



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Güneş Spektrumunun Türkiye'deki Farklı Bölgeler için Spektral Etkilerin İncelenmesi

Gencer SARIOĞLU*¹, Rüştü EKE²

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Gediz Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 43600, Kütahya, Türkiye

²Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 48000, Muğla, Türkiye

Gencer SARIOĞLU, ORCID No: 0000-0002-7753-7813, Rüştü EKE, ORCID No: 0000-0002-9260-6143

*Sorumlu yazar e-posta : gencer.sarioglu@dpu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 02.07.2024
Kabul: 06.09.2024
Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1509398

Anahtar Kelimeler

APE,
Spektrum,
UF

Öz: Fotovoltaik (PV) modüller üzerine düşen güneşin spektral dağılımından etkilenmektedir. Bu çalışmada farklı iller seçilmiş ve SPCTRL2 programı kullanılarak farklı zamanlar için gelen doğrudan güneş ışınımı spektrumu elde edilmiştir. Bu spektrumlar kullanılarak ortalama foton enerjisi (APE) ve yararlı kesir (UF) ifadeleri güneş gözelerinin spektral tepki aralığına uyumlu olarak seçilmiş ve 300-1200 nm aralığında hesaplanmıştır ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen APE değerleri AM 1.5D spektrum ile karşılaştırılmıştır. Aynı enlem üzerindeki incelenen şehirler için (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) APE ve UF parametreleri batıda bulunan şehirlerde daha büyük olduğu görülmüştür. Aynı boylam üzerindeki incelenen şehirleri (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) karşılaştırdığımızda güneyde bulunan şehirler daha büyük APE ve UF parametrelerine sahip olduğu görülmüştür. PV modül teknolojisinin yapıldığı yarıiletkenin yasak enerji aralığı ile UF parametresi arasında ilişki vardır ve yasak enerji aralığı arttıkça UF parametresi azalmaktadır. UF parametresinin düşük olduğu güneş gözesi teknolojileri spektral etkiye karşı daha hassas davranmaktadır.

Analysis of Spectral Effects of Solar Spectrum for Different Regions in Türkiye

Article Info

Received: 02.07.2024
Accepted: 06.09.2024
Online Aralık 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1509398

Keywords

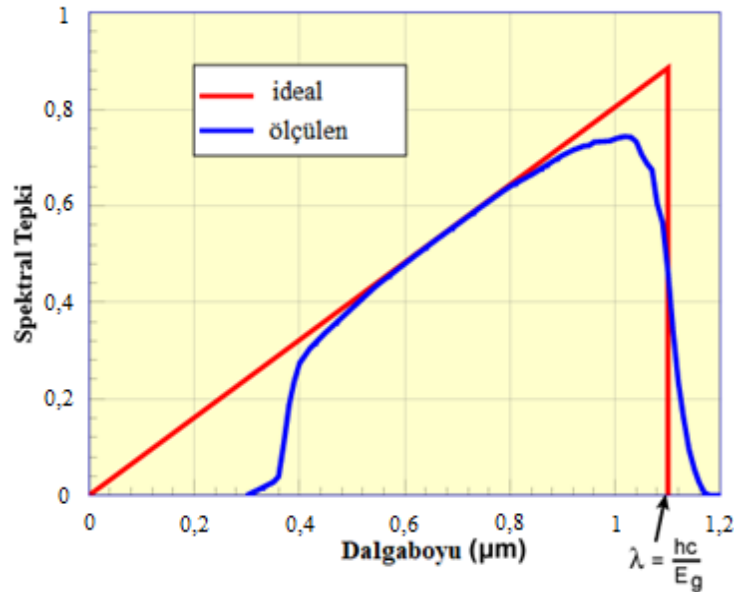
APE,
Spektrum,
UF

Abstract: Photovoltaic (PV) modules are affected by the spectral distribution of the sun falling on them. In this study, different provinces were selected and the direct solar radiation spectrum for different times was obtained using the SPCTRL2 program. Using these spectra, the average photon energy (APE) and useful fraction (UF) expressions were selected in accordance with the spectral response range of solar cells and calculated and compared in the range of 300-1200 nm. The obtained APE values were compared with the AM 1.5D spectrum. For the cities examined on the same latitude (Mugla, Sanliurfa, Istanbul and Trabzon), it was seen that the APE and UF parameters were larger in the cities located in the west. When we compared the cities examined on the same longitude (Mugla, Sanliurfa, Istanbul and Trabzon), it was seen that the cities located in the south had larger APE and UF parameters. There is a relationship between the forbidden energy range of the semiconductor from which the PV module technology is made and the UF parameter, and as the forbidden energy range increases, the UF parameter decreases. Solar cell technologies with low UF parameters are more sensitive to spectral effects.

1. Giriş

Günümüzde enerji talebinin artmasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları giderek önem kazanmaktadır (Keshuov & Moldybayeva, 2024; Wilberforce ve ark., 2024). Güneş enerjisi, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak önemli bir potansiyele sahiptir (Shahsavari & Akbari, 2018). Fotovoltaik (PV) modüller veya güneş gözeleri, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürmek için kullanılan teknolojilerdir (Satpathy & Pamuru, 2020). PV modüllerin dış mekân performansı güneş ışınımından, modül sıcaklığından ve spektral ışınım dağılımından büyük ölçüde etkilenir (Eke ve ark., 2017). PV modüllerin imalatından sonra performansları standart test koşulları (STC) altında ölçülmektedir (Roy ve ark., 2010). Standart test koşulları, 1000 W/m² güneş ışınımı, AM1.5G (Global Işınım) güneş spektrumu dağılımı ve 25 °C modül sıcaklığını ifade etmektedir (Wang ve ark., 2023). Ancak dış ortamda bu koşullara nadiren rastlanmaktadır. Güneş ışığı spektrumu coğrafik konuma, zamana, atmosfer içerisindeki gazlara (H₂O, O₃, ...), hava durumuna vb. etkilere bağlı olarak değişmektedir. Sonuç olarak PV modülün gerçek performansı STC'de elde edilen değerden farklılık göstermektedir (Daxini & Wu, 2024).

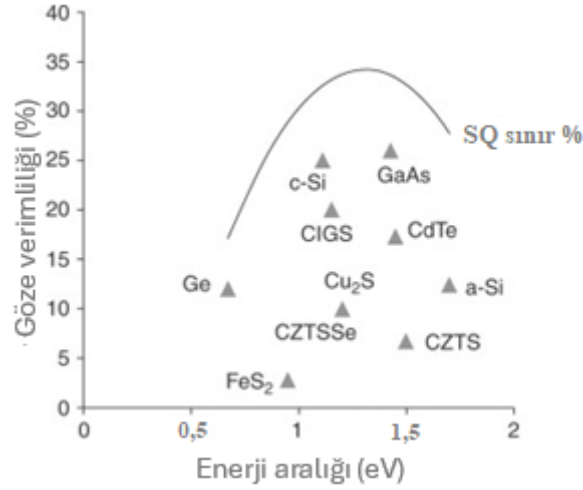
Güneşten uzaya yayılan ve dünyaya ulaşan güneş ışınımı 300 - 2500 nm aralığında değişen bir spektruma sahiptir. Güneş spektrumu farklı dalga boyları için gelen ışınım miktarını birim dalga boyu başına birim zamanda yatay bir birim alana düşen enerji (W/m²/nm) olarak göstermektedir. Bu spektrum UV bölge (<380 nm), görünür bölge (380-780 nm), ve yakın kızılötesi (NIR) bölge (>780 nm) bölge olmak üzere üç kısma ayrılır. Güneş spektrumu, yaklaşık olarak %3 ile %5 arasında UV, %42 ile %43 arasında görünür ve %52 ile %55 arasında yakın kızılötesi (NIR) ışıktan oluşmaktadır (Wang & Yu, 2023).



Şekil 1. Silisyum güneş hücresinin spektral tepkisi (Honsberg & Bowden, 2019).

