

Yazışma yazarı:  
Yavuz Selim GÜÇLÜ,  
yavuzselim.guclu@medeniyet.edu.tr

Referans:  
Güçlü, Y. S., ŞEN, Z., (2020), Güneş Işınımı Tahmini için Yeni Bir Yaklaşım: OrtLin Modeli, İklim Değişikliği ve Çevre, 5, (1) 18–25

Makale Gönderimi : 04 MART 2020  
Online Kabul : 20 MART 2020  
Online Basım : 25 MART 2020

## Güneş Işınımı Tahmini için Yeni Bir Yaklaşım: OrtLin Modeli

Yavuz Selim GÜÇLÜ<sup>1</sup> ve Zekai ŞEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Medeniyet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Üsküdar, İstanbul, Türkiye, ORCID:0000-0002-9939-1157  
<sup>2</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Beykoz, İstanbul, Türkiye, ORCID:0000-0003-2754-5492

**Özet** Bu çalışmada harmonik çözümlenmeye benzer bir çözümlenme yöntemi kullanılarak güneşlenme süresinden günlük güneş ışınımı tahmini yapılmıştır. Burada harmonik çözümlenme yerine ortalamalarla bir salınım elde edilmiştir. Ancak, ortalamalar tek başına yetersiz kalacağından Anström-Prescott modeli ile birlikte karma (hibrit) bir model geliştirilmiştir. Ortalamalar ve Angström-Prescott Lineer (doğrusal) modelini birlikte içeren OrtLin modeli kurulurken ölçülmüş değerler öncelikle salınımdan arındırılması ve akabinde Angström-Prescott modelinin kurulması düşüncesi yatmaktadır. Türkiye'nin Gaziantep ilinde ölçülen veriler kullanılarak kurulan OrtLin modeli uygulama aşamasında Angström-Prescott modeli ile kıyaslanmıştır. Yeni modelden elde edilen tahminler, Angström-Prescott modelinin tahminlerine kıyasla daha iyi bir şekilde ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Angström-Prescott; HarLin; Harmonik; Işınım; PoLin.

## MeanLin Model for Solar Radiation Estimation

**Abstract** This study suggests similar procedure to harmonic analysis application to solar irradiation and sunshine duration data. Basis of the methodology is combined application of the daily MEAN values and classical LINear regression analysis. Therefore, it is referred to as MeanLin model. It isolates first the periodicity from the daily values, and then linear regression analysis is applied first to order stationary data. MeanLin results are compared with the classical Angström-Prescott model. In the application, solar radiation site is considered from solar energy potential location in Turkey, namely, at Gaziantep city. Estimations by MeanLin model appears more successful than Angström-Prescott approach.

**Keywords:** Angström-Prescott; HarLin; Harmonic; PoLin; Radiation.

### 1. Giriş

Fosil yakıtların önümüzdeki elli yıl içerisinde tükenmesi beklendiğinden insanlar ciddi anlamda sürdürülebilir temiz enerji kaynaklarına yönelmişler ve bunlar üzerinde önemli çalışmalar ortaya koymuşlardır. Bunun yanında atmosferde çok fazla miktarda biriken ve iklim değişikliğini tetikleyen CO<sub>2</sub> miktarı yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmaların hızlanmasının önemli bir sebebidir. Özellikle de güneş enerjisi üzerine yapılan araştırmalar hem teorik olarak hem de teknolojik olarak bir hayli artmıştır.

Geçmişte ve günümüzde olduğu gibi gelecekte de en önemli enerji kaynağı olan güneş enerjisi için ışınım miktarını tahmin etmek ve bu konuda hataları en aza indirmek çözülmeyi bekleyen önemli bir sorundur. Bu konuda ilk çalışmaları yapan Angström (1924) güneşlenme süresine karşılık güneş ışınımını tahmin etmiştir. Prescott (1940) ise aynı denklemdeki ilgili değerleri atmosfer dışı ışınım ve güneşlenme süresi değerleri ile bölerek boyutsuzlaştırmıştır. Daha sonra bu doğrusal denklemi kullanarak bazı araştırmacılar ortaya birçok eser koymuşlardır (Page,1964; Sabbagh vd., 1977; Gopinathan, 1988; Wahap, 1993; Şahin ve Şen, 1998; Şen, 2001).

Bunların yanında doğrusal olmayan yani 2. dereceden (Ögelman vd., 1984) ve 3. dereceden denklemlerle (Samuel, 1991) ışınım tahmini yapılmıştır. Bazı araştırmacılar ise aynı girdi ve çıktıları kullanarak bulanık mantık (Şen, 1998; Güçlü vd., 2014a) ve yapay sinir ağlarıyla (Benghanem vd., 2009) tahmin yapmışlardır. Güçlü vd., (2014b) bugünün ışınım ve güneşlenme süresini bir önceki günün değerleri ile ilişkilendirerek bağımlılık modelini ortaya atmışlardır. Ancak, yapılan bu çalışmaların hiçbirinde zamansal salınımlar dikkate alınmamıştır.

