

Meteosat LSA SAF DIDSSF Ürününün Türkiye İçin Tutarlılığının Değerlendirilmesi

Evaluation of the Accuracy of Meteosat LSA SAF DIDSSF Product for Turkey

Kazım Kaba^{1*}, Derya Öztürk Çetni², H. Mustafa Kandırmaz³

¹ Atatürk Üniversitesi, Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi, 25240, Erzurum/Türkiye.

² Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 25240, Erzurum/Türkiye.

³ Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 01330, Adana/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Kazım Kaba
kkaba46@gmail.com

doi:

Yayın süreci

Geliş tarihi: 08.04.2020

Kabul tarihi: 12.08.2020

Basım tarihi: 30.09.2020

Özet

Yeryüzüne gelen güneş radyasyonu, iklim, tarım, hidroloji ve enerji uygulamaları için büyük öneme sahiptir. Bu konularda yapılan çalışmalar için enerji değerlerinin zamansal ve alansal dağılımının bilinmesi dünya genelinde ihtiyaç duyulan bir bilgidir. Genel olarak güneş enerjisi ölçümleri meteoroloji istasyonlarında noktasal olarak gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar göstermiştir ki yüzeye gelen güneş enerjisi değerleri uydu verileri kullanılarak başarıyla tahmin edilebilmektedir. Meteosat uyduları Türkiye'yi de kapsayacak şekilde Avrupa ve Afrika'ya ait görüntüler kaydetmektedir. Bu kayıtlardan LSA SAF birimi tarafından yeryüzüne ait çeşitli parametreler tahmin edilmektedir. Bu parametrelerden biri olan yüzeye gelen günlük kısa dalga enerjinin tahmin edildiği DIDSSF verisidir. Bu çalışmanın amacı Türkiye için DIDSSF ürünün yer ölçümleri ile kıyaslayarak doğruluğunu belirlemektir. DIDSSF ürününün doğruluğu ülke coğrafyasına olabildiğince homojen dağılmış olan 46 adet MGM istasyonu ile ölçülen global güneş radyasyonu değerleri ile test edilmiştir. İstasyonlardan gelen değerler tek tek incelendiğinde, belirleme katsayısı olan R^2 'nin 0,7129 ila 0,9585 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. 46 adet istasyondan elde edilen ortalama R^2 değeri ise 0,9058 olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Güneş radyasyonu, DIDSSF, Meteosat, Türkiye, Validasyon

Abstract

The solar radiation that reaches to the surface of the Earth is of great importance for many applications such as climate, agriculture, hydrology and energy. Having knowledge on the temporal and spatial distribution of energy values is a worldwide need for the studies on these topics. Measurement of the solar radiation is generally carried out in a pointwise manner in meteorological stations. Recent studies show that solar radiation over large areas can be estimated successfully using satellite images. The Meteosat satellites record images of Europe and Africa, covering also Turkey. Using these records, the LSA SAF unit predicts various parameters that belongs to Earth. One of these parameters is the DIDSSF (daily downward surface short-wave flux), which predicts the daily short-wave radiation reaching to the Earth surface. This study aimed to evaluate the accuracy of the DIDSSF estimation for Turkey by comparing it against terrestrial measurements. The accuracy of the DIDSSF product was tested through the use of global solar radiation values measured at 46 MGM stations which were homogeneously distributed over the whole country as much as possible. Examination of the stations one by one revealed that the determination coefficient R^2 varied between 0.7129 and 0.9585. The average R^2 value obtained from 46 stations was found to be 0.9058.

Keywords: Solar radiation, DIDSSF, Meteosat, Turkey, Validation

1. Giriş

Yeryüzüne gelen güneş radyasyonu, iklim, tarım, hidroloji ve enerji uygulamaları için büyük öneme sahiptir. Bu konularda yapılan çalışmalar için enerji değerlerinin zamansal ve alansal bakımdan bilinmesi dünya genelinde ihtiyaç duyulan bir bilgidir. Bu kapsamda herhangi bir yüzeye ait enerji değerlerinin ölçümü dünyada noktasal ve alansal olmak üzere farklı yöntem ve aletler ile yapılmaktadır. Noktasal ölçümlere, meteorolojik yer istasyonlarında yapılan ölçümler ve alansal ölçümlere de uydu görüntülerinden hesaplanan değerler örnek verilebilir. Güneş enerjisi değerleri doğrudan ölçüm yapılmasının yanı sıra interpolasyon, regresyon ve yapay öğrenme gibi çeşitli tahmin yöntemleriyle de meteorolojik parametrelerden türetilmektedir (Gautier vd. 1980; Behrang vd. 2010; Rusen vd. 2013; Kaba vd. 2018).

Türkiye güneş enerjisi değerleri bakımından oldukça yüksek potansiyele sahip bir coğrafyadadır. Son yıllarda bu potansiyelin kullanımına yönelik yatırımlar ile çeşitli bölgelerimizde güneş panelleri kurulmaktadır. Bunun gibi sistemlerin kurulumu için en uygun yerlerin belirlenmesi amacıyla başta enerji değerleri olmak üzere uzun dönem iklim verilerinin kullanılması gerekmektedir. Başarılı sonuçlar elde etmek için ise girdi olarak kullanılan verilerin alansal ve zamansal sürekliliğinin yanı sıra yüksek doğrulukta olması gerekmektedir. Ülkemizde güneş ışınım şiddeti meteorolojik istasyonlarda noktasal olarak ölçülmektedir. Çeşitli nedenlerden dolayı her ölçümün sistematik ve/veya beklenmeyen hata barındırması ise olası bir durumdur. Bu nedenle ölçüm verilerinin kullanılmadan önce kalibrasyonu yapılmalıdır. Alansal sürekliliğe sahip veriye ihtiyaç duyulduğunda ise mevcut noktasal ölçüm değerleri kullanılarak veri olmayan yerler için interpolasyon yöntemleriyle tahminler yapılmaktadır. Bu yöntemle yapılan tahminler özellikle ölçüm yapılan istasyonlardan uzaklaştıkça yüksek hatalar içermektedir. Interpolasyon yöntemi ile üretilen enerji haritaları hassas ve kritik önem taşıyan çalışmalar için yetersiz kalabilmektedir. Buna karşın, günümüzde uydu kayıtlarının kullanılmasıyla düzenli ve kararlı yapıda olan bu veri setleri ile daha başarılı sonuçlar elde edilebilir. Uydu verilerinin kapsadığı alan, zamansal ve alansal sürekliliğinden, maliyeti ve sayısal olması bakımından kullanılması büyük avantajlar sağlamaktadır.

Güneş enerjisi tahminlerine yönelik çalışmalar dünyada ve ülkemizde uzun yıllardır yapılmaktadır. Araştırmacılar, geçmişten günümüze çeşitli yöntemlerle yeryüzüne gelen güneş enerjisini tahmin etmişlerdir. Geleneksel yöntem diye bilinen ve öncülüğünü Angström-Prescott metodunun yaptığı, güneşlenme süresi, bulutluluk ve sıcaklık gibi meteorolojik değişkenleri kullanan lineer ve lineer olmayan istatistiksel çalışmalar bir hayli fazladır (Angstrom, 1924). Bir diğer yöntem ise süper bilgisayarların kullanıldığı atmosferik ve meteorolojik verilerin simülasyonunu yapan fiziksel yöntemlerdir (Gautier vd. 1980; Cogliani vd. 2007). Çalışmalar da yer ölçümleri ve uydu verileri veya her ikisi de birlikte girdi olarak kullanılabilir (Rusen vd. 2013). Kullanılan veri tipine göre modeller yer, uydu ya da hibrit olarak tanımlanmaktadır. Yöntemlerin birbirine göre avantaj ve dezavantajları olmakla beraber hepsi de gerçekte bir eksikliği gidermekte veya yer ve uydu kayıtlarına alternatif veriler üretmektedir. Uydular yörüngelerine göre yer sabit ve kutupsal yörüngeli olarak ikiye ayrılmaktadır. Yer sabit yörüngeli uydular daima yeryüzünün aynı bölgesini kayıt ederek yüksek zamansal çözünürlükte veri üretirken yeryüzünün diğer bölümlerine ait kayıt yapılmaması ve yersel çözünürlüğünün nispeten düşük olması bu uyduların dezavantajıdır. Kutupsal yörüngeli uydular ise yeryüzünün her bölgesine ait yüksek yersel çözünürlükte görüntü alırlar fakat zamansal çözünürlük bakımından (günde 1-2 kayıt) dezavantajlı durumdadırlar. Yer ölçümlerinin ise noktasal olup sadece ölçüm yapılan istasyonların çevresini temsil etmesi, istasyon ve cihazlara bağlı olarak ölçümlerin homojen olmayışı ve dağlık alanlar ile denizler gibi istasyon kurulamayan bölgeler için veri sağlanmaması dezavantaj oluşturmaktadır.

