

# Yüzeye gelen güneş enerjisini uydu verisi kullanarak tahmin eden bir modelin Angström tipi modellerle karşılaştırılması.

H.Mustafa KANDIRMAZ <sup>1\*</sup>, Bülent G. AKINOĞLU <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 01330, Balcalı, Adana

<sup>2</sup> O.D.T.Ü, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 06531, Ankara

## Özet

Angström tipi korelasyonlar yüzeye gelen güneş enerjisini hemen hemen tüm meteoroloji istasyonlarında ölçülebilen güneşlenme süresini kullanarak büyük bir doğrulukla tahmin edebilmektedir. Güneş enerjisinin ölçümünün yapılamadığı veya tahmininde kullanılan bir parametrenin direkt olarak ölçülemediği bölgeler için güneş enerjisinin değeri ekstrapolasyon veya interpolasyon teknikleri kullanılarak belirlenmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar uydu verileri kullanılarak yapılan çalışmaların ölçüm yapılamayan alanlar için ekstrapolasyon veya interpolasyon tekniklerinden daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu çalışmadaki amaç ise sadece güneşlenme süresinin ölçülebildiği bölgeler için Angström tipi modellerin ve uydu görüntüsünü kullanan bir modelin performanslarını birbirleriyle kıyaslamaktır. Yapılan çalışmada Angström tipi korelasyonların uydu verisini kullanan modelden daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Gün içerisinde alınan görüntü sayısının ve uydunun yersel ayırma gücünün artmasıyla uydu verisi kullanan modelin performansı artacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi tahmini, Uydu verisi kullanan model, Angström tipi modeller, güneşlenme süresi.

## Comparison of a satellite based estimation model of daily global solar radiation with Angström type equations.

### Abstract

*The global solar radiation over an area can be successfully estimated by using Angström type correlations, which use sunshine duration data that are available almost in all meteorological stations. Interpolation and extrapolation techniques are used to predict the solar radiation for regions where no direct measurement of solar radiation or sunshine duration exists. Many studies have indicated that irradiation estimated by using satellite data is much accurate than from interpolation and extrapolation techniques. The aim of study is to compare the performance of a satellite based model to estimate monthly average daily solar radiation values and Angström-type equations which use surface measurements of bright sunshine hours. Our results showed that Angström type correlations have relatively better performance than the satellite based model. We believe that an increase in the number of images and spatial resolution may considerably increase*

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: H.Mustafa KANDIRMAZ mkandirmaz@cu.edu.tr; Tel: (322) 338 60 84/2480.

*the performance of satellite-based models in the estimation of long-term average solar radiation values on the earth surface*

**Keywords:** *Estimation of global solar radiation, satellite based model, Angström type correlations, and sunshine duration*