Meteoroloji olaylarının zamanla değişiklik göstermesi dünyanın kendi eksenini ve güneş etrafında dönmesi sonrası ortaya çıkar. Yani gece ve gündüz değişimleri ile mevsimlerin birbirini takip etmesiyle günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık salınımlar görülmektedir. Meteorolojik bir olayın sonucu olarak güneş

ışınımında da aynı salınımlar görülmektedir. Öyle ki bu salınımları fark eden bazı araştırmacılar bir takım eserler ortaya koymuşlardır. Tıbbi görüntüleme, uzaktan algılama gibi önemli alanlarda faydalanılan sinüs ve kosinüs dalgalarını (harmonik çözümleme) kullanan Balling (1983), Amato et al. (1986), Baldasano and Berna (1988) ve Şahin vd. (2001) güneş ışınımıyla alakalı çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda kullanılan harmonik çözüm (analiz) tahmin için değil ilgili yerlerin ışınım durumunun resmini çekmek ve bu konuda umumi fikir vermek için kullanılmıştır. Güçlü vd. (2015) önerdikleri Harmonik Lineer (HarLin) model ile ışınım değerlerini az bir hata ile tahmin etmişlerdir. Karma bir model olan HarLin, harmonik çözümleme ve doğru şeklinde (lineer) bir model olan Angström-Prescott'i birlikte içermektedir. Benzer şekilde Güçlü (2019) Polinom Lineer (PoLin) modelini önermiştir ve harmonik yerine polinom denklem kullanarak karma modeli kurmuştur.

Bu eserin maksadı ise harmonik çözüm için ortalamalardan faydalanarak tahmin üretmeyi hedeflemektedir. Bu çalışmada Ortalamalar ve Angström-Prescott Lineer modelini (OrtLin) beraber kullanıp yeni bir model ortaya koyarak güneş ışınımı tahmin edilmiştir. Önerilen modelin tahminleri Angström-Prescott modelinin tahminlerinden çok daha iyi olduğu gösterilmiştir. Türkiye'nin Gaziantep ili için yapılan çalışmada tahminler günlük olarak yapılmış ve kıyaslanmıştır.

## 2. Yöntem

Güneş ışınımını tahmin etmek için birçok model ortaya atılmıştır. Bu çalışma kapsamında dört model dikkate alınarak birbiriyle kıyaslanmıştır. Angström-Prescott ve OrtLin olarak adlandırılan bu modeller farklı başlıklar altında aktarılmıştır. Modellerde güneş ışınımı tahmin edilirken girdi olarak güneşlenme süresi kullanılmıştır.

### 2.1 Angström-Prescott modeli

Güneş ışınımını tahmin eden ve doğrusal (lineer) bir model olan Angström (1924) denklemi bu konuda ortaya atılmış ilk modeldir. Prescott (1940) ise aynı denklemdeki ilgili değerleri atmosfer dışı ışınım,  $H_0$  ve güneşlenme süresi,  $S_0$  değerleri ile bölerek boyutsuzlaştırmıştır. Modelin ifadesi aşağıdaki gibidir ve ölçülmüş güneşlenme süresi,  $S$ 'ye karşılık ölçülmüş güneş ışınımı,  $H$  tahmin edilmektedir. Burada  $a$  ve  $b$  sabit ve boyutsuz katsayılardır.

$$\left( \frac{H}{H_0} \right) = a + b \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (1)$$

Bu ifadeden de görüleceği üzere denklem iki kısımdan meydana gelmektedir. Bunlar ideal yani önceden hesaplanmış olan atmosfer dışındaki güneşlenme süresi,  $S_0$ , güneş ışınımı,  $H_0$ , değerleri ve gerçekte ölçülen dünya yüzeyindeki değerlerdir ( $S$  ve  $H$ ). Dolayısıyla denklem boyutsuzlaştırılmıştır. Amaç, geçmiş verilerle  $a$  ve  $b$  katsayıları belirleyerek ilgili bölgenin güneş ışınım verimini (potansiyelini) ortaya koymaktır. Bunun yanında mevcut denklemle güneş ışınımı da tahmin edilebilmektedir.

### 2.2. OrtLin modeli

Güneşlenme süresi ve güneş ışınımı verilerinin saatlikten bir yıla varıncaya kadar temel sürede yapılmış gözlemlerde periyodik salınımların olduğu gerçeği vardır (Şen, 2002). Yine de periyodikliğin gözle görülmesi için eldeki veri dizisinin zamanla değişimini gösteren saçılma diyagramı elde edilmelidir ve böylece salınım teyit edilmelidir. Örneğin, modeli kurmak için  $n$  yıllık veri dizisi kullanılıyorsa veriler boyutsuzlaştırılmadan hem güneşlenme süresi hem de güneş ışınımı için yılın her bir gününün ortalaması alınır. Dolayısıyla  $n$  yıl sayısını belirtmek üzere  $365 \times n$  tane güneşlenme süresi ve buna karşılık ışınım verisi ortalamaları alınmış olarak  $365$  veriye indirgenir (Çizelge 1). Zaman serisinde  $n$  tane salınımdan meydana gelen diyagram yeni haliyle bir tane ortalama salınımdan müteşekkil olur. OrtLin modelinin ortalama hesaplama kısmı tamamlanmış ve artık karma modelin doğrusal (lineer) kısmı elde edilecektir.

