Güneş Günü Sempozyumu'99-028
Kayseri, 25-27 Haziran 1999

BAZI İLLER İÇİN GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİ, GÜNEŞLENME SÜRESİ VE BERRAKLIK İNDEKSİNİN YENİ ÖLÇÜMLER IŞIĞINDA ANALİZİ

Hüsamettin BULUT
Çukurova Üni. Müh. Mim. Fak.
Makina Mühendisliği Bölümü,
01330-Adana, Türkiye
Tel:+ 90-322-3386084-2727
hbulut@mail.cu.edu.tr

Orhan BÜYÜKALACA
Çukurova Üni. Müh. Mim. Fak.
Makina Mühendisliği Bölümü,
01330-Adana, Türkiye
Tel:+ 90-322-3386485
orhan1@mail.cu.edu.tr

Tuncay YILMAZ
Çukurova Üni. Müh. Mim. Fak.
Makina Mühendisliği Bölümü,
01330-Adana, Türkiye
Tel:+ 90-322-3386772
tunyil@mail.cu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, Adana, Kayseri, Ankara ve İstanbul illeri için güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında kullanılan yatay düzleme gelen güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve berraklık indeksi değerleri yeni ölçümler dikkate alınarak analiz edilmiştir. 1990 - 1996 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşlerinden temin edilen 7 yıllık veriler kullanılarak, yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddetini veren trigonometrik fonksiyonlar üretilmiştir. Fonksiyon değerlerinin, ölçülen değerlere göre ortalama mutlak, bağıl ve standart hataları hesaplanmıştır. Ölçülen değerlerin yıllara göre ve yıl içindeki değişimlerine rağmen, fonksiyon değerlerinin ölçülen değerleri iyi bir şekilde temsil ettiği görülmüştür. Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddetinin yanında, 1990-1996 yılları arasında ölçülen 7 yıllık veriler esas alınarak güneşlenme sürelerinin ve berraklık indekslerinin aylık ortalama değerleri de çizelgelerde verilmiştir. Bunlara ilave olarak, yatay düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddetinin ve berraklık indeksinin gün boyunca saatlik değişimi de irdelenmiştir. Bu çalışmada, ayrıca yeni ölçümler ışığında elde edilen değerler, literatürde belirtilen iller için verilen değerlerle karşılaştırılmış ve aralarında önemli farkların olduğu tespit edilmiştir.

I.GİRİŞ

Ozon tabakasının delinmesi, hava kirliliği ve sera etkisi gibi çevresel problemler ve enerji maliyetindeki artışlar, güneş enerjisi gibi ucuz, yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynakları konusunda daha fazla araştırma yapmayı zorunlu kılmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinin tasarım ve işletmesinde, güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve berraklık indeksi gibi temel verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı güneş ile ilgili temel verilerin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bu verilerin uzun süreli kaydedilmiş en az 12 yıllık veriler olması gerekir. Fakat bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri'nden (DMİ) temin edilen, bilgisayar ortamına aktarılmış, 1990-1996 yılları arası 7 yılın verileri kullanılmıştır. Pratikte güneş enerjili sistemlerin performans değerlendirilmesinde verilerinin kolay kullanılabilir olması ve karmaşık bir şeklide olmaması istenmektedir. Bundan dolayı, bu çalışmada Adana, Kayseri, Ankara ve İstanbul illeri için güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında kullanılan yatay düzleme gelen güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve berraklık indeksi değerleri yeni ölçümler dikkate alınarak analiz edilmiştir. Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddetinin, güneşlenme süresinin ve berraklık indeksinin aylık ortalama değerleri çizelgelerde verilmiştir. Ayrıca yatay düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddetinin ve berraklık indeksinin gün boyunca saatlik değişimi de irdelenmiştir.

Türkiye'de güneş verileri ile ilgili için bazı çalışmalar bulunmaktadır. Yılmaz ve Bulut[1], DMİ'den temin edilen 1980 - 1993 yılları arasındaki 14 yıllık verileri esas alarak, Şanlıurfa için yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımını veren bir denklem türetmişlerdir. Ünal ve arkadaşları[2], DMİ 1984 bültenlerinde yayınlanan aylık ortalama değerleri kullanarak, 21 il için yatay düzleme gelen toplam güneş ışınımını veren eşitlikler elde etmişlerdir. Fakıoğlu ve Ecevit[3], DMİ'nin 1984 yılı bültenindeki aylık ortalama günlük ışınım değerlerini kullanarak, günlük toplam ve saatlik direkt ve yaygın güneş ışınım değerlerini veren ve 32 istasyon için kullanılabilen bir denklem vermişlerdir. Kaygusuz ve Ayhan[4], Trabzon ili için 1990-1993 yılları arası güneş ışınımı verilerini analiz etmişlerdir. Tırıs ve Tırıs[5] 1984-1992 yılları arası için Gebze ilçesinin güneş ışınım verilerini irdelemişlerdir.