Fotovoltaik cihazlarda cihaz üzerine düşen foton tarafından bir elektron koparılabilmesi gelen fotonun enerjisine ve fotovoltaik cihazın yarıiletken özelliğine bağlı olarak değişir (Nofuentes ve ark., 2014). Silikon teknolojisine sahip cam altındaki bir güneş gözesinin spektral tepkisi Şekil 1'de verilmiştir. Spektral tepkinin yüksek dalga boyuna karşılık gelen sınır değeri güneş gözesinin yapıldığı yarıiletken teknolojisine bağlıdır. Üst dalga boyu sınırı $\lambda = hc/E_g$ ile elde edilir. Burada λ ; gelen ışığın dalga boyu, h ; Planck sabiti, c ; ışık hızı ve E_g ; Yarıiletken yasak enerji aralığını ifade etmektedir. Silikon dolaylı bir bant aralığı yarı iletkenidir, bu nedenle bant aralığına karşılık gelen dalga boyunda keskin bir kesinti yoktur ($E_g = 1.12$ eV). Düşük dalga boyunda 0.4 μm altındaki fotonlar çoğunluk cam tarafından soğurulur ve orta kısımdaki spektral tepki ideale yaklaşır. Farklı yarıiletken teknolojilerine ait güneş gözelerinin verimlilik ve yasak enerji aralıkları Şekil 2'de verilmiştir (Irvine, 2012).

Bu çalışmada SPCTRL2 programı kullanılarak elde edilen farklı bölge ve zamanlara ait spektrumlardan faydalanılarak APE ve UF parametreleri hesaplanmıştır. Ortalama foton enerjisi (APE) gelen güneş ışınımını karakterize eden önemli ifadelerden biridir ve gelen toplam güneş ışınımının foton akısına oranı olarak tanımlanmaktadır. UF (Yararlı kesir) parametresi cSi (crystalline silicon), aSi (amorphous silicon), CdTe (Cadmium telluride) ve CIGS (Copper indium gallium selenide sulfide) güneş gözesi için yasak enerji aralıkları kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Farklı yarıiletken teknolojilerine sahip güneş gözelerinin verimliliği ve yasak enerji aralığı (Irvine, 2012).

2. Materyal ve Yöntem

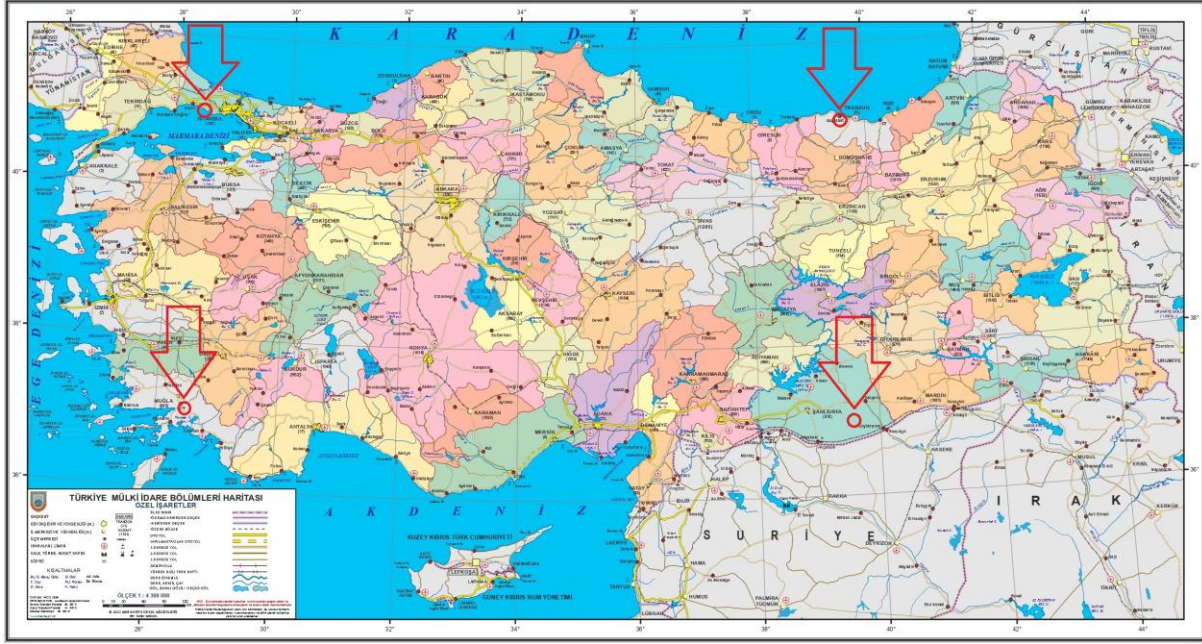
SPCTRL2 programı kullanılarak her gün için 09:00 ile 17:00 arasında bir saat aralıkları ile yeryüzüne doğrudan gelen güneş ışınımı verileri elde edilmiştir. Farklı enlem ve boylam değerleri için Muğla, İstanbul, Şanlıurfa ve Trabzon illeri seçilmiştir ve Çizelge 1'de şehirlere ait hesaplamalarda kullanılan enlem ve boylam değerleri verilmiştir. Enlem ve boylam değerlerinin konum olarak gösterimi Şekil 3'de harita üzerinde verilmiştir. İllere ait spektrumları farklı mevsimlere göre karşılaştırmak amacıyla Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim ayları seçilmiştir ve bu aylara ait günler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Şehirlere ait enlem ve boylam

	Enlem	Boylam
Muğla	37°00'00,0"N	28°30'00,0"E
İstanbul	41°00'00,0"N	28°30'00,0"E
Şanlıurfa	37°00'00,0"N	39°30'00,0"E
Trabzon	41°00'00,0"N	39°30'00,0"E

Çizelge 2. Aylara ait gün sayıları (Ahmad & Tiwari, 2008)

	Ayı temsil eden gün	Yıllık gün sayısı
Ocak	17	17
Nisan	15	105
Temmuz	17	198
Ekim	15	288



Şekil 3. Şehirlere ait hesaplama yapılan enlem ve boylam değerleri (Anonim, 2024).

SPCTRL2 programı kullanılarak spektrumların elde edilmesinde şehirlere ait yükseklik değerlerinden denklem 1 kullanılarak basınç hesaplanmıştır (Du ve ark., 2019). Çizelge 3'de şehirlere ait yükseklik ve hesaplanan basınç değerleri verilmiştir.

$$p = 101325 (1 - 2.25577 \cdot 10^{-5} h)^{5.25588} \quad (1)$$

Çizelge 3. Şehirlere ait hesaplanan basınç değerleri

	Yükseklik (m)	Basınç (mbar)
Muğla	660	936.43
Şanlıurfa	477	957.24
İstanbul	40	1008.45
Trabzon	0	1013.25

USER INPUTS	
Fixed Tilt?	30
Hour	13
Minute	00
Azim	180
AOD	0,27
Alpha	1,14
Albedo	0,20
O3	0,30
Precip H2O	1,42

Slope	30
Press	1013,3
Nday	59

LAT	37
Long	28,5

Şekil 4. SPCTRL2 program kullanıcı girişi.

SPCTRL2 programı, belirli bir alıcı düzlemde (eğik veya yatay) belirli bir zaman noktasında açık gökyüzü için doğrudan, dağınık ve toplam spektral güneş ışınımlarını hesaplar. Araştırmacılara farklı atmosferik koşullar ve farklı güneş paneli geometrileri için spektral ışınımı hesaplama olanağı sağlamaktır. Modele girdiler arasında güneş zenit açısı, eğim açısı, atmosferik bulanıklık, su buharı ve

ozon miktarı, basınç ve yer albedosu bulunur. SPCTRAL2 programı, yaklaşık 10 nm çözünürlükte 300 ile 4000 nm arasında 122 dalga boyunu içeren yeryüzüne gelen güneş spektrumlarını üretir (Bird & Riordan, 1986). SPCTRL2 programı kullanımı birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Utrillas ve ark., 1998; Myers ve ark., 2000; Myers, 2012; Andrade ve ark., 2013).

SPCTRL2 programı kullanılarak Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon illerine ait spektrumların hesaplanmasında Çizelge 1, 2 ve 3'de verilen enlem ve boylam, ayı temsil eden gün sayısı ve basınç değerlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca diğer kullanıcı girişi ile girilen parametreler Şekil 4'de verilmiştir.

