

Yazışma yazarı:  
Gizem Nur KANDILCI,  
kandilci@itu.edu.tr

Referans:  
Kandilci, G. N., ve Koçak, K., (2021), Türkiye İçin Global Güneş Radyasyonu Persistans Haritalarının Oluşturulması, İklim Değişikliği ve Çevre, 6, (1) 8–13

Makale Gönderimi : 15EYLÜL 2020  
Online Kabul : 25EYLÜL 2020  
Online Basım : 30MART 2021

## Türkiye İçin Global Güneş Radyasyonu Persistans Haritalarının Oluşturulması

Gizem Nur KANDILCI<sup>1</sup>, Kasım KOÇAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 34660, Maslak, İstanbul ORCID: 0000-0002-4750-4084

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 34660, Maslak, İstanbul ORCID: 0000-0002-5611-0298

**Özet** Global güneş radyasyonu persistansı, global güneş radyasyonunun belirli bir bölge ve zamandaki sürekliliğini ortaya koyan bir ölçüdür. Global güneş radyasyonu persistansı tarım, hidroloji ve güneş enerjisi gibi birçok alanda kullanılabilecek önemli bir bilgidir. İklim değişikliği ve küresel ısınma nedeniyle bulut oluşum süreci üzerinde gerçekleşen değişiklikler yere ulaşan güneş enerjisi miktarını ve sürekliliğini etkilemektedir. Bu durum başta enerji olmak üzere birçok alanda persistans bilgisine olan ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Bir bölgenin güneş enerjisi potansiyelini ortaya koyma ve güneş enerjisi üretim santralleri için ideal yerin tespitinde global güneş radyasyonu persistansı, güneşlenme süresi persistansı ile birlikte düşünülmelidir. Çalışmada küresel güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi verilerine iki farklı persistans hesaplama yöntemi uygulanarak Türkiye genelinde güneşlenme süresi persistans bilgisi de göz önünde bulundurularak küresel güneş radyasyonu persistansının alansal dağılımı ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Global Güneş Radyasyonu Persistansı, Güneşlenme Süresi Persistansı, Koşullu Olasılık, Süreklilik Eğrileri, Global Güneş Radyasyonu, Güneşlenme Süresi.

## Global Solar Irradiation Persistence Mapping Generation for Turkey

**Abstract** Global solar radiation persistence is a measure of daily total global solar radiation at a given time and location. The global solar radiation persistence is of crucial importance because persistence information can be used in many sectors such as agriculture, hydrology and solar energy. Climate change and global warming cause changes in cloud formation process and accordingly influence the amount and the continuity of solar irradiation. This leads to the need for persistence information in many areas, primarily in the field of solar energy. Global solar radiation persistence is a substantial criteria to reveal the solar energy potential of a given area and enable us to determine the ideal site for solar energy production. Therefore, the global solar radiation persistence should be considered with sunshine duration persistence. In this study, two different methods, namely conditional probability and duration curves, have been applied to the daily total global solar radiation and sunshine duration data. And the global solar radiation persistence distribution for Turkey is revealed by considering with sunshine duration persistence information.

**Keywords:** Global Solar Radiation Persistence, Sunshine Duration, Conditional Probability, Duration Curves, Global Solar Radiation, Sunshine Duration.

### 1. Giriş

Dünyamız için yegâne enerji kaynağı olan güneş, iklim ve atmosferi etkileyen en önemli faktördür. Yaşamın sürdürülebilmesi için gerekli olan güneş enerjisi, dünyadaki madde ve enerji akışlarının gerçekleşmesini sağlamaktadır. Güneşten gelen enerjideki değişimler, direkt olarak dünyanın ve atmosferin ısınmasında, dolaylı olarak ise bulut oluşum süreci üzerinde değişikliğe neden olması sebebiyle iklim üzerinde önemli etkilere sahiptir [1]. Öte yandan, iklim değişikliği ve küresel ısınma nedeniyle küresel sıcaklıkların artması atmosferdeki su buharı miktarına etki ederek daha fazla bulut oluşumuna neden olmaktadır. Dolayısıyla bulutluluğun artması yere ulaşan güneş radyasyonu miktarını ve sürekliliğini de etkilemektedir. Yere ulaşan güneş radyasyonunun azalmasında bulutluluğun artmasına ek olarak, aerosollerin dağılımının ve hava kirliliğinin de önemli bir etken olduğu unutulmamalıdır.