II. YATAY DÜZLEME GELEN GÜNLÜK TOPLAM GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİNİN FONKSIYONLARLA İFADESİ

Adana, Kayseri, Ankara ve İstanbul için 1990 - 1996 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşlerinden temin edilen 7 yıllık veriler kullanılarak, yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımını veren fonksiyonlar üretilmiştir. Fonksiyon türü olarak trigonometrik fonksiyonlar kullanılmıştır. Fonksiyon değerlerinin, ölçülen değerlere göre ortalama mutlak, bağıl ve standart hata değerleri fonksiyonların elde edilmesinde belirleyici rol oynamışlardır. Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddeti [MJ/m^2 gün] aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir:

$$I = I_0 + (I_1 - I_0)\left|\mathrm{Sin}\left[\frac{\pi}{365}(m+5)\right]\right|^{1.5} \qquad (1)$$

Burada, m 1 ocaktan itibaren yılın günlerini göstermektedir. I_0 ve I_1 değişkenleri ise 7 yıllık ölçülen değerlerden tespit edilmiş olup, çizelge 1'de ortalama mutlak hata (OMH), ortalama bağıl hata (OBH) ve ortalama standart hata (OSH) değerleri ile birlikte belirtilen iller için verilmiştir.

Şekil 1'de Adana, Ankara, İstanbul ve Kayseri illeri için yatay düzleme güneş ışınım şiddetinin yıl boyunca değişimi gösterilmiştir. Ölçüm değerlerinin yıllara göre ve yıl içindeki değişimlerine rağmen, fonksiyon değerlerinin ölçülen değerleri iyi bir şekilde temsil ettiği görülmektedir. Böylelikle, yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı miktarı verilen fonksiyonla kolaylıkla belirlenebilir. Özellikle dinamik analizlerde bu fonksiyonlar rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca verilen fonksiyonlarla elde edilen değerlerden saatlik güneş ışınım değerlerini de hesaplamak mümkündür.[6]

III. VERİLERİN ANALİZİ VE HESAPLAMALAR

Çizelge 2'de yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddeti değerlerinin aylık ortalaması ve çizelge 3'te ise günlük toplam güneşlenme süresi değerlerinin aylık ortalaması verilmiştir. Bu veriler 7 yıllık ölçümlerden elde edilmiştir. Aylık ortalama güneş ışınım şiddeti maksimum değerini Adana'da haziran ayında 22.7 [MJ/m^{2}gün] ile, Ankara'da temmuz ayında 22.2 [MJ/m^{2}gün] ile, İstanbul'da haziran ayında 22.4 [MJ/m^{2}gün] ile ve Kayseri'de temmuz ayında 20.8 [MJ/m^{2}gün] ile almaktadır. Aylık ortalama güneş ışınım şiddeti ve güneşlenme süreleri yaz aylarında ele alınan illerde genelde yüksek ve birbirine yakın olmasına rağmen, iller arası farklılık kendini kış aylarında açıkça göstermektedir. Ele alınan iller için minimum aylık ortalama güneş ışınım şiddeti ve güneşlenme süresinin aralık ayında olduğu görülmektedir.

Aylık ortalama berraklık indeksi ile saatlik ortalama berraklık indeksinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır[7] :

Aylık ortalama berraklık indeksi,

$$B_a = \frac{I_a}{I_0} \qquad (2)$$

ile hesaplanabilir. Burada I_a [MJ/m^{2}gün] yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddetinin aylık ortalamasıdır. I_0 [MJ/m^{2}gün] ise atmosfer dışı günlük toplam ışınım şiddeti olup, aşağıdaki eşitlikle belirlenebilir:

$$I_0 = \left(\frac{24x3600}{\pi}\right) I_c\, f \left[\begin{array}{l}\mathrm{Cos(e)Cos(d)Sin(w)} \\ +\, w\mathrm{Sin(e)Sin(d)}\end{array}\right] x10^{-6} \qquad (3)$$

Burada I_c güneş sabiti (1367 W/m^2), "e" enlem açısı, "d" deklinasyon açısı, "w" gün doğuş saat açısı ve "f" güneş sabitini düzeltme faktörü olup, aşağıdaki eşitliklerle bulunurlar:

$$d = 23.45\, Cos\left[\frac{2\pi}{365}(n+284)\right] \qquad (4)$$

$$w = \mathrm{ArcCos}\left[-\tan(e)\tan(d)\right] \qquad (5)$$

$$f = 1 + 0.033\,\mathrm{Cos}\left[\frac{2\pi n}{365}\right] \qquad (6)$$

Eşitlik (4) ve (6)'daki "n", 1 ocaktan itibaren sayılmak üzere herbir ayı temsil eden gün değeridir. Literatürde[8] tavsiye edilen değerleri çizelge 4'te gösterilmiştir.

Saatlik ortalama berraklık indeksi;

$$B_s = \frac{I_s}{I_{0s}} \qquad (7)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada I_s [MJ/m^{2}h] yatay düzleme 1 saatlik periyot içerisinde gelen toplam güneş ışınım şiddetini göstermektedir. I_{0s} [MJ/m^{2}h] ise atmosfer dışı saatlik toplam güneş ışınım şiddeti olarak

$$I_{0s} = \left(\frac{12x3600}{\pi}\right) I_c\, f \left[\begin{array}{l}Cos(e)Cos(d)(Sin(w_2) \\ -\, Sin(w_1)) + (w_2 - w_1) \\ Sin(e)Sin(d)\end{array}\right] x10^{-6} \qquad (8)$$

eşitliğiyle belirlenebilir. Burada w_2 ve w_1 saat açıları olup,

$$w_1 < (t_1 - 12)x15 \qquad (9)$$

$$w_2 = (t_2 - 12)x15 \qquad (10)$$

ile bulunur. Bu eşitliklerde t_1 ve t_2 güneş saatini göstermektedir.