2.1 Ortalama foton enerjisi (APE)

APE değeri, toplam güneş ışınımını foton akısı yoğunluğuna bölerek hesaplanır ve foton başına ortalama enerji (eV) elde edilir (Denklem 2) (Cornaro & Andreotti, 2013).

$$APE = \frac{\int_{\lambda_a}^{\lambda_b} G(\lambda) d\lambda}{q_e \int_{\lambda_a}^{\lambda_b} \Phi(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

Burada q_e elektron yüküdür, $G(\lambda)$ dalga boyuna göre güneş ışınımı miktarı, $\Phi(\lambda)$ spektral foton akı yoğunluğudur, λ_a ve λ_b güneş ışınımı spektrumunun dalga boyu sınırlarıdır. Foton akısı dalga boyuna, güneş ışınımı miktarına ve $hc = 1239.8 \text{ eV nm}$ bağlı olarak Denklem 3 kullanılarak elde edilebilir (Katsumata ve ark., 2011).

$$\Phi(\lambda) = \frac{G(\lambda)}{\frac{hc}{\lambda}} \quad (3)$$

2.2 Yararlı kesir (UF)

Yararlı kesir ifadesi PV modül teknolojisine bağlı olarak Denklem 4 kullanılarak elde edilmektedir. Burada $\lambda(E_g)$ ifadesi PV modülün yapıldığı yarı iletkenin yasak enerji aralığına karşılık gelmektedir (Alonso-Abella ve ark., 2014; Gueymard, 2023).

$$UF = \frac{1}{G} \int_0^{\lambda(E_g)} G(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

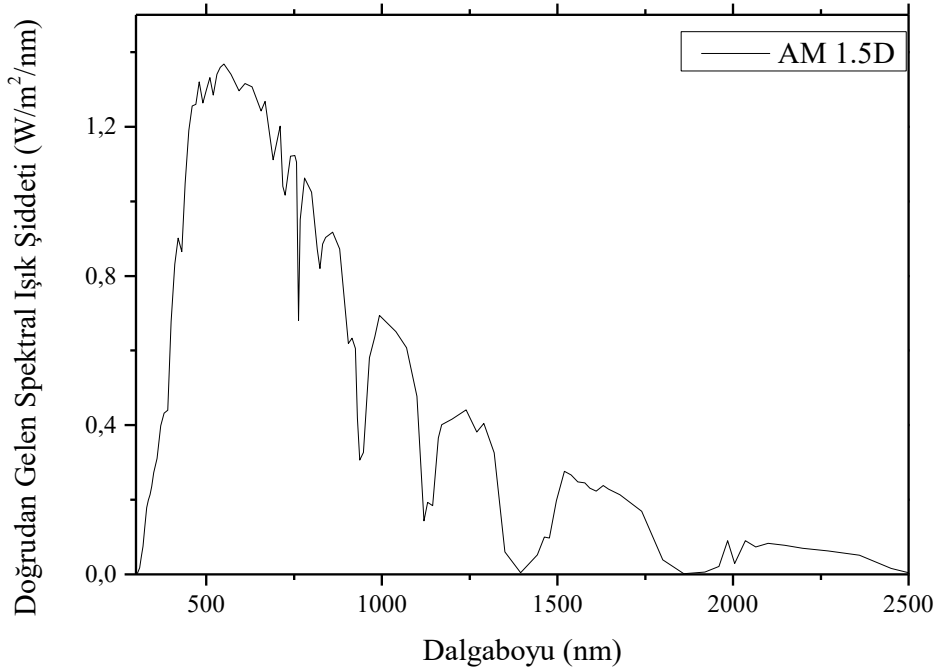
3. Bulgular

Fotovoltaik (PV) modüllerin verimliliği AM 1.5G (Global) ışınım şiddeti altında hesaplanır. Ancak dış koşullarda bu spektrum çok nadir karşılaşılan bir durumdur. PV modüllerin verimliliği güneşin spektral değişiminden etkilenmektedir (Eke ve ark., 2017). APE, Güneş ışığının spektral karakterizasyonu için kullanılan parametrelerden biridir (Cornaro & Andreotti, 2013). Spektrum üzerinde fotonun dalga boyu azaldıkça enerjisi artmaktadır ve düşük dalga boyu üzerinde oluşan kayıplar ortalama foton enerjisini azaltacaktır. Spektrum üzerinde gelen fotonun elektrik enerjisi üretebilmesi için en az sahip olması gereken enerji ya da fotonun dalga boyunun üst limiti PV modülün göze teknolojisinin yarıiletken özelliklerine bağlıdır. Güneş gözesinin yapıldığı yarıiletkenin yasak enerji aralığı fotonun üst limit dalga boyunu belirlemektedir (Honsberg & Bowden, 2019). Görüldüğü gibi spektral etki güneş gözesi teknolojisine ve gelen güneş ışınımının mevsimsel ve günün farklı zamanlarında yeryüzüne ulaşan spektral özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Alonso-Abella ve ark., 2014).

Bu çalışmada Türkiye'deki dört il (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) için SPCTRL2 programı kullanılarak dört farklı ay (Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim) için her ayı temsil eden günlerde 09:00 – 17:00 arasında bir saat aralıklar ile spektrumlar elde edilmiştir. Her spektruma ait APE değerleri 300-1200 nm aralığında hesaplanmıştır. Elde edilen APE değerlerini AM 1.5D (Doğrudan) koşulları ile

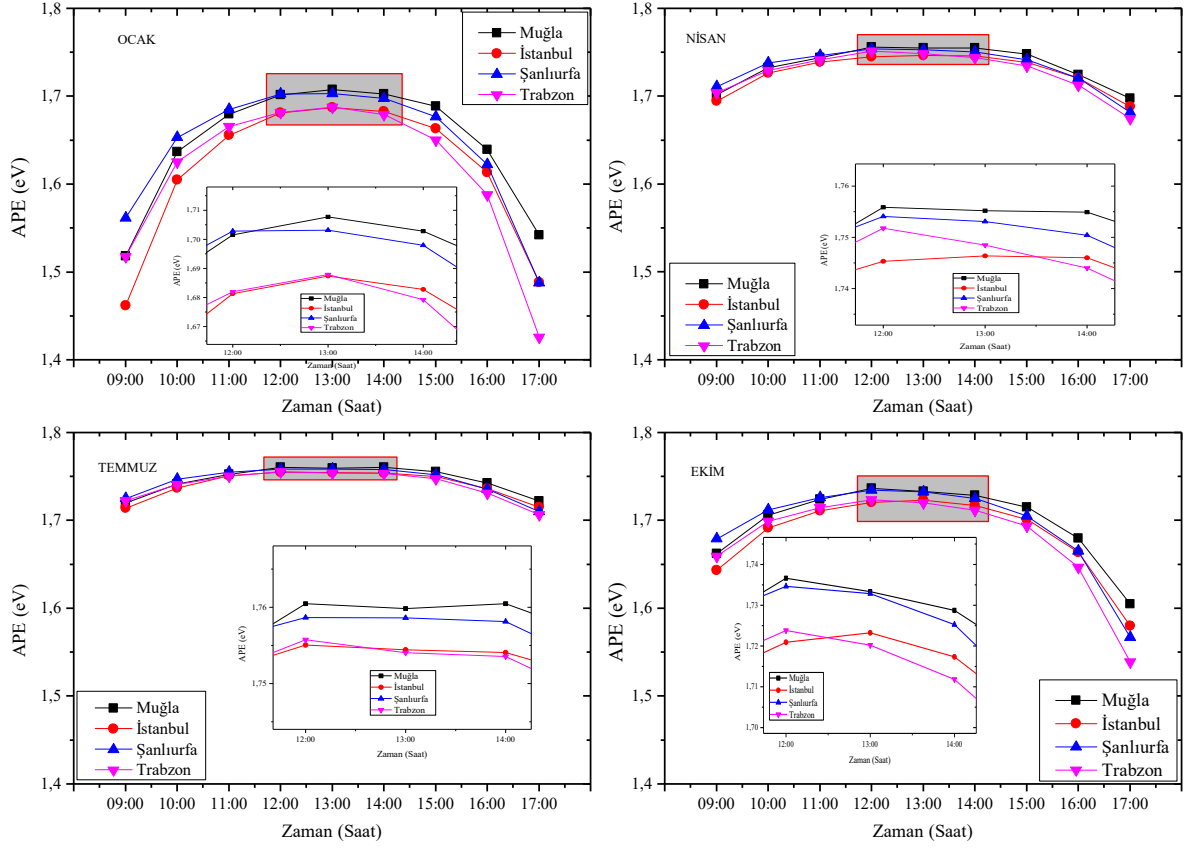
karşılaştırabilmek amacıyla SPCTRL2 programı kullanılarak Doğrudan gelen güneş ışınımı için spektrum elde edilmiştir (Şekil 5). Bu spektrum üzerinde farklı dalga boyu aralıkları için APE parametreleri hesaplanmıştır. Doğrudan gelen güneş ışınımı spektrumunda 300–1200 nm aralığında APE değeri 1.72 eV değerindedir. Spektrumun dalga boyu arttıkça ortalama foton enerjisi azalmaktadır.