Günlük ortalamaları alınmış güneşlenme süresi ve güneş ışınım verileri lineer çözümlemeye tabi tutulabilecek durumdadır. Bu aşamadan sonra ölçülmüş değerlerin ortalamasından,  $Y_{ort,i}$ , ölçülmüş değerler,  $Y_i$ , çıkarılarak eksili ve artılı yeni veri takımı ortaya çıkar. Bu veri dizisi,  $S_0$  ve  $H_0$  değerlerine bölünüp boyutsuzlaştırılarak yeni bir Angström-Prescott modeli kurulur. Bundan sonra model tahmin yapmaya hazır durumdadır. Tahmin için ilgili günün ortalama değeri çağırılır ve buna ek olarak fark değeri de (eksi veya artı) Angström-Prescott modelinden boyutlu hale getirilerek çağırılır. Bu iki modelden gelen toplam değeri de ilgili gün için tahmin mahiyetindedir.

Çizelge 1. Ortalama değerlerin hesaplanması

		Günler				
<b>Yıllar</b>		$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	.....	$Y_{1,364}$	$Y_{1,365}$
		$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	.....	$Y_{2,364}$	$Y_{2,365}$
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		$Y_{n-1,1}$	$Y_{n-1,2}$	.....	$Y_{n-1,364}$	$Y_{n-1,365}$
		$Y_{n,1}$	$Y_{n,2}$	.....	$Y_{n,364}$	$Y_{n,365}$
<b>Günlük ortalamalar</b>		$Y_{ort.1}$	$Y_{ort.2}$	.....	$Y_{ort.364}$	$Y_{ort.365}$

### 3. Uygulama

Bu çalışmanın uygulamasında kullanılan veriler Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmış olup Türkiye'nin Gaziantep ilinde ölçülen değerlerdir. Alınan veriler günlük olmanın yanında 2000-2010 yılları arasında elde edilmiştir. Dolayısıyla ölçüm noktasından alınan veri sayısı 4000 (365x11) civarındadır.

Gaziantep için modeller kurulurken, ilgili katsayılar elde edilirken ve eğitimler yaptırılırken 2000-2006 (365x7=2555) arası veriler kullanılıp geri kalanlar yani 2007-2010 (365x4=1460) arası ışınım değerleri tahmin edilmiştir.