Çizelge 5'te 1990-1996 yılları arası 7 yıllık ölçümler kullanılarak elde edilen aylık ortalama berraklık indeksi değerleri verilmiştir. Aylık ortalama berraklık indeksi değerinin Adana için 0.41-0.56, Ankara için 0.33-0.57, İstanbul için 0.31-0.54 ve Kayseri için 0.37-0.51 arasında değiştiği görülmektedir. Çizelge 6, 7, 8 ve 9'da ise sırasıyla Adana, Ankara, İstanbul ve Kayseri illeri için saatlik ortalama güneş ışınım şiddeti değerleri verilmiştir. Bu değerler yine 7 yıllık ölçümlerden elde edilmiştir. Ele alınan iller için saatlik ortalama güneş ışınım şiddetinin genelde saat 11-13 arasında maksimum olduğu görülmektedir. Ayrıca çizelge 10, 11, 12 ve 13'te çizelge 6-9'da verilen değerler kullanılarak elde edilen saatlik ortalama berraklık indeksi değerleri verilmiştir. Sabah erken saatler ve akşama yakın saatler dışında saatlik ortalama berraklık indeksinin gün boyunca fazla değişmediği görülmektedir.

Şekil 2'de ele alınan iller için yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddeti değerlerinin aylık ortalamaları gösterilmiştir. Şekilde literatürden elde edilen bazı değerler de verilmiştir. Eşitlik (1)'in 7 yıllık ölçüm değerleri ile iyi uyum içinde olduğu görülmektedir. Ünal ve ark.[2] tarafından verilen eşitliklerden elde edilen değerlerin diğerlerinden önemli derecede farklı olduğu ve ele alınan iller için genelde daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Fakıoğlu ve Ecevit'in[3] değerlerinin diğer değerlere göre genelde daha yüksek olduğu, Kılıç ve Öztürk[9] değerlerinin ise Adana ve İstanbul için ölçüm değerlerini takip ettiği, fakat Kayseri ve Ankara için farklı olduğu görülmüştür. Değerler arasındaki farklılıklar genelde yaz aylarında daha fazla olmaktadır.

IV. SONUÇ

Adana, Kayseri, Ankara ve İstanbul illeri için güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında kullanılan yatay düzleme gelen güneş ışınımı şiddeti, güneşlenme süresi ve berraklık indeksi değerleri yeni ölçümler dikkate alınarak analiz edilmiştir. Bu iller için 1990 - 1996 yılları arasında Devlet Meteoroloji İşlerinden temin edilen 7 yıllık veriler kullanılarak, yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı şiddetini veren trigonometrik fonksiyonlar üretilmiştir. Bu fonksiyonlarla, güneş ışınım şiddeti değerleri sadece gün değeri girilerek kolaylıkla belirlenebilir. Özellikle dinamik analizlerde bu fonksiyonlar rahatlıkla kullanılabilir. Çünkü güneş ışınım şiddetindeki dalgalanmalara rağmen, fonksiyon değerlerinin ölçülen değerleri yeterli duyarlılıkta temsil ettiği görülmüştür. Ölçülen 7 yıllık değerlerin aylık ortalamaları eşitlik (1)'den hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Hesaplanan değerlerin ölçülen değerlerle uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. 1990-1996 yılları arasında ölçülen 7 yıllık veriler esas alınarak güneşlenme sürelerinin ve berraklık indekslerinin aylık ortalama değerleri ve saatlik ortalama değerleri çizelgelerde verilmiştir. Literatürde verilen aylık ortalama güneş ışınım şiddeti değerleri arasında %30'lara varan farkların olduğu, bu çalışmada elde edilen değerlerin ise literatürdeki ortalama değerlere yakın olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Yılmaz, T. ve Bulut, H. "Şanlıurfa İli İçin Meteorolojik Değerlerin Günlük, Yıllık Değişiminin Sürekli Fonksiyonlarla İfadesi", 4. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, Sayfa 188-198, Adana, 1996.
2. Ünal, A., Tanes, Y. ve Onur, H.Ş. "Günlük Ortalama Güneş Işınımı ve Sıcaklık Değerlerinin Sürekli Fonksiyonlarla İfadesi, Fonksiyon Parametrelerinin Türkiye'deki Dağılımı", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, Cilt 8, Sayı 4, Sayfa 37-45, 1986.
3. Fakıoğlu, T. ve Ecevit, A. "Türkiye'deki Çeşitli İstasyonlarda Toplam ve Saatlik Güneş Işıma Hesap Değerleri", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, Cilt 19, No 1-2, Sayfa 27-32,1998.
4. Kaygusuz, K. ve Ayhan, T. "Analysis of Solar Radiation Data For Trabzon, Turkey", Energy Conversion and Management, Vol. 40, pp. 545-556,1999.
5. Tırıs, M. ve Tırıs, C. "Analysis of Solar Radiation Data For Gebze, Turkey", *Energy Conversion and Management*, Vol. 38, No. 2, pp. 179-186, 1996.
6. Yılmaz, T. Bulut, H. Ve Özgeren, M. "Isı Kazancı Olarak Camdan Geçen Toplam Güneş Radyasyonunun Hesaplanması", *Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 11, Sayı 2, Adana, 1996.
7. Duffie, J.A ve Beckman, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*, Chapter 1, John Wiley and Sons, Inc. Canada, 1991.
8. Klein, S. A. "Calculation of Monthly Average Insolation on Tilted Surfaces", *Solar Energy*, Vol. 19(325), 1977.
9. Kılıç, A. ve Öztürk, A. *Güneş Enerjisi*, Ek 2, Kipaş Dağıtımcılık, İstanbul, 1983.