Farklı aylar için hesaplanan APE değerleri dört farklı şehir için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6'de verilmiştir. Farklı aylar karşılaştırıldığında en büyük APE değeri Temmuz ayında görülürken en düşük APE değeri ise Ocak ayında görülmüştür. APE değerleri farklı enlem ve boylam değerine sahip illere göre değişimi ise Şekil 7'de verilmiştir. Aynı enlem ve boylam üzerindeki farklı şehirler karşılaştırıldığında batı ve güneydeki ortalama foton enerjisi diğer illere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Gün içerisinde APE değeri 09:00-13:00 arasında arttığı ve 13:00-17:00 arasında azaldığı görülmüştür. APE değeri gün içerisinde saat 13:00'da en üst seviyeye çıkmaktadır. Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon illerinin 13:00 için APE değerleri Şekil 8'de verilmiştir. Enlem ve boylam değerlerindeki değişim gelen güneş ışınımının spektral özelliklerini değiştirdiği görülmektedir.

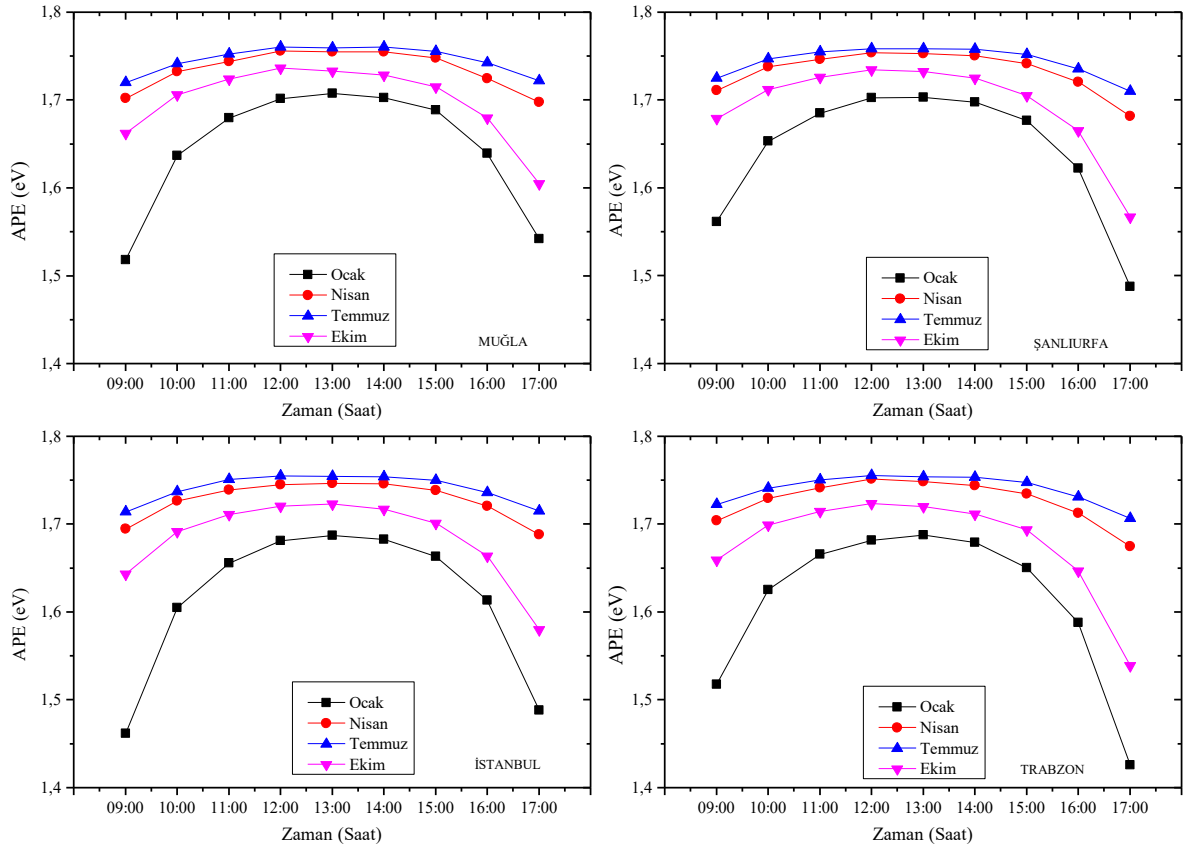


Şekil 5. AM 1.5D spektrumunda ortalama foton enerjisi (APE).

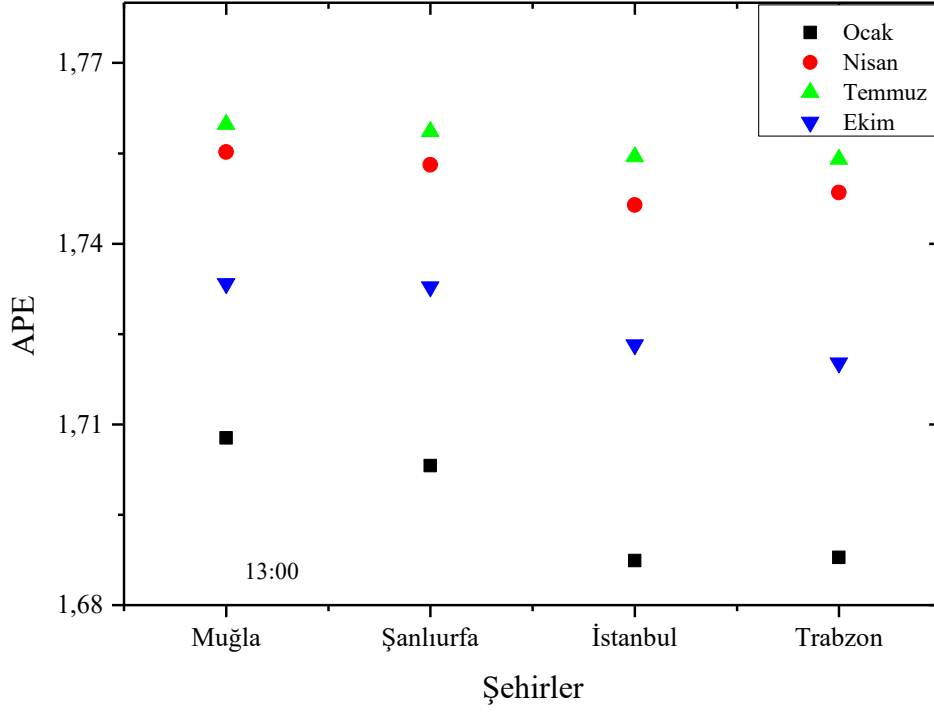
Farklı aylara göre ortalama foton enerjisinin (APE) doğrudan gelen güneş ışınımına göre değişimi Şekil 9'de verilmiştir. Benzer şekilde farklı şehirlere göre APE'nin doğrudan gelen güneş ışınımına göre değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Farklı aylara göre çizilen grafikten mevsimsel spektral değişimin enlem ve boylam değişiminden kaynaklanan spektral değişiminden daha etkili olduğu sonucuna ulaşabiliriz. Ayrıca bu grafiklerden her şehre ait farklı aylar için gün içerisindeki APE değişim aralığını belirleyebiliriz. Muğla ili için Ocak ayında gün içerisinde APE değeri 1.51-1.70 eV aralığında, Nisan ayında 1.69-1.75 eV aralığında, Temmuz ayında 1.72-1.76 eV aralığında ve Ekim ayında 1.60-1.73 eV aralığında olduğu görülmektedir.



