

BİNA ENERJİ ANALİZİ VE GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ İÇİN EĞİMLİ YÜZEYLERE GELEN TOPLAM GÜNEŞ IŞINIM ŞİDDETİ DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Hüsamettin BULUT

ÖZET

Güneş ışınım şiddeti verileri, bina enerji analizi ve güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında ve performans değerlendirmesinde gerekli temel parametrelerdir. Güneş enerjisi sistemlerindeki kolektör ve paneller eğimli olarak yerleştiklerinden ve binalarda yüzeyler genellikle düşey konumda olduklarından ısı hesaplamalar ve sistem simülasyonları için eğik düzleme gelen toplam güneş ışınımının bilinmesi gerekir. Yatay düzleme gelen güneş ışınımı ölçülmesine ve kolaylıkla bu değerlere ulaşılmasına rağmen, eğik yüzeye gelen güneş ışınımı deneysel amaçlar dışında doğrudan ölçülmemektedir ve yerleşim yerleri için çoğunlukla bu değerler mevcut değildir. Eğimli yüzeye gelen güneş ışınımı, yatay düzleme gelen ölçüm değerleri kullanılarak farklı güneş ışınım modelleri yardımı ile tesbit edilmektedir. Bu çalışmada eğimli yüzeye gelen güneş ışınımının hesaplanması için gerekli yöntem ve modeller öncelikle verilmiştir. Daha sonra 1985-2006 yılları arası 22 yıllık uzun dönem yatay düzleme gelen saatlik güneş ışınım değerleri kullanılarak, Güney yönü için eğik düzleme gelen güneş ışınımı değerleri İzmir ili için belirlenmiştir. 5'er derece aralıklarla yatay düzlemden dikey düzleme kadar olan değişik açılar (0° - 90°) ve uygulamada farklı işletme durumları için önerilen açılar için eğik düzleme gelen güneş ışınımı, farklı modellere göre hesaplanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Elde edilen değerler tablo ve diyagramlarda sunulmuştur. İzmir ili için değişik açılardaki eğimli yüzeylere gelen güneş ışınımı değerlerinin, bina enerji analizinde, güneş enerjisi sistem tasarım ve simülasyonunda tasarımcı, mimar ve mühendislere yararlı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bina Enerji Analizi, Eğimli Yüzey, Güneş Işınım Modelleri, Güneş Enerjisi, İzmir.

ABSTRACT

In this study, for calculation of hourly solar radiation on tilted surfaces, the required methods and models are presented. Hourly solar radiations on inclined surface through South direction are determined using 22 years long term horizontal hourly solar radiation for İzmir province. Hourly solar radiation incident on horizontal plane to vertical plane (with 5° slope angle increments) are calculated and analyzed. The results are presented in tables and graphs. It is expected that the hourly solar radiation data for inclined surfaces will be useful to the designers, engineers and architects in building energy analysis and in design and simulation of solar energy systems.

Key Words: Building energy analysis, Tilted surface, Solar radiation models, Solar energy, İzmir.

1. GİRİŞ

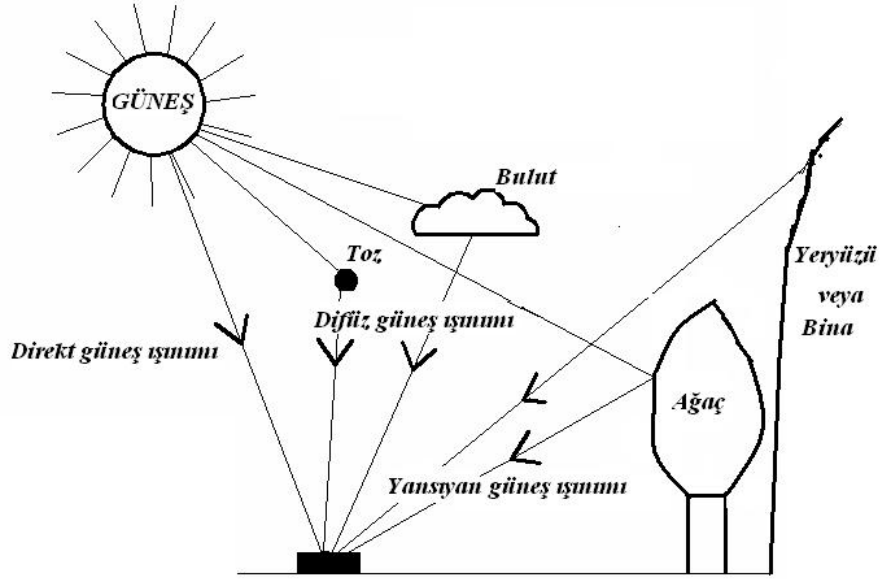
Güneş ışınım şiddeti verileri, mühendisler, mimarlar ve bilim adamları için bina enerji analizi ve güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında ve performans değerlendirmesinde gerekli temel parametrelerdir. Dolayısıyla ilgili hesaplamalarda ve analizlerde, güneş ışınım değerlerinin, ele alınan yer için bulunması gerekir. Güneş enerjisi sistemlerindeki kollektör ve paneller eğimli olarak yerleştiklerinden ve binalarda yüzeyler genellikle düşey konumda olduklarından ısı hesaplamalar ve sistem simülasyonları için eğik düzleme gelen toplam güneş ışınımının bilinmesi gerekir. Yatay düzleme gelen güneş ışınımı ölçülmesine ve kolaylıkla bu değerlere ulaşılmasına rağmen, eğik yüzeye gelen güneş ışınımı deneysel amaçlar dışında doğrudan ölçülmemektedir ve yerleşim yerleri için bu değerler çoğunlukla mevcut değildir. Sadece bazı özel çalışmalarda eğimli yüzeye gelen güneş ışınımı ölçülmektedir. Genellikle eğimli yüzeye gelen güneş ışınımı, yatay düzleme gelen ölçüm değerleri veya modellerden tahmin edilen güneş ışınım değerleri kullanılarak, farklı güneş ışınım modelleri yardımı ile tesbit edilmektedir [1-4].

Türkiye’de yatay düzleme gelen güneş ışınım şiddeti ölçümlerini, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), bazı üniversite ve araştırma kurumları yapmaktadır. Türkiye’nin birçok yerleşim yeri için yatay düzleme gelen güneş ışınım değerlerine ulaşmak mümkündür [5-11]. Fakat eğik düzleme gelen güneş ışınım değerleri ise bazı çalışmalar dışında bulunmamaktadır [1, 12-13].

Bu çalışmanın amacı, yatay düzleme gelen saatlik güneş ışınımı değerlerini kullanarak, eğimli yüzeylere gelen saatlik güneş ışınımının hesaplanması için gerekli metodoloji ve modelleri vermektir. Uygulama ve analiz olarak, DMİ’den temin edilen 1985-2006 yılları arası 22 yıllık yatay düzleme gelen saatlik güneş ışınım değerleri kullanılarak değişik açılardaki eğimli yüzeylere gelen güneş ışınım değerlerinin, İzmir (Enlem $38^{\circ} 23' K$, Boylam $27^{\circ} 4' D$, Rakım 29 m) ili için tespiti yapılmıştır.

