

## Eğik Yüzeye Gelen Güneş Işınımı Değerlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

**Hüsamettin Bulut, Asım Fatih Durmaz ve Bülent Yeşilata**

*Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa*  
*E-mail: [hbulut@harran.edu.tr](mailto:hbulut@harran.edu.tr) , [afdurmaz@harran.edu.tr](mailto:afdurmaz@harran.edu.tr) , [byesilata@harran.edu.tr](mailto:byesilata@harran.edu.tr)*

### Özet

Güneş enerjisi genellikle eğimli yüzeyler yardımıyla toplanmaktadır. Eğik yüzeye gelen güneş ışıını deneyisel amaçlar dışında doğrudan ölçülmemektedir. Eğik düzleme gelen güneş ışıını, yatay düzleme gelen ölçüm değerlerinden veya çeşitli modellerden elde edilen değerlerden yararlanarak tespit edilmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve ısı analizi doğrudan mevcut verilere dayandığından, güneş enerjisi verilerinin doğru, uygun ve kullanışlı olması gerekir. Bu çalışmada, eğik yüzeye gelen güneş ışıını deneyisel olarak ölçülmüş ve mevcut yöntemlerle karşılaştırılmıştır. 15°, 30°, 45°, 60° ve 90° eğik yüzeylere gelen güneş ışıını şiddeti, bir piranometre ve veri kaydedicisi ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ölçümler Şanlıurfa iklim şartlarında her ayı temsil edecek ortalama günlerde alınmıştır. Ölçülen eğik yüzey ışıını değerleri, literatürdeki değişik yöntemlere göre hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Ölçüm verileri ve hesap yöntemlerine göre bulunan değerler arasında önemli farklılıklarının olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Saatlik güneş ışıını; difüz ışıını; eğik yüzey, güneş ışıını modelleri.

### 1. Giriş

Güneş enerjisi uygulamaları ve sistemlerinin analiz ve tasarımı için sağlıklı, güvenilir ve kolay ulaşılabilir güneş ışıını verilerine ihtiyaç vardır. Ölçme aletlerinin pahalı olması, ölçüm teknikleri ile ilgili problemler ve ölçümün belirli kuruluşlar tarafından yapılması, güneş ışıını verilerine ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Çoğunlukta hesaplamada, güneş ışıını ile ilgili modeller kullanılmaktadır.

Türkiye’de güneş ışıını ile ilgili ölçümler, başta Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) ve araştırma amaçlı olarak sınırlı sayıda bazı üniversiteler tarafından yapılmaktadır. Bazı özel uygulamalar için yapılan ölçümler dışında genellikle yatay düzleme gelen toplam güneş ışıını ölçülmektedir. Ancak güneş enerjisinden daha fazla yararlanmak için kullanılan kollektörler eğimli bir şekilde yerleştirilmektedirler. Dolayısıyla eğik düzleme gelen güneş ışıınının bilinmesi gerekir. Bundan başka özellikle, binalarda toplam soğutma yükünün %30-50’sini oluşturan pencerelerden geçen güneş ışıınının direkt ve difüz bileşenlerinin belirlenmesi de eğik düzlem verilerine bağlıdır. Eğik düzlem hesaplamaları için literatürde değişik modeller önerilmiştir [1-5].

Bu çalışmanın temel amacı, 15°, 30°, 45°, 60° ve 90° eğik yüzeylere gelen güneş ışıını şiddetinin deneyisel olarak analizini yapıp, literatürdeki mevcut modellerle karşılaştırılmasını yapmaktır. Ölçümler Şanlıurfa iklim şartlarında her ayı temsil edecek ortalama günlerde bir veri toplayıcısına bağlı Kipp&Zonen CM11 piranometresi ile yapılmıştır. Ölçülen eğik yüzey ışıını değerleri, literatürdeki değişik yöntemlere göre hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metod

Eğik düzleme gelen saatlik ışınlam  $I_{\beta}$ , direkt, difüz ve yansıyan ışınlamın toplamı olarak;

$$I_{\beta} = I_{b,\beta} + I_{d,\beta} + I_{r,\beta} \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır [6]. Burada,  $I_{b,\beta}$  eğik yüzeye gelen saatlik direkt ışınlamı,  $I_{d,\beta}$  eğik yüzeye gelen saatlik difüz ışınlamı,  $I_{r,\beta}$  eğik yüzeye gelen saatlik yansıyan ışınlamı ifade etmektedir. Eğik düzleme gelen saatlik güneş ışınlamı modelleri daha çok, direkt ve difüz ışınlamlara yeni yaklaşımlar getirilerek oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan modeller aşağıda verilmiştir [1-5,7];

