

## ANKARA VE İLÇELERİ İÇİN GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ OPTİMUM EĞİM AÇISININ BELİRLENMESİ

*Abdülkadir KOÇER* \*  
*Seyfi ŞEVİK* \*\*  
*Afşin GÜNGÖR* \*\*\*

Alınma: 17.03.2015; düzeltme: 29.08.2015; kabul:31.10.2015

**Öz:** Ankara merkez ve ilçeleri bazlı olan bu çalışma, güneş kolektörü ve güneş paneli performanslarını en üst düzeye çıkarmak için optimum eğim açısının belirlenmesi ile ilgilidir. Ankara ilinde sabit güneş kolektörleri genellikle yaklaşık  $40^\circ$  eğim açısında yerleştirilmektedir. Bu çalışmada, Ankara il ve ilçeleri için yıllık optimum eğim açısı  $34^\circ \pm 1$  olarak hesaplanmış buna karşın yıl içerisindeki optimum eğim açılarının  $1-67^\circ$  arasında değiştiği hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında bu çalışmaların sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca, altı aylık periyotlar için  $15^\circ$  ve  $56^\circ$ , mevsimlik (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) periyotlar için ise sırasıyla  $62^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $6^\circ$  ve  $49^\circ$  olarak hesaplanmıştır ve optimum eğim açıları için güneş ışınım değerleri bulunmuştur. Sadece yılda iki kez eğim açısı değiştirildiğinde birim alana düşen enerji miktarı arttırıldığından yıllık eğim açısı sabit olanlara göre yaklaşık % 5 verim artışı sağlar. Diğer taraftan eğim açısı her ay değiştirildiğinde ise bu oran yaklaşık % 8'e ulaşabilir. Güneş kolektörleri ve panellerin kullanım verimliliğini arttırmak için, eğim açısını ayda bir kez veya yılda en az iki kez ayarlanması tavsiye edilir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş kolektörü, PV panel, optimum eğim açısı, güneş ışınımı, verim, Ankara.

### Determination of Solar Collector Optimum Tilt Angle for Ankara and Districts

**Abstract:** This study that is Ankara province and districts based deals with the determination of the optimum tilt angle to maximize the performances of solar collector and solar panel. In Ankara, fixed solar collectors are usually placed at slope of  $40^\circ$ . In this study, annual optimum tilt angle for Ankara province and districts was calculated as  $34^\circ \pm 1$  however the optimum angles during the year were calculated between  $1^\circ$  and  $67^\circ$ . The results of this study are compared with similar studies in the literature they were found to be consistent with the results of similar studies. Also, the tilt angle was calculated for the six months periods as  $15^\circ$  and  $56^\circ$ , for seasonal periods (winter, spring, summer, autumn) as  $62^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $6^\circ$  and  $49^\circ$ , respectively and solar radiation for optimum angles of inclination were found. When the tilt angle is changed only twice a year, due to increasing the amount of energy per unit area, according to the annual tilt angle fixed product they provides energy efficiency by about 5%. On the other hand, when the tilt angle is changed every month this ratio can be reached approximately 8%. For increasing the utilization efficiency of solar collectors and panels, it is recommended adjusting of the tilt angle once a month or at least twice a year.

**Keywords:** Solar collector, PV panel, optimum tilt angle, solar radiation, efficiency, Ankara.

\* Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 07070, Kampüs, Antalya

\*\* Hitit Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Elektrik ve Enerji Bölümü

\*\*\* Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 07070, Kampüs, Antalya  
İletişim Yazarı: Seyfi Şevik (seyfisk@hotmail.com)

## 1. GİRİŞ

Dünya yüzeyine ulaşan enerjinin kullanılabilir durumdaki büyük bölümü, Türkiye'nin de içinde bulunduğu 45° kuzey ve 45° güney enlemleri arasında kalan ve dünyanın güneş kuşağı olarak adlandırılan bölgesindedir. Yapılan ölçümlere göre Türkiye'nin % 63'ünde 10 ay, % 17'sinde 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür (Çakmanus, 2001). Türkiye, dünyada işletmede olan düz ve vakumlu güneş kolektörü toplam kapasitesi içerisinde yaklaşık olarak 20 milyon m<sup>2</sup>'lik büyük bir paya sahiptir ve Türkiye'de her yıl yaklaşık 1 milyon m<sup>2</sup> güneş kolektörü üretilmektedir (Şevik, 2011).

