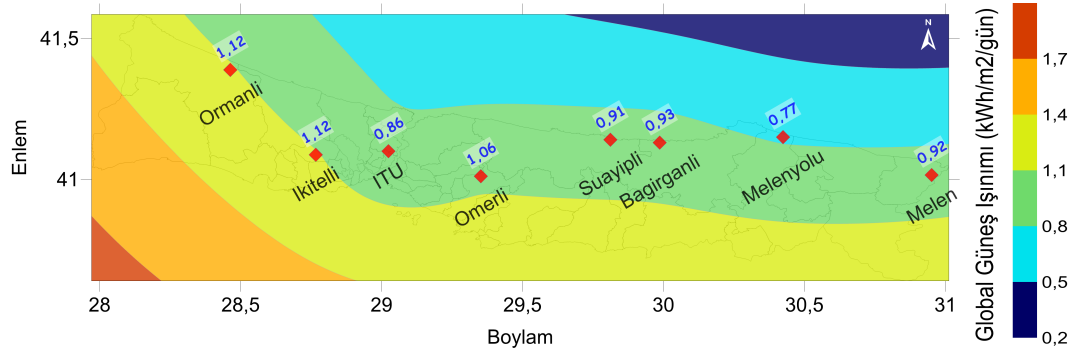
Şekil D.7 : 2016 Eylül ayı için (a) global güneş ışıını (b) aydınlık düzeyi haritaları.



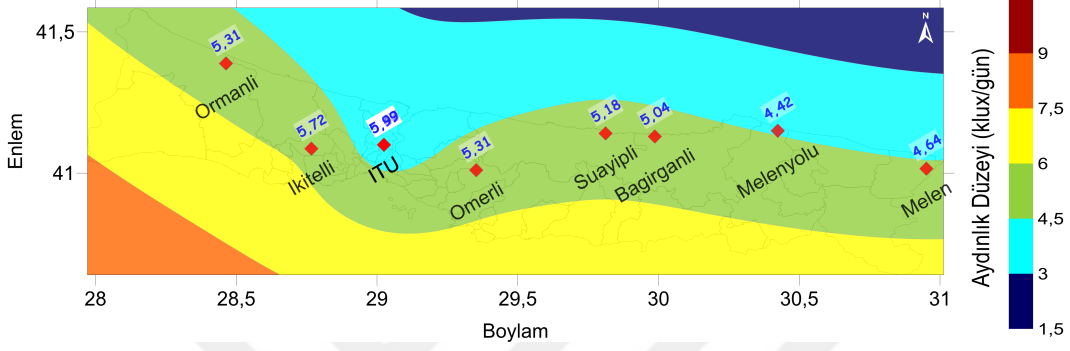
Şekil D.8 : 2016 Ekim ayı için (a) global güneş ışınlımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.



Şekil D.9 : 2016 Kasım ayı için (a) global güneş ışınlımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.



(a)

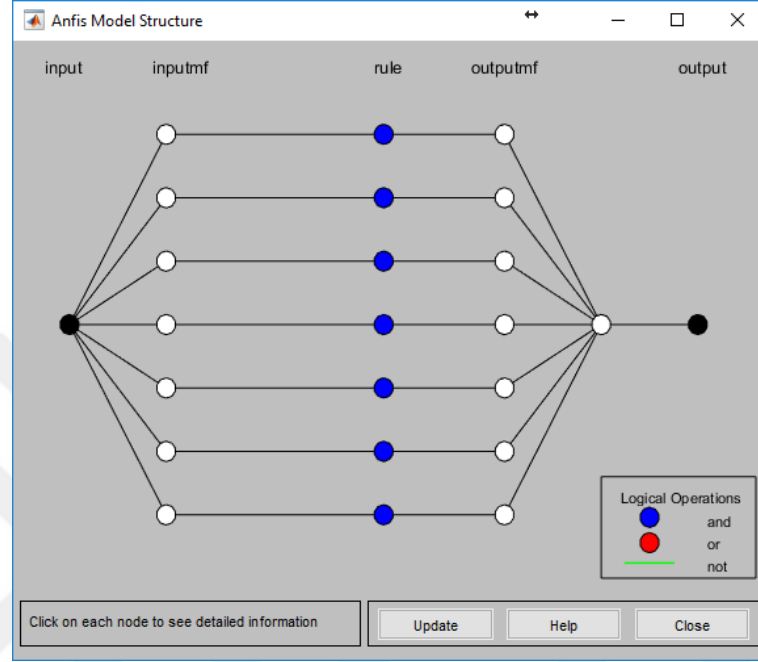


(b)