Güneşten gelen enerjinin sürekliliği tarımsal üretim açısından oldukça önemlidir. Çünkü güneş radyasyonunu topraktaki nemi ve bitkilerin evapotranspirasyon oranlarını etkilemesidir [2]. Ayrıca, güneş

enerjisi tohum çimlenmesi için gerekli ışığı sağlayarak, bitkilerin yapraklarının gelişmesi ve çiçeklenmesi gibi fiziksel süreçlerinin devam etmesine katkı sağlamaktadır [3].

Günümüzde tüketilen enerjinin büyük bir kısmını hala fosil kaynaklı yakıtlar oluşturmaktadır. Ancak son yıllarda konvansiyonel enerji kaynaklarının ömürlerinin sınırlı olması, çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar, iklim değişikliği tehdidi, ulusal hükümetler tarafından uygulanan politikalar ve artan dünya nüfusuna bağlı enerji talebi yenilenebilir enerji santrallerinin yaygınlaşmasına neden olmuştur. Rüzgar hızı, global güneş radyasyonu gibi kesikli sürece sahip değişkenlerin, rüzgar ve güneş enerjisi üretim sistemlerinin kurulum yerini, boyutunu, dizaynını ve performansını etkilemesi nedeniyle sürekliliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Türkçede “sebat”, “daimilik (süreklilik)” anlamlarında kullanılan persistans, rüzgar, sıcaklık, yağış miktarı gibi bir değişkenin herhangi bir noktada veya bölgede belirli bir zaman periyodu içerisinde ortalama düzeyde gösterdiği sürekliliğin bir ölçüsüdür. Tüm bu nedenlerle yere ulaşan güneş radyasyonu miktarının ve sürekliliğinin belirlenmesi oldukça önemli bir konudur.

Kuzey Yarım Küre’de 36°–42° kuzey enlemleri ile 26°–45° doğu boylamları arasında Asya, Avrupa ve Afrika kıtalarının kesiştiği yerde bulunan Türkiye, güneş kuşağı içerisinde olması sebebiyle birçok ülkeye göre oldukça avantajlı konumdadır. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)’na göre, Türkiye için günlük 7,5 saat olmak üzere, yıllık toplam güneşlenme saati 2737 saattir. Yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise günlük toplam 4,2 kWh/m<sup>2</sup> olmak üzere, 1527 kWh/m<sup>2</sup>’dir. Türkiye’nin ortalama global güneş radyasyonu 1500 kWh/m<sup>2</sup>’dir [4].

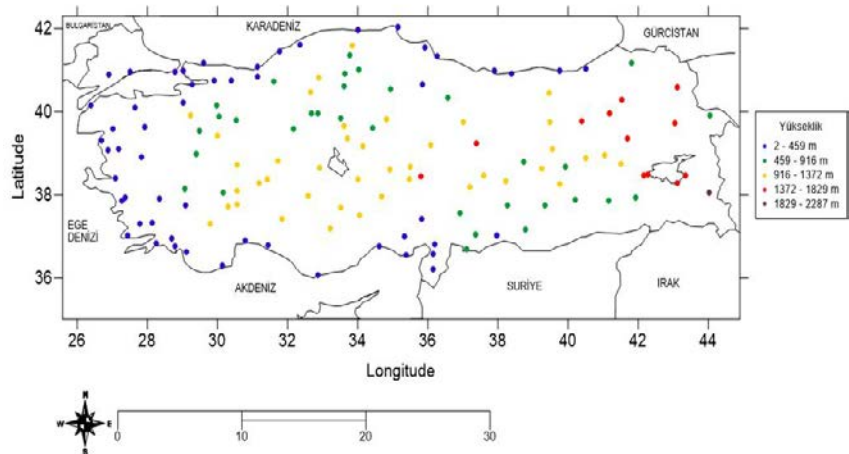
Çalışmada kullanılan yöntem daha çok rüzgâr verilerine uygulanmıştır ([5]-[11]). Bu yöntemler ilk kez güneş radyasyonu persistansının hesaplanmasına ve ülke genelinde haritalanmasına uygulanmıştır [12].