Son dönemlerde makine öğrenme algoritmaları, veri madenciliği ve görüntü işleme gibi birçok disiplinde olduğu gibi güneş ışınım değerlerini tahmin etmek için de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Behrang vd. 2010; Quesada-Ruiz vd. 2015; Shamshirband vd. 2016; Kaba vd. 2018; Wu vd. 2019). Güneş enerjisi tahminleri için geliştirilen makine öğrenme algoritmalarından Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Destek Vektör Makineleri (DVM) ve son zamanlarda derin öğrenme algoritmaları yaygın kullanılan yöntemlerdir. Yine bu yöntemlerde de yer ve uydu verileri kullanılarak enerji tahminleri yapılabilmektedir. Araştırmacılar çalışmalarında makine öğrenme algoritmaları ile yapılan regresyon sonuçlarının geleneksel regresyon analizine dayanan çalışmalardan daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir (Behrang vd. 2010; Quesada-Ruiz vd. 2015; Shamshirband vd. 2016; Kaba vd. 2018; Wu vd. 2019; Feng vd. 2020).

Türkiye'nin de kurucu üyesi olduğu EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites) tarafından işletilen yer sabit yörüngeli Meteosat uyduları Türkiye'yi de kapsayacak şekilde Avrupa ve Afrika'ya ait görüntüler kaydetmektedir. Bu kayıtlardan LSA SAF (Satellite Application Facility on Land Surface Analysis) tarafından yeryüzüne ait çeşitli ürünler üretilmektedir. Bu ürünlerden biri olan yüzeye gelen günlük kısa dalga enerji (DIDSSF, Daily Downward Surface Shortwave Flux) verisi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır (Trigo vd. 2011). Çalışmada DIDSSF ürününün doğruluğu ülke coğrafyasına olabildiğince homojen dağılmış 46 adet MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) istasyonlarında ölçülen global güneş radyasyonu değerleri ile test edilmiştir.

LSA SAF DSSF ürünü için validasyon raporu (<https://nextcloud.isasvcs.ipma.pt/s/b6fkBGcBYxKi9fo#pdfviewer>) ile İber yarımadası ve İspanya için yapılan çalışmalar bu ürün hakkında bilgi vermektedir (Cristóbal ve Anderson, 2013; Moreno vd. 2013). Cristóbal ve Anderson (2013) çalışmalarında İber yarımadasının kuzeydoğusu için DIDSSF ürününün validasyonunu yapmışlardır.

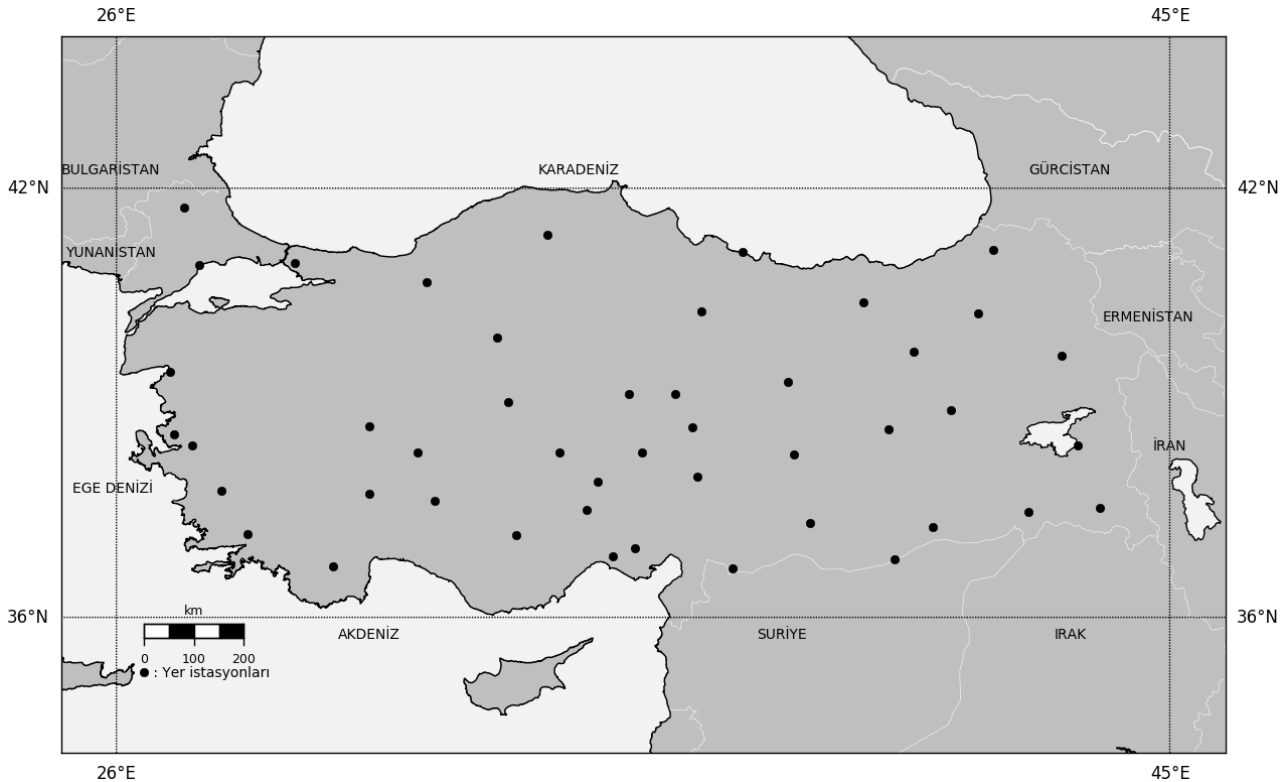
Çalışmada arazi türüne (düz, engebeli) ve hava şartlarına (Açık, bulutlu, Karlı) göre 2008-2010 verileriyle değerlendirme yapmışlardır. Tüm hava şartlarında MBE (Mean bias error), MAE (Mean absolute error), RMSE (Root mean square error) ve R^2 (Coefficient of determination) sırasıyla düz arazi için, -6 W/m^2 , 24 W/m^2 , 34 W/m^2 ve 0.96 ve engebeli arazi için -5 W/m^2 , 35 W/m^2 , 48 W/m^2 , 0.93 olarak verilmiştir. Moreno vd. (2013) İspanya için yaptıkları çalışmada 2008 yılı için DIDSSF ürününün analizini ve validasyonunu ele almışlardır. Çalışmada MBE, MAE, RMSE, rRMSE (Percent/relative root mean square error) ve R (R^2 ifadesinin karekökü) indekslerini -0.12 MJ/m^2 , 1 MJ/m^2 , 1.3 MJ/m^2 , %8 ve 0.99 olarak vermişlerdir. Bu sonuçlar dikkate alındığında DIDSSF ürünü İber yarımadası ve İspanya için Türkiye'ye göre daha yüksek doğruluk sağlamaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma Alanı ve Veri

Bu çalışmada DIDSSF (Daily Downward Surface Shortwave Flux) ürününün Türkiye için doğruluğunu tespit etmek amacıyla, $26-45^\circ$ doğu boylamları ile $36-42^\circ$ kuzey enlemleri arasında bulunan Türkiye bölgesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Uydudan elde edilen enerji değerlerinin yer ölçümleri ile tutarlılığını değerlendirmek için Ocak 2013 ile Ekim 2015 aralığını kapsayan yaklaşık üç yıllık (34 ay) zaman dilimine ait MGM tarafından işletilen 46 adet yer istasyonunda ölçülen günlük global güneş ışınımı değerleri ile Meteosat uydularından elde edilen ve yüzeye ulaşan günlük enerji miktarını veren DIDSSF ürünü çalışmada kullanılmıştır. Şekil 1'de çalışma alanını ve kullanılan istasyonlarının konumlarını gösteren harita, Tablo 1'de ise kullanılan yer istasyonlarının enlem, boylam, rakım ve şehir bilgileri verilmiştir.