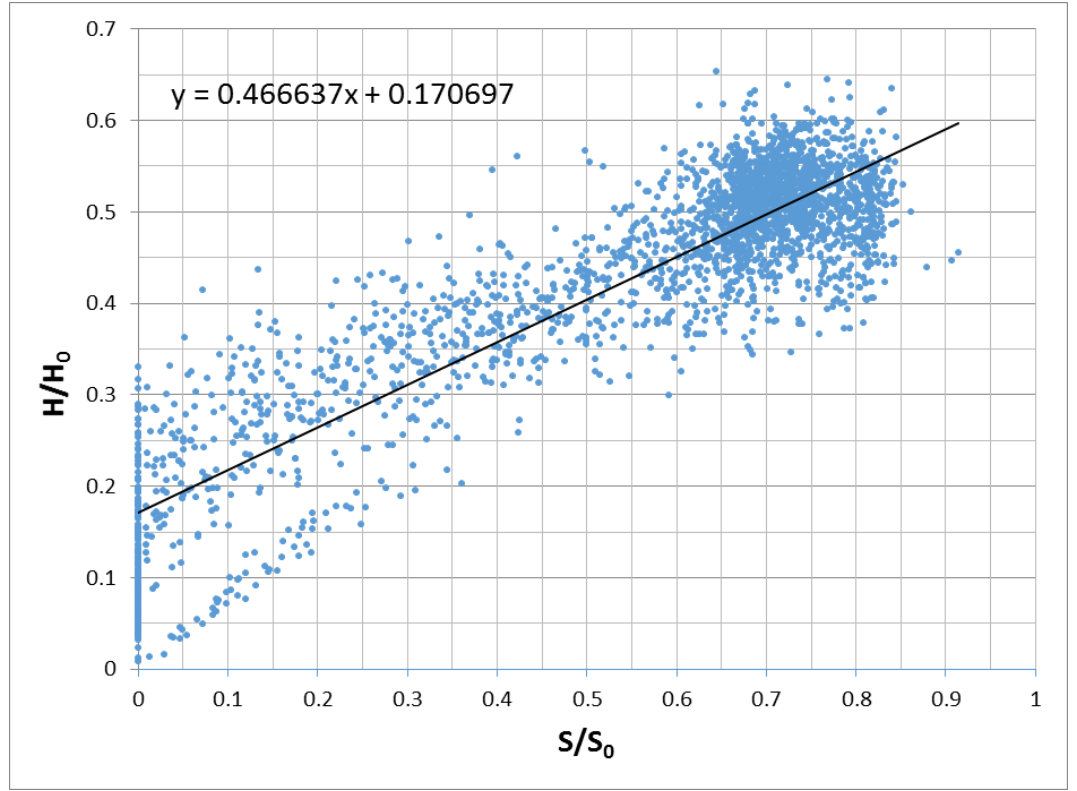
#### 3.1. Angström-Prescott modeli

Şekil 1'de yatayda boyutsuzlaştırılmış güneşlenme süresi değerleri düşeyde ise boyutsuzlaştırılmış ışınım değerleri olacak şekilde regresyon doğrusu çizilmiştir. Bu doğrunun eğimi yaklaşık 0.467 ve doğrunun düşey eksenini kestiği nokta ise yaklaşık 0.171 olduğuna göre Angström-Prescott denkleminin  $b$  ve  $a$  katsayıları belirlenmiş olur. Bu aşamadan sonra bu model ile tahmin aşamasına geçilmiştir. Tahmin aşamasından sonra ise tahmin edilmiş ışınım değerleri ölçülmüş mevcut değerlerle kıyaslanarak hata miktarları belirlenecektir.

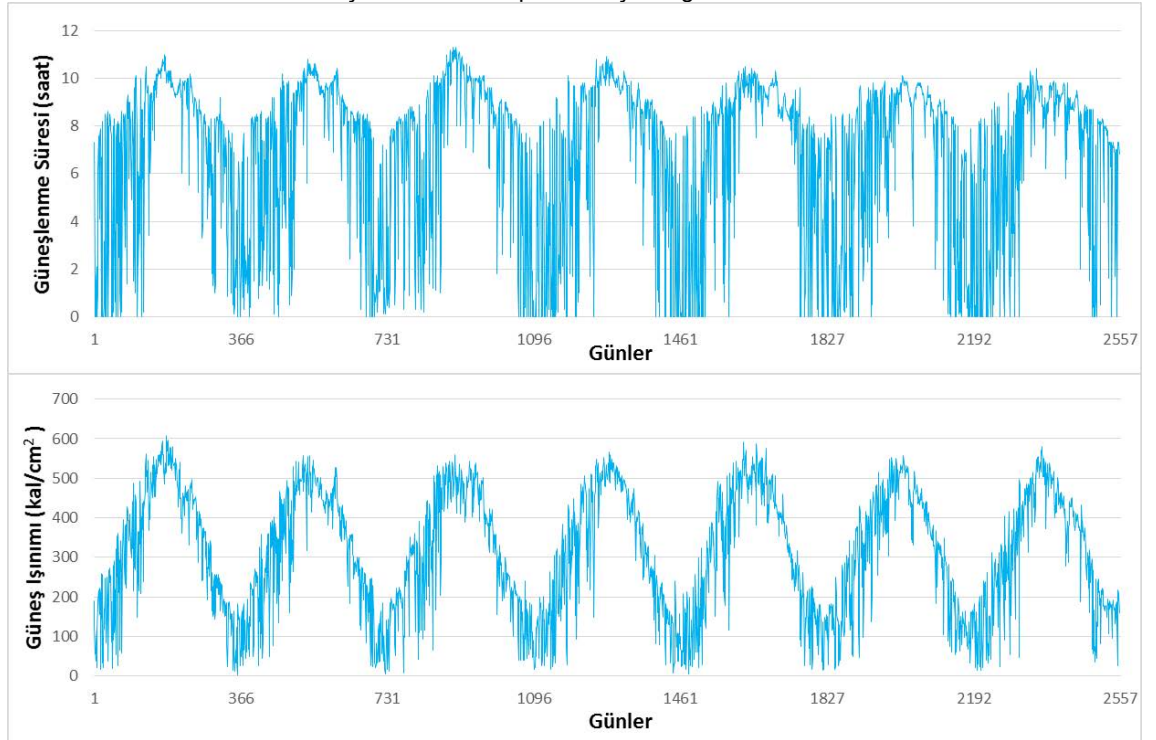
#### 3.2. OrtLin modeli

Angström-Prescott modelinde tek grafikte  $a$  ve  $b$  katsayıları belirlenmekte ve model kurulabilmektedir. OrtLin modelinin şekillenmesi için ise iki aşamaya ihtiyaç vardır ki böylece ortalama değerler ve OrtLin modelinin Angström-Prescott katsayıları ( $a$  ve  $b$ ) elde edilebilsin.