Bu çalışmada Türkiye genelinde 140 istasyona ait günlük toplam global güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi verilerine iki farklı persistans hesaplama yöntemi uygulanarak Türkiye genelinde persistansın alansal dağılımının ortaya konulması amaçlanmıştır. Global güneş radyasyonu persistansı, güneşlenme süresi persistans bilgisi ile birlikte düşünülerek belli bir eşik değerinin üzerindeki global güneş radyasyonu persistansına ait bölgeler arasında en iyi verimin alınabileceği ortak alanlar belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Çalışma Alanı ve Veri

Çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’nden alınan Türkiye’nin her bölgesinden farklı ölçüm periyotlarına sahip toplam 191 istasyonun uzun yıllar günlük global güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi verileri kullanılması amaçlanmış, ancak çalışmanın güvenilirliği için veri kaybının %5’in üzerinde olduğu ve ölçüm periyotlarının birbirine uymadığı istasyonlar çalışmadan çıkarılmıştır. Buna göre Türkiye çapında 191 istasyondan 140 tanesinde çalışma imkânı kalmıştır (Şekil 1). İstasyonların koordinatları 42,03°-36,07° enlemleri ile 44,05°-26,40° boylamları arasında, yükseklikleri, 2 ile 2287 m arasında, ölçüm periyotları ise her istasyonun farklı olmak üzere 1967 ile 2016 yılları arasında değişmektedir.



Şekil 1. Türkiye geneli persistans uygulaması yapılan istasyonlar ve yükseklikleri.

### 2.2. Koşullu Olasılık Yaklaşımı

Teorik olarak, bir olayın gerçekleştiği bilindiğinde diğer olayın gerçekleşme olasılığı anlamına gelen koşullu olasılık meteorolojide persistansın bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Örneğin, dün yağış olduğu bilindiğinde, bugün yağış olma olasılığı veya bir önceki durumun yağışlı olduğu bilindiğinde, bir sonraki durumda donan yağmur meydana gelme olasılığı koşullu olasılığa örnektir [13]. Verilen bir t-1 anında bir v<sub>t-1</sub> olayının gerçekleştiğinin bilinmesi durumunda, t anında v<sub>t</sub> olayının gerçekleşmesinin koşullu olasılığı  $P(v_t | v_{t-1})$  şeklinde gösterilir.  $P(v_t | v_{t-1})$  hesaplanırken

öncelikle bir eşik değeri belirlenmelidir [13].

Global güneş radyasyonu (GGR) verileri için, GGR değerinin eşik değere eşit ve üstünde olduğu durumlar  $R_+$ , GGR değerinin eşik değerinin altında olduğu durumlar  $R_-$  ile gösterilmek üzere bir önceki durumun GGR değerinin eşik değerinin üzerinde olması koşulu altında, bir sonraki durumda GGR değerinin eşik değerinin altında olması koşullu olasılığı eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır.

$$\hat{P}(R_t = R_+ | R_{t-1} = R_+) = \frac{R_+'yi\ izleyen\ R_+'lerin\ sayısı}{R_+'lerin\ toplam\ sayısı} = \frac{n_{R_+R_+}}{n_{R_+}} \quad (1)$$

Aynı şekilde koşullu olasılık yöntemiyle güneşlenme süresi verileri için persistansın hesaplanmasında eşik değerinin altındaki ve üstündeki durumlar  $G_+$  ve  $G_-$  olarak adlandırılmakta ve eşitlik (2) yardımıyla sayısal değerler elde edilmektedir.

$$\hat{P}(G_t = G_+ | G_{t-1} = G_+) = \frac{G_+'yi\ izleyen\ G_+'lerin\ sayısı}{G_+'lerin\ toplam\ sayısı} = \frac{n_{G_+G_+}}{n_{G_+}} \quad (2)$$

Eşitlik 3'te verilen olasılığı sıfırlayan  $q$  değeri persistansı vermektedir. Koşullu olasılık yaklaşımıyla persistansı ifade eden  $P_{CPRA}$  ile gösterilecek olan  $q$ 'nın değeri büyüdükçe persistans artmakta, küçüldükçe persistans azalmaktadır.