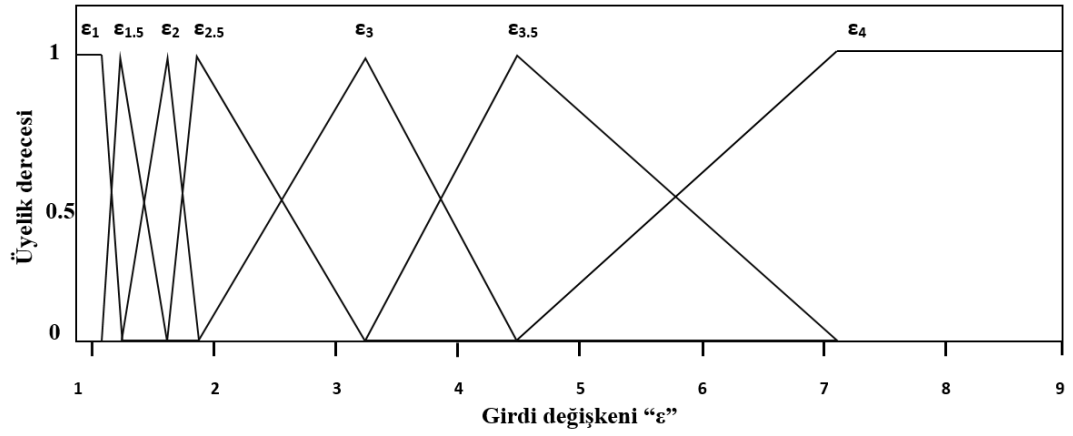
Şekil D.10 : 2016 Aralık ayı için (a) global güneş ışıınımı (b) aydınlık düzeyi haritaları.