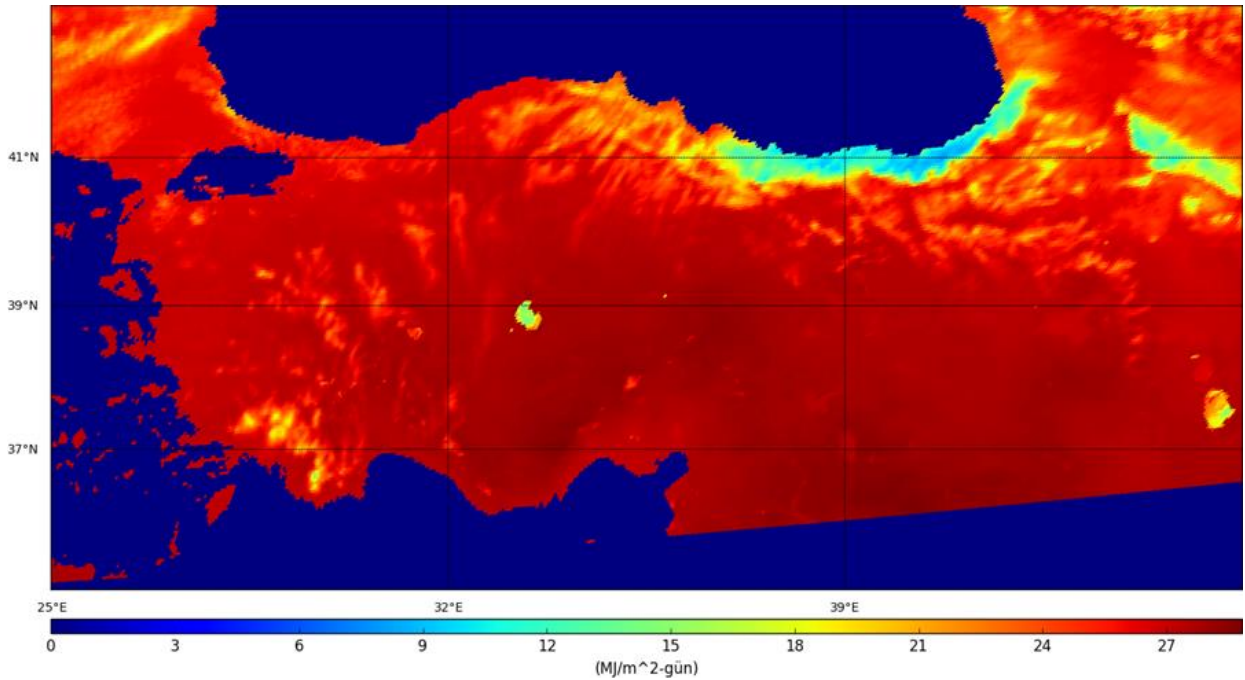
Türkiye deniz seviyesinden ortalama 1130 m yüksekliğe sahip olup yıllık ortalama sıcaklık değerleri 3.6°C ile 20.1°C arasında değişmektedir (Deniz vd. 2011). Yıllık ortalama yağış miktarı 648 mm civarında iken, ortalama güneşlenme süresi 7.2 saat/gün ve ortalama global güneş radyasyonu 4.2 kWh/m^2 değerindedir. Türkiye'nin Akdeniz ve Ege kıyıları ile Marmara bölgesinde Akdeniz iklimi, iç kısımlarında karasal iklim ve Karadeniz bölgesinde ise Karadeniz iklimi özellikleri görülür (Sahin 2012; Sahin ve Cigizoglu 2012; Iyigun vd. 2013; Kaba vd. 2018).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan MGM istasyonlarının konumları

Tablo 1. Çalışmada kullanılan yer istasyonlarının bilgileri (Enlem ve Boylam derece biriminde, İN: İstasyon numarası)

İN	Enlem	Boylam	Rakım (m)	Şehir	İN	Enlem	Boylam	Rakım (m)	Şehir
17045	41,1752	41,8187	625	Artvin	17285	37,5745	43,7388	1727	Hakkari
17052	41,7382	27,2178	232	Kırklareli	17287	37,5209	42,4523	1350	Şırnak
17056	40,9585	27,4965	4	Tekirdağ	17292	37,2095	28,3668	646	Muğla
17065	40,9866	29,2135	123	İstanbul	17351	37,0041	35,3443	23	Adana
17070	40,7329	31,6022	743	Bolu	17624	41,143	37,293	16	Ordu
17074	41,371	33,7756	800	Kastamonu	17688	40,3013	41,5378	1576	Erzurum
17086	40,3312	36,5577	611	Tokat	17718	39,7728	40,3843	1429	Erzincan
17088	40,4598	39,4653	1216	Gümüşhane	17722	39,4983	26,9755	20	Balıkesir
17099	39,7253	43,0522	1646	Ağrı	17734	39,3618	38,1142	1121	Sivas/Divriği
17130	39,9727	32,8637	891	Ankara/Keçiören	17749	38,4639	27,3705	208	İzmir/Kemalpaşa
17162	39,185	36,0805	1182	Sivas/Gemerek	17754	39,0788	33,0657	1005	Konya/Kulu
17172	38,4693	43,346	1675	Van	17760	39,1897	35,2532	1070	Yozgat
17190	38,738	30,5604	1034	Afyonkarahisar	17776	38,9597	41,0503	1366	Bingöl
17192	38,3705	33,9987	970	Aksaray	17789	38,6237	27,0433	10	İzmir/Menemen
17199	38,3367	38,2173	950	Malatya	17802	38,7251	36,3904	1542	Kayseri/Pınarbaşı
17227	37,8167	27,8873	32	Aydın	17806	38,6907	39,926	1000	Elazığ
17239	38,3688	31,4297	1002	Konya/Akşehir	17836	38,3713	35,4745	1204	Kayseri/Develi
17240	37,7848	30,5679	997	Isparta	17866	38,024	36,4823	1344	Kahramanmaraş
17242	37,6777	31,7463	1141	Konya/Beyşehir	17906	37,548	34,4867	1453	Niğde/Ulukışla
17246	37,1932	33,2202	1018	Karaman	17944	37,3651	38,5134	622	Şanlıurfa/Bozova
17250	37,9587	34,6795	1195	Niğde/Merkez	17952	36,7372	29,9125	1095	Antalya
17262	36,7085	37,1123	640	Kilis	17968	36,8406	40,0307	360	Şanlıurfa/Ceylanpınar
17275	37,3063	40,7235	1040	Mardin	17978	36,8898	34,9558	12	Mersin