$$\hat{P}(R_t = R_+, R_{t-1} = R_+, R_{t-2} = R_+, R_{t-3} = R_+, \dots, R_{t-q} = R_+) = 0 \quad (3)$$

### 2.3. Süreklilik Eğrileri Yaklaşımı

Süreklilik eğrileri, belirli bir periyot boyunca bir değişkenin kümülatif frekans dağılımının fonksiyonudur. Sıra istatistiği yaklaşımıyla elde edilen süreklilik eğrilerinde,  $r_{(i)}$  sıralanmış global güneş radyasyonu gözlem değerlerinin rankları kullanılarak  $P(r_{(i)})$  değerlerinin hesaplanması söz konusudur. Burada  $r_i$  i. gözlem değerini  $r_{(i)}$  ise artan veya azalan şekilde sıralanmış i. gözlem değerini göstermektedir. Artan olacak şekilde sıralanmış bir veri setinde, global güneş radyasyonunun her bir  $r_{(i)}$  değerine eşit veya ondan büyük olduğu zaman yüzdesi denklem (4) ile hesaplanmaktadır.

$$P(r_i) = \frac{n+1-i}{n+1} \times 100 \quad i=1,2,\dots,n. \quad (4)$$

Global güneş radyasyonu süreklilik eğrileri,  $r_{(i)}$  değerlerinin dikey,  $P(r_{(i)})$  değerlerinin yatay eksene taşınmasıyla elde edilir. Eşik değerin süreklilik eğrisini kestiği noktaya karşılık gelen  $P(r_{(i)})$  değeri ile  $P_{GSRDC}$  şeklinde gösterilecek olan persistans değeri bulunmaktadır.

Aynı şekilde güneşlenme süresi gözlem değerleri ( $g$ ) için, sıra istatistiği yaklaşımıyla ve eşik değeri kullanılarak oluşturulan güneşlenme süresi eğrilerinden  $P_{SDDC}$  persistans değerleri elde edilebilir.

## 3. UYGULAMADA ELDE EDİLEN SONUÇLAR

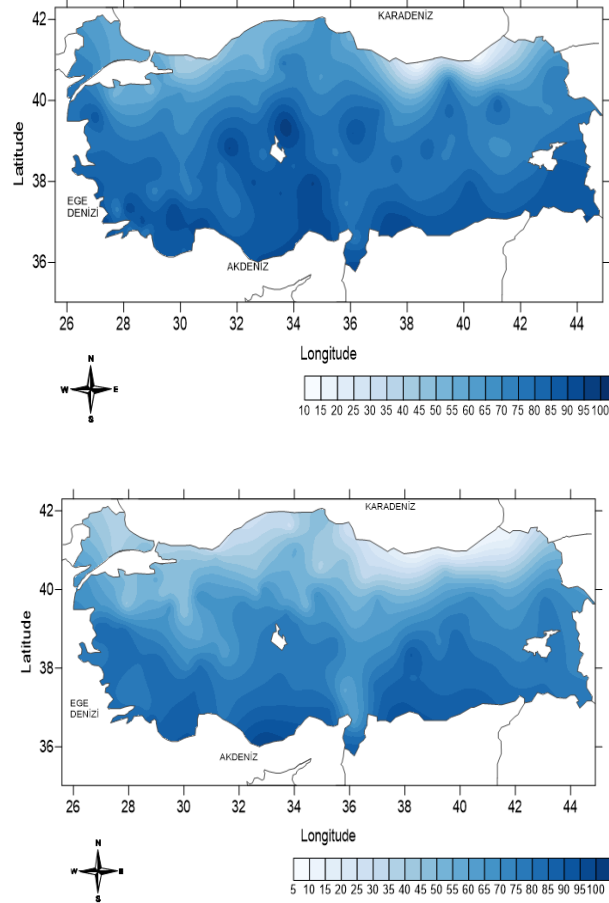
Marmara bölgesinden 17, Ege ve Karadeniz'den 21, İç Anadolu'dan 31, Doğu Anadolu'dan 22, Güneydoğu Anadolu'dan 10 ve Akdeniz'den 18 olmak üzere Türkiye genelinde 140 istasyonun global güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi verilerine, koşullu olasılık ve süreklilik eğrileri olmak üzere iki farklı yöntem uygulanmıştır. Eşik değerler global güneş radyasyonu için 2,40 kWh/m<sup>2</sup>, güneşlenme süresi için 3,53 (saat) olarak belirlenmiştir.