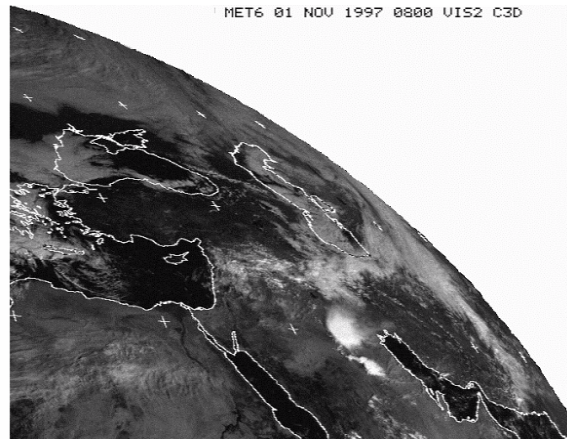
## Giriş

Yer yüzeyine ulaşan güneş enerjisinin zamansal ve alansal dağılımının saptanması iklim, mühendislik, çevre uygulamaları ve daha birçok farklı alan için büyük önem taşımaktadır. Bunu yapabilmenin en iyi yolu yüzeğe gelen güneş enerjisinin direkt olarak ölçülümüdür. Güneş enerjisi ölçümleri yaygın olarak aktinograflarla yapılmaktadır. Kalibrasyon problemlerinden dolayı bu aletlerle yapılan ölçümlerin hata oranı oldukça yüksektir. Daha güvenilir ölçümler piranometrelerle yapılabilmektedir ancak bu aletler çok pahalı olduğundan çok az sayıdaki istasyonda mevcuttur. Dahası yüzeyde yapılan ölçümler noktasaldır. Yani istasyonlar arası ölçüm yapılamadığından bu bölgeler kendilerine en yakın istasyon değerleri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Dolayısıyla istasyonlar arası uzaklık arttıkça tahminlerdeki hata oranı da o derece artmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar uydu verileri kullanılarak yüzeğe gelen güneş enerjisinin % 10 civarında bir hata ile tahmin edilebileceğini göstermiştir (Cano vd (1986), Diabate vd (1989), Janjai vd (2004), Kandırmaz vd (2004)). Ayrıca eğer istasyonlar arası uzaklık saatlik tahminler için 34 km ve günlük tahminler için 50 km den fazla ise uydu verisi kullanılan modeller daha iyi sonuç vermektedir (Zelenka vd (1992-1999)). İstasyonlar arasındaki uzaklık çoğu zaman bu değerlerden daha fazla olduğundan uydu tabanlı modellerin diğer modellere olan üstünlüğü kesindir. Bu çalışmadaki amaç ise hemen hemen tüm meteoroloji istasyonlarında doğru olarak ölçülebilen bir parametre olan güneşlenme süresinin ölçülebildiği bölgeler için Angström tipi modellerle ve uydu görüntüsünü kullanan modellerin performanslarını karşılaştırmaktır.

## Çalışma alanı ve uydu verileri

Çalışmada Türkiye'yi içerisine alan Meteosat uydusu C3D görünür bölge (0.4–1.1 µm) verileri kullanılmıştır (Şekil1).



Şekil 1 Meteosat görünür bölge C3D görüntüsü

1997 Temmuz ile 1998 Nisan ayı arasında Çukurova Üniversitesi UZAYMER de gün içerisinde maksimum dört kez alınan veriler içerisinde sadece Türkiye kalacak şekilde kesilmiş ve geometrik olarak düzeltilmiştir. Piksellerin yersel çözünürlüğü yaklaşık 7 km x 7 km dir. Güneş enerjisi ve güneşlenme süresi değerleri Devlet Meteoroloji istasyonlarından sağlanmıştır. Şekil 2’ de çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları görülmektedir.



Şekil 2 Çalışmada güneş enerjisi ve güneşlenme süresi ölçümleri kullanılan Devlet Meteoroloji İstasyonları. (•) noktayla gösterilen istasyonların verileri modelleri oluşturmak için (•) noktalarla gösterilen istasyonların verileri modelleri test etmek için kullanılmıştır.

## Modeller

### Uydu verisi kullanan model

METEOSAT, GMS ve GOES gibi yer uyumlu meteorolojik uydular yer yüzeyindeki aynı bölgeyi gün içerisinde defalarca algılama olanaklarına sahiptir. Bu uyduların gözlem periyotları 30 dakika ile 3 saat arası, piksel çözünürlükleri (subsattellite) 1 ila 5 km arasında değişmekte ve görünür ve kızıl ötesi bölgede algılama yapabilmektedir. Sürekli aynı yeri gözledikleri için büyük alanlar üzerindeki bulut hareketleri kolaylıkla izlenilebilmektedir.

Bulut yüzeye gelen güneş enerjisini azaltan etkenlerden en önemlisidir. Eğer bir alan üzerindeki bulutluluk oranı biliniyorsa o alan üzerine gelen güneş enerjisi tahmin edilebilir. Meteosat görünür bölge görüntüleri kullanılarak bir piksel üzerinde herhangi bir andaki bulutluluk indeksi (oranı),  $n$ , aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$n = \frac{\rho - \rho_{ga}}{\rho_{cm} - \rho_{ga}} \quad (1)$$