Çizelge 1. Yatay düzleme gelen toplam güneş ışınım şiddetinin fonksiyon değişkenleri ve ortalama hatalar

İL	Enlem [°]	I_0	I_1	± OMH [MJ/m² gün]	± OBH [%]	OSH [MJ/m² gün]
Adana	36.59	6.5	22.0	2.52	19	3.32
Ankara	39.57	4.5	22.4	2.97	24	8.68
İstanbul	40.58	4.0	21.8	3.24	28	4.28
Kayseri	38.43	5.0	20.4	2.54	21	3.43

Çizelge 2. Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddetinin aylık ortalaması [MJ/m²gün]

İL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Adana	8.1	10.5	14.6	18.1	20.8	22.7	22.2	20.7	16.9	12.5	8.5	6.5
Ankara	6.1	8.9	12.7	15.9	19.0	21.3	22.2	20.8	17.0	11.5	6.8	4.6
İstanbul	5.0	7.0	11.4	15.7	19.3	22.4	21.7	19.3	15.7	9.9	6.1	4.1
Kayseri	6.7	9.3	12.7	15.0	17.3	19.8	20.8	18.9	15.5	10.8	7.2	5.4

Çizelge 3. Günlük güneşlenme sürelerinin aylık ortalaması [saat]

İL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Adana	4.97	4.92	5.83	6.96	8.53	9.74	9.69	10.25	8.33	7.2	5.56	4.09
Ankara	2.70	4.67	5.52	6.36	7.97	10.19	10.89	10.81	8.91	6.31	3.78	2.00
İstanbul	2.28	2.63	4.30	5.55	7.42	9.59	10.05	9.31	7.92	4.95	3.11	1.74
Kayseri	2.95	3.82	5.17	6.12	8.06	10.20	11.56	11.51	8.60	6.69	4.38	2.31

Çizelge 4. Aylık ortalama gün değerleri

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
n	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344

Çizelge 5. Aylık ortalama berraklık indeksi

İL	Ocak	Şubat	Mart	Nis.	May.	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Adana	0.468	0.468	0.504	0.510	0.521	0.545	0.545	0.558	0.541	0.514	0.460	0.410
Ankara	0.394	0.428	0.460	0.458	0.478	0.510	0.546	0.568	0.564	0.505	0.407	0.328
İstanbul	0.337	0.346	0.420	0.455	0.487	0.536	0.534	0.530	0.527	0.446	0.379	0.306
Kayseri	0.414	0.434	0.451	0.428	0.435	0.475	0.511	0.513	0.507	0.462	0.414	0.367

Çizelge 6. Adana için saatlik ortalama güneş ışınım şiddeti [W/m²]

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
04-05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05-06	0.0	0.0	0.9	8.5	33.7	46.4	31.3	10.9	2.2	0.1	0.1	0.0
06-07	0.1	1.2	22.0	85.1	146.5	170.1	135.8	97.8	52.8	20.5	3.4	0.0
07-08	17.0	40.7	109.2	224.9	302.8	330.1	279.0	247.7	175.9	120.8	57.1	17.0
08-09	105.8	155.0	255.0	376.4	449.6	480.2	433.8	399.8	344.9	265.1	167.4	95.7
09-10	221.4	284.4	408.4	502.4	572.0	603.4	572.1	549.5	491.4	396.0	270.7	193.5
10-11	307.8	382.1	497.6	595.9	651.4	701.4	672.6	657.0	585.7	483.1	344.1	270.3
11-12	362.7	436.4	545.0	637.7	694.4	749.5	727.4	717.6	636.3	521.9	378.9	311.0
12-13	369.5	444.2	568.4	643.9	690.2	740.7	737.9	730.1	642.9	515.5	373.0	308.6
13-14	338.6	417.0	533.6	606.0	643.6	688.6	703.4	683.0	583.9	449.3	336.0	272.7
14-15	273.7	349.9	455.8	514.5	563.1	603.8	634.2	605.1	497.0	355.3	249.6	203.1
15-16	175.1	256.0	351.7	399.6	449.8	500.1	530.7	490.5	376.2	235.2	137.0	106.7
16-17	65.9	133.8	216.0	275.0	330.1	375.9	388.0	347.7	226.7	97.2	35.0	24.8
17-18	7.1	31.7	80.8	135.5	184.0	221.7	232.2	178.1	82.3	12.7	0.6	0.2
18-19	0.1	0.5	7.0	30.0	54.1	75.9	80.8	44.7	6.4	0.0	0.0	0.0
19-20	0.0	0.0	0.0	1.5	3.3	6.5	7.8	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0