Şekil 2. Çalışma alanını kapsayan DIDSSF ürünü

LSA SAF birimi Meteosat uydu verilerinden bitki örtüsü, kar örtüsü, yüzey sıcaklığı, yangın ve radyasyon gibi yer yüzeyini karakterize eden uydu ürünlerinin geliştirilmesi ve işlenmesinden sorumlu olan bir EUMETSAT birimidir. LSA SAF ürünlerden biri olan DIDSSF ürünü 0.3-4 µm dalga boyu aralığında birim yüzeye ulaşan enerji değerlerini vermektedir. Yüzeye ulaşan enerji değeri daha çok güneş zenit açısına ve bulut kapallığı ile nispeten azda olsa atmosferik soğurma ve yüzey albedosuna bağlıdır. Şekil 2’de çalışma alanını kapsayan 15-08-2013 tarihli örnek bir DIDSSF ürününden elde edilen harita verilmiştir. DIDSSF ürünü, MSG (Meteosat Second Generation) SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) sensörünün 0.6, 0.8 ve 1.6 µm solar kanal verileri kullanılarak havanın açık veya kapalı durumuna göre iki farklı algoritma ile üretilmektedir. Açık hava modelinde DSSF (Downward Surface Shortwave Flux) doğrudan hesaplanırken, kapalı hava durumunda atmosfer dışı albedo gözlemlenen yansıma değerlerinden hesaplanarak DSSF ürününün hesaplanmasında girdi olarak kullanılmaktadır. DSSF ürünü hava tahmini, hidroloji, iklim, tarım ve çevreyle ilgili çalışmalar gibi pek çok uygulama için kritik öneme sahiptir. 15 dakikalık zamansal çözünürlükte üretilen DSSF ürününden günlük DIDSSF ürünü türetilmektedir (EUMETSAT LSA SAF, 2020). MSG SEVIRI sensörü 12 farklı kanalda (başka bir ifadeyle spektral çözünürlüğü 12’dir), 3 km yersel çözünürlükte (HRV kanalı 1km), normal taramada 15 dakikalık zamansal çözünürlükte (hızlı taramada 5 dakika), 10 bitlik radyometrik çözünürlükte ve Avrupa ile Afrika’yı kapsayan görüntüler sağlamaktadır. LSA SAF biriminin ürettiği pek çok ürün SEVIRI sensörünün bu temel özelliklerine dayanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan DIDSSF ürünü ise 3 km yersel çözünürlükte, 32 bit veri formatında ve günlük ortalama enerji değerlerini (J/m² biriminde) içermekte olup veriler Ocak-2018’de online olarak elde edilmiştir (EUMETSAT LSA SAF, 2011). Çalışma zaman dilimini kapsayan toplam 1034 gün için 1034 görüntü olması beklenirken 35 adet görüntü eksik olup toplam 999 görüntü elde edilmiştir.

2.2 Regresyon Analizi ve İstatistiksel İndeksler

İki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek ve tahminler yapmak için kullanılan istatistiksel analize regresyon analizi denir. Regresyon analizinde açıklanan ya da tahmin edilen değişken bağımlı değişken (Y), açıklayıcı değişken bağımsız değişken (X) olmak üzere regresyon, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi kullanarak bir eşitlik geliştirir. A ve B katsayılar olmak üzere, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi açıklayan tek değişkenli regresyon modeli basit regresyon olarak adlandırılır ve matematiksel ifadesi Denklem 1’de verilmiştir. Bu çalışmada da uydu verileri ile yer verileri arasındaki ilişki değerlendirilmek amacıyla basit doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. X değişkeni yer verilerine, Y değişkeni ise uydu verilerine karşılık gelmektedir.

Uyduyan elde edilen enerji değerlerinin yer ölçüleriyle ilişkisini değerlendirmek için MBE (Ortalama bias hata), MAE (Ortalama mutlak hata), RMSE (Ortalama karesel hatanın karekökü), rRMSE (Bağıl RMSE) ve R² (Belirleme katsayısı) istatistiksel indeksleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin matematiksel ifadeleri aşağıdaki denklemlerde verilmiştir. Denklemlerde Y_i yer istasyonlarında ölçülen ve U_i uyduyan elde edilen enerji değerleridir. \bar{Y} ve \bar{U} yer ve uydu değerlerinin ortalamasını, n ise toplam veri sayısını ifade etmektedir.

$$Y = AX + B \quad (1)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - U_i)}{n} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - U_i|}{n} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - U_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$rRMSE = \frac{100 * n}{\sum_{i=1}^n (Y_i)} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - U_i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(U_i - \bar{U})]^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2} \quad (6)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada Türkiye'yi kapsayacak şekilde HDF (h5) formatında alınan DIDSSF ürünü, coğrafik koordinat sisteminde, WGS84 elipsoidinde ve geotiff dosya formatında hazırlanmıştır. 32 bit veri formatında olan piksel değerleri veri sağlayıcının belirttiği üzere 10'a bölünerek enerji değerleri J/m^2 boyutunda elde edilmiştir. Enerji değerleri için MJ/m^2 birimi literatürde daha yaygın kullanılması nedeniyle J/m^2 birimi MJ/m^2 birimine dönüştürülmüştür. Uydu verisi (DIDSSF) MJ/m^2 biriminde hazırlanması nedeniyle Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan ve birimi "cal/cm²" olan enerji değerleri MJ/m^2 ortak birimine dönüştürülmüştür. ($1 \text{ cal/cm}^2 = 0.041868 \text{ MJ/m}^2$). 46 adet yer istasyonunun verileri ile bu istasyon konumlarına karşılık gelen DIDSSF ürünündeki piksel değerlerinden Ocak-2013 ve Ekim-2015 arasını kapsayan her günün enerji değerlerini içeren bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti Ocak-2013 ve Ekim-2015 tarihleri arasındaki uydu ve yer verilerinin aynı günlere ve aynı alanlara denk gelen değerlerini içermektedir. Çünkü bu çalışma uydudan elde edilen enerji verisinin (DIDSSF) yer verileriyle ne kadar uyumlu olduğunu göstermeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle böyle bir karşılaştırılma yapılabilmesi için her iki veride aynı zamanda ve aynı yer için alınmış olmalıdır. Çalışmada DIDSSF ürününün hazırlanması, veri setinin oluşturulması, analiz ve grafiklerin üretilmesi aşamasında Python programlama dili ve onun datetime, gdal, numpy, scit-learn, basemap ve matplotlib kütüphaneleri kullanılmıştır. Hazırlanan veri setinin temel istatistik değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde 46 istasyonun yer ve uydu verisi için minimum, maksimum, ortalama, standart sapma ve varyans değerleri görülür. Yer ve uydu ölçümü için maksimum değerler karşılaştırıldığında uydu verisinin yer istasyonlarından açık bir şekilde daha küçük (~2.3 MJ/m^2 gün) ölçtüğü görülür. Standart sapma ve ortalama değerler yer ve uydu ölçümü için nispeten benzer iken varyans değerlerinin uydu için daha yüksek olduğu görülür. Basit lineer regresyon analizi kullanılarak her bir istasyon için yer ve uydu ölçümü arasındaki lineer denklemler tespit edilmiştir. Bu lineer denklemlerin katsayıları Tablo 3'te verilmiştir. Bu istasyonlar için bulunan katsayılar lineer denklemlerde kullanılarak bu iki verinin birbirine dönüştürülmesi yapılabilir veya bu iki veriden biri eksik olduğunda diğerinin değeri kullanılarak o eksik veri bulunabilir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan 46 adet yer istasyonu için temel istatistik değerler

	Yer verisi (MJ/m^2 gün)	Uydu verisi (MJ/m^2 gün)
Minimum	0	0
Maksimum	34,6056	32,3132
Ortalama	16,9835	17,4488
Standart sapma	8,53388	8,87203
Varyans	72,8271	78,7129

Tablo 3. Yer verileri ile uydu verileri arasındaki lineer denklemlerin katsayıları (İN: İstasyon numarası)

İN	A	B	İN	A	B
17045	0,8869	1,1416	17285	1,0426	1,1640
17052	1,0280	0,4434	17287	1,0378	0,4182
17056	1,0195	0,2153	17292	0,9657	1,9084
17065	1,0065	1,2387	17351	1,0764	0,6325
17070	0,9904	0,6081	17624	0,9623	1,0836
17074	0,9688	0,6017	17688	0,9864	-0,3315
17086	0,8202	3,8753	17718	1,0258	-0,4605
17088	0,9956	1,7467	17722	1,0152	0,1706
17099	0,9689	0,7179	17734	1,0158	0,2823
17130	0,9828	0,6330	17749	1,0013	0,6584
17162	0,9922	0,2421	17754	0,9929	0,1502
17172	1,0302	-0,3310	17760	1,0029	0,0970
17190	0,9923	0,3136	17776	0,9477	1,8267
17192	1,0103	-0,1068	17789	1,0175	0,7291
17199	1,0432	-0,0079	17802	0,8725	1,9856
17227	1,0577	-0,4672	17806	1,1344	-0,3846
17239	0,9787	-0,2826	17836	0,9954	0,0116
17240	1,0006	-0,2595	17866	0,9544	0,8239
17242	1,0248	-0,3556	17906	1,0259	-0,4580
17246	0,9764	-0,5889	17944	1,0266	-0,2808
17250	1,0259	-0,5144	17952	0,9942	0,3987
17262	1,0267	0,0757	17968	1,0381	0,4317
17275	0,9925	0,6421	17978	1,0840	-0,8485