Burada  $\rho$  pikselin ilgilenilen andaki parlaklığı,  $\rho_{ga}$  aynı pikselin üzerinde hiç bulut olmadığı andaki parlaklığı ve  $\rho_{cm}$  yine aynı pikselin tamamıyla bulutla kaplı olduğu andaki parlaklığıdır.  $\rho_{ga}$  ve  $\rho_{cm}$  eldeki görüntülere iteratif filtre uygulanarak elde edilebilir (Cano vd (1986), Diabate vd (1989)). Burada  $n$  in değeri sıfır ile bir arasında değişir. Eğer  $n$  sıfıra eşitse piksel üzerinde hiç bulut yok eğer  $n$  bire eşitse pikselin tümü bulutla kaplı demektir. Gün içerisinde her yarım veya bir saatte bir görüntü alınabilirse bir gün içerisindeki bulutluluk indeksi değerleri ile atmosferik geçirgenlik

arasında bir ilişki kurmak ve saatlik güneş enerjisini tahmin etmek mümkün olabilmektedir. Ancak çalışma sırasında gün içerisinde maksimum dört görüntü alınabilmektedir. Bu sayıdaki görüntü saatlik enerjinin tahmini için yeterli değildir. Bundan dolayı saatlik yerine günlük enerjinin tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Günlük ortalama bulutluluk indeksinin günlük atmosferik geçirgenlikle arasındaki istatistiksel ilişki şu şekilde bulunmuştur:

$$H/H_o = b' - a' n_t \quad (2)$$

Burada  $H$  yatay yüzeyde ölçülen güneş enerjisi,  $H_o$  atmosfer dışında yatay yüzeye gelen enerji değeri,  $n_t$  günlük ortalama bulutluluk indeksi ve  $a'$  ve  $b'$  regresyon katsayılarıdır.  $H_o$  teorik olarak hesaplanabilmektedir (Duffie ve Beckman (1986). Günlük ortalama bulutluluk indeksinde aynı gün içerisindeki bulutluluk indekslerinin ortalaması alınarak bulunabilir (Kandırmaz vd (2004), Kandırmaz (2006)):

$$n_t = \frac{1}{z} \sum_{k=1}^{k=z} n_k \quad (3)$$

Buradan  $z$  gün içerisinde kaydedilen görüntü sayısı,  $n_k$   $k$  görüntüye ait bulutluk indeksi değeridir. Bütün pikseller için  $n_t$  uydu verilerinden,  $a$  ve  $b$  de regresyondan belirlenebildiği için istenilen piksel için yüzeye gelen günlük toplam güneş enerjisi Eşitlik 2 kullanılarak elde edilebilir.

#### Angström tipi modeller

Angström (1924) güneşlenme süresiyle yüzeye gelen güneş enerjisi arasında aşağıdaki gibi bir istatistiksel ilişki olduğunu göstermiştir

$$H/H_c = a + bs/S \quad (4)$$

Burada  $s$  ölçülen güneşlenme süresi,  $S$  güneşin doğuşundan batışına kadar geçen süre,  $H$  yatay yüzeye gelen güneş enerjisi ve  $H_c$  bulutsuz ortamda yatay yüzeye gelen güneş enerjisidir. Prescott (1940)  $H_c$ ' nin yerine atmosfer dışında yatay yüzeye gelen enerjiyi  $H_o$  koyarak denklemi aşağıdaki şekilde revize etmiştir

$$H/H_o = a + bs/S \quad (5)$$

Denklem 4 veya 5 te yer alan katsayılar  $a$  ve  $b$  ilgilenilen bölgenin iklimsel ve coğrafik konumuna göre değişebilmektedir (Iziomon ve Meyer, 2001). Daha sonra güneşlenme süresi ile yüzeye gelen güneş enerjisinin arasındaki istatistiksel ilişkinin kuadratik (Akinoğlu ve Ecevit, (1990a), Ögelman vd (1984)), kübik (Samuel 1991), logaritmik (Almorox J ve Hontoria C. 2004) veya üstel olabileceği çok sayıda araştırmacı tarafından ispatlanmıştır. Fakat bunların içerisinde en fazla tercih edilenleri lineer ve kuadratik olanlardır. Kuadratik denklem şu şekilde verilebilir:

$$H/H_o = a + b(s/S) + c (s/S)^2 \quad (6)$$

Burada  $a$ ,  $b$  ve  $c$  regresyon sabitleridir.