Çizelge 7. Ankara için saatlik ortalama güneş ışınım şiddeti [W/m^2]

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
04-05	0.0	0.0	0.0	0.7	2.3	7.7	4.0	0.6	0.0	0.1	0.0	0.0
05-06	0.0	0.0	0.6	21.7	64.0	90.3	74.3	37.7	7.7	1.2	0.0	0.0
06-07	0.5	2.9	37.3	119.8	190.9	233.8	210.0	168.3	106.3	46.3	5.7	0.1
07-08	24.3	57.1	139.1	251.0	329.2	382.8	375.1	331.4	255.6	159.5	61.9	16.3
08-09	97.8	155.2	263.8	375.1	460.5	523.1	520.9	483.1	406.9	283.7	152.9	74.2
09-10	183.8	258.6	369.1	487.2	562.9	620.1	631.5	604.9	528.5	385.5	236.4	144.3
10-11	249.9	336.6	437.1	546.9	626.6	679.8	705.5	683.5	595.2	447.9	294.6	195.0
11-12	279.5	370.6	471.5	565.1	653.9	703.9	730.2	709.4	622.2	464.2	316.3	223.7
12-13	279.0	372.6	470.2	546.2	623.2	689.5	716.5	699.5	615.8	451.5	302.2	224.0
13-14	250.1	338.8	442.3	503.1	577.3	641.3	675.0	643.9	555.2	393.5	255.9	194.0
14-15	191.9	267.8	367.2	424.8	492.6	551.7	586.9	546.6	457.0	297.2	176.4	134.8
15-16	99.4	171.5	267.8	316.3	391.5	432.7	466.3	419.3	327.8	186.5	75.5	56.2
16-17	24.0	71.0	152.8	198.1	260.3	319.4	331.4	280.6	185.8	65.8	13.5	7.4
17-18	0.6	7.8	42.9	80.8	135.0	187.2	193.1	133.6	52.2	4.4	0.1	0.0
18-19	0.0	0.0	0.6	7.3	29.7	62.1	65.1	25.8	1.5	0.0	0.0	0.0
19-20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	7.8	7.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

Çizelge 8. İstanbul için saatlik ortalama güneş ışınım şiddeti [W/m^2]

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
04-05	0.0	0.0	0.0	0.1	7.2	4.5	2.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
05-06	0.0	0.0	0.2	12.1	46.0	61.6	55.9	22.9	3.5	0.0	0.0	0.0
06-07	0.0	0.9	19.2	82.6	148.7	182.9	180.7	129.5	64.8	16.9	2.3	0.2
07-08	7.0	27.9	90.2	192.4	279.2	325.3	328.0	285.8	198.6	90.2	32.4	11.6
08-09	52.9	97.0	200.9	309.0	397.0	457.4	455.1	418.0	338.3	205.2	98.6	56.9
09-10	125.9	185.3	312.9	410.7	497.4	572.8	564.3	524.5	449.4	302.7	177.1	124.2
10-11	191.4	262.9	397.2	502.3	568.6	646.7	642.8	606.9	527.8	372.9	241.5	182.6
11-12	236.7	303.3	447.7	540.1	615.7	682.9	689.5	661.3	570.0	401.6	269.4	211.6
12-13	248.5	322.1	465.8	550.2	617.8	682.6	701.6	665.1	569.3	399.8	263.6	212.6
13-14	224.2	303.1	433.6	512.6	589.4	659.6	678.8	640.1	537.2	359.3	227.0	181.0
14-15	174.8	249.5	370.6	448.7	525.7	602.3	618.1	571.4	462.1	289.1	165.9	133.1
15-16	105.9	175.7	285.2	342.2	427.2	499.4	523.3	464.8	356.5	195.6	86.0	66.0
16-17	35.6	85.7	178.0	222.4	307.2	377.4	392.6	337.9	217.0	88.1	20.2	12.3
17-18	1.7	16.3	60.8	101.9	174.0	238.0	246.2	170.0	74.4	14.2	0.2	0.0
18-19	0.0	0.2	3.5	15.0	55.3	97.2	98.8	42.9	4.5	0.0	0.0	0.0
19-20	0.0	0.0	0.0	5.7	3.0	10.0	8.8	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0

Çizelge 9. Kayseri için saatlik ortalama güneş ışınım şiddeti [W/m^2]