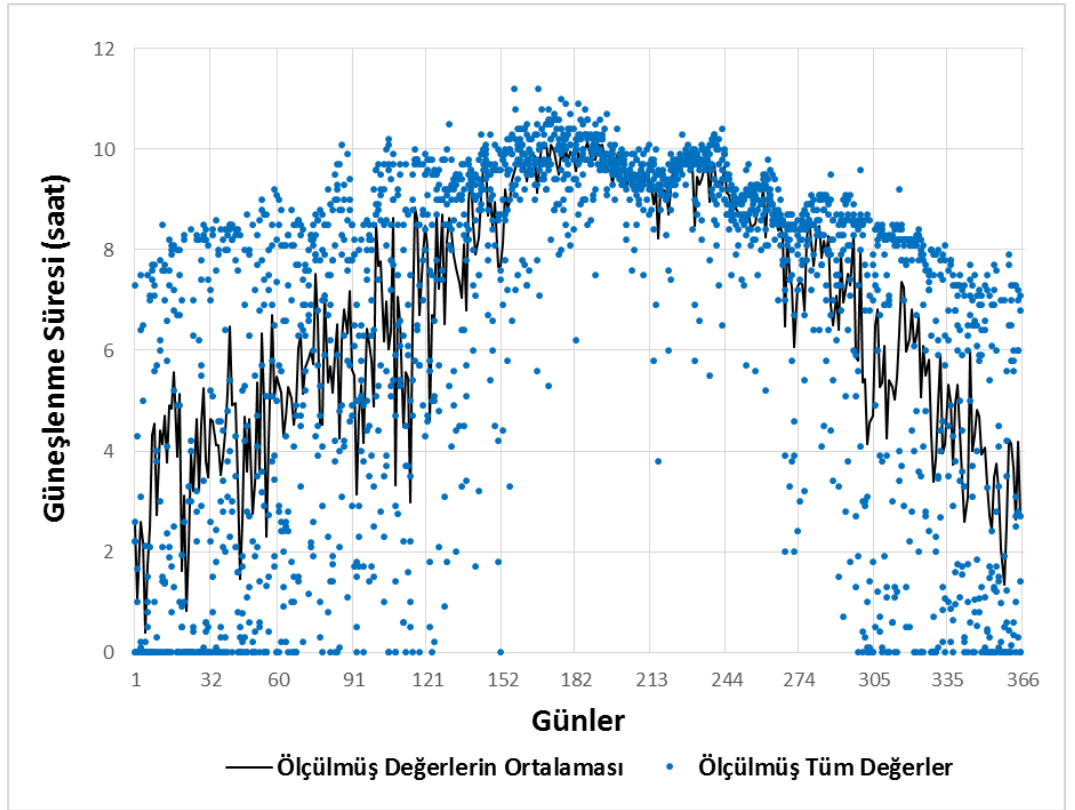
Her ne kadar güneşlenme süresi ve güneş ışınımının günlük ve aylık olarak belli bir periyoda sahip olduğu bilirse de ilk aşamada 7 yılın (2000-2006 arası) güneşlenme süresi ve güneş ışınımı değerlerinin günlük olarak zaman dizisindeki durumu gösterilmiştir (Şekil 2). Böylece her iki veri öbeğinin de yıllık olarak belli bir salınıma sahip olduğu teyit edilmiştir. Sonra bu 7 yıllık veriler, günlük ortalamaları alınarak şekiller üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3 ve 4).



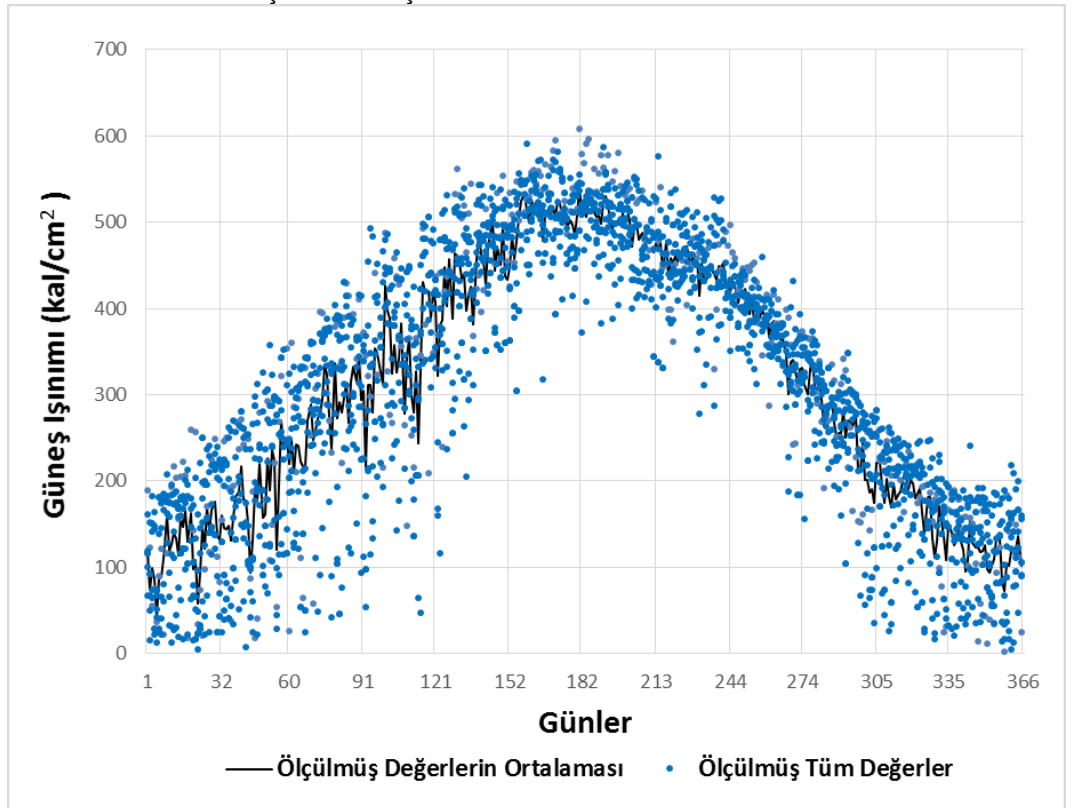
Şekil 1. Gaziantep verileri için Angström-Prescott modeli