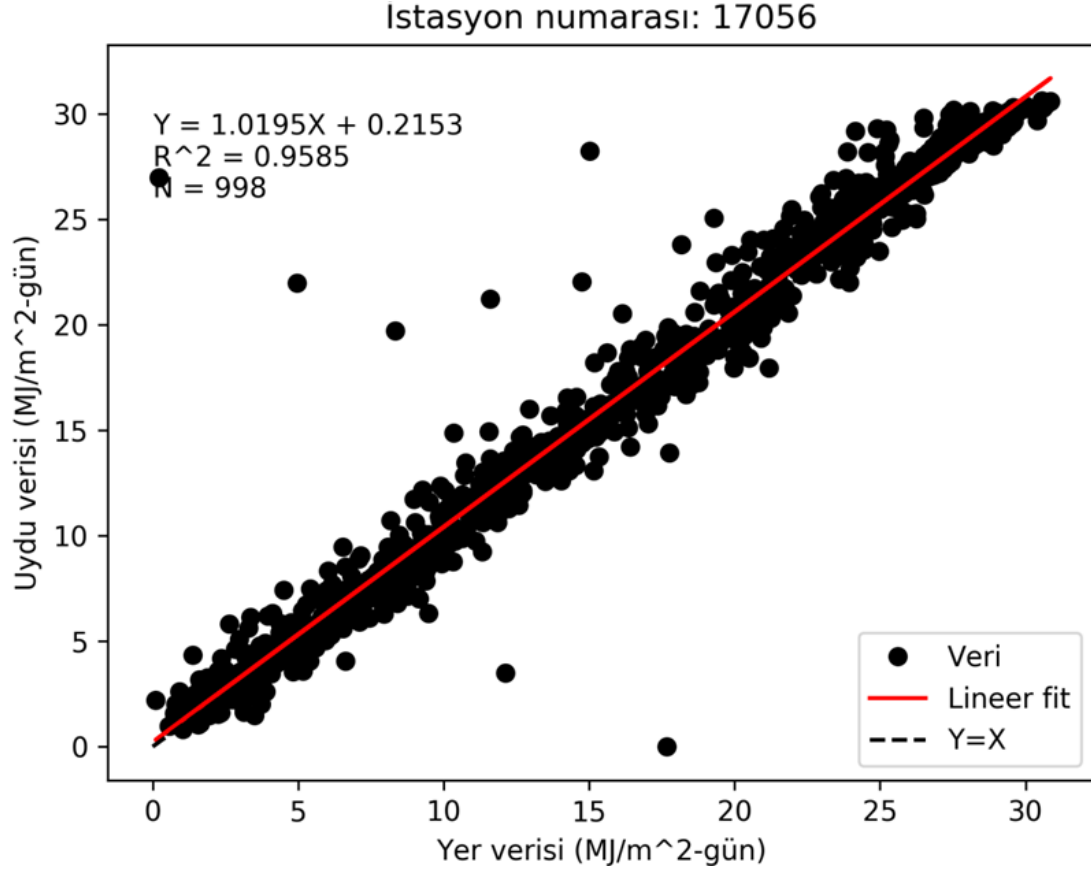
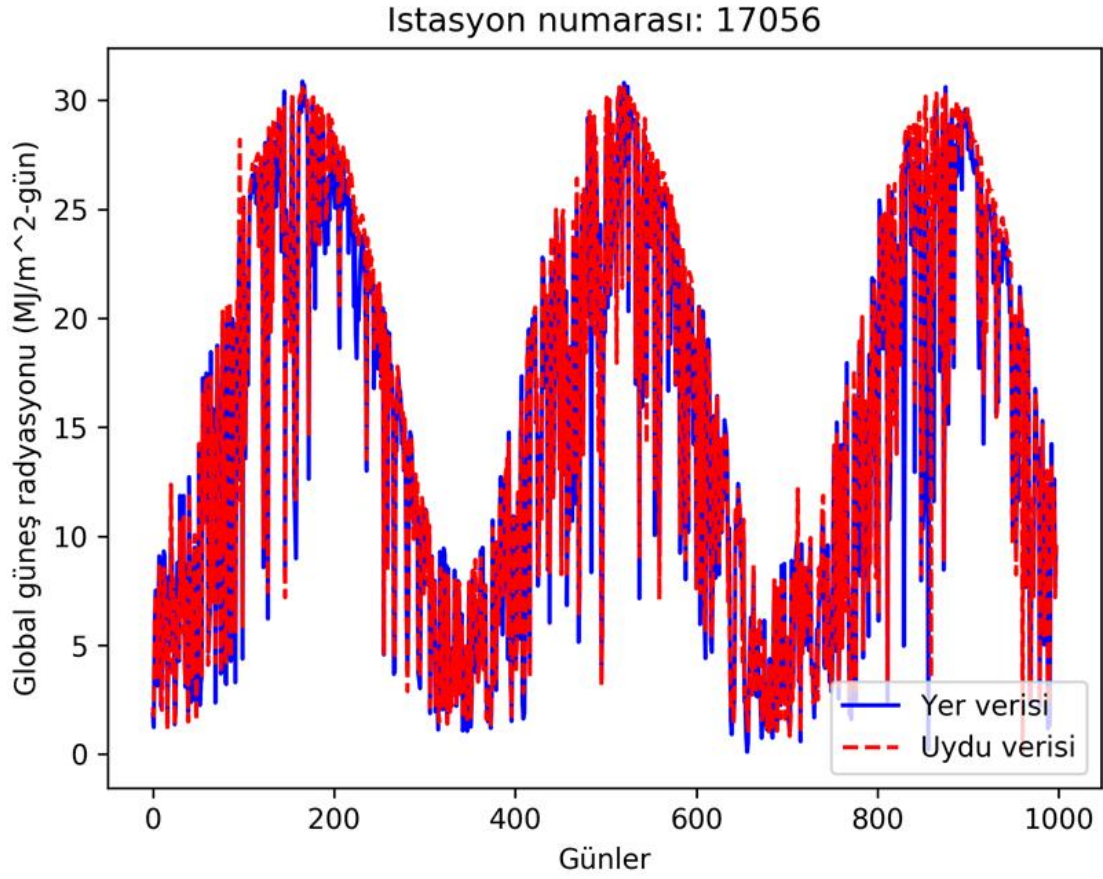
Tablo 4'te DIDSSF verisi ile yer verileri arasındaki ilişkiyi ifade eden istatistiksel indekslerin değerleri verilmiştir. Tablodan MBE değerleri incelendiğinde, bütün istasyonlar için minimum MBE -1,9168 MJ/m²gün değeri ile Adana (17351) istasyonunda ve maksimum MBE 1,0509 MJ/m²gün değeri ile Karaman (17246) istasyonunda olduğu görülür. Bütün istasyonların ortalama MBE değeri ise -0,4661 MJ/m²gün olarak bulunmuştur. Ortalama MBE değerinin negatif çıkması genelde, uydu verisinin yer ölçümlerinden daha büyük ölçüldüğü anlamına gelir. Tablo 4'ten MAE değerleri incelendiğinde, 1,0018 ile 2,6787 MJ/m²gün arasında değiştiği görülür. En düşük (en iyi) MAE değeri Tekirdağ (17056) istasyonunda ve en yüksek (en kötü) MAE değeri Kayseri/Pınarbaşı (17802) istasyonunda bulunmuştur. Bütün istasyonların ortalama MAE değeri ise 1,5541 MJ/m²gün olarak bulunmuştur. Yine Tablo 4'te RMSE değerlerine bakıldığında, minimum ve maksimum değerlerin 1,7157 ve 4,7644 MJ/m²gün olduğu görülür ve diğer istasyonların RMSE değerleri bu minimum ve maksimum değerler aralığında değişmektedir. Minimum (en iyi) RMSE değeri Kastamonu (17074) istasyonunda ve maksimum (en kötü) RMSE değeri Tokat (17086) istasyonunda gerçekleşmiştir. Bütün istasyonların ortalama RMSE değeri ise 2,5484 MJ/m²gün olarak bulunmuştur. Tablodan bağıl RMSE (rRMSE) değerleri incelendiğinde %10,7126, ile %33,9319 aralığında değiştiği görülür ve bütün istasyonların ortalama rRMSE değerleri %15,0791 olarak bulunmuştur. Tablo 4'te gösterilen R² değerleri, 0,7129 ila 0,9585 arasında değişim göstermektedir. 46 adet istasyonun ortalama R² değeri ise 0,9025 olarak bulunmuştur. Tablodan 46 adet istasyon içerisinde 31 tanesinin R² değeri ortalama değer (0,9025) üzerinde ve 15 tanesinin de ortalama değer altında olduğu görülür. R² değeri 0,8'den küçük olan dört istasyon bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla Tokat (17086), Hakkari (17285), Adana (17351) ve Kayseri/Pınarbaşı (17802) istasyonlarıdır. R² değeri en büyük 10 istasyon ise sırasıyla Kırklareli (17052), Tekirdağ (17056), Bolu (17070), Kastamonu (17074), Ankara/Keçiören (17130), Afyonkarahisar (17190), Aksaray (17192), Isparta (17240), Konya/Beyşehir (17242) ve Karaman (17246) olarak sıralanmıştır. Bu istasyonların diğer istatistiksel değerlerinin de beklendiği gibi düşük olduğu Tablo 4'ten görülebilir. Yukarıda sıralanan istasyonların ortak özellikleri, çoğunlukla Türkiye'nin iç kesimlerinde bulunması ve deniz etkisinin doğrudan görülmediği yerler (Kırklareli ve Tekirdağ hariç) olarak göze çarpmaktadır.