2. EĞİMLİ YÜZEYE GELEN GÜNEŞ IŞINIMI VE HESAPLANMASI

Yeryüzündeki herhangi bir yüzeye gelen toplam güneş ışınımı, direkt, difüz ve yansıyan ışınımlardan oluşur (Şekil 1). Direkt güneş ışınım bileşeni doğrudan güneş enerjisinden yüzeye gelir. Difüz (yaygın) güneş ışınımı ise güneşten gelen ışınımın atmosferden geçtikten sonra bulut ve tozlar tarafından yutulması ve tekrar buradan yüzeylere gelen bileşenidir. Yansıyan güneş ışınımı ise yeryüzüne düşen güneş ışınımının yüzeyin etrafındaki çevreden yüzeye gelen bileşendir. Toplam güneş ışınımı piranometre, aktinograf veya solarimetre gibi cihazlarla ölçülmektedir. Direkt güneş ışınım şiddeti ise pirheliometre cihazı ile difüz güneş ışınım şiddeti ise gölge topları veya bantları kullanılarak piranometre cihazları ile ölçülmektedir. Şekil 2’de güneş ışınım şiddeti bileşenlerini ölçen güneş takip edicili sistem verilmiştir.



Şekil 1. Güneş Işınım Bileşenleri.



Şekil 2. Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımının Tüm Bileşenlerini Ölçen Sistem.

Eğimli yüzeye gelen saatlik toplam güneş ışınımı; eğimli yüzeye gelen saatlik direkt, difüz ve yansıyan ışınımın toplamıyla hesaplanır. Eğimli yüzeye gelen saatlik toplam güneş ışınımı (I_{TE}) aşağıdaki denklem ile belirlenir [14-17];

$$I_{TE} = I_{be} + I_{de} + I_{re} \quad (1)$$

Burada I_{be} , I_{de} ve I_{re} sırasıyla eğimli yüzeye gelen direkt, difüz ve yansıyan ışınımı ifade etmektedir. Bu bileşenlerin hesaplanabilmesi için yatay yüzeye gelen toplam, difüz ve direkt güneş ışınımının bilinmesi gerekir. Direkt, difüz ve yansıyan ışınım değerleri çeşitli modellerden yararlanarak hesaplanır.

2.1. Eğimli Yüzeye Gelen Direkt Güneş Işınımı

Direkt ışınım için Liu ve Jordan ve Jimenez ve Castro modelleri kullanılmaktadır [18-19].

İzotropik model olarak Liu ve Jordan modelinde [20-21] eğik düzlem için direkt ışınım;

$$I_{be} = I_b R_b \quad (2)$$

denklemleri ile hesaplanır.

Jimenez ve Castro modelinde ise eğik düzleme gelen saatlik direkt güneş ışınımının eğik düzleme gelen saatlik toplam ışınımın %80'sine eşit olduğunu ifade eder ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [18-19].

$$I_{be} = 0.8I_b R_b \quad (3)$$

Burada R_b direkt ışınım dönüşüm katsayısı olup;

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (4)$$

denklemleri ile ifade edilir. θ_z zenit açısı olup,

$$\cos \theta_z = \sin d \sin e + \cos d \cos e \cos w \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanır. d deklinasyon açısı, e enlem açısı ve w ise saat açısıdır. w saat açısı ele alınan saatin yarısı alınabilir. θ ise güneş yükseklik açısıdır.

$$\cos \theta = \sin e \sin d \cos \beta - \cos e \sin d \sin \beta \cos \gamma + \cos e \cos d \cos w \cos \beta + \sin e \cos d \cos w \sin \beta \cos \gamma + \cos d \sin w \sin \beta \sin \gamma \quad (6)$$

Burada γ yüzey azimut açısı ve β yüzey eğim açısıdır. Yüzey azimut açısı Güney yönü için 0° alınır. Güneye yöneltmiş eğimli yüzeyler için güneş yükseklik açısı aşağıdaki eşitlik ile belirlenir.

$$\cos \theta = \sin d \sin(e - \beta) + \cos d \cos(e - \beta) \cos w \quad (7)$$

$$d = 23.45 \sin \left[\frac{2\pi m}{365} (n + 284) \right] \quad (8)$$

Burada n , 1 Ocak'tan itibaren yılın günlerini göstermektedir. Örneğin 1 Ocak için $n=1$, 31 Aralık için ise $n=365$ 'dir.

I_b yatay düzleme gelen saatlik direkt güneş ışınımı olup yatay düzleme gelen toplam ışınım ile difüz ışınımının farkı olarak hesaplanır.

$$I_b = I - I_d \quad (9)$$

Burada I , yatay düzleme gelen toplam güneş ışınım değeri olup, bu çalışmada İzmir ili için 1985-2006 yılları arası 22 yıllık uzun dönem ölçüm değerleri kullanılmıştır.

2.2. Eğimli Yüze Gelen Difüz Güneş Işınımı

Eğimli yüzeylere gelen saatlik difüz güneş ışınım değeri literatürde bulunan modeller yardımı ile hesaplanabilmektedir. Bu modellerde eğimli yüze gelen saatlik difüz ışınım, yatay düzleme gelen saatlik difüz ışınımı, eğim açısı ve direkt ışınım dönüşüm katsayısının fonksiyonu olarak ifade edilmektedir [3,4,22-25]. Bu çalışmada difüz güneş ışınım bileşeni için aşağıda sırasıyla izotropik modeller olarak Liu ve Jordan, Koronakis ve Jimenez ve Castro modelleri verilmiştir. Eğik düzleme gelen saatlik difüz güneş ışınımı [18, 19, 22];

Liu ve Jordan Modeli:

$$I_{de} = \frac{1}{2} I_d (1 + \cos \beta) \quad (10)$$

Koronakis Modeli:

$$I_{de} = \frac{1}{3} I_d (2 + \cos \beta) \quad (11)$$

Jimenez ve Castro Modeli:

$$I_{de} = \frac{1}{2} 0.2 I_d (1 + \cos \beta) \quad (12)$$

Unizotropik modeller;

Bugler Model:

$$I_{de} = \left[\left(I_d - 0.05 \frac{I_{be}}{\cos \theta_z} \right) \frac{1 + \cos \beta}{2} \right] + 0.05 I_{be} \cos \beta \quad (13)$$

Klucher Model:

$$I_{de} = I_d \left[0.5 \left(1 + \cos \frac{\beta}{2} \right) \right] \left[1 + F \sin^3 \frac{\beta}{2} \right] \left[1 + F \cos^2 \theta \sin^3 \theta_z \right] \quad (14)$$

F açık gökyüzü etkisinin derecesi olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$F = 1 - \left(\frac{I_d}{I} \right)^2 \quad (15)$$

Ma ve Iqbal Model:

$$I_{de} = I_d \left[\frac{I}{I_0} R_b + \left(1 - \frac{I}{I_0} \right) \cos^2 \frac{\beta}{2} \right] \quad (16)$$

denklemleri ile hesaplanır. β yüzey eğim açısı, I_d ise yatay düzleme gelen saatlik difüz güneş ışınımıdır.