#### İstatistiksel performans testleri

Modellerin performansı RMSE, MBE ve MAE kullanılarak belirlenmiştir. Matematiksel olarak ifadeleri aşağıdaki şekilde verilir

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N (H_{ic} - H_{im})^2 / N} \quad (7)$$

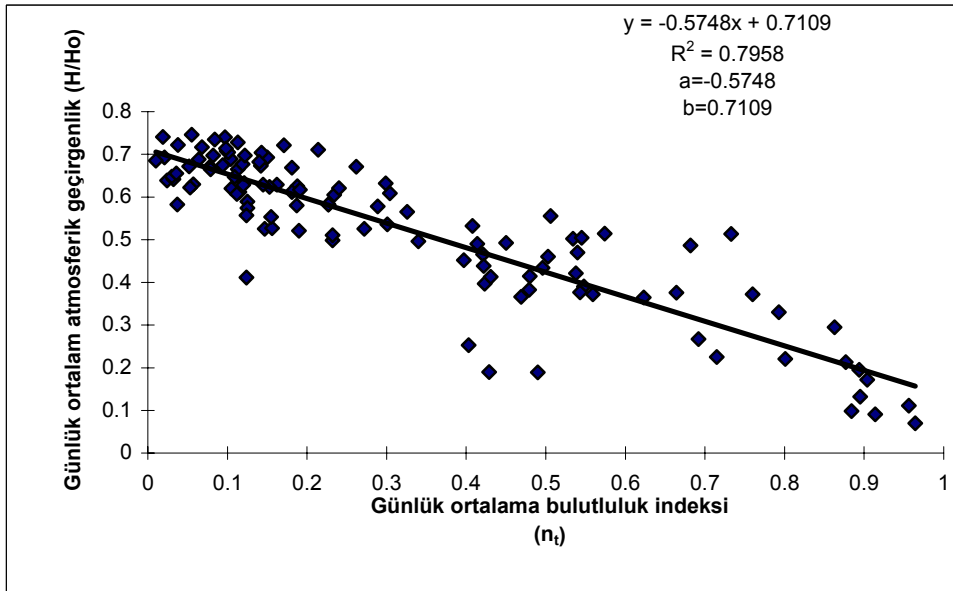
$$MBE = \sum_{1}^N (H_{ic} - H_{im}) / N \quad (8)$$

$$MAE = \sum_{1}^N |(H_{ic} - H_{im})| / N \quad (9)$$

Burada  $H_{ic}$  hesaplanan güneş enerjisi değeri,  $H_{im}$  ölçülen güneş enerjisi değeri ve  $N$  toplam veri sayısını göstermektedir. RMSE testi genellikle kısa dönem performans testinde başarılıdır her zaman sıfırdan büyüktür. Küçük RMSE değerleri modelin performansının iyi olduğunu büyük RMSE değerleri modelin performansının kötü olduğunu gösterir. Diğer taraftan MBE uzun dönemli performans ölçümünde daha iyi sonuçlar verir. İdeal değeri sıfırdır, sıfırdan büyük veya küçük olabilir. Eğer sıfırdan büyük ise kullanılan model ölçülen değerden daha yüksek değerler üretmiş yok eğer sıfırdan küçük ise model ölçülen değerden daha düşük değerler üretmiş demektir. MAE MBE nin mutlak değerinin alınmasıyla bulunur ve ölçülen değerden hangi büyüklükte uzaklaşıldığını gösterir.