Her ölçümde olduğu gibi yer veya uydu bazlı olsun enerji ölçümünde de hata bulunmaktadır. Buna bu çalışmada kullanılan DIDSSF ürünü ve meteorolojik yer istasyonunda ölçülen enerji değerleri de dahildir. MGM ölçümlerinde istasyonun bulunduğu konum (istasyon bina veya ağaç gölgesinde kalabilir), cihazın hassasiyeti, bakımı (kalibrasyonu), ve insan faktörü gibi birçok nedenden dolayı hata meydana gelmektedir. Öte yandan uydu kayıtlarında ise uydu görüş açısı arttıkça görüntülerin kenar kısımlarına doğru hassasiyet düşebilir. Bu hata kaynakları dikkate alındığında her istasyon için aynı doğrulukta (hassasiyette) ölçüm yapılması beklenemez. Bu nedenle validasyon sonuçları her bir istasyon için farklı çıkmaktadır.

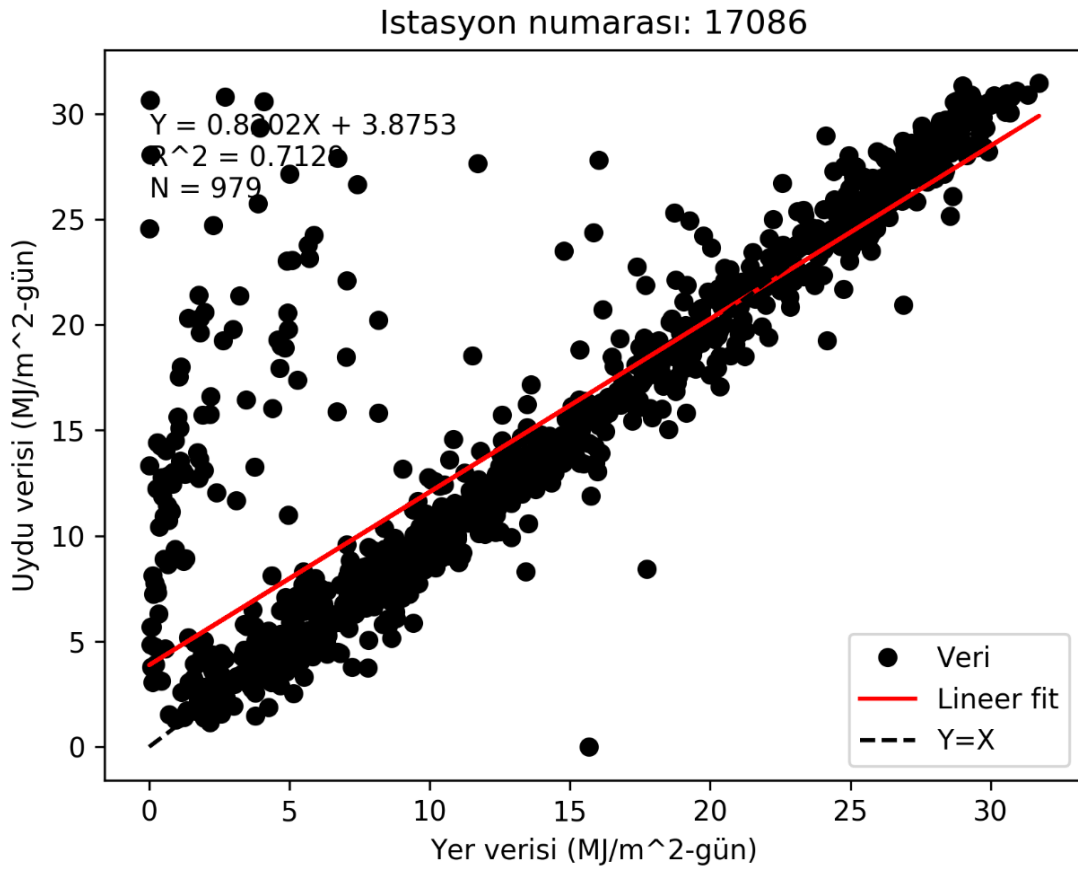
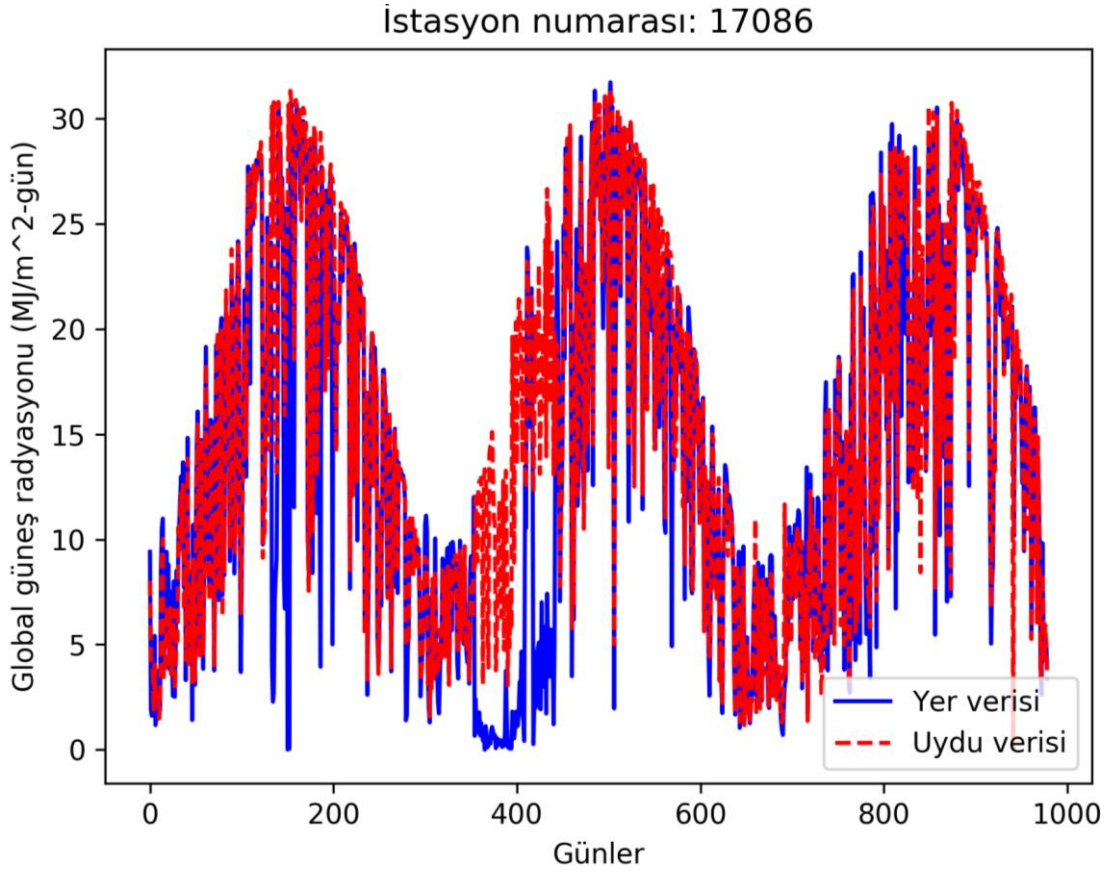
Tablo 4. Yer verileri ile uydu verileri arasındaki hataları veren istatistiksel indeks değerleri (MBE, MAE ve RMSE MJ/m²gün biriminde, İN: İstasyon numarası)