EK E

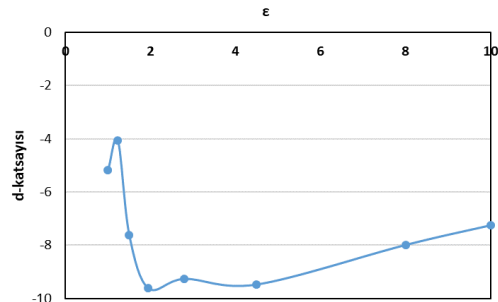
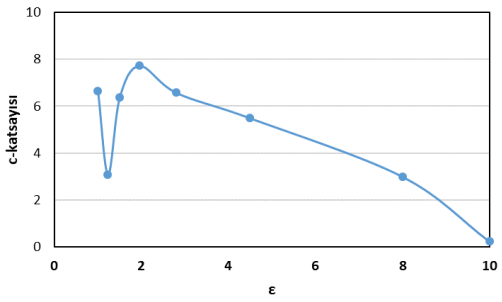
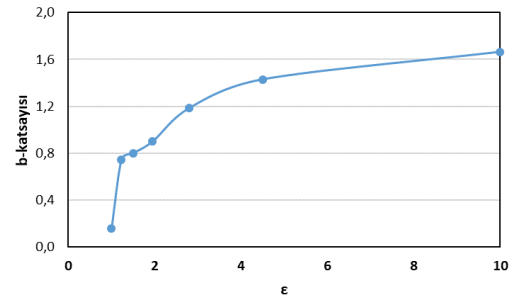
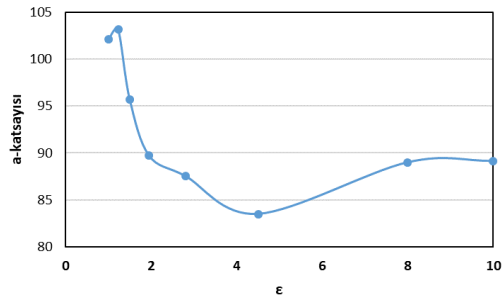
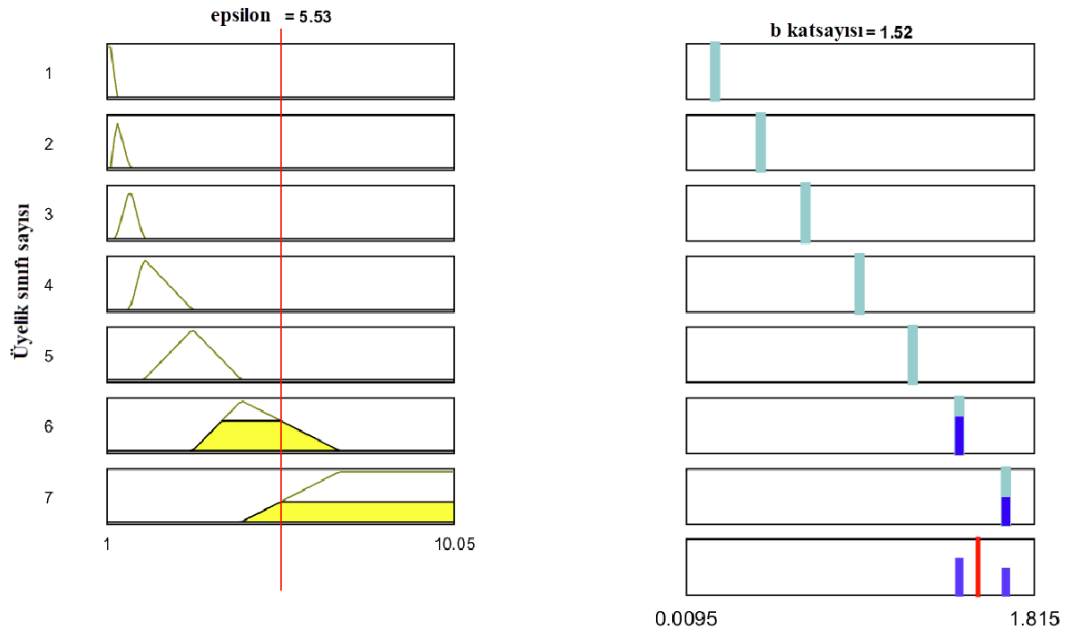
7 Sınıflı Bulanık Model



Şekil E.1 : 7 sınıflı anfis modeli yapısı.

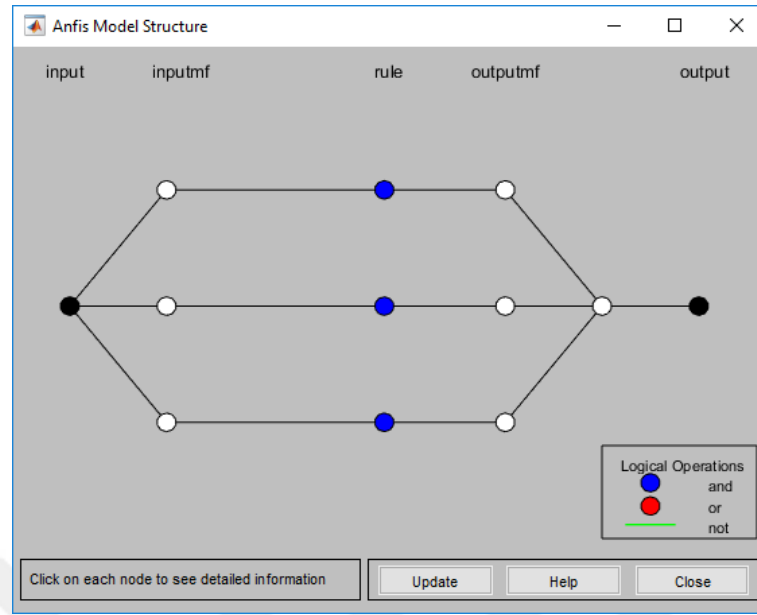


Şekil E.2 : 7 sınıflı bulanık model için oluşturulan üyelik fonksiyonları.