## Sonuçlar

Çalışmanın ilk aşamasında Meteosat C3D verileri bilgisayarlara aktarılmış ve içerisinden ilgilenilen alan Türkiye seçilmiştir. 20 adet yer kontrol noktası kullanılarak görüntüler 1.3 rms piksellik bir hata ile geometrik olarak düzeltilmiştir. Önce bulutluk indeksi daha sonrada günlük ortalama bulutluluk indeksleri bulunmuştur. Şekil 4a. da 16.08.97 tarihinde saat 11 de alınan görüntünün bulutluluk indeksi Şekil 4b de 16.08.97 gününe ait ortalama bulutluk indeksi örnek olarak verilmiştir. Günlük ortalama bulutluluk indeksi ile atmosferik geçirgenlik arasındaki istatistiksel ilişki Şekil 2’de (•) noktalarla gösterilen yedi istasyonun güneş verileri kullanılarak test edilmiş ve bu ilişkinin lineer olduğu saptanmıştır. 1998 Nisan ayına ait örnek Şekil 3’ te verilmiştir. Her ayı temsil eden regresyon sabitleri bulunmuştur. Bu sabitler kullanılarak Diyarbakır

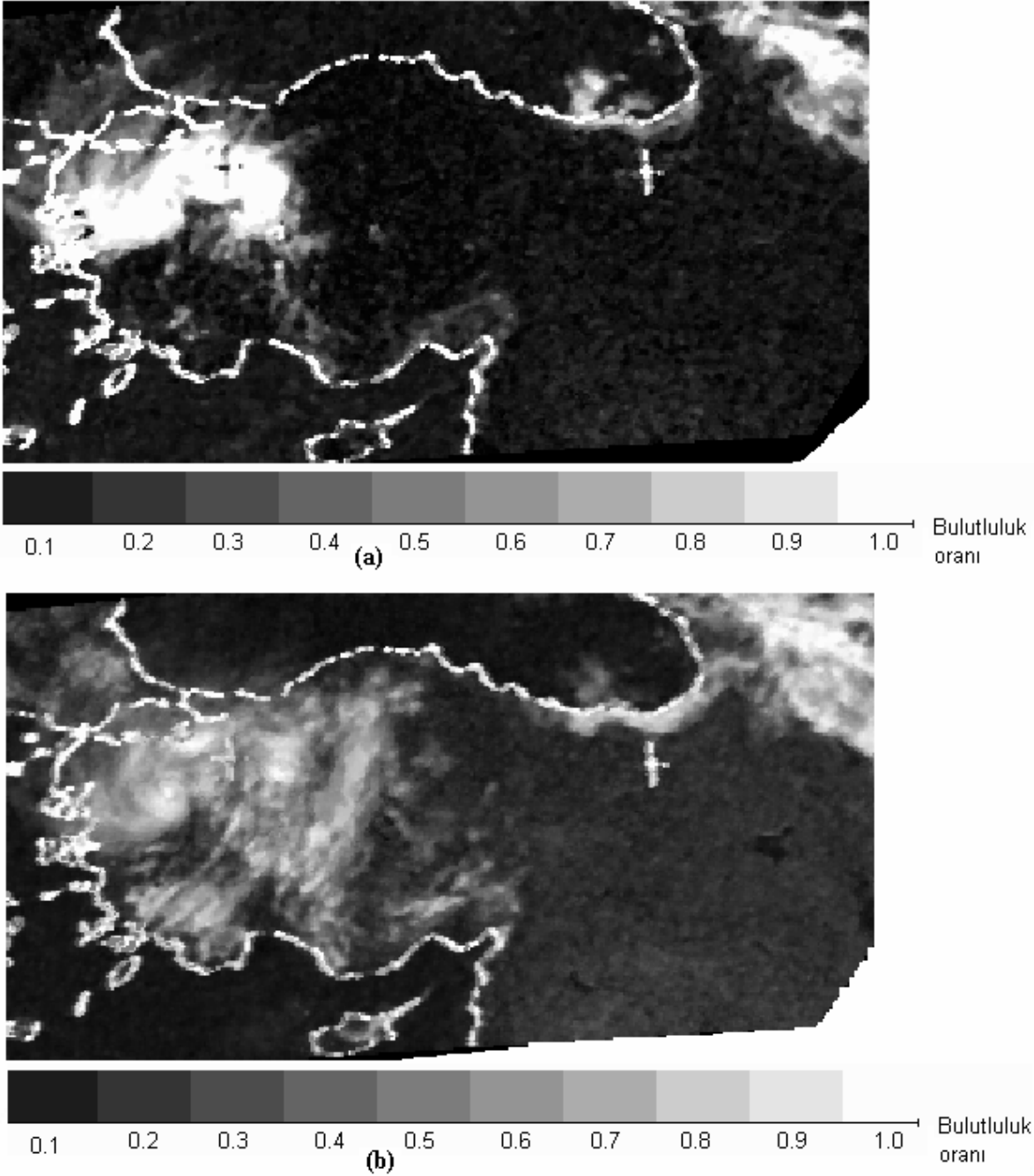


Şekil 3. Günlük ortalama bulutluluk indeksi ile atmosferik geçirgenlik arasındaki ilişki