2.2.1. Yatay Düzleme Gelen Difüz Güneş Işınım

Yatay düzleme gelen saatlik toplam ve difüz ışınımın şiddetlerinin bilinmesi özel araştırmalar ve mühendislik uygulamaları için gereklidir. Yatay düzleme gelen saatlik toplam güneş ışınımının ölçümü birçok meteorolojik istasyonda yapılmakta olup ölçülen değerlere ulaşma imkânı kolaydır. Ancak yatay düzleme gelen saatlik difüz ışınım şiddeti, sadece özel çalışmalar için ölçülmekte olup bu verilere ulaşma imkânı oldukça kısıtlıdır. Bundan dolayı değişik kaynaklarda yer alan yatay düzleme gelen saatlik difüz ışınım modellerinden faydalanılarak mühendislik uygulamaları ve özel çalışmalar için gerekli yatay düzleme gelen saatlik difüz ışınım hesaplanabilmektedir. Yatay düzleme gelen saatlik difüz güneş ışınım şiddetinin belirlenmesinde kullanılan modeller saatlik berraklık indeksi ve difüz ışınım oranı gibi parametrelerin fonksiyonu olarak verilmektedir [19, 24]. Yatay düzleme gelen saatlik difüz güneş ışınımı için modeller [3, 19, 24, 26];

Liu ve Jordan modeli:

$$I_d = I_0 (0.384 - 0.416 k_t) \quad (17)$$

Erbs ve Arkadaşları:

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1 - 0.09k_t & 0 \leq k_t \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604k_t + 4.388k_t^2 - 16.638k_t^3 + 12.336k_t^4 & 0.22 < k_t \leq 0.8 \\ 0.165 & k_t > 0.8 \end{cases} \quad (18)$$

Miguel ve Arkadaşları:

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 0.995 - 0.081k_t & k_t < 0.21 \\ 0.724 + 2.738k_t - 8.32k_t^2 + 4.967k_t^3 & 0.21 \leq k_t \leq 0.76 \\ 0.18 & k_t > 0.76 \end{cases} \quad (19)$$

Ülgen ve Hepbaşlı (İzmir için doğrusal model):

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 0.68 & k_t < 0.32 \\ 1.0609 - 1.21k_t & 0.32 < k_t < 0.62 \\ 0.30 & k_t > 0.62 \end{cases} \quad (20)$$

Ülgen ve Hepbaşlı (İzmir için doğrusal olmayan model):

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 0.68 & k_t < 0.32 \\ 0.0743 - 19.343k_t + 206.91k_t^2 - 719.72k_t^3 + 1053.4k_t^4 - 562.69k_t^5 & 0.32 < k_t < 0.62 \\ 0.30 & k_t > 0.62 \end{cases} \quad (21)$$

Burada I_0 atmosfer dışı yatay düzleme gelen saatlik güneş ışınımı değeri ve k_t ise saatlik berraklık indeksi olup;

$$k_t = \frac{I}{I_0} \quad (22)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada I [$\text{MJ}/\text{m}^2\text{h}$] yatay düzleme 1 saatlik periyod içerisinde gelen toplam güneş ışınım şiddetini göstermektedir. I_0 [$\text{MJ}/\text{m}^2\text{h}$] ise atmosfer dışı saatlik toplam güneş ışınım şiddeti olup,

$$I_0 = \left(\frac{12 \times 3600}{\pi} \right) I_c f [\cos(e)\cos(d)(\sin(w_2) - \sin(w_1)) + (w_2 - w_1)\sin(e)\sin(d)] \times 10^{-6} \quad (23)$$

eşitliğiyle belirlenebilir. I_c güneş sabiti ($1367 \text{ W}/\text{m}^2$), w_2 ve w_1 saat açıları olup t_1 ve t_2 güneş saatleri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanırlar:

$$w_1 = (t_1 - 12) \times 15 \quad (24)$$

$$w_2 = (t_2 - 12) \times 15 \quad (25)$$

f güneş sabitini düzeltme faktörü olup, aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$f = 1 + 0.033 \cos \left[\frac{2\pi n}{365} \right] \quad (26)$$

2.3. Eğimli Yüze Gelen Yansıyan Güneş Işınımı

Eğik düzleme gelen saatlik yansıyan güneş ışınımı ise;

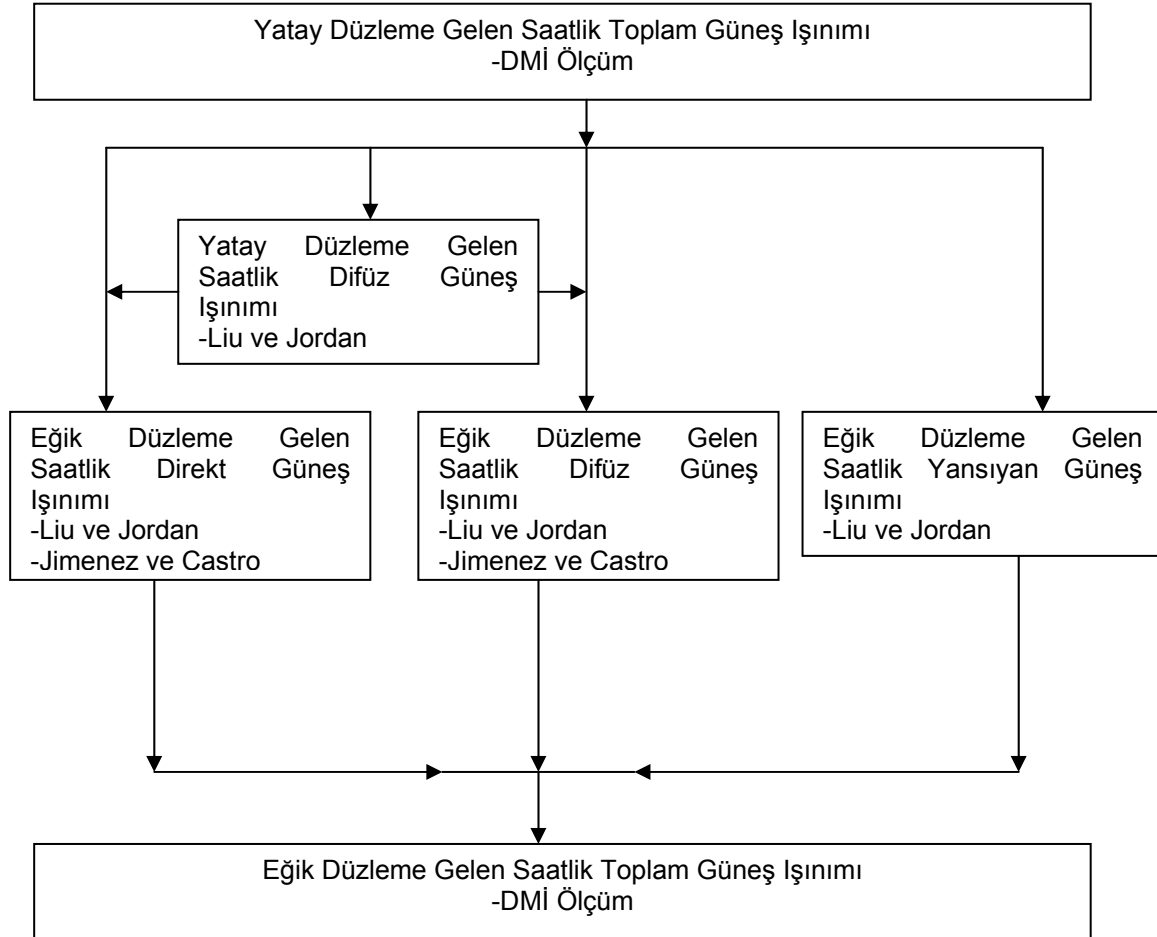
$$I_{re} = \frac{1}{2} \rho I (1 - \cos \beta) \quad (27)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır [14, 15]. Burada ρ yüzey yansıtma oranını ifade etmektedir. Bu çalışmada literatürde [22, 27, 28] genellikle kullanılan 0.2 değeri yüzey yansıtma oranı olarak hesaplamalarda esas alınmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada eğik düzleme gelen saatlik güneş ışınımı hesabında, direkt ışınım için Liu ve Jordan ve Jimenez ve Castro modelleri kullanılmıştır. Yatay düzleme gelen difüz ışınım hesabında ise Liu ve Jordan Modeli ve Ülgen ve Hepbaşı Modeli kullanılmıştır. 5°'lik açılarla 0°'den 90°'ye kadar güneye yönlendirilmiş eğimli yüzeylere gelen güneş ışınımı 1985-2006 yılları arası her yıl için hesaplanmıştır.