### 2.1. Liu ve Jordan Modeli

Bu modelde eğik düzleme gelen saatlik direkt güneş ışınlamı aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$I_{b,\beta} = I_b * r_b \quad (2)$$

$I_b$  yatay düzleme gelen saatlik direkt güneş ışınlamıdır.  $r_b$  direkt ışınlam dönüşüm katsayısı olup;

$$r_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (3)$$

denklemini ile ifade edilir.  $\theta_z$  zenit açısı olup aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (4)$$

$\delta$  deklinasyon açısı,  $\phi$  enlem açısı,  $\omega$  ise saat açısıdır.  $\theta$  ise güneş yükseklik açısı olup güneşe yöneltilmiş eğimli yüzeyler için aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\cos \theta = \sin \delta \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cos(\phi - \beta) \cos \omega \quad (5)$$

Burada  $\beta$  eğim açısıdır. Eğik düzleme gelen saatlik difüz güneş ışınlamı

$$I_{d,\beta} = \frac{1}{2} I_d (1 + \cos \beta) \quad (6)$$

denklemini ile bulunabilir.  $I_d$  yatay düzleme gelen saatlik difüz ışınlamı göstermektedir. Eğik düzleme gelen saatlik yansıyan güneş ışınlamı ise aşağıdaki denklem ile tespit edilir.

$$I_{r,\beta} = \frac{1}{2} \rho I (1 - \cos \beta) \quad (7)$$

$\rho$  yüzey yansıtma oranı,  $I$  ise yatay düzleme gelen saatlik toplam güneş ışıdır.

## 2.2. Koronakis Model

Koronakis eğik düzleme gelen saatlik difüz ışıdırı modifiye ederek aşağıdaki denklemleri ortaya koymuştur.

$$I_{d,\beta} = \frac{1}{3} I_d (2 + \cos \beta) \quad (8)$$

## 2.3. Jimenez ve Castro Model

Jimenez ve Castro eğik düzleme gelen saatlik difüz ışıdırının eğik düzleme gelen saatlik toplam ışıdırının %20'sine eşit olduğunu göstermiştir. Bu model yatay düzleme gelen saatlik güneş ışıdırının fonksiyonu olarak dikkat çekmektedir.

$$I_{b,\beta} = 0.8 I \left( \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \right) \quad (9)$$

## 2.4. Circum Model

Bu modelde difüz güneş radyasyonu direkt ışıdırın dönüşüm katsayısının fonksiyonudur.

$$I_{d,\beta} = I_d * r_b \quad (10)$$

## 2.5. Bugler Model

Bugler, Liu ve Jordan modelindeki denklemleri anizotropik olarak değiştirmiştir.

$$I_{d,\beta} = \left[ \left( I_d - 0.05 \frac{I_{b,\beta}}{\cos \theta_z} \right) \frac{1 + \cos \beta}{2} \right] + 0.05 I_{b,\beta} \cos \theta \quad (11)$$

## 2.6. Temps ve Coulson Model

Temps ve Coulson, Liu ve Jordan denklemlerine iki anizotropik terim eklemişler ve aşağıdaki denklemleri bulmuşlardır.

$$P_1 = 1 + \cos^2 \theta (\sin^3 \theta_z) \quad (12)$$

$$P_2 = 1 + \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) \quad (13)$$

$$I_{d,\beta} = \frac{1}{2} I_d (1 + \cos \beta) P_1 P_2 \quad (14)$$

## 2.7. Klucher Model

Klucher, Temps ve Coulsen modelini kısmen bulutlu bir gün için değiştirmişlerdir.

$$F = 1 - (I_d / I)^2 \quad (15)$$

$$I_{d,\beta} = I_d \left[ 0.5 \left( 1 + \cos \left( \frac{\beta}{2} \right) \right) \right] \left[ 1 + F \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right] \left[ 1 + F \cos^2(\theta) \sin^3(\theta_z) \right] \quad (16)$$

## 2.8. Orjinal Hay Model

Hay, eğik düzleme gelen saatlik difüz ışıınımı, yatay düzleme gelen saatlik güneş ışıınımının ve isotropik  $F_{\text{hay}}$  katsayısının fonksiyonu olarak vermiştir.

$$F_{\text{Hay}} = \frac{I - I_d}{I_0} = \frac{I_b}{I_0} \quad (17)$$

$$I_{d,\beta} = I_d \left[ F_{\text{Hay}} \left( \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \right) + \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) (1 - F_{\text{Hay}}) \right] \quad (18)$$

## 2.9. Ma ve Iqbal Model

Ma ve Iqbal eğik düzleme gelen saatlik difüz ışıınımı farklı bir kolerasyonla ifade etmişlerdir.

$$I_{d,\beta} = I_d \left[ M_T r_b + (1 - M_T) \cos^2 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right] \quad (19)$$

$M_T$ ; saatlik berraklık indeksidir.