Kayseri ve Kütahya illeri üzerine gelen güneş enerjileri tahmin edilmiştir. Yine yedi istasyonda ölçülen güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri kullanılarak Angström tipi lineer (A-LİNEER) ve kuadratik (A-KUADRATİK-1) denklemler aşağıdaki şekilde bulunmuştur:

$$H/H_o = 0.2329 + 0.5097s/S \quad (10)$$

$$H/H_o = 0.1974 + 0.7964s/S - 0.306 (s/S)^2 \quad (11)$$



Şekil 4. (a) 16.08.97 tarihinde saat 11 de alınan görüntünün bulutluluk indeksi  
(b) 16.08.97 gününü temsil eden ortalama bulutluk indeksi.

Bu denklemlerin ilinti katsayıları (correlation coefficient (R)) sırasıyla 0.8821 ve 0.8861'dir. Yukarıdaki denklemler ve onlara ek olarak Akınoğlu ve Ecevit (1990a, 1990b) tarafından dünyanın değişik bölgesindeki 100 adet istasyon verileri kullanılarak elde edilen diğer bir denklem (A-KUADRATİK-2) :

$$H/H_o = 0.145+0.845(s/S)-0.280 (s/S)^2 \quad (12)$$

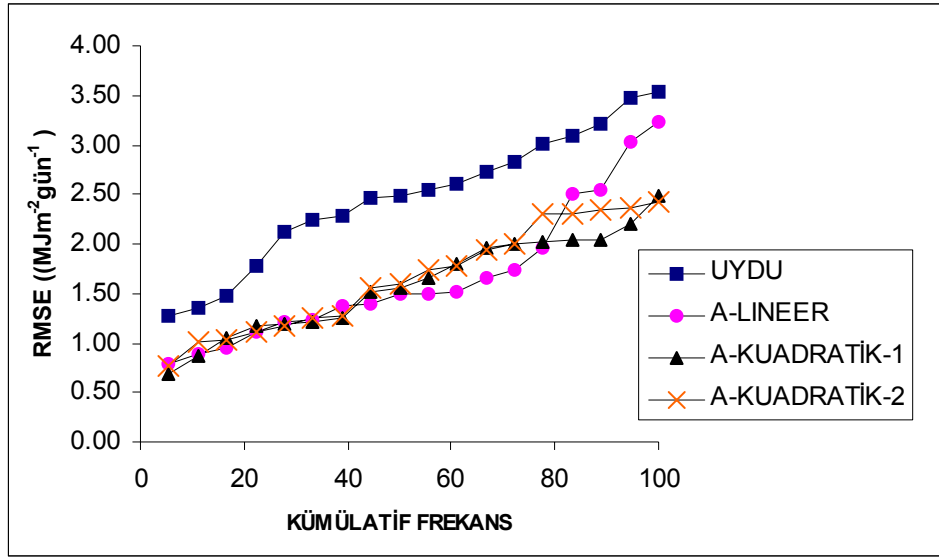
kullanılarak Diyarbakır, Kayseri ve Kütahya illeri üzerine gelen güneş enerjileri tahmin edilmiştir. Bu üç modelin karşılaştırılması Tablo 1, Tablo 2, Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmiştir. Şekillerden ve Tablolardan rahatlıkla görüldüğü gibi uydu görüntüsü kullanan modelin ürettiği RMSE, MAE ve MBE değerleri Angström tipi denklemlerin ürettiği değerlerden biraz daha yüksektir. Angström tipi denklemler genelde birbirine yakın performans sergilemiştir. Aslında bu sonuç normal karşılanabilir. Çünkü bulut hareketlerinin çok hızlı geliştiği günlerde sadece dört görüntü bulutluluk indeksini tanımlamada yetersiz kalmaktadır. Buna rağmen elde edilen sonuçlar uydu modelinin performansının çok da kötü olmadığını göstermiştir. Diğer taraftan güneşlenme süresi yer istasyonlarında yaklaşık olarak gün doğumundan batımına kadar sürekli olarak kaydedilmektedir. Yersel piksel çözünürlüğünün de yüksek olması uydunun diğer bir dezavantajıdır. Sonuç olarak, herhangi bir bölge için eğer güneşlenme süresi doğru olarak ölçülebiliyor ve o bölge için uydudan