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
04-05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.7	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
05-06	0.0	0.0	0.1	8.5	35.9	60.1	39.5	13.5	1.4	0.0	0.0	0.0
06-07	0.0	1.7	22.8	84.4	157.4	193.5	169.1	129.3	60.3	18.0	3.3	0.0
07-08	9.2	42.3	120.6	212.4	294.8	333.3	314.9	275.3	176.7	108.3	52.6	11.9
08-09	76.6	144.0	244.9	342.2	412.9	451.5	438.4	407.0	289.1	219.0	145.5	75.5
09-10	172.1	252.7	354.5	437.9	497.1	534.3	536.4	510.2	385.7	313.7	232.2	158.7
10-11	252.9	339.9	437.8	492.0	543.5	590.8	605.7	575.9	449.1	380.2	306.5	230.9
11-12	307.1	395.3	492.6	512.6	565.5	606.3	644.2	605.9	476.5	412.1	330.6	263.3
12-13	318.6	399.9	477.1	518.5	542.4	596.5	636.5	607.8	479.5	405.8	322.4	262.3
13-14	292.0	369.3	440.2	476.3	495.6	554.1	606.0	583.1	445.3	357.0	281.4	229.1
14-15	232.4	312.4	373.9	406.7	431.6	509.9	547.1	515.6	381.0	290.2	203.8	168.4
15-16	138.7	214.2	284.9	312.9	354.4	415.8	458.7	430.1	295.5	194.5	107.0	87.9
16-17	50.0	107.3	170.6	204.2	254.8	320.1	351.5	322.0	179.5	80.5	24.8	19.3
17-18	3.8	18.1	60.9	94.2	137.4	191.6	218.4	168.3	56.5	8.7	0.7	0.3
18-19	0.1	0.1	4.1	16.5	41.3	69.4	78.7	39.8	3.0	0.1	0.0	0.0
19-20	0.0	0.0	0.0	0.1	2.3	5.1	4.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0

Çizelge 10. Adana için saatlik ortalama berraklık indeksi

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
06-07	0.00	0.00	0.20	0.31	0.38	0.39	0.33	0.31	0.31	0.00	0.00	0.00
07-08	0.16	0.18	0.28	0.41	0.47	0.48	0.42	0.43	0.39	0.43	0.42	0.25
08-09	0.31	0.32	0.40	0.48	0.51	0.53	0.49	0.49	0.50	0.50	0.45	0.32
09-10	0.41	0.42	0.49	0.51	0.54	0.56	0.54	0.54	0.55	0.55	0.47	0.39
10-11	0.46	0.47	0.50	0.53	0.55	0.58	0.56	0.57	0.57	0.56	0.49	0.43
11-12	0.49	0.49	0.51	0.53	0.55	0.59	0.57	0.59	0.57	0.55	0.49	0.44
12-13	0.50	0.50	0.54	0.54	0.55	0.58	0.58	0.60	0.58	0.55	0.48	0.44
13-14	0.50	0.51	0.54	0.54	0.54	0.57	0.59	0.60	0.56	0.52	0.47	0.43
14-15	0.51	0.52	0.54	0.52	0.53	0.56	0.59	0.60	0.56	0.49	0.44	0.41
15-16	0.51	0.54	0.55	0.51	0.51	0.55	0.60	0.60	0.54	0.45	0.37	0.35
16-17	0.64	0.58	0.56	0.51	0.51	0.55	0.58	0.60	0.51	0.35	0.26	0.36
17-18	0.00	0.00	0.74	0.50	0.47	0.51	0.56	0.56	0.48	0.00	0.00	0.00
18-19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.42	0.52	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge 11. Ankara için saatlik ortalama berraklık indeksi