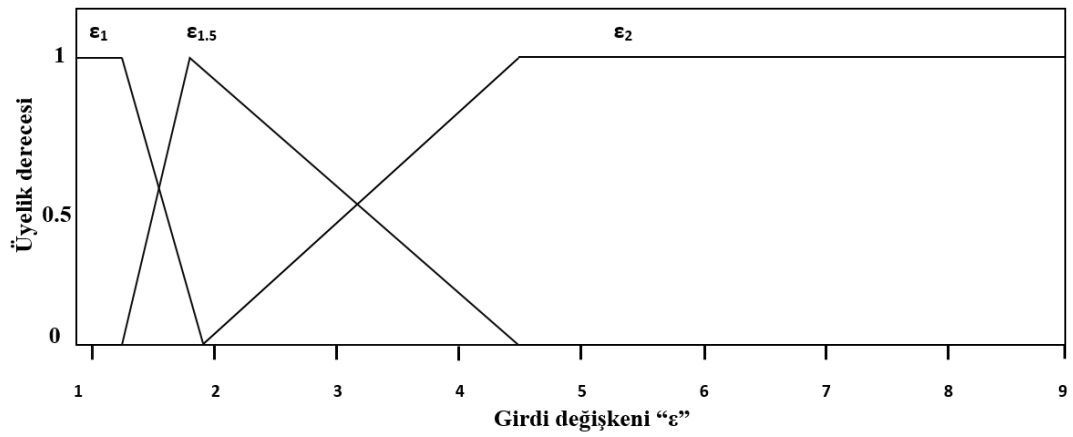


Şekil E.4 : 7 sınıflı bulanık model (a) a_i (b) b_i (c) c_i (d) d_i katsayıları.

3 Sınıflı Bulanık model

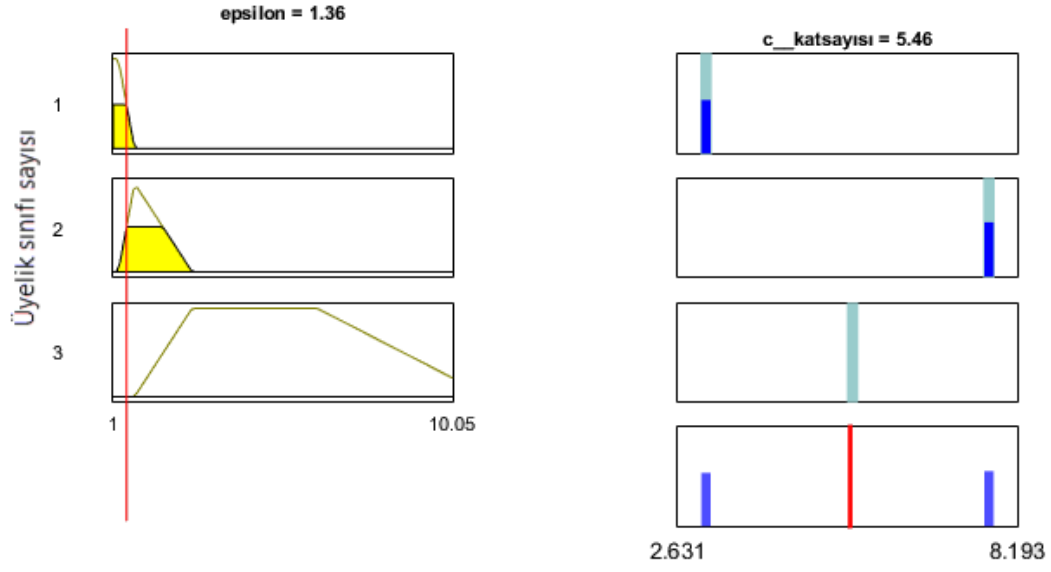


Şekil E.5 : 3 sınıflı anfis modeli yapısı.