Kolektörlerle toplanan güneş enerjisinin miktarı; eğim açısına, günün ve yılın zamanlarına, kolektörün konulduğu yere, yöne, bölgeye bağlı olarak değişir. Bununla birlikte, maksimum performans için en önemli parametre güneş kolektörünün yatayla yaptığı açıdır. Sabit güneş panelleri (sabit güneş kolektörleri ve sabit fotovoltaik paneller), bölgenin coğrafik konumuna ve mevsimlere göre değişen yataya göre belirli bir eğimde güneye bakacak şekilde yerleştirilir. Uygulamaların geneli, kış şartları dikkate alınarak optimum kolektör eğim açısının ( $\beta_{opt}$ ) değerlerinin 45-60° arasında ve bu değerlerin o bölgenin enlem değerine göre değiştiğini ortaya koymaktadır (Güngör ve diğ. 2013). Duffie ve Beckman (1982),  $\beta_{opt} = (\phi \pm 15^\circ) \pm 15^\circ$ , Heywood (1971) ve Doğan (1995),  $\beta_{opt} = (\phi \pm 15^\circ)$  şeklinde yani güneş kolektörünün yıl boyunca kullanımı için bulunduğu yerin enlem derecesine eşit bir açı ile, yalnız yaz sezonu için bulunduğu yerin enlem derecesinden 15° eksik bir açı ile ve yalnız kış sezonu için enlem derecesinden 15° fazla bir açı ile yerleştirilmesi tavsiye edildiğini bildirmişlerdir. Benghanem (2011) yıllık optimum eğim açısını yaklaşık olarak bulunduğu yerin enlemine eşit olarak bulmuşlardır. Koçer ve Güngör (2013) ise Antalya için eğim açısını enlem değerinin 0.9 katı olarak bulmuşlardır.

Günlük global güneş radyasyonu tahmininde kullanılmak üzere Gebze için Tiris ve diğ. (1996) ve Türkiye için Bakirci (2009) korelasyonlar, Suudi Arabistan için Zuhairy ve Sayigh (1995) bir simülasyon ve modellemeler geliştirilmiştir. Ulgen ve Hepbasli (2003), İzmir'in günlük ve aylık global radyasyonu üzerine çalışmıştır. Bakirci (2009), yatay yüzey üzerinde anlık global güneş ışınımının tahmini için, Runsheng ve Tong (2004) ise aylık yatay radyasyona göre bir kolektörün optimum eğim açısının tahmini için basit hesaplama metodları geliştirmişlerdir. Şenpınar (2006) 7 farklı ilin, Bulut (2008) ise Adana'nın kolektör eğim açısını belirlemek için çalışma yapmışlardır. Bulut (2008), Adana ili yaz ayları için 5°-15°, kış ayları için 50°-60° ve geçiş ayları (Nisan ve Eylül) için ise 30°-35° olarak tespit etmiştir. Gunerhan and Hepbasli (2007) ve Moghadam ve diğ. (2011) bina uygulamaları için güneş kolektörlerinin, Mehleri ve diğ. (2010) ise fotovoltaik (PV) dizilerin en uygun eğim açısını ve yönünü tayin etmek için çalışmalar yürütmüşlerdir. Ghosh ve diğ. (2010) Dakka'da ve Maatallah ve diğ. (2011) Tunus'un Monastir kentinde tek ve çift eksenli izleme yüzeyleri için mevsimsel optimum eğim açılarının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Ghosh ve diğ. (2010), farklı iklim koşulları için üç matematiksel model kullanarak parametreleri optimize etmişlerdir. Kaldellis ve Zafirakis (2012), yaz dönemi için PV panel eğim açılarının performans etkilerini değerlendirmek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Neredeyse tüm yaz dönemi için Atina'da PV panelin optimum eğim açısı 15° ( $\pm 2.5^\circ$ ) olarak belirlenmiştir. Benghanem (2011), Medine'nin güneş paneli eğim açısı optimizasyonu üzerine çalışmıştır. Siraki and Pillay (2012), kentsel uygulamalar için güneş paneli kurulumunda en uygun açıyı hesaplamak için modifiye gökyüzü modeli üzerinde basit bir yöntem önermişlerdir. Lave and Kleissl (2011), Amerika kıtasında sabit ve güneş izlemeli güneş panelleri için optimum güneş ışını yakalama yönünde bir çalışma yapmışlardır. Güneş panelleri optimum eğim ve azimut açılarını 0.1 olarak hesaplamışlardır. Enlem eğiminin başparmak yukarı kuralından optimum eğim ve azimut açıları, güney azimut nedeniyle özellikle kıyı bölgelerde, 10°'ye kadar değiştiğini bildirmişlerdir. Benzer olarak Lubitz (2011), sabit ve izlemeli güneş panelleri üzerinde manuel eğim ayarlamalarının etkisini araştırmıştır. Azimut izlemeli panelin optimum eğim açısı, sabit

panelin optimum eğim açısından dikeye ortalama  $19^\circ$  daha yakın bulunmuştur. Yıl boyunca eğim açısını aylık manuel olarak değiştirmek sabit paneller için yıllık ortalama % 5 güneş ışınımı yakalama artışına neden olmuştur. Güngör ve diğ. (2013), Antalya'nın yıllık optimum açı değeri için bir hesaplama yöntemi kullanmışlardır. Antalya için yıllık optimum açı değeri  $33^\circ$  olarak hesaplanmış ve sadece yılda iki kez açı değiştirildiğinde birim alana düşen enerji miktarının 344.45 MJ arttığı görülmüştür.