Ölçüm değerleri ve ele alınan modellerle, eğik düzleme gelen toplam güneş ışınımı hesaplanırken izlenen yol Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Hesaplama Kullanılan Akış Şeması.

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin kolektörünün, yıl boyu çalışan bir işletme durumu için bulunulan yerin enlem derecesine eşit bir açı ile veya yalnız yaz sezonunda sıcak suyun istenildiği işletme durumunda bulunulan yerin enlem derecesinden 15° eksik bir açı ile veya yalnız kışın kullanılması durumunda enlem derecesinden 15° fazla bir açı ile yerleştirilmesi tavsiye edilmektedir [11, 27,29]. Dolayısıyla bu tür işletme durumlarında kullanılmak üzere İzmir ili için (Kolektör için eğim açısı; Yıllık=38°, Yaz=23°, Kış=53°) eğimli yüzeye gelen güneş ışınım değerleri de hesaplanmıştır. Tablo 1ve 2'de yaz, yıllık ve kış işletme durumuna göre güneye yönlendirilmiş eğimli yüzeye gelen saatlik güneş ışınım değerleri verilmektedir. Tablo 1 ve 2'den yüzeye gelen güneş ışınımının en yüksek değerini saat 11-13 arasında aldığı görülmektedir. Şekil 4 ve şekil 5'te sırasıyla, Haziran ayında 53° ve Ağustos ayında 38° eğimli yüzeye gelen güneş ışınımının gün boyunca değişimi gösterilmiştir. Şekillerden Liu ve Jordan ve Ülgen ve Hepbaşı modellerinden elde edilen değerler arasında önemli bir farkın olmadığı ve benzer davranışı gösterdiği tesbit edilmiştir. Jimenez ve Castro modelinden elde edilen değerlerin ise diğer modellere göre daha düşük güneş ışınımı değeri verdiği belirlenmiştir. Şekil 6'da İzmir ilinin enlem derecesine eşit (38°) eğim açısı için her mevsimi temsil edecek günler için yüzeye gelen güneş ışınım çeşitlerinin gün boyunca değişimi 2006 yılı için verilmiştir. Şekil 6'dan direkt ışınımın toplam güneş ışınımı içinde önemli bir bileşen olduğu görülmektedir. Ayrıca difüz ışınımın gün içinde fazla değişim göstermediği

ve yansıyan ışınımın da gün boyunca çok düşük değerler aldığı belirlenmiştir. Şekil 7'de 40° eğim açısı için saatlik güneş ışınımının değişimi tüm aylar için verilmiştir. Eğim açısına göre yüzeye gelen güneş ışınımının aylara göre değişimi ise Şekil 8'de verilmektedir. Şekilden her ayın en yüksek güneş ışınım değerini farklı açılarda aldığı görülmektedir. Bahar ve yaz aylarında düşük açılarda, güz ve kış aylarında ise yüksek açılarda en fazla güneş ışınımını toplamak için uygun olduğu belirlenmiştir.

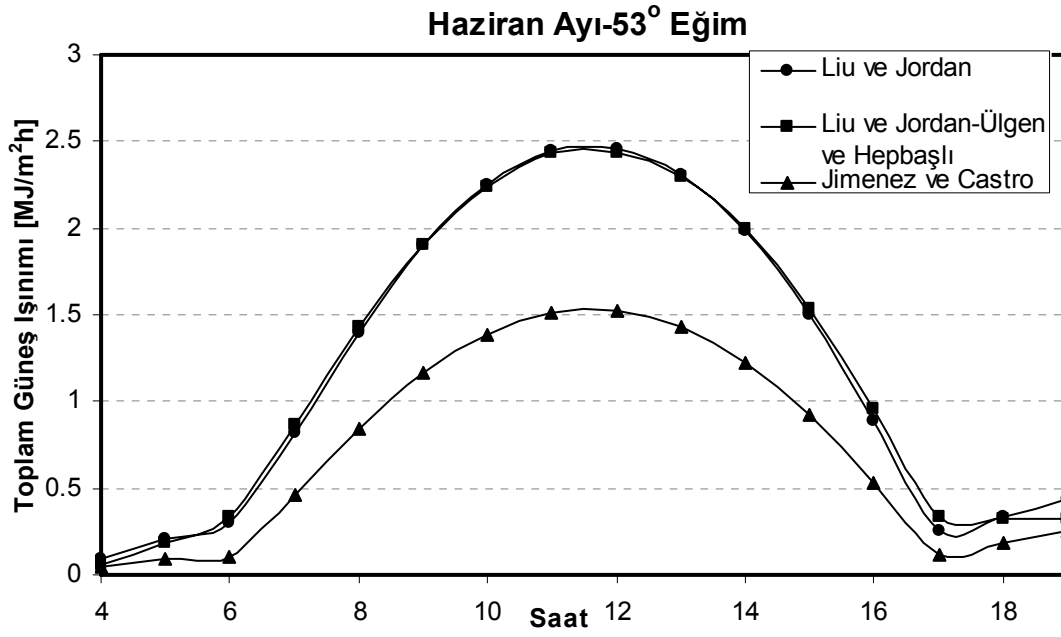
Tablo 3'de her ayı temsil eden günlerde eğik yüzeye gelen günlük toplam güneş ışınımının 22 yıllık ortalama değerleri farklı eğimler için verilmiştir. Tablo 3'deki değerler esas alınarak aylara göre en yüksek ışınım değerlerinin elde edildiği eğim açıları koyu olarak belirtilmiştir. Beklendiği gibi yaz aylarında düşük açılarda ve kış aylarında ise yüksek eğim açılarının en yüksek ışınım değerlerini elde etmek için uygun olduğu tesbit edilmiştir.