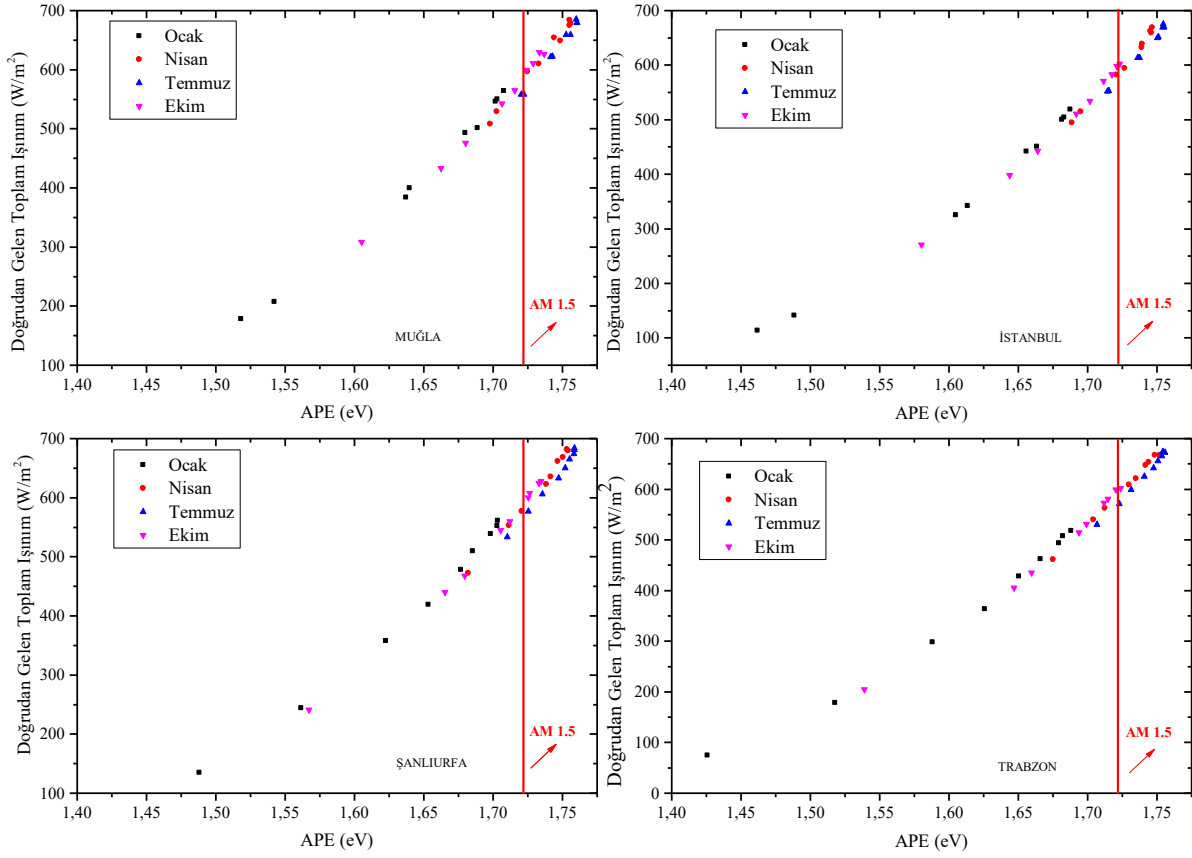
Şekil 6. Farklı aylar için gün içerisinde saatlere göre APE değişimi.



Şekil 7. Farklı şehirler için gün içerisinde saatlere göre APE değişimi.



Şekil 8. Farklı şehirler için saat 13:00'da aylara göre APE değişimi.

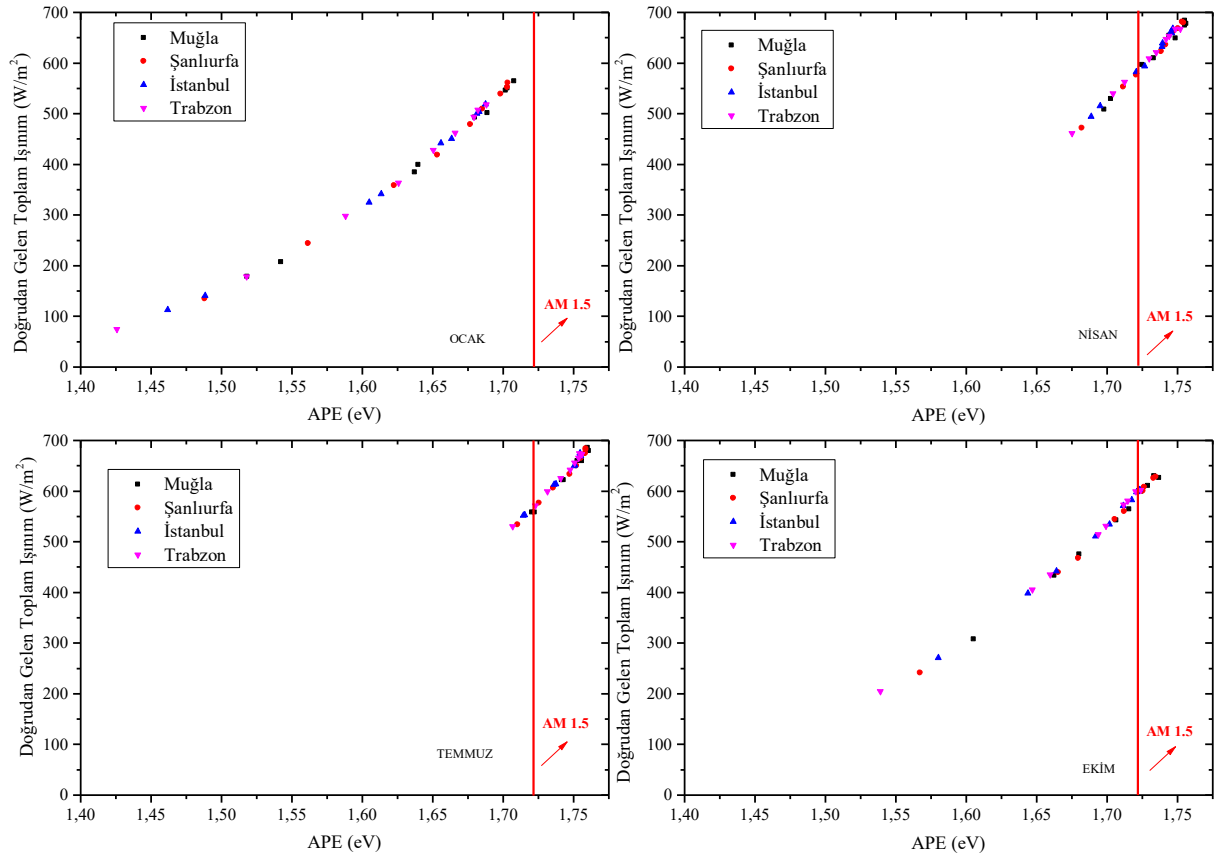


Şekil 9. Ortalama foton enerjisinin (APE) toplam ışınım şiddetine göre değişimi.