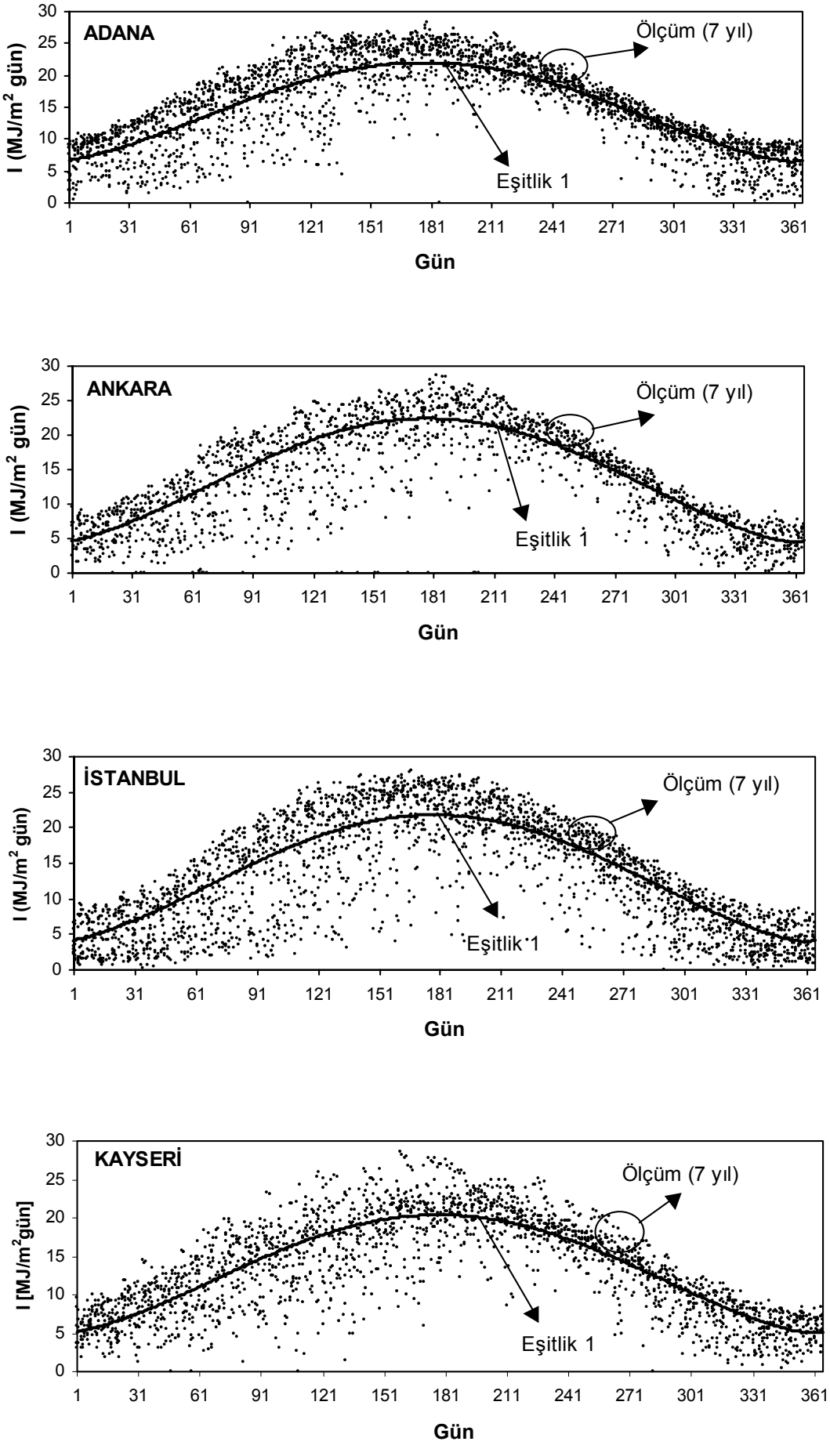
Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
06-07	0.00	0.00	0.37	0.44	0.48	0.52	0.49	0.51	0.63	0.00	0.00	0.00
07-08	0.36	0.28	0.38	0.47	0.51	0.56	0.56	0.57	0.59	0.63	0.62	0.54
08-09	0.33	0.35	0.43	0.49	0.53	0.58	0.59	0.60	0.61	0.58	0.46	0.29
09-10	0.38	0.41	0.46	0.51	0.54	0.58	0.60	0.61	0.62	0.56	0.46	0.33
10-11	0.41	0.44	0.46	0.50	0.53	0.57	0.60	0.61	0.60	0.55	0.45	0.34
11-12	0.41	0.44	0.47	0.49	0.53	0.56	0.59	0.60	0.58	0.52	0.44	0.35
12-13	0.41	0.44	0.46	0.47	0.50	0.55	0.57	0.59	0.58	0.51	0.42	0.35
13-14	0.41	0.44	0.47	0.46	0.49	0.54	0.57	0.57	0.56	0.48	0.39	0.34
14-15	0.40	0.42	0.46	0.44	0.47	0.51	0.56	0.55	0.53	0.44	0.34	0.31
15-16	0.34	0.39	0.44	0.41	0.45	0.48	0.53	0.52	0.49	0.38	0.23	0.22
16-17	0.36	0.35	0.41	0.37	0.40	0.46	0.50	0.48	0.43	0.26	0.13	0.25
17-18	0.00	0.00	0.42	0.29	0.34	0.41	0.45	0.41	0.31	0.00	0.00	0.00
18-19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.30	0.36	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge 12. İstanbul için saatlik ortalama berraklık indeksi