Tablo 1. Yaz (23°), yıllık (38°) ve kış (53°) İşletme Durumuna Göre Eğimli Yüzeye Gelen Saatlik Güneş Işınım Değeri [MJ/m²h]- Liu ve Jordan Modelleri.

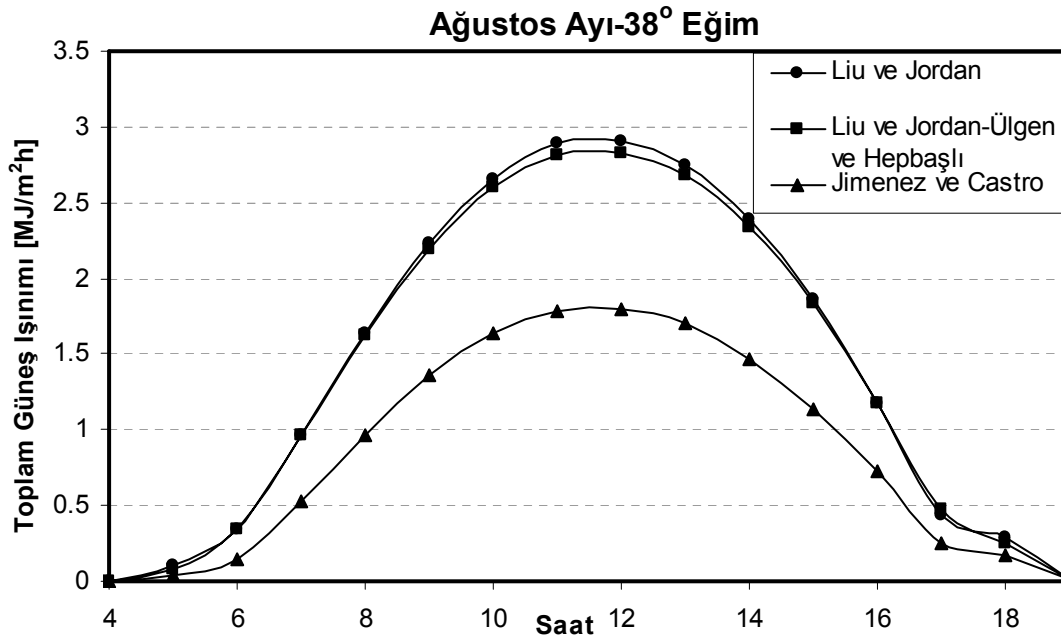
Açı	Ay	Saat										
		7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
23	1	0.16	0.56	1.12	1.56	1.81	1.87	1.76	1.48	1.01	0.63	0.01
23	2	0.28	0.81	1.39	1.83	2.11	2.18	2.06	1.76	1.35	0.82	0.14
23	3	0.59	1.22	1.81	2.25	2.47	2.51	2.37	2.08	1.61	1.01	0.51
23	4	0.98	1.59	2.12	2.46	2.6	2.59	2.43	2.09	1.61	1.04	0.44
23	5	1.15	1.76	2.28	2.64	2.8	2.78	2.62	2.31	1.83	1.24	0.6
23	6	1.23	1.85	2.37	2.72	2.93	2.94	2.79	2.48	1.99	1.39	0.71
23	7	1.17	1.8	2.34	2.73	2.94	2.98	2.83	2.51	2.02	1.41	0.71
23	8	1.05	1.72	2.31	2.72	2.95	2.97	2.81	2.47	1.95	1.29	0.57
23	9	0.94	1.65	2.25	2.68	2.88	2.88	2.7	2.32	1.75	1.03	0.33
23	10	0.78	1.41	1.97	2.36	2.52	2.46	2.24	1.85	1.24	0.53	0.15
23	11	0.58	1.06	1.57	1.92	2.05	1.99	1.78	1.39	0.78	0.22	0
23	12	0.29	0.6	1.13	1.48	1.68	1.65	1.48	1.17	0.66	0.34	0
38	1	0.18	0.61	1.24	1.73	2.01	2.08	1.98	1.7	1.2	0.87	0.01
38	2	0.28	0.86	1.49	1.96	2.27	2.35	2.23	1.93	1.52	0.99	0.17
38	3	0.59	1.25	1.86	2.32	2.55	2.6	2.45	2.16	1.68	1.07	0.61
38	4	0.92	1.54	2.08	2.43	2.57	2.56	2.39	2.04	1.55	0.98	0.38
38	5	1.02	1.62	2.15	2.52	2.69	2.67	2.5	2.18	1.69	1.09	0.45
38	6	1.05	1.67	2.19	2.55	2.76	2.78	2.62	2.3	1.79	1.17	0.49
38	7	1.02	1.64	2.19	2.58	2.8	2.83	2.68	2.35	1.84	1.2	0.49
38	8	0.96	1.64	2.23	2.66	2.89	2.91	2.75	2.39	1.86	1.18	0.44
38	9	0.95	1.68	2.3	2.74	2.94	2.94	2.76	2.37	1.78	1.04	0.32
38	10	0.89	1.54	2.13	2.54	2.69	2.64	2.4	1.99	1.34	0.57	0.2
38	11	0.76	1.24	1.79	2.15	2.27	2.2	1.98	1.56	0.89	0.25	0
38	12	0.41	0.69	1.28	1.67	1.87	1.84	1.66	1.34	0.77	0.49	0
53	1	0.2	0.64	1.3	1.81	2.09	2.17	2.08	1.82	1.32	1.05	0.01
53	2	0.27	0.87	1.51	1.99	2.3	2.39	2.27	1.99	1.61	1.11	0.2
53	3	0.57	1.21	1.82	2.26	2.49	2.54	2.4	2.12	1.65	1.06	0.68
53	4	0.82	1.41	1.93	2.27	2.41	2.4	2.23	1.89	1.42	0.87	0.3
53	5	0.83	1.41	1.91	2.27	2.43	2.41	2.25	1.93	1.46	0.89	0.29
53	6	0.82	1.4	1.9	2.25	2.45	2.46	2.31	1.99	1.5	0.89	0.25
53	7	0.82	1.4	1.92	2.29	2.5	2.53	2.38	2.05	1.56	0.93	0.25
53	8	0.83	1.46	2.04	2.45	2.67	2.69	2.53	2.18	1.66	1	0.3
53	9	0.9	1.61	2.21	2.65	2.84	2.84	2.66	2.29	1.71	0.98	0.29
53	10	0.95	1.59	2.17	2.57	2.72	2.65	2.43	2.02	1.37	0.59	0.24
53	11	0.9	1.34	1.89	2.25	2.36	2.29	2.06	1.64	0.94	0.27	0
53	12	0.51	0.74	1.36	1.75	1.97	1.93	1.75	1.43	0.84	0.61	0

Tablo 2. Yaz (23°), yıllık (38°) ve kış(53°) İşletme Durumuna Göre Eğimli Yüzeyle Gelen Saatlik Güneş Işınım Değeri [MJ/m²h]-Liu ve Jordan ve Ülgen ve Hepbaşlı Modelleri.