Şekil 2. 2000-2006 yılları arasında ölçülmüş verilerin zaman dizisi

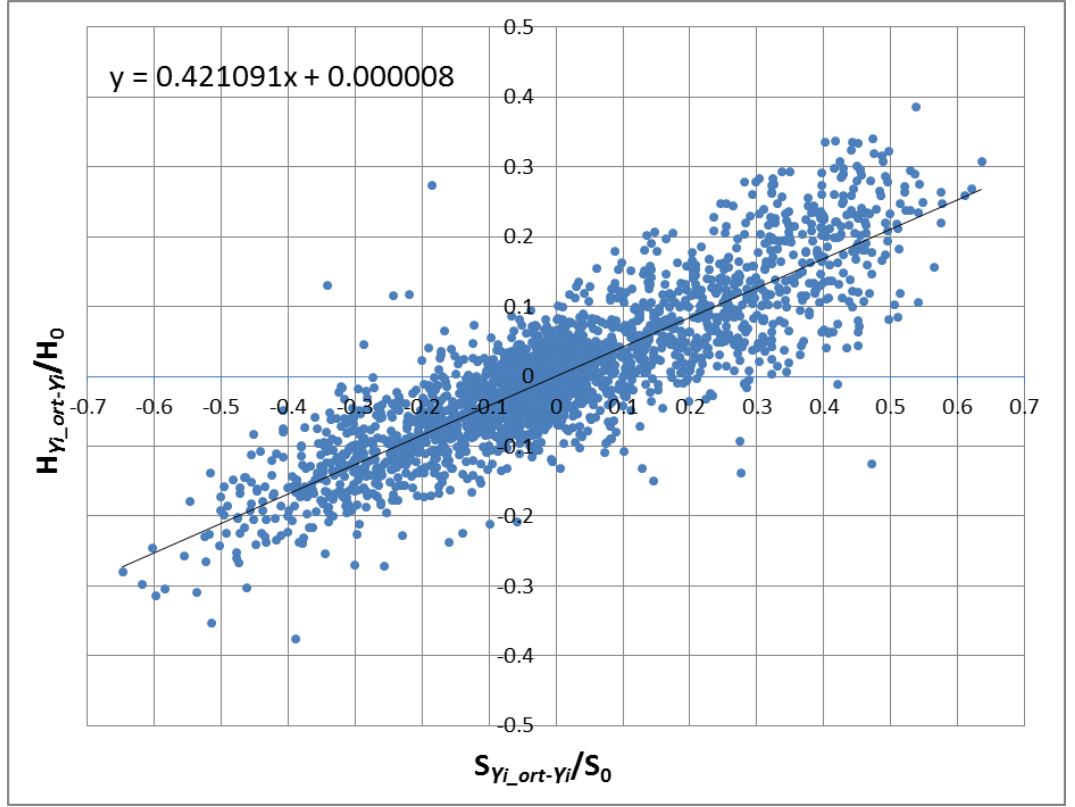


Şekil 3. Güneşlenme sürelerinin ortalamalarının alınması



Şekil 4. Güneş ışınımının ortalamalarının alınması

Bu aşamadan sonra ölçülmüş değerlerin ortalamasından,  $Y_{ort,i}$ , günlük her bir değer,  $Y_i$ , çıkarılarak eksili ve artılı yeni veri takımı ortaya koyulmuştur. Bu veri dizisi  $S_0$  ve  $H_0$  değerlerine bölünüp boyutsuzlaştırılarak yeni bir Angström-PreScott modeli kurulmuştur (Şekil 5). Bu model için çizdirilen doğrunun eğimi yaklaşık 0.421 ve doğrunun düşey eksenini kestiği nokta ise 0.000008 olduğuna göre OrtLin modelinde kullanılacak Angström-PreScott denkleminin  $b$  ve  $a$  katsayıları belirlenmiş olur.