İN	MBE	MAE	RMSE	rRMSE	R ²	İN	MBE	MAE	RMSE	rRMSE	R ²
17045	0,4144	1,8703	2,7773	20,1832	0,8600	17285	-1,8886	2,5690	3,6888	21,6724	0,7912
17052	-0,8564	1,1921	1,9510	13,2349	0,9479	17287	-1,0922	1,6581	2,4664	13,8373	0,9181
17056	-0,5136	1,0018	1,8186	11,9131	0,9585	17292	-1,3396	1,6215	2,4649	14,8466	0,9235
17065	-1,3334	1,6941	3,1792	21,7745	0,8681	17351	-1,9168	2,2906	3,5376	21,0394	0,7621
17070	-0,4673	1,2144	1,9971	13,6479	0,9422	17624	-0,5818	1,3822	2,3394	17,5915	0,9250
17074	-0,1432	1,0165	1,7157	11,6609	0,9576	17688	0,5595	1,9490	2,7539	16,3920	0,8727
17086	-1,3508	2,2505	4,7644	33,9319	0,7129	17718	0,0141	1,5695	2,4029	13,8754	0,9196
17088	-1,6848	2,1329	2,9071	20,5328	0,8609	17722	-0,4329	1,1650	2,4694	14,2863	0,9190
17099	-0,1980	1,6664	2,7661	16,5687	0,8989	17734	-0,5434	1,5574	2,6172	15,7967	0,9027
17130	-0,3515	1,0477	1,9851	12,1067	0,9474	17749	-0,6805	1,3164	2,1677	12,7695	0,9376
17162	-0,1090	1,5429	2,5964	15,2192	0,9037	17754	-0,0258	1,3123	2,2702	12,9739	0,9281
17172	-0,2216	1,6166	2,6846	14,6690	0,8920	17760	-0,1468	1,4159	2,6085	15,0844	0,9042
17190	-0,1840	1,2127	1,9612	11,6399	0,9462	17776	-0,9226	1,8941	3,1257	18,0870	0,8752
17192	-0,0815	1,2073	2,0174	11,0784	0,9464	17789	-1,0292	1,4262	2,2832	13,3491	0,9283
17199	-0,7382	1,5244	2,5251	14,6027	0,9101	17802	0,2531	2,6787	4,3691	24,8818	0,7404
17227	-0,5705	1,2200	2,0815	11,5761	0,9349	17806	-1,8109	2,2217	2,9532	18,0791	0,8661
17239	0,6515	1,6014	2,3876	13,7714	0,9214	17836	0,0730	1,2199	2,3330	12,5755	0,9273
17240	0,2490	1,1947	1,9409	10,7729	0,9463	17866	-0,0231	1,6199	2,7951	15,9255	0,8956
17242	-0,0896	1,2670	1,9250	10,7126	0,9457	17906	-0,0068	1,4087	2,2241	12,3806	0,9252
17246	1,0509	1,6144	2,2632	11,5615	0,9380	17944	-0,2222	1,2495	2,2032	11,6694	0,9330
17250	0,0298	1,3870	2,1720	11,5866	0,9271	17952	-0,2902	1,1642	2,0920	11,2089	0,9354
17262	-0,5698	1,4981	2,6516	14,3375	0,9013	17968	-1,1372	1,6145	2,4632	13,3189	0,9092
17275	-0,5024	1,7293	3,3025	17,7668	0,8558	17978	-0,6801	1,4803	2,2280	12,2506	0,9102

Şekil 3'te Tekirdağ (17056) ve Şekil 4'te Tokat (17086) istasyonları için yer ölçümü ile DIDSSF verisi arasındaki ilişkiyi veren çizgi (zaman serisi) ve dağılım grafikleri verilmiştir. Zaman serisi grafiklerinde yatay eksen zamanı, dikey eksen ise enerji değerlerini temsil etmektedir. Zaman serisi grafiklerde mavi renk yer verilerine, kırmızı renk ise uydu verilerine karşılık gelmektedir. Bu grafikler R² değerleri baz alındığında yer ölçümü ile uydu verisi arasındaki en yüksek (en iyi) ve en düşük (en kötü) uyumu gösteren grafiklerdir. Grafiklerde yüksek değere sahip tepe noktaları 2013, 2014 ve 2015 yıllarının yaz günlerini (Haziran, Temmuz ve Ağustos), düşük değerler ise bu yılların kış günlerini (Aralık, Ocak ve Şubat) ifade etmektedir. Grafiklerde değerlerin üst üste geldiği günlerde, yer ve uydu verileri arasında yüksek uyumun olduğu değerlerin üst üste düşmediği zamanlarda ise uyumun düşük olduğu anlaşılır. Zaman serisi grafiklerinde olduğu gibi dağılım grafiklerinden de bu iki istasyon için uyum ve uyumsuzluk durumları görülebilir.