Tablo 1. Modellerden elde edilen RMSE değerleri (bütün değerler  $MJm^{-2}gün^{-1}$ )

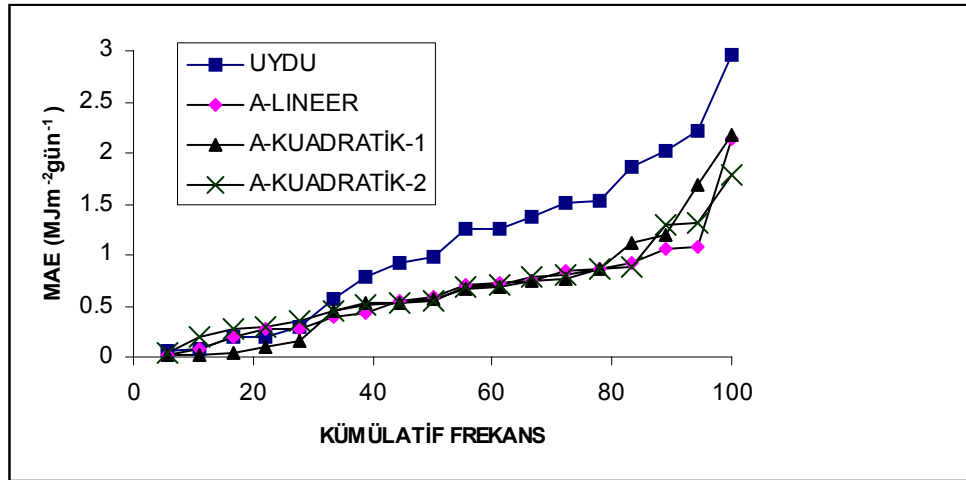
		Ağustos (1997)	Eylül (1997)	Ekim (1997)	Kasım (1997)	Nisan (1998)	Mayıs (1998)
UYDU	Diyarbakır	1.48	3.47	2.47	2.12	2.61	3.10
	Kayseri	1.78	2.74	2.24	1.36	2.55	3.54
	Kütahya	2.82	1.28	3.20	2.48	2.28	3.00
A-LINEER	Diyarbakır	1.39	1.23	2.55	1.11	1.66	1.74
	Kayseri	1.52	0.96	1.37	0.89	1.96	1.50
	Kütahya	2.51	1.49	1.21	0.78	3.03	3.23
A-KUADRATİK-1	Diyarbakır	1.21	2.03	2.48	1.17	2.19	1.96
	Kayseri	1.67	1.81	1.20	0.68	2.00	2.02
	Kütahya	1.52	0.87	1.25	1.06	2.05	1.56
A-KUADRATİK-2	Diyarbakır	1.01	1.25	2.37	1.11	1.74	1.94
	Kayseri	1.99	1.04	1.55	1.17	2.34	1.78
	Kütahya	2.31	1.27	1.59	0.77	2.30	2.43

Tablo 2. Modellerden elde edilen MBE değerleri (bütün değerler  $MJm^{-2}gün^{-1}$ )