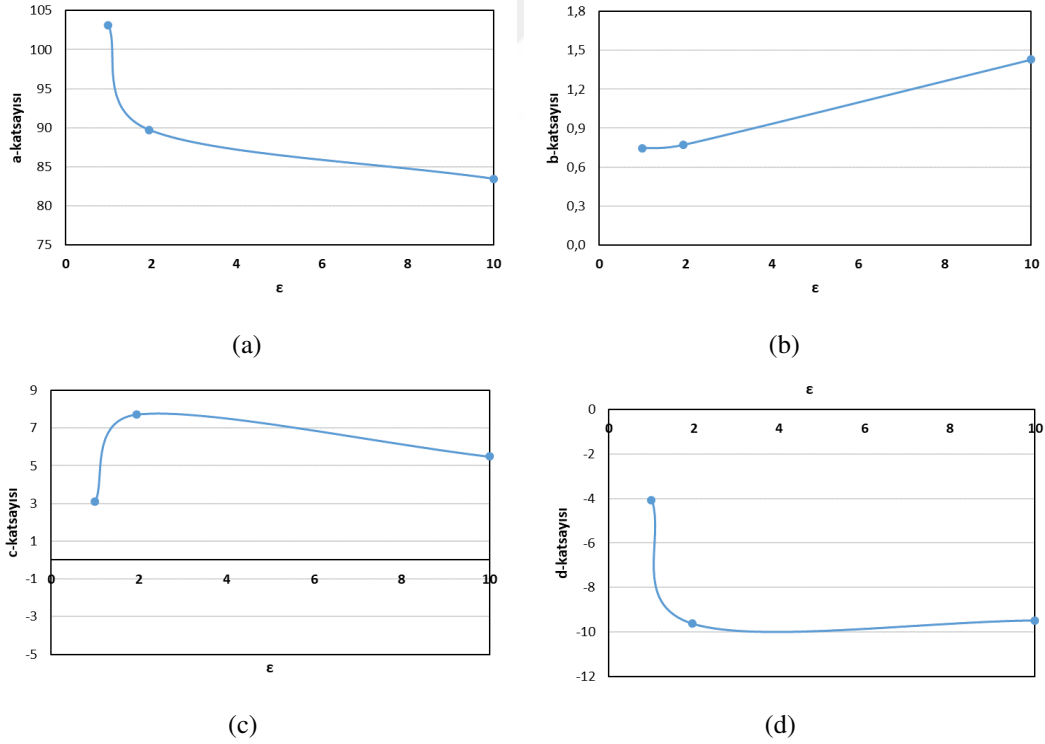
Şekil E.6 : 3 sınıflı bulanık model için oluşturulan üyelik fonksiyonları.

Model Kuralları - 3 Sınıf



Şekil E.7 : 3 sınıflı bulanık model kuralları - ϵ ve c_i değerleri.

Model Katsayıları - 3 Sınıf



Şekil E.8 : 3 sınıflı bulanık model (a) a_i (b) b_i (c) c_i (d) d_i katsayıları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Bihter Durna

Doğum Tarihi ve Yeri: 1986 - Ödemiş/İzmir

E-Posta: yerlib@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2009, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bil. Fak., Meteoroloji Müh. Bölümü
- **Y. Lisans:** 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Meteoroloji Müh. Anabilim Dalı, Atmosfer Bilimleri YL Programı

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

- **Durna, B., Şahin, A. D., 2017.** Daylight Illumination Analyses Of Istanbul. *International Conference on Energy and Thermal Engineering*, April 22-24, Istanbul, Turkey. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- **Durna, B., Şahin, A. D., 2018.** Mapping of Daylight Illumination Level On The Basis Of Global Solar Radiation In and Around Istanbul, Turkey, *Weather*, Kabul edildi. Doi: 10.1002/wea.3386

DİĞER YAYINLAR:

ULUSLARARASI HAKEMLİ DERGİLERDE YAYIMLANAN MAKALELER

- İzgi E., Kaymak M. K., Öztopal A., **Durna B.**, Şahin A. D. (2016). Variations and Relations Of Meteorological Parameters Between Upwind and Downwind Small Scale Wind Turbine Rotor Area. *Turkish Journal Of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 24, 1091-1098., Doi: 10.3906/elk-1312-147
- İzgi E., Öztopal A., **Yerli B.**, Kaymak M. K., Şahin A. D. (2014). Determination of The Representative Time Horizons For Short Term Wind Power Prediction By Using Artificial Neural Networks. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 36(16), 1800-1809., Doi: 10.1080/15567036.2011.561274
- İzgi E., Öztopal A., **Yerli B.**, Kaymak, M. K., Şahin A. D. (2012). Short Mid Term Solar Power Prediction By Using Artificial Neural Networks. *Solar Energy*, 86(2), 725-733., Doi: 10.1016/j.solener.2011.11.013