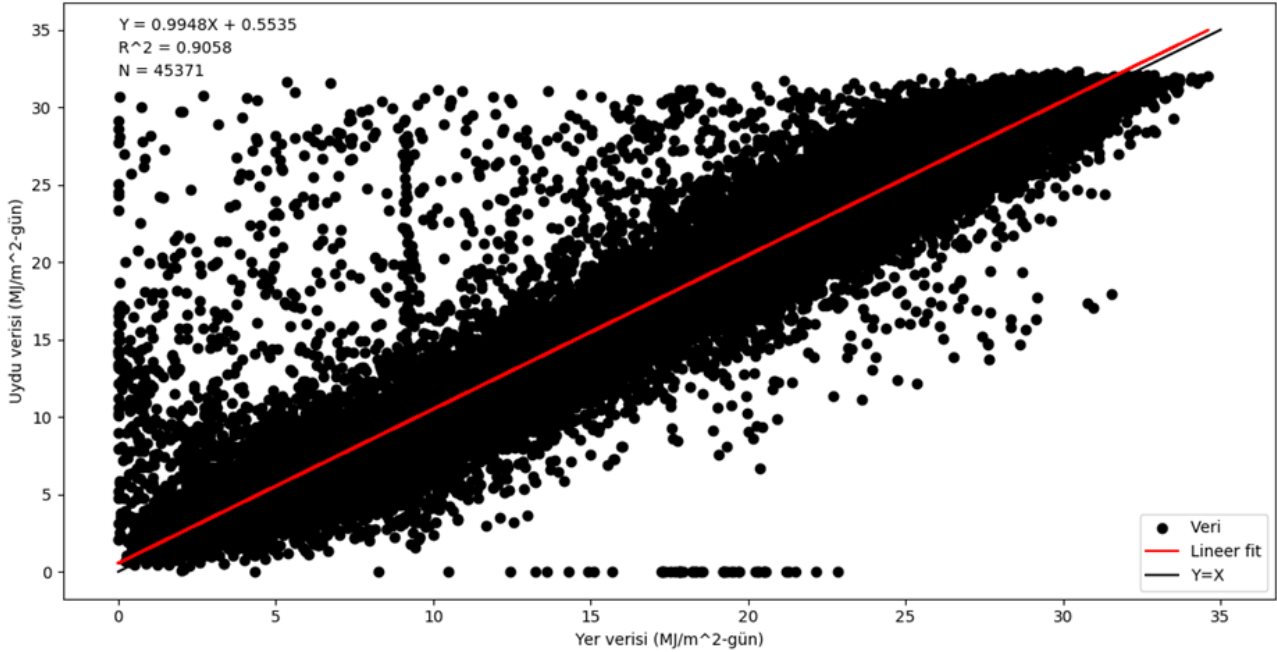


Şekil 3. En yüksek R² değerine sahip Tekirdağ istasyonuna ait verilerin çizgi ve dağılım grafikleri



Şekil 4. En düşük R² değerine sahip Tokat istasyonuna ait verilerin çizgi ve dağılım grafikleri

Çalışma zaman dilimine ait 999 adet günlük enerji değerlerini veren uydu görüntüsü ve 46 validasyon noktası için 45954 (999*46) veri örneği olması beklenirken bazı günler için kayıp yer verisi olması nedeniyle toplam 45371 adet verinin dağılım grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde R^2 değerinin yüksek (0,9058) olduğu ve DIDSSF ürününün yer verileriyle yüksek uyum gösterdiği görülür. Şekil 5'te uydu verilerinin yüksek olduğu (25 MJ/m²gün) değerlere karşılık, yer verilerinin küçük (0-15 MJ/m²gün) oluşunun, iki veri arasındaki ilişkiyi düşürdüğü görülebilir. Aynı zamanda uydu değerlerinin sıfır ölçümüne karşılık yer ölçümünün 13-23 MJ/m²gün aralığında değerler alması da iki veri arasındaki tutarlılığı azaltmaktadır.



Şekil 5. Tüm istasyonların (46 adet) verileri ile elde edilen dağılım grafiği

4. Sonuçlar

Çalışmada DIDSSF ürününün doğruluğu, ülke coğrafyasına olabildiğince homojen olarak dağılmış MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) tarafından işletilen 46 adet yer istasyonlarında ölçülen günlük global güneş radyasyonu değerleri ile test edilmiştir. Her ölçümde olduğu gibi yer verileri de sistematik ve/veya beklenmedik hatalar içerebilmesine karşın uydu verileriyle yüksek uyum gösterdiği tespit edilmiştir (~%90, bkz. Şekil 5). Cristóbal ve Anderson (2013) ile Moreno vd. (2013) kendi bölgeleri için yaptıkları çalışmalarda DIDSSF ürününün yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermişlerdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde DIDSSF ürünü yüksek doğruluğu, alansal ve zamansal sürekliliği bakımından yer ölçümleri yerine kullanımı tercih edilebilir. Güneş enerjisi ile güneşlenme süresi arasında yüksek korelasyon olması sebebiyle, DIDSSF ürünü güneşlenme süresine ihtiyaç duyulan çalışmalarda da kullanılabilir. DIDSSF ürünü geçmişe dönük geniş arşiv verisi sağlaması nedeniyle uzun yıllara dayalı iklim değişikliği gibi, uzun dönemli verilerin kullanıldığı çalışmalara da olumlu katkı sağlayacaktır. Bu ürün, kendi içinde homojen değerlere sahip olması nedeniyle bölge kıyaslamalarının yapılacağı, örneğin güneş panelleri için yer seçimi gibi çalışmalarda da kullanılması, yer verilerine göre daha doğru sonuçlar verecektir.

Kaynaklar

- Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50(210), 121-126.
- Behrang, M. A., Assareh, E., Ghanbarzadeh, A., & Noghrehabadi, A. R. (2010). The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modeling based on meteorological data. *Solar Energy*, 84(8), 1468-1480.
- Cogliani, E., Ricchiazzi, P., & Maccari, A. (2007). Physical model SOLARMET for determining total and direct solar radiation by meteosat satellite images. *Solar Energy*, 81(6), 791-798.

- Cristóbal, J., & Anderson, M. C. (2013). Validation of a Meteosat Second Generation solar radiation dataset over the northeastern Iberian Peninsula. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 163–175, 2013.
- Deniz, A., Toros, H., & Incecik, S. (2011). Spatial variations of climate indices in Turkey. *International Journal of climatology*, 31(3), 394-403.
- EUMETSAT LSA SAF, (2011). Product User Manual – Down-welling Surface Shortwave Flux (DSSF). Retrieved from <https://nextcloud.lsasvcs.ipma.pt/s/bXEkdAKRJJGSn3S#pdfviewer>.
- EUMETSAT LSA SAF, (2020). Daily Downward Surface Shortwave Flux (DIDSSF, LSA-203). Retrieved from <https://landsaf.ipma.pt/en/products/longwave-shortwave-radiation/didssf/>.
- Feng, Y., Hao, W., Li, H., Cui, N., Gong, D., & Gao, L. (2020). Machine learning models to quantify and map daily global solar radiation and photovoltaic power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 118, 109393, doi: 10.1016/j.rser.2019.109393
- Gautier, C., Diak, G., & Masse, S. (1980). A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 19(8), 1005-1012.
- Iyigun, C., Türkeş, M., Batmaz, İ., Yozgatlıgil, C., Puruçcuoğlu, V., Koç, E. K., & Öztürk, M. Z. (2013). Clustering current climate regions of Turkey by using a multivariate statistical method. *Theoretical and applied climatology*, 114(1-2), 95-106.
- Kaba, K., Sarıgül, M., Avci, M., & Kandırmaz, H. M. (2018). Estimation of daily global solar radiation using deep learning model. *Energy*, 162, 126-135.
- Moreno, A., Gilabert, M. A., Camacho, F., & Martínez, B. (2013). Validation of daily global solar irradiation images from MSG over Spain. *Renewable Energy*, 60, 332-342.
- Quesada-Ruiz, S., Linares-Rodríguez, A., Ruiz-Arias, J. A., Pozo-Vázquez, D., & Tovar-Pescador, J. (2015). An advanced ANN-based method to estimate hourly solar radiation from multi-spectral MSG imagery. *Solar Energy*, 115, 494-504.
- Rusen, S. E., Hammer, A., & Akinoglu, B. G. (2013). Estimation of daily global solar irradiation by coupling ground measurements of bright sunshine hours to satellite imagery. *Energy*, 58, 417-425.
- Sahin, S. (2012). An aridity index defined by precipitation and specific humidity. *Journal of Hydrology*, 444, 199-208.
- Sahin, S., & Cigizoglu, H. K. (2012). The sub-climate regions and the sub-precipitation regime regions in Turkey. *Journal of Hydrology*, 450, 180-189.
- Shamshirband, S., Mohammadi, K., Tong, C. W., Zamani, M., Motamedi, S., & Ch, S. (2016). A hybrid SVM-FFA method for prediction of monthly mean global solar radiation. *Theoretical and Applied Climatology*, 125(1-2), 53-65.
- Trigo, I. F., Dacamara, C. C., Viterbo, P., Roujean, J. L., Olesen, F., Barroso, C., ... & Geiger, B. (2011). The satellite application facility for land surface analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 32(10), 2725-2744.
- Wu, L., Huang, G., Fan, J., Zhang, F., Wang, X., & Zeng, W. (2019). Potential of kernel-based nonlinear extension of Arps decline model and gradient boosting with categorical features support for predicting daily global solar radiation in humid regions. *Energy Conversion and Management*, 183, 280-295.