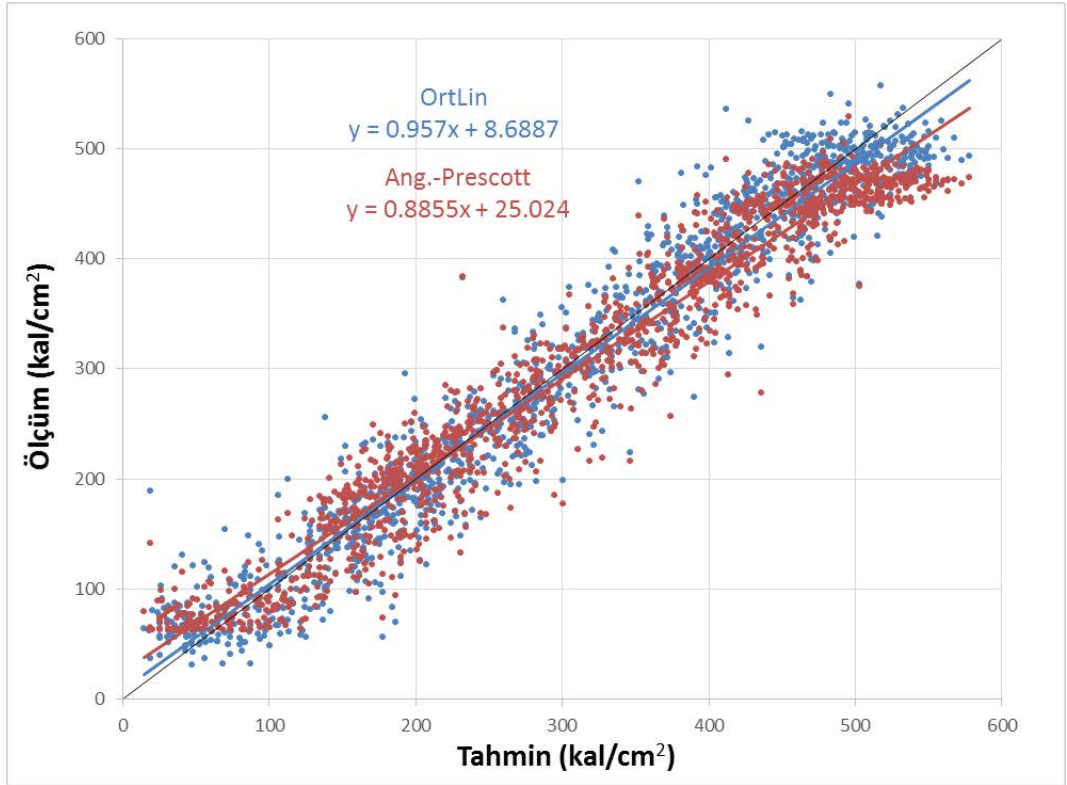


Şekil 5. Fark değerler için Angström-Prescott modeli

Bundan sonra Angström-Prescott ve OrtLin modeli tahmin yapmaya hazır durumdadır. Yöntem kısmında aktarıldığı gibi her iki modelle tahminler gerçekleştirilmiş ve hatalar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Hatalar hesaplanırken ortalama mutlak hata, OMH, ifadesi kullanılmıştır.

$$OMH = \frac{1}{n} \sum \sqrt{(\text{Ölçülmüş Değer} - \text{Tahmini Değer})^2} \quad (2)$$

Her gün için hata hesaplanıp toplanmıştır ve veri sayısına, n, bölünmüştür. Burada geliştirilmiş olan OrtLin modelinin hata miktarı yaklaşık 27.4 cal/cm<sup>2</sup>, Angström modelinin hata miktarı ise 28.7 cal/cm<sup>2</sup> kadardır. Dolayısıyla OrtLin modeli Angström-Prescott modeline nazaran yaklaşık ((28.7-27.4)/27.4)x100≈5) %5 daha az hatalıdır. Ayrıca Şekil 6 üzerinde yapılan görsel kıyaslama OrtLin modelinin üstünlüğünü açıkça göstermektedir. OrtLin modelinden elde edilen tahminlerin eğrisi tahmin-ölçüm grafiğindeki 1:1 mükemmeliyet doğrusuna daha yakındır.



Şekil 6. İki modelin 1:1 mükemmeliyet doğrusuna göre kıyaslanması

## 4. Sonuç

Özellikle fosil yakıtların azalması sebebiyle insanlar yeni enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır. Bu kaynakların başında gelen ve diğer temiz enerji kaynaklarının da ana kaynağı olan güneş enerjisi artık ciddi anlamda dikkate alınmaya başlanmıştır. Dolayısıyla, güneş enerjisi için ışınım miktarlarını hesaplamak, tahmin etmek ve tahminlerde yapılan hataları en aza indirmek çözülmeyi bekleyen önemli sorunlardan biridir. Çünkü belli bir bölgede güneş enerjisi verimini (potansiyel) belirleyerek ilgili bölgede enerji yol haritaları ortaya koyulacak ve buna göre çalışmalar yürütülecektir.

Güneş ışınımını en iyi şekilde ve en az hata ile tahmin etmek için birçok model önerilmiştir. Öyle ki; birinci, ikinci ve üçüncü dereceden denklemlerden çağdaş yöntemler olan bulanık mantık ve yapay sinir ağlarına varıncaya kadar çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlara ek olarak harmonik çözümler ile de güneş ışınımı tahminleri ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmada OrtLin ve Angström-Prescott modelleriyle güneş ışınımı tahmini yapılmış ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Angström-Prescott denklemi güneşlenme süresine karşılık ışınım değerlerinin tahmin edildiği doğrusal (lineer) bir denklem olmakla birlikte OrtLin modeli ise Angström-Prescott modelinin bir adım daha ileriye götürülmüş halidir denebilir.