Eğik düzleme gelen saatlik güneş ışınlamı, Şanlıurfa iklim şartlarında her ayı temsil eden ortalama günde veya ona yakın günlerde ( 2005: 6, 7, 16 Haziran, 18, 26 Temmuz, 23 Ağustos, 15 Eylül, 17 Ekim, 14 Kasım, 9 Aralık, 2006: 17 Ocak, 16 Şubat ve 16 Mart), eğim açısı ayarlanabilinen bir platform üzerine bırakılan bir veri kaydedicisine bağlı Kipp&Zonen CM11 piranometresi ile ölçülmüştür. Şekil 1’de eğim açısı ayarlanabilinen platform, piranometre ve veri kaydedicisi gösterilmiştir.



-a-



-b-

Şekil 1. a- Eğimi ayarlanabilen platform ve piranometre, b- Veri Kaydedicisi ve bataryası

### 3. Bulgular ve Tartışma

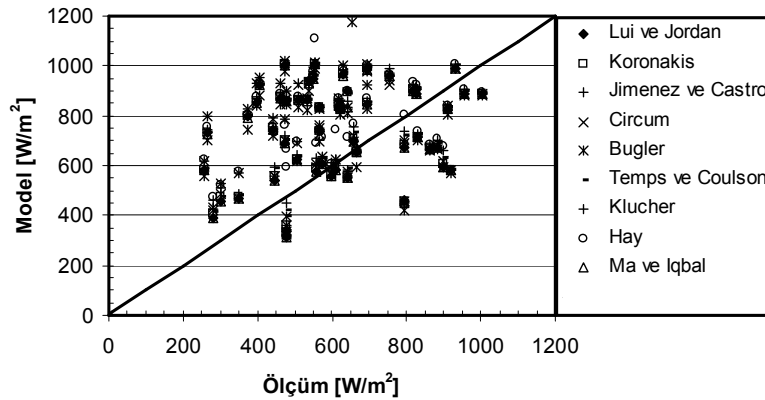
Tablo 1’de eğik düzleme gelen saatlik güneş ışınlamı değerleri ve modellerden elde edilen sonuçlar, yer darlığından dolayı sadece bazı ortalama günler için verilmiştir.

Tablo 1. Eğik düzleme gelen saatlik güneş ışınlamı ölçüm değerleri ve modellerden elde edilen sonuçlar

| Saat                 | Eğim Açısı | Ölçüm | Lui ve Jordan | Koronakis | Jimenez ve Castro | Circum | Bugler | Temps ve Coulson | Klucher | Hay  | Ma ve Iqbal |
|----------------------|------------|-------|---------------|-----------|-------------------|--------|--------|------------------|---------|------|-------------|
| <b>15 Eylül 2005</b> |            |       |               |           |                   |        |        |                  |         |      |             |
| 11:00                | 15         | 574   | 609           | 610       | 637               | 638    | 605    | 633              | 633     | 715  | 609         |
| 12:00                | 30         | 548   | 951           | 953       | 976               | 976    | 951    | 962              | 967     | 976  | 951         |
| 14:00                | 45         | 552   | 1006          | 1007      | 1012              | 1013   | 992    | 1009             | 1012    | 1109 | 1006        |
| 15:00                | 60         | 538   | 943           | 939       | 928               | 928    | 902    | 934              | 925     | 937  | 928         |
| 16:00                | 90         | 794   | 461           | 455       | 454               | 455    | 421    | 452              | 431     | 443  | 455         |
| <b>16 Mart 2006</b>  |            |       |               |           |                   |        |        |                  |         |      |             |
| 10:00                | 15         | 912   | 830           | 830       | 840               | 840    | 804    | 836              | 837     | 841  | 830         |
| 11:00                | 30         | 696   | 986           | 988       | 1008              | 1009   | 977    | 994              | 998     | 1000 | 987         |
| 12:00                | 45         | 632   | 964           | 968       | 1002              | 1001   | 971    | 975              | 986     | 992  | 963         |
| 14:00                | 60         | 618   | 842           | 847       | 871               | 871    | 845    | 853              | 867     | 869  | 841         |
| 15:00                | 90         | 282   | 390           | 406       | 424               | 423    | 430    | 413              | 462     | 475  | 389         |