YAZILAN ULUSAL/ULUSLARARASI KİTAPLARDAKİ BÖLÜMLER:

- Baydaroğlu Ö., **Durna B.**, 2015. Meteoroloji Atmosferimizi Anlamak, Bölüm adı:(Orta Enlem Siklon ve Antisiklonları), Nobel Akademik Yayıncılık, Basım sayısı:3, Sayfa Sayısı 602, ISBN:9786053202097, Türkçe(Kitap Tercümesi)

ULUSLARARASI BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN VE BİLDİRİ KİTAPLARINDA BASILAN BİLDİRİLER:

- **Durna B.** ,Akbal Ö., Doğan N., İzgi E., Şahin A. D. (2016). Türkiye Elektrik Tüketiminde Ve KSU YSU Süreçlerinde Puant Değerlerin Detaylı İncelenmesi. *10th International Clean Energy Symposium*, 315-320. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Efe B., **Durna B.**, Doğanşahin K., Deniz A., Şahin A. D. (2016). Okul Çatısına Fotovoltaik Sistem Kurulumu Sarıyer Örneği. *10th International Clean Energy Symposium*, 709-719. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- **Yerli B.**, Özdemir E. T., Kaymak M. K., Sezen İ., Eftimiyadis K., Şahin A. D. (2013). Unlicensed Electricity Generation From PV In Turkey And A Case Study In Istanbul Technical University. *6th Atmospheric Science Symposium - ATMOS 2013* (Tam Metin Bildiri/Poster)
- Özdemir E. T., **Yerli B.**, Efe B., Kaymak M., Sezen İ., Şahin A.D. (2013). Feasibility Analysis For Wind Power Plant Installation Around Çatalca Meteorology Radar Performed By Using Retscreen And Homer Energy Models. *6th Atmospheric Science Symposium - ATMOS 2013* (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Kaymak M., **Yerli B.**, İzgi E., Öztopal A., Şahin A.D. (2011). 1 5 kW lık Rüzgar Türbinin İstanbul İklim Şartlarında Enerji ve Ekserji Analizi. *5th Atmospheric Science Symposium* (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- **Yerli B.**, Kaymak M., İzgi E., Öztopal A., Şahin A.D. (2010). Effect of derating factors on photovoltaics under climatic conditions of Istanbul. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 44, 1400-1404. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

ULUSAL BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN VE BİLDİRİ KİTAPLARINDA BASILAN BİLDİRİLER:

- Öztopal A., İzgi E., **Yerli B.**, Kaymak M., Sırdaş S., Bacanlı H., Dünder C., Şahin A. D., (2013). Rüzgar Hızı Altölçeklemesi ve Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması. *9. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu* (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Öztopal A., **Yerli B.**, Kaymak M., İzgi E., Şahin A. D., (2010). Rüzgar Şiddetinin Bulanık Mantık Yapay Sinir Anfis Yaklaşımıyla Kısa Süreli Tahmini. *8. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu* (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- İzgi E., Öztopal A., **Yerli B.**, Kaymak M., Şahin A. D., (2010). Rüzgar Enerjisinde Kısa Süreli Rüzgar Hızı ve Güç Tahminin Karşılaştırılması. *8. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu* (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

- **Yerli B.**, Kaymak M., İzgi E., ,Öztopal A., Şahin A. D., (2010). Atmosferik Değişkenlerin İstanbul İklim Şartlarında Fotovoltaik Elektrik Üretimine Etkisi. 8. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu* (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

SEMPOZYUM KİTAP EDITÖRLÜĞÜ

- 10th International Clean Energy Symposium Proceedings, 10 Uluslararası Temiz Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Kitap, Editör, Su Vakfı, 24.10.2016-26.10.2016
- VII Atmospheric Science Symposium Proceedings, Kitap, Editör, Meteoroloji Genel Müdürlüğü
- TİKDEK 13 III Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiri Kitabı, Kitap, Editör, Su Vakfı
- TİKDEK 10 II Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiri Kitabı, Kitap, Editör, Su Vakfı-18.06.2010