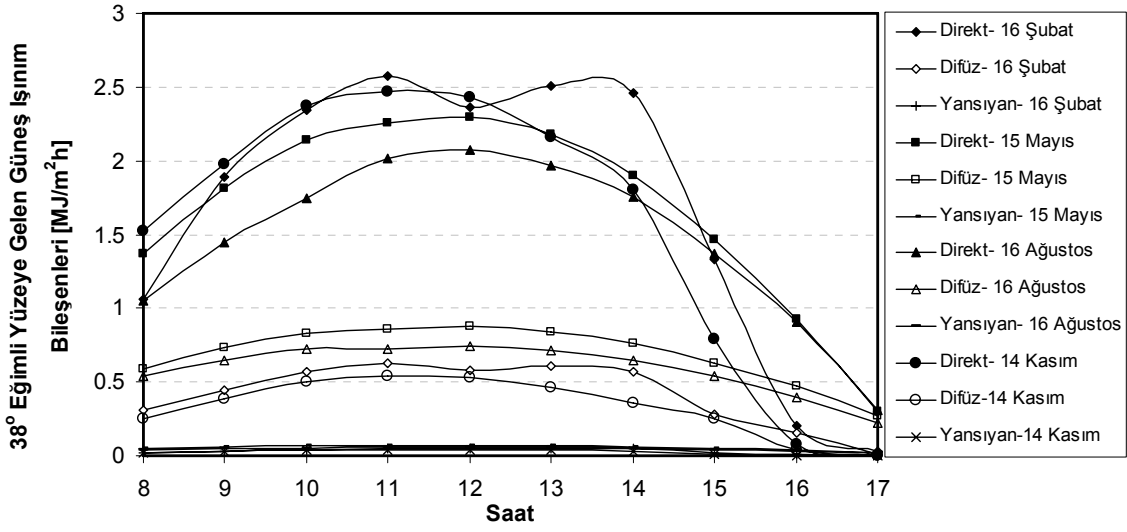
Açı	Ay	Saat										
		7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
23	1	0.13	0.5	1.02	1.43	1.67	1.72	1.62	1.35	0.9	0.52	0.01
23	2	0.21	0.71	1.27	1.69	1.96	2.02	1.9	1.61	1.23	0.72	0.12
23	3	0.53	1.13	1.69	2.1	2.32	2.35	2.21	1.93	1.49	0.93	0.43
23	4	0.92	1.52	2.03	2.36	2.49	2.47	2.31	1.98	1.51	0.97	0.4
23	5	1.13	1.72	2.23	2.58	2.73	2.71	2.55	2.25	1.79	1.21	0.6
23	6	1.24	1.84	2.34	2.69	2.89	2.9	2.76	2.46	1.99	1.4	0.74
23	7	1.18	1.8	2.32	2.69	2.9	2.94	2.8	2.49	2.02	1.42	0.74
23	8	1.05	1.7	2.27	2.67	2.89	2.9	2.76	2.42	1.92	1.29	0.59
23	9	0.91	1.59	2.17	2.58	2.77	2.77	2.59	2.23	1.68	1	0.32
23	10	0.71	1.32	1.86	2.23	2.37	2.33	2.12	1.74	1.15	0.49	0.12
23	11	0.5	0.96	1.44	1.77	1.89	1.84	1.64	1.27	0.71	0.2	0
23	12	0.25	0.53	1.01	1.34	1.52	1.49	1.34	1.06	0.6	0.29	0
38	1	0.17	0.56	1.14	1.59	1.83	1.9	1.8	1.52	1.06	0.71	0.01
38	2	0.23	0.77	1.36	1.81	2.09	2.16	2.03	1.74	1.36	0.85	0.15
38	3	0.53	1.15	1.72	2.15	2.37	2.41	2.26	1.98	1.53	0.96	0.5
38	4	0.87	1.47	1.98	2.31	2.45	2.43	2.27	1.94	1.46	0.91	0.34
38	5	1	1.59	2.1	2.46	2.61	2.6	2.43	2.13	1.66	1.08	0.47
38	6	1.08	1.67	2.18	2.53	2.73	2.74	2.6	2.28	1.81	1.21	0.55
38	7	1.04	1.65	2.17	2.55	2.76	2.79	2.64	2.33	1.85	1.24	0.56
38	8	0.96	1.62	2.19	2.6	2.81	2.83	2.68	2.34	1.83	1.18	0.48
38	9	0.91	1.6	2.19	2.61	2.81	2.8	2.62	2.26	1.7	0.99	0.31
38	10	0.8	1.42	1.98	2.36	2.51	2.45	2.24	1.85	1.24	0.54	0.16
38	11	0.65	1.11	1.62	1.95	2.07	2.01	1.8	1.41	0.81	0.25	0
38	12	0.36	0.62	1.15	1.51	1.69	1.66	1.5	1.21	0.71	0.42	0
53	1	0.2	0.6	1.2	1.65	1.9	1.97	1.88	1.61	1.16	0.85	0.01
53	2	0.24	0.78	1.39	1.83	2.11	2.18	2.06	1.78	1.42	0.93	0.16
53	3	0.51	1.12	1.68	2.09	2.31	2.34	2.2	1.93	1.5	0.95	0.54
53	4	0.77	1.35	1.84	2.16	2.29	2.27	2.11	1.79	1.34	0.81	0.27
53	5	0.83	1.39	1.88	2.22	2.36	2.35	2.19	1.9	1.45	0.89	0.32
53	6	0.87	1.43	1.9	2.24	2.43	2.44	2.3	2	1.54	0.96	0.34
53	7	0.85	1.42	1.92	2.28	2.47	2.51	2.36	2.05	1.59	1	0.35
53	8	0.84	1.45	2	2.39	2.6	2.61	2.46	2.13	1.64	1.02	0.35
53	9	0.86	1.53	2.1	2.51	2.69	2.69	2.51	2.16	1.62	0.94	0.28
53	10	0.85	1.45	1.99	2.36	2.5	2.45	2.24	1.86	1.26	0.55	0.19
53	11	0.76	1.2	1.7	2.03	2.14	2.08	1.87	1.48	0.87	0.29	0
53	12	0.45	0.68	1.23	1.59	1.77	1.74	1.58	1.29	0.78	0.52	0