Koşullu olasılık yönteminde, eşik değerlerin altında ve üzerindeki iki durum  $R_+$ ,  $R_-$  ve  $G_+$ ,  $G_-$  olarak adlandırılmış, bu durumların koşullu olasılıkları hesaplanarak  $P_{CPRA}$  persistans değerleri bulunmuştur. İkinci aşamada, diğer yöntemlerle karşılaştırmada kolaylık sağlaması amacıyla istasyonların  $P_{CPRA}$  değerleri alınan en büyük değere göre normalize edilerek 100 üzerinden değerlendirilmiştir. Normalize edilmiş değerler persistans haritalarında kullanılmıştır. Haritalama programı ile her iki değişken için 5 kontur aralıklı olarak çizilen persistans haritaları Şekil 2'de görülmektedir.

Koşullu olasılık yöntemiyle elde edilen haritalara bakıldığında, Türkiye'nin kuzey ile güney kısımları arasındaki fark açıkça görülmektedir. Karadeniz kıyıları için persistans değerleri, bölgenin yeterince güneş ışınımı almamasına bağlı olarak düşük çıkarken, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri için persistans oldukça yüksek değerler almaktadır.

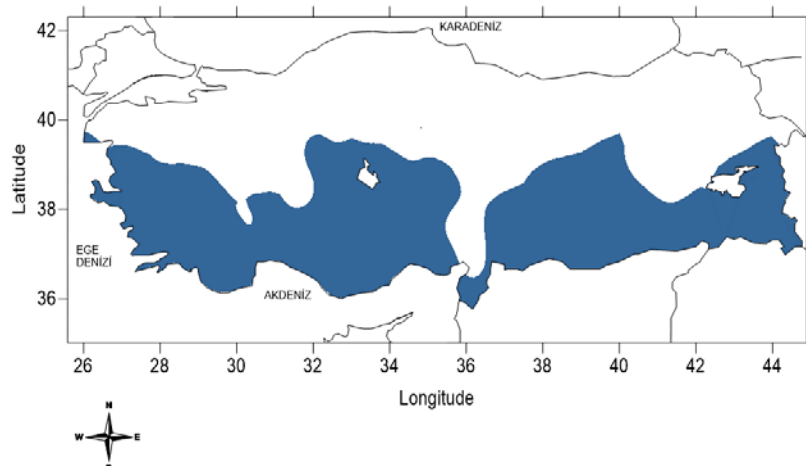
Global güneş radyasyonu persistansının yüksek çıktığı bölgelerden en uygun olanına karar vermenin yolu güneşlenme süresinin de sürekli olduğu yani güneşlenme süresi persistansının da belli bir eşik değerinin üzerinde olması durumunda gerçekleşebilir.

Bu nedenle, her iki değişkenin persistans haritaları üst üste konularak persistans değerlerinin belirlenen eşik değeri üzerinde kaldığı alanlar belirlenmiştir. Global güneş radyasyonu PCPRA değerleri için medyan 75,98, güneşlenme süresi  $P_{CPRA}$  değerleri için medyan 70,1 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Türkiye geneli global güneş radyasyonu ve güneşlenme süresinin koşullu olasılık haritaları.