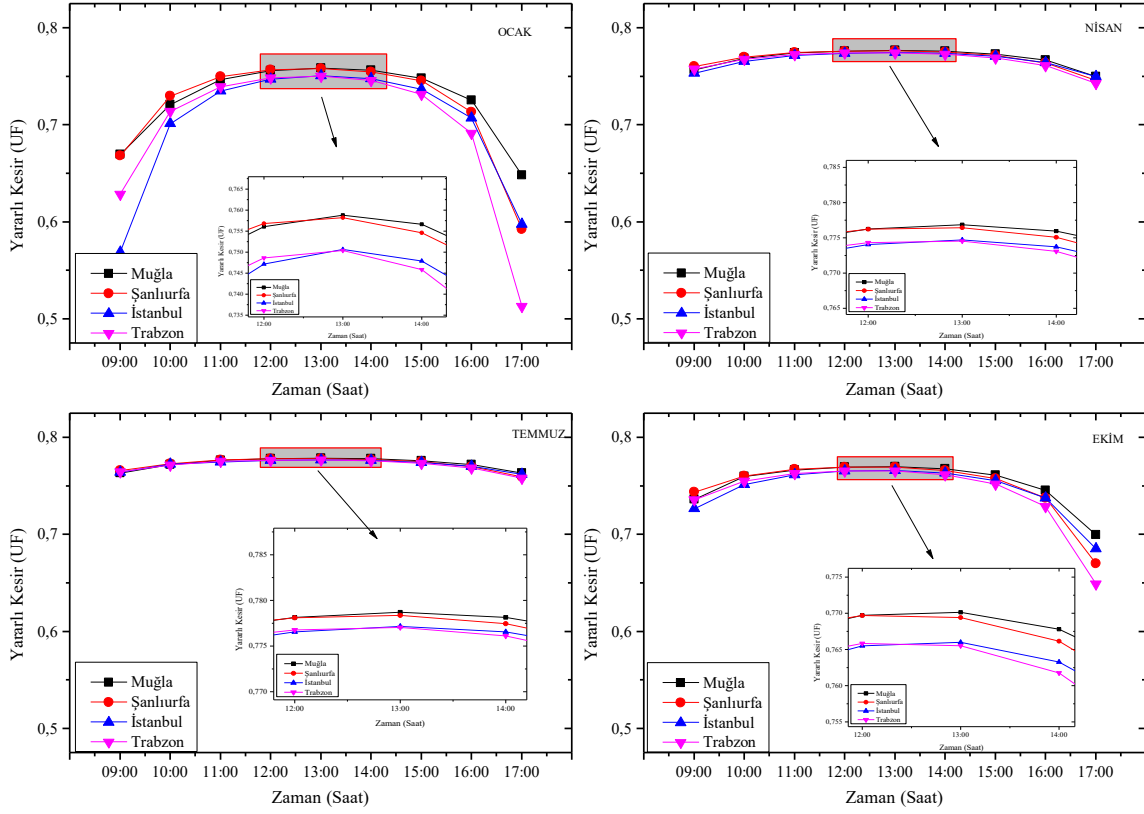
APE parametrelerini AM 1.5D spektrumu ile karşılaştıracak olursak Ocak ayında elde edilen spektrumlardan hiçbiri bu koşulu sağlamamaktadır (Şekil 10). Temmuz ayında ise spektrumların büyük çoğunluğu AM 1.5D spektrumunda daha büyük APE değerine ve toplam ışınım şiddetine sahiptir.

Güneş ışığının spektral etkisinin karakterizasyonunda kullanılan diğer bir parametre de yararlı kesir (UF) ifadesidir. Ortalama foton enerjisinden farklı olarak UF ifadesi güneş gözesine bağlı olarak değişen bir parametredir (Denklem 4).

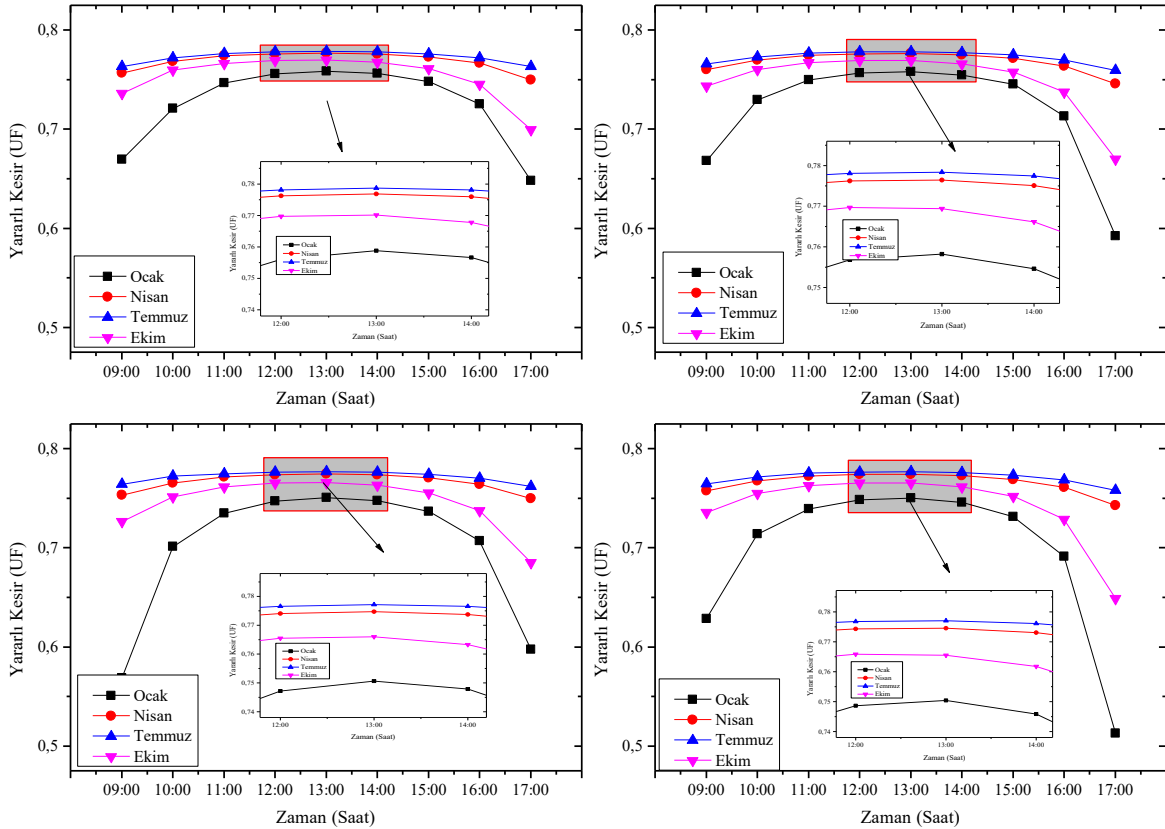
UF ifadesi dört farklı şehir için ve dört farklı ay için günlük 09:00-17:00 arasında bir saatlik aralıklar ile elde edilen spektrumlardan hesaplanmıştır. Farklı şehirler için ve farklı aylar için hesaplanan UF parametreleri Şekil 11 ve 12'de verilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde APE ile benzerlik göstermektedir. Aynı enlem ve boylamda bulunan şehirler karşılaştırıldığında güney ve batıdaki şehirlerde UF parametresinin yüksek olduğu görülmüştür. UF parametresi aylara göre incelendiğinde Temmuz ayında en büyük değere Ocak ayında ise en düşük değere sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 10. Farklı şehirler için APE'nin doğrudan gelen toplam ışınım şiddetine göre değişimi.



Şekil 11. Farklı şehirler için gün içerisinde saatlere göre UF'nin değişimi.

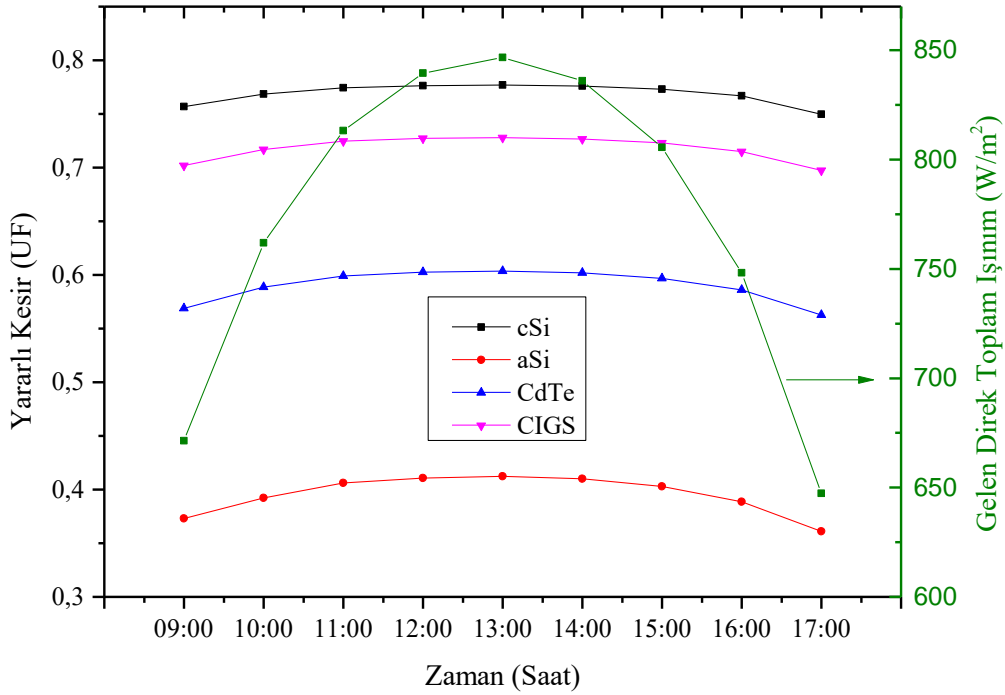


Şekil 12. Farklı aylar için gün içerisinde saatlere göre UF'nin değişimi.