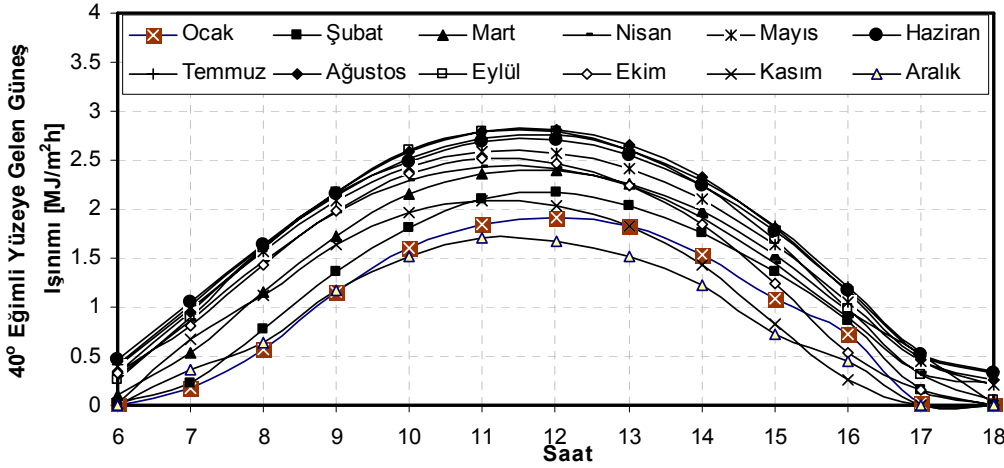
Şekil 4. Haziran Ayında 53° Eğimli Yüze Gelen Güneş Işınımının Gün Boyunca Değişimi.



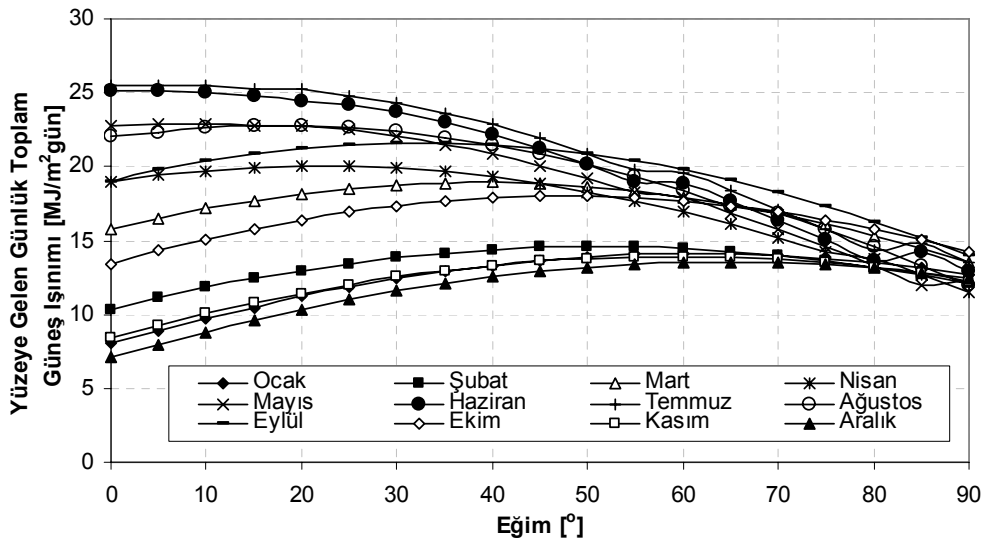
Şekil 5. Ağustos Ayında 38° Eğimli Yüze Gelen Güneş Işınımının Gün Boyunca Değişimi.



Şekil 6. 2006 Yılı İçin İzmir'de 38° Eğimli Yüze Gelen Güneş Işınım Bileşenlerinin Gün Boyunca Değişimi.



Şekil 7. 40° Eğimli Yüze Gelen Güneş Işınımının Gün Boyunca Değişimi.



Şekil 8. Eğim Açısına Göre Yüze Gelen Günlük Toplam Güneş Işınımının Değişimi.

Tablo 3. Her Ayı Temsil Eden Günler İçin Eğimli Yüze Gelen Günlük Toplam Güneş Işınımı [MJ/m²gün].

Açı [°]	17 Ocak	16 Şubat	16 Mart	15 Nisan	15 Mayıs	11 Haziran	17 Temmuz	16 Ağustos	15 Eylül	15 Ekim	14 Kasım	10 Aralık
0	8.02	10.37	15.74	18.98	22.72	25.1	25.46	22.05	19.03	13.45	8.43	7.1
5	8.9	11.09	16.49	19.4	22.88	25.14	25.55	22.34	19.76	14.31	9.25	7.97
10	9.72	11.81	17.15	19.71	22.92	25.05	25.5	22.66	20.37	15.1	10.03	8.81
15	10.49	12.43	17.71	19.91	22.82	24.81	25.3	22.77	20.86	15.8	10.75	9.59
20	11.21	12.98	18.17	20.01	22.77	24.44	25.24	22.76	21.24	16.42	11.41	10.31
25	11.85	13.45	18.53	19.99	22.48	24.24	24.84	22.63	21.49	16.93	12.01	10.98
30	12.42	13.85	18.77	19.87	22.05	23.67	24.3	22.37	21.62	17.35	12.52	11.57
35	12.92	14.16	18.91	19.63	21.51	22.97	23.64	21.99	21.62	17.67	12.97	12.1
40	13.33	14.4	18.94	19.3	20.86	22.15	22.84	21.48	21.5	17.88	13.33	12.54
45	13.66	14.54	18.85	18.85	20.09	21.21	21.93	20.87	21.25	17.98	13.6	12.91
50	13.91	14.6	18.66	18.31	19.23	20.17	20.91	20.14	20.88	17.98	13.8	13.2
55	14.07	14.57	18.36	17.66	18.26	19.03	19.78	19.3	20.39	17.86	13.91	13.4
60	14.14	14.46	17.95	16.93	17.95	18.89	19.58	18.37	19.78	17.65	13.93	13.51
65	14.12	14.26	17.43	16.11	16.89	17.68	18.37	17.34	19.06	17.32	13.86	13.54
70	14.01	13.97	16.82	15.21	15.75	16.4	17.08	16.88	18.23	16.9	13.71	13.48
75	13.81	13.6	16.12	14.24	14.55	15.06	15.72	15.75	17.31	16.38	13.47	13.34
80	13.53	13.16	15.32	13.7	13.3	13.66	14.3	14.55	16.29	15.76	13.15	13.11
85	13.16	12.64	14.44	12.64	11.99	14.19	14.81	13.3	15.19	15.05	12.75	12.79
90	12.71	12.04	13.49	11.54	12.3	12.88	13.48	11.99	14.01	14.26	12.27	12.4
23	11.6	13.27	18.4	20.01	22.61	24.43	25.02	22.7	21.41	16.74	11.78	10.72
53	14.02	14.6	18.49	17.93	18.66	19.5	20.24	19.65	20.6	17.92	13.87	13.33
38	13.18	14.31	18.94	19.44	21.13	22.49	23.18	21.7	21.56	17.8	13.19	12.37