Tablodan ölçülen güneş ışınlamı ile mevcut modellerle hesaplanan güneş ışınlamı değerleri arasında fark olduğu görülmektedir. Değişik modellerle hesaplanan güneş ışınlamı değerleri genel itibari ile ölçülen güneş ışınlamından daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Ölçüm yapılan günün iklim şartları bu farkın oluşmasında büyük rol oynamaktadır. Bunun yanında modeller arasında bir uyum söz konusu olup bazı modeller arasında çok küçük farkların olduğu saptanmıştır. Ölçüm ve modellerin karşılaştırılması şekil 2’de verilmiştir. Şekilden özellikle 800 W/m<sup>2</sup>’lik değerlerin üstünde modellerin daha düşük sonuçlar verdiği görülebilir. Genel olarak modellerden alınan sonuçların daha büyük değerler olduğu ve değişimlerinin daha fazla olduğu şekil 2’den rahatlıkla gözlemlenebilir.

Modellerin istatistiksel analizi için, ortalama bağıl hata (MBE), bağıl standart hata (RMSE), ve korelasyon katsayısı (CC) [2] hesaplanmış olup, değerler tablo 2’de verilmiştir. İstatistiksel ölçülere göre eğik düzlem güneş ışınlamı için Bugler ve Ma ve Iqbal modelleri en uygun modeller olarak görülmektedirler.



Şekil 2. Eğik düzleme gelen güneş ışınlamı değerlerinin modellerden elde edilen değerlerle karşılaştırılması

Tablo 2. Modellerin ortalama bağıl hata (MBE), bağıl standart hata (RMSE) ve korelasyon katsayısı (CC) değerleri

| İstatiksel<br>Ölçü | Lui ve<br>Jordan | Koronakis | Jimenez<br>ve Castro | Circum | Bugler | Temps<br>ve<br>Coulson | Klucher | Hay   | Ma<br>ve<br>Iqbal |
|--------------------|------------------|-----------|----------------------|--------|--------|------------------------|---------|-------|-------------------|
| MBE                | 0.295            | 0.300     | 0.320                | 0.316  | 0.267  | 0.316                  | 0.324   | 0.381 | 0.278             |
| RMSE               | 0.592            | 0.589     | 0.578                | 0.576  | 0.534  | 0.589                  | 0.584   | 0.627 | 0.546             |
| CC                 | 0.074            | 0.072     | 0.040                | 0.038  | 0.106  | 0.077                  | 0.078   | 0.019 | 0.106             |

#### 4. Sonuç

15°, 30°, 45°, 60° ve 90° eğik yüzeylere gelen güneş ışınım şiddeti, Şanlıurfa iklim şartlarında her ayı temsil edecek ortalama günlerde bir veri toplayıcısına bağlı Kipp&Zonen CM11 piranometresi ile ölçülmüştür. Ölçülen eğik yüzey ışıınım değerleri, literatürdeki mevcut eğik düzlemler için olan modellere göre hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Ölçülen güneş ışıınımı değerleri ile modeller arasında belirgin bir fark gözlenmiş olup, eğik güneş ışıınımı değerlerinin gerektiği durumlarda güneş ışıınımı değerlerinin ölçülerek tespit edilmesi daha uygundur. Ölçüm yapılamadığı takdirde o bölge için en uygun modelin belirlenerek o modele göre hesaplamaların yapılması, analizlerin güvenilirliği ve hassasiyeti açısından daha net sonuçlar ortaya çıkaracaktır.

#### 5. Kaynaklar

- [1] G. Notton, C. Cristofari, P. Poggi, Performance evaluation of various hourly slope irradiation models using mediterranean experimental data of Ajaccio, Energy Conversion and Manegement 47, 147-173 (2006).
- [2] G. Notton, P. Poggi, C. Cristofari, Predicting hourly solar irradiances on inclined surfaces based on the horizontal measurements: performances of the association of well-known mathematical models, Energy Conversion And Manegement 47, 1816-1829 (2006).
- [3] D. H.W. Li, J. C. Lam, Evaluation of slope irradiance and illuminance models against measured Hong Kong data, Building and Environment 35, 501-509 (2000).
- [4] C. Rensheng, L. Shihua, K. Ersi, Y. Jianping, J. Xibin, Estimating daily global radiation using two types of revised models in China, Energy Conversion and Manegement 47, 865-878 (2006).
- [5] E. Vartiainen, A new approach to estimating the diffuse irradiance on inclined surfaces, Renewable Energy 20, 45-64 (2000).
- [6] J. S. Hsieh, Solar Energy Engineering, Prentice-Hall, 542s (1986).
- [7] M. Diez-Mediavilla, A. de Miguel, measurement and comparison of diffuse solar irradiance models on inclined surfaces in Valladolid (Spain), Energy Conversion And Manegement, 46, 2075-2092 (2005).