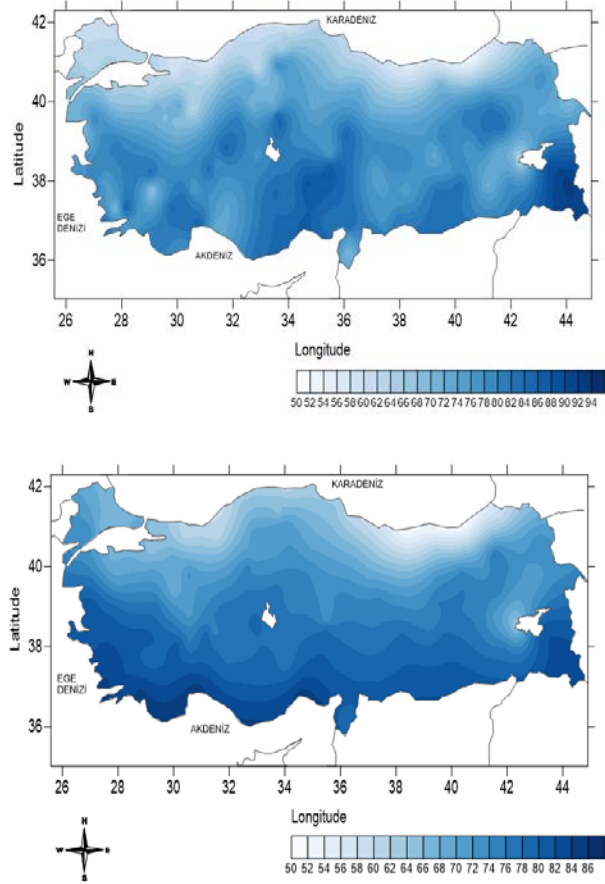
Medyan değerine göre kesişim haritasına bakıldığında Türkiye'nin Marmara, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi'nin bir kısmı dışında kalan bölgelerde orta ve yüksek derecede persistansın varlığından söz edilebilir (Şekil 3). Şekilden de görüldüğü gibi Amanos Dağlarına denk gelen bölgede, persistans açısından bir süreksizlik bölgesi ortaya çıkmaktadır. Bu durumun veri eksikliğinden kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 3. GGR ve GS CPA haritalarının kesişimi (medyan değerine göre).

Süreklilik eğrileri metoduyla elde edilen persistans değerlerinin 2 kontur aralıklı hazırlandığı persistans dağılım haritaları Şekil 4'te görülmektedir. Güneşlenme süresi için persistans

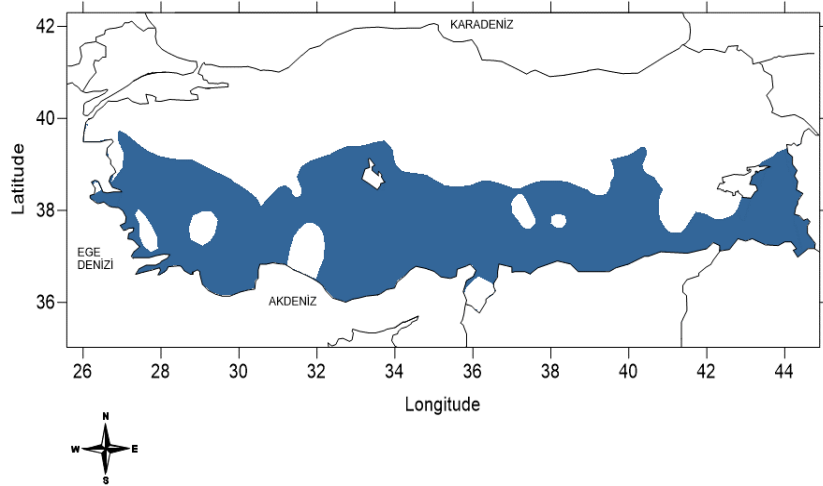
Karadeniz bölgesinin doğusunda oldukça düşüktür. Türkiye'nin en az bulutluluğa ve en fazla güneşlenme süresine sahip batı Akdeniz Bölgesinde, persistansın en yüksek olduğu yerlerin Muğla ve Antalya olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Türkiye genel P<sub>SDDC</sub> haritası.

P<sub>GSRDC</sub> haritasına bakıldığında, Karadenizle birlikte Marmara'nın tamamının oldukça düşük değerler aldığı görülmektedir. En yüksek persistans, rakımın 2300 m'lere çıktığı Van'ın Başkale ilçesinde gözlenmiştir. Ege, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin bazı noktaları dışında persistans düşük, Mersin, Adana ve Şanlıurfa, Mardin civarında yüksek çıkmıştır.