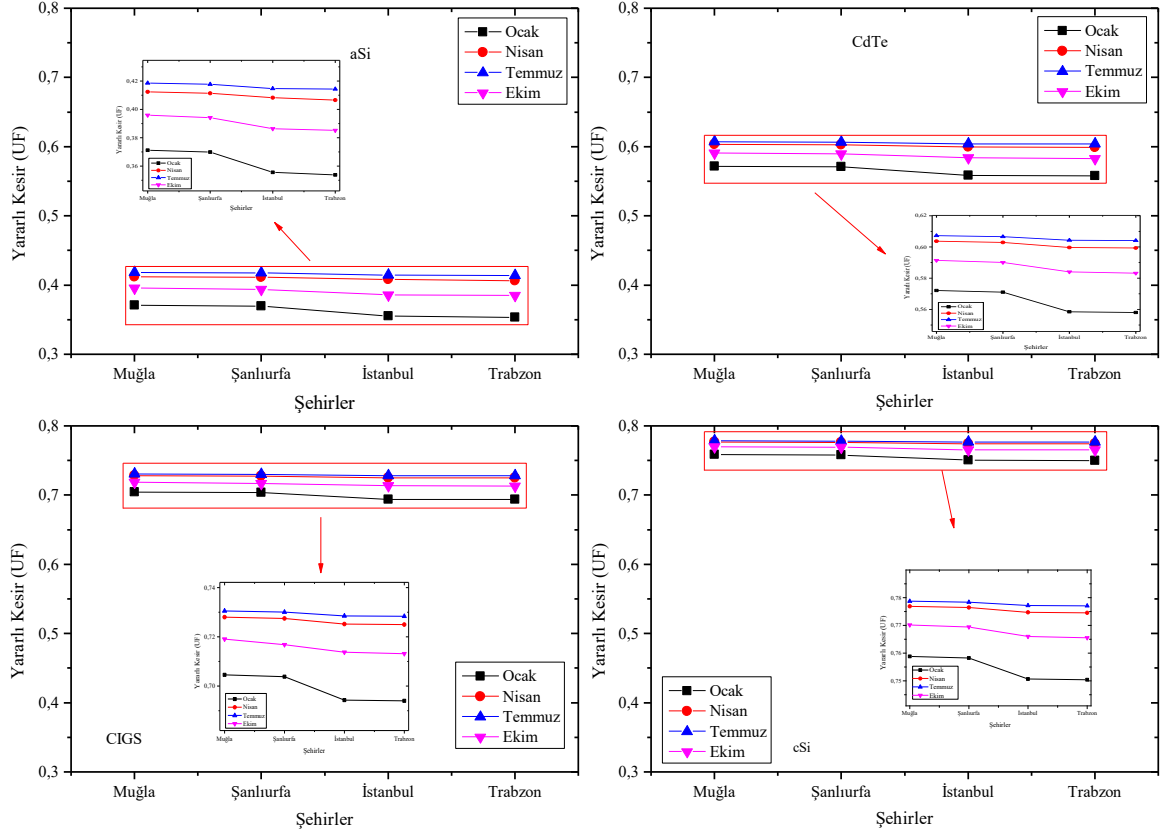
UF ifadesinin farklı güneş gözesi teknolojileri Muğla ili Nisan ayı için hesaplanmıştır (Şekil 13). UF ifadesi güneş gözesi spektral tepki aralığına bağlı bir parametredir ve yasak enerji aralığına bağlıdır. Yasak enerji aralığı arttıkça gelen fotonun enerjisinin artması gerekir ve fotonun dalga boyu üst limiti azalır. Bu nedenle yasak enerji aralığı arttıkça güneş gözesinin spektral tepki aralığı azalacaktır. Bu çalışmada güneş gözelerinin UF parametreleri yasak enerji aralığına bağlı olarak elde edilmiştir.

UF parametresi saat 13:00'da farklı şehirler için ve farklı aylarda elde edilmiştir (Şekil 14). Buna göre tüm göze teknolojileri ve aylar için UF parametresi en yüksek Temmuz ve en düşük Ocak ayında olduğu görülmüştür. Enlem ve boylama göre karşılaştırma yaptığımızda güney ve batıdaki şehirlerin UF parametresinin yüksek olduğu görülmüştür.

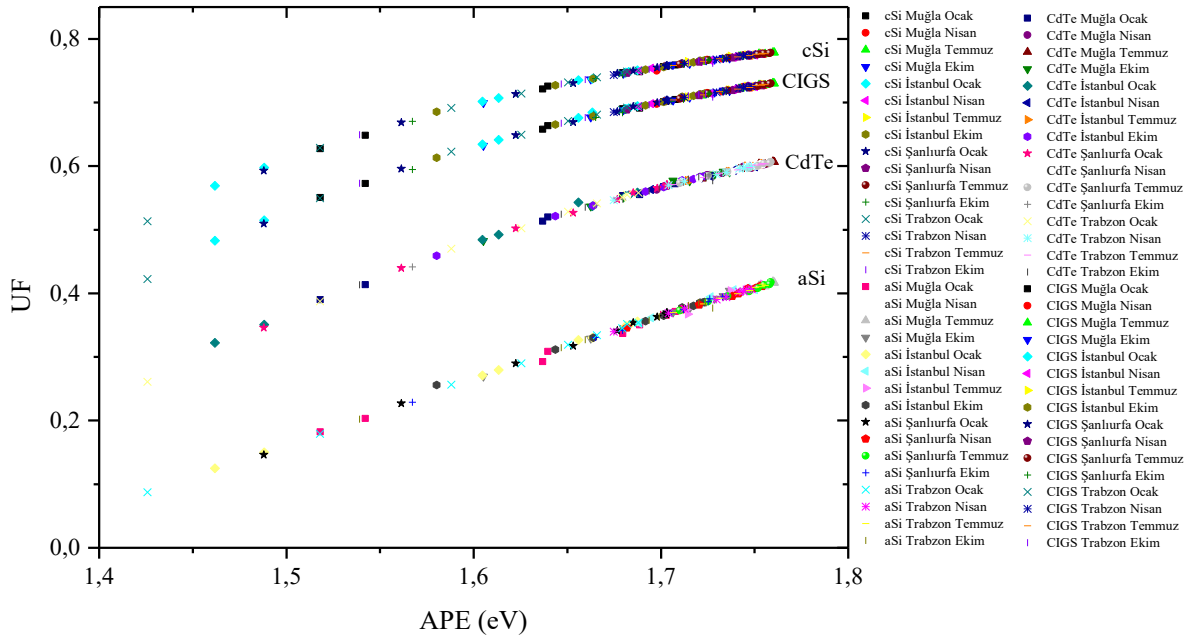
UF parametresi ile APE parametresinin değişimi Şekil 15'de görülmektedir. Buna göre iki parametre de spektral etkilerin belirlenmesini sağlamaktadır. UF parametresi güneş gözesi teknolojisine bağlı olduğu için yüksek APE değerlerinde UF değişimi biraz daha azdır. Bu grafikte dört il ve dört ayın her bir günü için bir saat aralıklarla alınan tüm spektrum verileri bulunmaktadır ve spektrumların büyük çoğunluğu AM 1.5D spektrumundan farklılık göstermektedir.



Şekil 13. Zamana (saat) göre UF ve toplam ışınım şiddetinin farklı göze teknolojileri için bir günlük değişimi.



Şekil 14. Farklı şehirler ve farklı güneş gözesi teknolojilerine göre UF ifadesinin saat 13:00 için değerleri.