Günlük salınım ve Angström-Prescott modelini birlikte içeren OrtLin modeli kurulurken ölçülmüş değerlerin öncelikle salınımdan arındırılması ve sonra Angström-Prescott modelinin kurulma düşüncesi yatmaktadır. Bu sebeple model, Angström-Prescott denkleminin gelen  $a$  ve  $b$  katsayılarının yanı sıra çok kolay bir şekilde elde edilen günlük ortalama değerleri de barındırmaktadır.

Önerilen yeni modelin tahminleri, yapılan uygulamalar neticesinde bilindik bir model olan Angström-Prescott modelinin tahminlerine kıyasla çok daha iyi sonuçlanmıştır. Çünkü yeni yöntem sayesinde hatalar diğer modele nazaran yaklaşık %5 daha da azaltılmıştır. Angström-Prescott modelinin kullandığı aynı verileri esas alınarak tahminlerin iyileşmesine vesile olan OrtLin modeli Angström modeline kıyasla daha iyi sonuçlar vermektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma 24-26 Ekim 2016 tarihleri arasında İstanbul'da düzenlenen 10. Uluslararası Temiz Enerji Sempozyumu (UTES'10)'nda sunulmuştur ve Su Vakfı bünyesinde basılan İklim Değişikliği ve Çevre Dergisinde yayınlanmak üzere seçilmiştir.

## 6. Kaynaklar

- Amato U., Andretta A., Banoli B., Coluzzi B., Cuomo V., Fontana F., Serio C., (1986) Markov processes and Fourier analysis as a tool describe and simulate Daily solar irradiance. Solar Energy 37(3):179-94.
- Angström, A. (1924) Solar terrestrial radiation, Q J R Meteorol. Soc., 50:121-126.

- Baldasano J.M., Clar J, Berna A., (1988) Fourier analysis of Daily solar radiation data in Spain. *Solar Energy* 41(4):327-34.
- Balling R., Cerveny R.S., (1983) Spatial and temporal variations in long-term normal percent possible solar radiation levels in the United States. *J Climate Appl Met* 22:1726-32.
- Benghanem M., Mellit A., and Alamri S.N., (2009) ANN-based modelling and estimation of daily global solar radiation data: A case study, *Energy Conversion and Management*, 50:1644–1655.
- Gopinathan, K. K., (1988) A general formula for computing the coefficients of the correlation connecting global solar radiation to sunshine duration, *Solar Energy*, 41:499–502.
- Güçlü, Y. S., Yeleğen, M. Ö., Dabanlı, İ., Şişman, E., (2014a) Solar Irradiation Estimations and Comparisons by ANFIS, Angström-Prescott and Dependency Models, *Solar Energy*, 109:118-124.
- Güçlü, Y. S., Dabanlı, İ., Şişman, E., (2014b) Short- and Long-Term Solar Radiation Estimation Method, *Progress in Exergy, Energy, and the Environment*, DOI 10.1007/978-3-319-04681-5\_48, Springer, 48.
- Güçlü, Y. S., Dabanlı, İ., Şişman, E., Şen, Z., (2015) HARMONIC-LINEAR (HarLin) model for solar irradiation estimation, *Renewable Energy*, 81: 209-218.
- Güçlü, Y. S. (2019) Angström-Prescott Modelinin Polinom ile Geliştirilmesi ve Diyarbakır Güneş Işınımı Verilerine Uygulanması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi* 7(1): 75-88.
- Ögelman, H., Ecevit A., and Taşemiroğlu, E. (1984) Method for estimating solar radiation from bright sunshine data, *Solar Energy*, 33:619–625.
- Page, J. K. (1964) The estimation of monthly ea values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N–40°S, *Proceedings of the UN conference on new sources of energy*, paper no. 598, 4, pp 378–390.
- Prescott J. A. (1940) Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. Roy. Soc. S. A.* 64: 114-18.
- Sabbagh, J. A., Sayigh, A. A. M., and El-Salam, E. M. A. (1977) Estimation of the total solar radiation from meteorological data, *Solar Energy*, 19: 307-311. 13.
- Samuel T. D. M. A. (1991) Estimation of Global Radiation for Sri Lanka, *Solar Energy*, 45, 5, 333.
- Şahin, A. D., Kadioğlu, M., and Şen, Z. (2001) Monthly clearness index values of Turkey by harmonic analysis approach, *Energy Conversion Management* 42:933-940.
- Şahin, A. D., and Şen, Z. (1998) Statistical analysis of the Angström formula coefficients and application for Turkey, *Solar Energy*, 62:29–38.
- Şen, Z. (2001) Angström equation parameter estimation by unrestricted method, *Solar Energy*, 71:95–107.
- Şen, Z. (1998) Fuzzy algorithm for estimation of solar irradiation from sunshine duration, *Solar Energy*, 63:39–49.
- Şen., Z., (2002) "İstatistik Veri İşleme Yöntemleri", Su Vakfı Yayınları, pp.243.
- Wahab, A. M. (1993) New approach to estimate Angström coefficients, *Solar Energy*, 51:241–245.