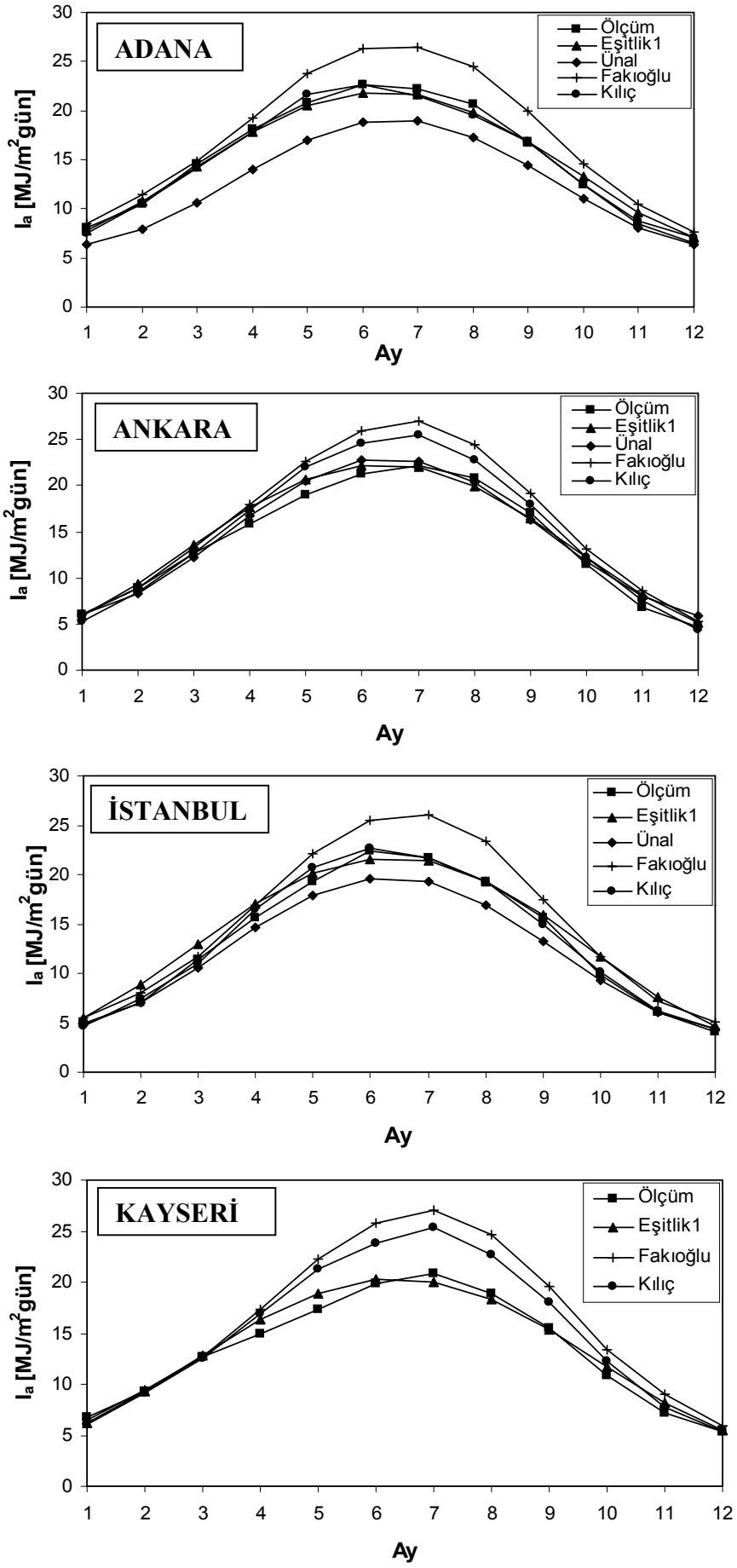
Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
06-07	0.00	0.00	0.19	0.30	0.37	0.40	0.42	0.39	0.39	0.00	0.00	0.00
07-08	0.13	0.15	0.25	0.36	0.43	0.47	0.49	0.49	0.47	0.37	0.37	0.69
08-09	0.19	0.23	0.34	0.41	0.46	0.51	0.52	0.52	0.51	0.43	0.31	0.24
09-10	0.27	0.30	0.40	0.43	0.48	0.54	0.54	0.53	0.53	0.45	0.35	0.30
10-11	0.32	0.35	0.43	0.47	0.49	0.54	0.55	0.55	0.54	0.47	0.38	0.33
11-12	0.36	0.37	0.45	0.47	0.50	0.55	0.56	0.56	0.54	0.46	0.39	0.34
12-13	0.38	0.39	0.47	0.48	0.50	0.55	0.57	0.56	0.54	0.46	0.38	0.35
13-14	0.38	0.40	0.47	0.47	0.51	0.55	0.58	0.58	0.55	0.45	0.36	0.33
14-15	0.38	0.41	0.47	0.47	0.50	0.56	0.59	0.58	0.55	0.43	0.33	0.32
15-16	0.38	0.41	0.48	0.45	0.50	0.56	0.60	0.58	0.54	0.41	0.27	0.28
16-17	0.66	0.45	0.49	0.42	0.47	0.55	0.59	0.58	0.51	0.36	0.23	0.73
17-18	0.00	0.00	0.62	0.37	0.43	0.52	0.57	0.51	0.44	0.00	0.00	0.00
18-19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.45	0.52	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge 13. Kayseri için saatlik ortalama berraklık indeksi

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Hazi.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
06-07	0.00	0.00	0.22	0.31	0.40	0.43	0.40	0.40	0.35	0.00	0.00	0.00
07-08	0.11	0.20	0.32	0.40	0.46	0.49	0.47	0.47	0.40	0.41	0.46	0.26
08-09	0.24	0.32	0.40	0.44	0.47	0.50	0.50	0.50	0.43	0.44	0.42	0.28
09-10	0.34	0.39	0.43	0.45	0.47	0.50	0.50	0.51	0.44	0.45	0.43	0.34
10-11	0.40	0.43	0.46	0.45	0.46	0.49	0.51	0.51	0.44	0.45	0.46	0.39
11-12	0.43	0.46	0.48	0.44	0.45	0.48	0.51	0.51	0.44	0.45	0.44	0.40
12-13	0.45	0.47	0.46	0.44	0.44	0.47	0.51	0.51	0.44	0.45	0.43	0.40
13-14	0.46	0.47	0.46	0.43	0.42	0.46	0.51	0.52	0.44	0.43	0.42	0.39
14-15	0.46	0.48	0.46	0.42	0.41	0.47	0.51	0.52	0.44	0.41	0.38	0.37
15-16	0.44	0.47	0.46	0.40	0.41	0.46	0.52	0.53	0.44	0.39	0.31	0.32
16-17	0.62	0.50	0.45	0.38	0.40	0.47	0.53	0.55	0.41	0.31	0.22	0.43
17-18	0.00	0.00	0.58	0.34	0.35	0.43	0.52	0.52	0.33	0.00	0.00	0.00
18-19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.35	0.46	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00



Şekil 1. Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddetinin yıllık değişimi



Şekil 2. Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınım şiddetinin aylık ortalaması