		Ağustos (1997)	Eylül (1997)	Ekim (1997)	Kasım (1997)	Nisan (1998)	Mayıs (1998)
UYDU	Diyarbakır	-1.26	-2.97	-0.57	-0.08	-2.21	-1.25
	Kayseri	-0.19	-0.99	1.37	0.77	0.19	2.02
	Kütahya	1.51	0.30	1.52	1.87	-0.05	0.92
A-LINEER	Diyarbakır	1.07	-0.93	-0.85	0.03	-1.05	-0.72
	Kayseri	2.13	-0.74	0.08	0.27	-0.59	-0.28
	Kütahya	0.86	0.55	0.19	0.44	0.70	0.38
A-KUADRATİK-1	Diyarbakır	-0.86	-2.18	-0.75	-0.68	-1.69	-1.13
	Kayseri	0.76	-1.20	0.03	-0.02	-0.53	-0.09
	Kütahya	0.67	0.16	0.01	0.53	0.57	0.45
A-KUADRATİK-2	Diyarbakır	0.52	-1.29	-0.88	-0.52	-1.31	-0.81
	Kayseri	1.78	-0.79	-0.30	0.04	-0.86	-0.68
	Kütahya	0.46	0.70	-0.54	0.19	0.28	0.36



Şekil 5. Modellerin seçilen test bölgelerindeki RMSE değışimleri.



Şekil 6. Modellerin seçilen test bölgelerindeki MAE değışimleri.

alınan görüntüsü az sayıda ise bu bölgeler için Angström tipi korelasyonları kullanmak avantajlı olabilir. Fakat ölçüm yapılamayan veya güvenli ölçümlerin sağlanamadığı bölgeler için görüntü sayısı az da olsa uydu verilerini kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, daha iyi zamansal ve alansal ayırım gücüne sahip uydular fırlatıldıkça uydu modellerinin üstünlüğü belirginleşecektir.



## Kaynaklar

- Akinoglu BG, Ecevit A. 1990a. Construction of a quadratic model using modified Angström coefficients to estimate global solar-radiation. *Solar Energy* **45**:85-92.
- Akinoğlu B. G, Ecevit A. 1990b. A further comparison and discussion of sunshine-based models to estimate global solar radiation. *Energy* **15**:865-872.
- Almorox J, Hontoria C. 2004. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversion and Management*, **45**:1529-1535.
- Angström A. 1924. Solar and terrestrial radiation. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, **50**:121-125.
- Cano D, Monget JM, Albuissan M, Guillard H, Regas N, Wald L. 1986. A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data. *Solar Energy* **37**:31-39.
- Diabate', L, Moussu G, Wald L. 1989. Description of an operational tool for determining global solar radiation at ground using geostationary satellite images. *Solar Energy* **42**:201-207.
- Duffie JA, Beckman WA. 1991. *Solar Engineering of Thermal Process*. John Wiley and Sons: New York.
- Iziomon M.G., Meyer H., 2001, Performance of solar radiation models - a case study. *Agricultural and Forest Meteorology*; 2001: **110**, 1-11.
- Janjai S, Jantarach T, Laksanaboonsong J. 2003. A model calculating global illuminance from satellite data. *Renewable Energy* **28**: 2355-2365.
- Kandirmaz HM, Yeğingil L, Pestemalci V, Emrahoğlu N. 2004. Daily global solar radiation mapping of Turkey using Meteosat satellite data. *International Journal of Remote Sensing* **25**:2159-2168.
- Kandirmaz HM, 2006. A model for the estimation of the daily global sunshine duration from meteorological geostationary satellite data. *International Journal of Remote Sensing* (Article in press).
- Ogelman H, Ecevit A, Tasdemiroglu E. 1984. A new method for estimating solar-radiation from bright sunshine data. *Solar Energy* **33**:619-25.
- Prescott JA. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions Royal Society Science Australia* **64**:114-25.
- Samuel TDMA. 1991. Estimation of global radiation for Srilanka. *Solar Energy* **47**:333-337.
- Zelenka A, Czeplak G, d'Agostina V, Josefsen W, Maxwell E, Perez R. 1992. Techniques for supplementing solar radiation network data, Technical report, International Energy Agency, #IEA-SHCP-9D-1 Swiss Meteorological Institute, Krahbushlstrasse, 58, LH-8044, Zurich.
- Zelenka A, Perez R, Seals R, Renne D. 1999. Effective accuracy of satellite derived hourly irradiances. *Theoretical and Applied Climatology* **62**:199-207.