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yatay düzleme gelen saatlik güneş ışınım değerleri kullanılarak eğik düzleme gelen güneş ışınımı için hesap yöntemi güneş ışınım modelleri ile birlikte verilmiştir. 5'er derece aralıklarla yatay düzlemden dikey düzleme kadar olan değişik açılar (0°-90°) ve uygulamada farklı işletme durumları için önerilen açılar (23°, 38° ve 53°) için Güney yönüne ait eğik düzleme gelen güneş ışınımı, İzmir ili için farklı modellere göre hesaplanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Elde edilen değerler tablo ve diyagramlarda sunulmuştur. En yüksek güneş ışınımını almak için eğim açısının aylara göre değiştiği belirlenmiştir. En yüksek güneş ışınımı almak için eğim açısının yaz ayları için 5°-15° arasında olduğu, kış ayları için 50°-60° arasında olduğu ve geçiş ayları (Nisan ve Eylül) için ise 20°-30° olduğu tesbit edilmiştir. İzmir ili için değişik açılardaki eğimli yüzeylere gelen güneş ışınımı değerlerinin, güneş enerjisi uygulamalarında sistem tasarım ve analizinde ve bina enerji analizinde tasarımcı, mühendis ve mimarlara yararlı olacağı düşünülmektedir.

Eğik düzleme gelen saatlik toplam güneş ışınım değerlerinin ışınımölçerler ile ölçülmesi bilgilerin kullanılacağı çalışmalarda daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Ancak uygulamada sadece yatay düzleme gelen toplam güneş ışınımı ölçüldüğünden, eğik düzlemler için farklı güneş ışınımı modellerinden elde edilen sonuçlar analiz edilerek en uygun modellere göre hesaplamaların yapılması daha uygun olacaktır. Dolayısıyla Türkiye'de her il veya bölge için uygun güneş modelleri tesbit edilip eğik düzleme gelen güneş ışınımının tüm yönler için belirlenmesi gerekir.

KAYNAKLAR

- [1] BULUT, H., Adana ilinde eğik yüzeylere gelen güneş ışınım miktarının belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu, 1-6, Adana, 2008.
- [2] BULUT, H., DURMAZ, A.F., Türkiye için pencerelerden geçen güneş ışınımının analizi, UGHEK'2008: II. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 85-95, Eskişehir, 2008.
- [3] NOTTON, G., CRISTOFARI, C., MUSELLI, M., POGGI, P., Calculation on an hourly basis of solar diffuse irradiances from global data for horizontal surfaces in Ajaccio, Energy Conversion and Management, 45, 2849-2866, 2004.
- [4] NOTTON, G., CRISTOFARI, C., POGGI, P. AND MUSELLI, M., Calculation of solar irradiance profiles from hourly data to simulate energy systems behaviour, Renewable Energy, 27, 123-142, 2002.
- [5] DMİ, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.dmi.gov.tr>
- [6] EİE, "Türkiye güneş ışınımı ve güneşlenme süresi değerleri", Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara, 2001. <http://www.eie.gov.tr>
- [7] BULUT, H., BÜYÜKALACA, O., YILMAZ, T., Bazı iller için güneş ışınımı, güneşlenme süresi ve berraklık indeksinin yeni ölçümler ışığında analizi, Güneş Günü Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 22-29, Kayseri, 1999.
- [8] BULUT, H., BÜYÜKALACA, O., Diyarbakır ili için güneş verilerinin analizi ve tipik güneş ışınım değerlerinin türetilmesi, III. GAP ve Sanayi Kongresi Bildiriler Kitabı, 337-343, Diyarbakır, 2003.
- [9] BULUT, H., Typical solar radiation Year for Southeastern Anatolia, Renewable Energy, 29(9), 1477-1488, 2004.
- [10] KILIÇ, A., ÖZTÜRK, A., "Güneş Enerjisi", Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.
- [11] UYAREL, A.Y., ÖZ, E.S., "Güneş Enerjisi ve Uygulamaları", Birsen yayınevi, İstanbul, 1987.
- [12] GÜNEŞ, M., Soğutma yükü hesabı için yapı elemanlarına gelen güneş ışınımının belirlenmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 7(49), 24-28, 1999.
- [13] TTMD, "Türkiye İklim Verileri", Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Ankara, 2000.
- [14] DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley & Sons, Inc, 1980.
- [15] HSIESH, J.S., "Solar Energy Engineering", Prentice-Hall, Inc., 1986.
- [16] IQBAL, M., "An introduction to Solar Radiation", Canada: Academic Press, 1983.
- [17] LIU, B.Y.H., JORDAN, R.C., Daily insolation on surfaces tilted towards the equator, ASHRAE Journal, 3, 53-59, 1961.
- [18] DURMAZ, A.F., Eğik yüzeylere gelen güneş ışınımının analizi ve cam yüzeylerden geçen güneş ışınımının tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 2007.
- [19] WONG, L.T., CHOW, W.K., Solar radiation model, Applied Energy, 69, 191-224, 2001.
- [20] LIU, B.Y.H., JORDAN, R.C., The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation, Solar Energy, 4, 3, 1, 1960.
- [21] LIU, B.Y.H., JORDAN, R.C., The long-term average performance of flat-plate solar energy collectors, Solar Energy, 7, 53, 1963.
- [22] NOTTON, G., POGGI, P., CRISTOFARI, C., Predicting hourly solar irradiances on inclined surfaces based on the horizontal measurements: Performances of the association of well-known mathematical models, Energy Conversion and Management, 47, 1816-1829, 2006.
- [23] VARTIAINEN, E., A new approach to estimating the diffuse irradiance on inclined surfaces, Renewable Energy, 20, 45-64, 2000.
- [24] MIGUEL, A.D., BILBAO, J., AGUIAR, R., KAMBEZIDIS, H., NEGRO, E., Diffuse solar irradiation model evaluation in the North mediterranean belt area, Solar Energy, 70, 143-153, 2001.
- [25] BULUT, H., DURMAZ, A.F., YEŞİLATA, B., Eğik düzleme gelen güneş ışınım değerlerinin deneysel olarak incelenmesi, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 143-149, 2006.
- [26] ULGEN, K., HEPBASLI, A., Prediction of Solar radiation parameters through clearness index for İzmir, Turkey, Energy Sources, 24, 773-785, 2002.
- [27] DİNÇER, İ., Optimum tilt angle for solar collectors used in Cyprus, Renewable Energy, 6(7), 813-819, 1995.
- [28] NIJMEH, S., MAMLOOK, R., Testing of two models for computing global solar radiation on tilted surfaces, Renewable Energy, 20, 75-81, 2000.
- [29] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, "Güneşli Su Isıtıcıları", Teknik El Kitapları 3, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, 1984.

ÖZGEÇMİŞ

Hüsamettin BULUT

1971 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Batman'da tamamladı. 1993 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında 1996 yılında Yüksek Lisansını, 2001 yılında Doktorasını ise tamamladı. 1993-1998 yılları arasında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde, 1998-2001 yılları arasında ise Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Halen Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Doç. Dr. olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları ısıtma ve soğutma sistemleri için iklim verilerinin analizi, enerji analizi, güneş enerjisi, ısıtma ve soğutma sistemleri ve uygulamalarıdır.