Şekil 15. UF – APE'ye göre değişimi.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada AM 1.5D spektrumu için APE değeri doğrudan gelen güneş ışınımı için 300 – 1200 nm dalgaboyu aralığında 1.72 eV olarak hesaplanmıştır. APE değeri hesaplama yapılan dalgaboyu

aralığına bağlı olarak değişir. Chantana ve ark. (2020) tarafından AM 1.5G spektrumu 350-1050 nm dalgaboyu aralığı için APE değeri 1.88 eV olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada AM 1.5G spektrumu üzerinden 350-1050 nm aralığı için hesaplama yaptığımızda 1.88 eV olarak elde edilmiştir. Elde ettiğimiz APE değerleri literatür ile uyum sağlamaktadır. Aynı enlem ve boylam üzerinde seçilen dört il ve mevsimsel değişimleri incelemek amacıyla dört farklı il için her aya ait bir günde saat 09:00 – 17:00 arasında bir saat aralıkları ile spektrumları SPCTRL2 programı kullanılarak elde edilmiştir. Buna göre incelenen iller (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) için aynı enlem üzerinde batıdaki ve aynı boylam üzerinde güneydeki ilde APE parametresinin büyük olduğu belirlenmiştir. Mevsimlere göre karşılaştırıldığında APE parametresinin incelenen iller (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) için Temmuz ayında en büyük ve Ocak ayında en küçük değere sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen APE değerleri AM 1.5D spektrumuna ait APE değeri (1.72 eV) ile karşılaştırıldığında ocak ayında incelenen iller (Muğla, Şanlıurfa, İstanbul ve Trabzon) için hiçbiri bu koşulu sağlamamaktadır. Temmuz ayında ise APE değerlerinin büyük kısmı 1.72 eV değerinden büyük çıktığı görülmüştür.

Spektral etkinin incelenmesi amacıyla kullanılan bir diğer parametre ise UF ifadesidir. UF güneş gözesi teknolojisine bağlı bir parametredir. Dört farklı güneş gözesi teknolojisi için UF parametresi dört farklı il ve dört farklı ay için her güne ait saat 09:00 – 17:00 arasında bir saat aralıkları ile elde edilen spektrumlar kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyum sağlamaktadır (Gottschalg ve ark., 2003). Güneş gözesinin yarıiletken teknolojisine ait yasak enerji aralığı arttıkça UF parametresi azalmaktadır.

APE ve UF spektral etkinin incelenmesi için kullanılan iki farklı parametredir ve bu iki parametre arasındaki değişim grafiği çizilerek incelenmiştir. Bu çalışma ile farklı dalgaboyu aralıklarında incelenen farklı bölgelere ait spektrumların APE değerleri ve farklı yarıiletken teknolojilerine sahip (cSi, aSi, CdTe ve CIGS) güneş gözelerinin incelenen farklı bölgelere ait spektrumlarına göre UF parametresi hesaplanmıştır ve literatüre kazandırılmıştır.

Kaynakça

- Ahmad, M. J., & Tiwari, G. N. (2008). Study of Models for Predicting the Mean Hourly Global Radiation from Daily Summations. *Open Environmental Sciences*, 2(1), 6–14. <https://doi.org/10.2174/1876325100802010006>
- Alonso-Abella, M., Chenlo, F., Nofuentes, G., & Torres-Ramírez, M. (2014). Analysis of spectral effects on the energy yield of different PV (photovoltaic) technologies: The case of four specific sites. *Energy*, 67, 435–443. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.024>
- Andrade, R. C., Tiba, C., Fraidenraich, N., & Souza, J. L. (2013). Estimacão do iuv máximo mensal no semi-árido do nordeste do brasil-estudo de caso água branca-al. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 17, 11.83-11.90.
- Anonim (2024). T.C. Milli savunma bakanlığı harita genel müdürlüğü. Erişim tarihi: 30.07.2024. <https://www.harita.gov.tr/urunler/indirilebilir-urunler/14#>
- Bird, R. E., & Riordan, C. (1986). American Meteorological Society Simple Solar Spectral Model for Direct and Diffuse Irradiance on Horizontal and Tilted Planes at the Earth's Surface for Cloudless Atmospheres. In *Source: Journal of Climate and Applied Meteorology* (Vol. 25, Issue 1).
- Chantana, J., Imai, Y., Kawano, Y., Hishikawa, Y., Nishioka, K., & Minemoto, T. (2020). Impact of average photon energy on spectral gain and loss of various-type PV technologies at different locations. *Renewable Energy*, 145, 1317–1324. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.139>
- Cornaro, C., & Andreotti, A. (2013). Influence of Average Photon Energy index on solar irradiance characteristics and outdoor performance of photovoltaic modules. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(5), 996–1003. <https://doi.org/10.1002/ppa.2194>
- Daxini, R., & Wu, Y. (2023). Review of methods to account for the solar spectral influence on photovoltaic device performance. *Energy*, 129461. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129461>
- Du, H., Li, J., Zhu, W., Qu, Z., Zhang, L., & Lv, M. (2019). Flight performance simulation and station-keeping endurance analysis for stratospheric super-pressure balloon in real wind field. *Aerospace Science and Technology*, 86, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2019.01.001>

- Eke, R., & Betts, T. R. (2017). Spectral irradiance effects on the outdoor performance of photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 429-434. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.062>
- Gottschalg, R., Infield, D. G., & Kearney, M. J. (2003). Experimental study of variations of the solar spectrum of relevance to thin film solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 79(4), 527–537. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(03\)00106-5](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(03)00106-5)
- Gueymard, C. A. (2023). Assessment of the global applicability of three leading indices that characterize the spectral distribution of solar irradiance impacting various photovoltaic technologies. *Energy Conversion and Management*, 295, 117602. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117602>
- Honsberg C.B. & Bowden, S.G. (2019). "Photovoltaics Education Website," www.pveducation.org.
- Irvine, S. J. C. (2012). Photovoltaic (PV) thin-films for solar cells. *Functional Materials for Sustainable Energy Applications*, 22–41. <https://doi.org/10.1533/9780857096371.1.22>
- Katsumata, N., Nakada, Y., Minemoto, T., & Takakura, H. (2011). Estimation of irradiance and outdoor performance of photovoltaic modules by meteorological data. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(1), 199–202. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.01.019>
- Keshuov, S., & Moldybayeva, N. (2024). Selection of optimal structure of an energy-supply system for objects in an agro-industrial complex based on renewable-energy sources. *Renewable Energy Focus*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.100533>
- Myers, D. R. (2012). Direct beam and hemispherical terrestrial solar spectral distributions derived from broadband hourly solar radiation data. *Solar Energy*, 86(9), 2771–2782. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.06.014>
- Myers, D. R., Kurtz, S. R., Emery, K., Whitaker, C., & Townsend, T. (n.d.). (2000) Outdoor meteorological broadband and spectral conditions for evaluating photovoltaic modules. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference (Cat. No.00CH37036). <https://doi.org/10.1109/PVSC.2000.916104>
- Nofuentes, G., García-Domingo, B., Muñoz, J. v., & Chenlo, F. (2014). Analysis of the dependence of the spectral factor of some PV technologies on the solar spectrum distribution. *Applied Energy*, 113, 302–309. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.044>
- Roy, J. N., Gariki, G. R., & Nagalakshmi, V. (2010). Reference module selection criteria for accurate testing of photovoltaic (PV) panels. *Solar Energy*, 84(1), 32–36. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.09.007>
- Satpathy, R., & Pamuru, V. (2021). Rooftop and BIPV solar PV systems. In *Solar PV Power* (pp. 317–364). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-817626-9.00008-3>
- Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 275–291. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065>
- Utrillas, M. P., Boscá, J. V., Martínez-Lozano, J. A., Cañada, J., Tena, F., & Pinazo, J. M. (1998). A comparative study of SPCTRAL2 and SMARTS2 parameterised models based on spectral irradiance measurements at Valencia, Spain. *Solar Energy*, 63(3), 161–171. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00058-9)
- Wang, S., Peng, J., Wang, M., Xue, P., Luo, Y., Ma, T., & Zhao, Y. (2023). Evaluation of the energy conversion performance of different photovoltaic materials with measured solar spectral irradiance. *Renewable Energy*, 219. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119431>
- Wang, L., & Yu, J. (2023). Principles of photocatalysis. In *Interface Science and Technology* (Vol. 35, pp. 1–52). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18786-5.00002-0>
- Wilberforce, T., Olabi, A. G., Sayed, E. T., Mahmoud, M., Alami, A. H., & Abdelkareem, M. A. (2024). The state of renewable energy source envelopes in urban areas. *International Journal of Thermofluids*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100581>