GGR ve GS süreklilik eğrileri için medyan değerleri sırasıyla, 76,12 ve 81,27 olarak bulunmuştur. Kesişim haritası, bir kaç farklılık dışında aynı sonuçları vermektedir. Güney bölgelerde persistansın yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. P<sub>GSRDC</sub> ve P<sub>SDDC</sub> kesişim haritası. (medyan değerine göre)

## 4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmadan genelde benzer sonuçlar elde edilse de, yöntemlerin sahip olduğu yaklaşım farklılıkları nedeniyle ayrıntılı incelendiğinde bazı detayların önemli olduğu görülmüştür. Ancak iki yöntemden de çıkarılabilecek genel sonuç, Türkiye genelinde global güneş radyasyonu persistansının en yüksek olduğu bölgelerin Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz, en düşük persistans değerlerinin ise Karadeniz ve Marmara bölgesinde olduğudur.

Türkiye genelinde en fazla bulut kapallığı miktarı ve en az güneşlenme süresi doğu Karadeniz Bölgesine aittir (bkz. [14]). Buna paralel olarak her iki yöntemden de elde edilen haritalarda en düşük persistans değerlerinin doğu Karadeniz Bölgesinde gözlenmesi beklenen bir durumdur. Aksine, bulutluluğun en az, güneşlenme süresinin fazla olduğu güney bölgelerde ise yüksek persistans değerleri söz konusudur.

Türkiye genelinde istasyon sayısının çoğaltılması ve global güneş radyasyonu ile güneşlenme süresi ölçümlerinin kesintisiz bir şekilde yapılarak veri kayıplarının minimuma indirilmesi durumunda persistans dağılımları değişebilecek ve daha sağlıklı sonuçlar alınabilecektir.

## 5. KAYNAKLAR

- How Does the Sun Affect Our Climate? Erişim (Nisan 20, 2017), [http://www.ucsusa.org/global\\_warming/science\\_and\\_impacts/science/effect-of-sun-on-climate-faq.html#.WRSr0Yjyg2w](http://www.ucsusa.org/global_warming/science_and_impacts/science/effect-of-sun-on-climate-faq.html#.WRSr0Yjyg2w)
- Solar Radiation and Agriculture. Erişim (Nisan 22, 2017), <http://sunmetrix.com/solar-radiation-and-agriculture/>
- Solar Radiation. (2016). Erişim (Nisan 22, 2017), [http://agritech.tnau.ac.in/agriculture/agri\\_agrometeorology\\_solar.html](http://agritech.tnau.ac.in/agriculture/agri_agrometeorology_solar.html)
- Kaplan, D. (2015). Renewable Energy Turkey. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/10/Renewable%20Energy%20Turkey.pdf>
- Koçak, K., Şen, Z., Şahin, A.D. (2000): Hız Süreklilik Eğrilerinin Rüzgar Verilerine Uygulanması. III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 299-307.
- Koçak, K., (2002): A Method for Determination of Wind Speed Persistence and its Application. Energy, 27, pp:967-973
- Koçak, K., Aslan, A. (2003): Süreklilik Eğrileri ile Rüzgar Hızı Persistansının Hesaplanması. III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, İstanbul, 226-234.
- Koçak, K., (2008): Practical Ways of Evaluating Wind Speed Persistence, Energy, 33, pp:65-70.
- Korkmaz MF, Koçak K., (2015): Türkiye genelinde rüzgar hızı persistansının farklı yöntemlerle incelenmesi. ATMOS 2015, İstanbul, Cilt 2, 1244-1252.
- Özgür, E., Koçak, K. (2016): Investigation of Wind Speed Persistence Over Marmara Region. European Geoscience Union General Assembly 2016, Vienna, Austria.
- Korkmaz FM, Koçak K. (2018): Climatology of wind speed persistence over Turkey. International Journal of Climatology, 38 (suppl 1), pp: e95-e98 ( DOI: 10.1002/joc.5353)
- Kandilci, G.N., Koçak, K. (2017): Türkiye için global güneş radyasyonu persistans haritalarının oluşturulması, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK'2017 5-7, Temmuz 2017, İstanbul.
- Wilks, D. S. (2006). Statistical methods in the atmospheric sciences (Vol. 91). Academic press.
- Sensoy, S., Demircan M., Ulupınar, Y., Balta, İ. Türkiye İklimi. [https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/turkiye\\_iklimi.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/turkiye_iklimi.pdf)