Literatürden de görüleceği üzere eğim açısı güneş ışığını yakalamada önemli bir parametredir. Bu parametrenin optimum değerlerde kullanılması halinde daha fazla güneş ışığını yakalama olanağı elde edileceği görülmektedir. Ayrıca Ankara için optimum eğim açısının belirlenmesi yönünde birkaç çalışma olmasına rağmen ilçe bazlı bir çalışma mevcut değildir. Bu nedenle, bu çalışmada Ankara il ve ilçe bazlı olarak sabit güneş panellerinin performansını maksimize etmek için optimum eğim açıları hesaplanarak sonuçların değerlendirilmesi ve literatürdeki bulgular ile karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## 2. TEORİK ANALİZ

Aylık ortalama güneş ışınım miktarının ve aylık yatay düzleme gelen güneş ışınım miktarının bilinmesi teorik hesaplamalarda son derece önemlidir. Bu değerler literatür kaynaklarından alınabilir. Kolektör-panel eğim açısı ( $\beta$ ), kolektör yüzeyinin düzlemi ve ufuk arasındaki açı olarak tanımlanır. Dünyanın kendi eksenini ve yörünge düzlemi ile yaptığı  $23.45^\circ$ 'lik açıdan kaynaklanan deklinasyon (sapma) açısı; güneş ışınlarının aylar ve mevsimlere göre dünyaya geliş açısı veya güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açı olarak tanımlanır. Deklinasyon açısı yaklaşık olarak aşağıdaki formül ile hesaplanır (Cooper 1969).

$$\delta = 23.45 \sin \left[ (284 + n) \frac{360}{365} \right] \quad (1)$$

Güneş ufukta iken gündoğumu ve günbatımı meydana gelir dolayısıyla zenit açısının kosinüsü sıfırdır. Güneş ışınlarının bulunduğu boylam ile göz önüne alınan yerin boylamı arasındaki açı olan saat açısı ( $\omega$ ), zenit açısının kosinüsünün sıfıra ayarlanması, yatay düzlem için aşağıdaki gibi hesaplanır (Duffie 2007).

$$\omega = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (2)$$

Eğik düzleme gelen ışınım miktarları Liu ve Jordan (1962) tarafından geliştirilen metot ile hesaplanabilir. Aylık ortalama günlük difüz radyasyon ( $H_D$ );

$$H_D = 0.2681H_0 \quad (3)$$

$$\frac{H}{H_0} = a + 0.7b \quad (4)$$

$$\begin{aligned} a &= 0.103 + 0.000017z + 0.198 \cos(\phi - \delta) \\ b &= 0.533 - 0.165 \cos(\phi - \delta) \end{aligned} \quad (5)$$

eşitlikleri kullanılır. Ortalama günlük atmosfer dışı güneş ışınımı ( $H_0$ ) değeri;

$$H_0 = \frac{24}{\pi} G_{sc} (1 + 0.033 \cos(\frac{360n}{365})) (\cos \phi \cos \delta \sin \omega + \frac{\pi \omega}{180} \sin \phi \sin \delta) \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Eğik yüzeye gelen aylık ortalama güneş ışınımı ( $H_T$ );

$$H_T = (H - H_D) R_b + \frac{H_D}{2} (1 + \cos \beta) + \frac{H \rho}{2} (1 - \cos \beta) \quad (7)$$

şeklinde ifade edilir (Liu ve Jordan 1962). Atmosfer dışı radyasyon oranı ( $R_b$ );

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega' + (\pi / 180) \omega' \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega + (\pi / 180) \omega \sin \phi \sin \delta} \quad (8)$$

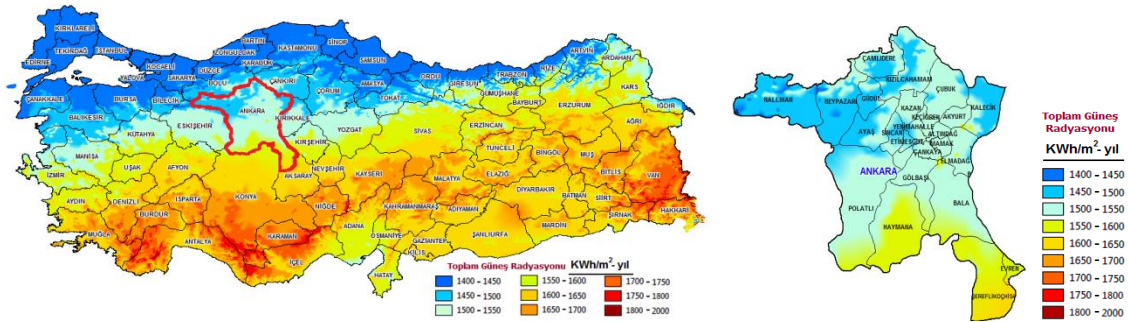
ile, eğik düzlemdeki güneş batış açısı ( $\omega$ ) ise;

$$\omega' = \min \left[ \begin{array}{l} \omega = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta) \end{array} \right] \quad (9)$$

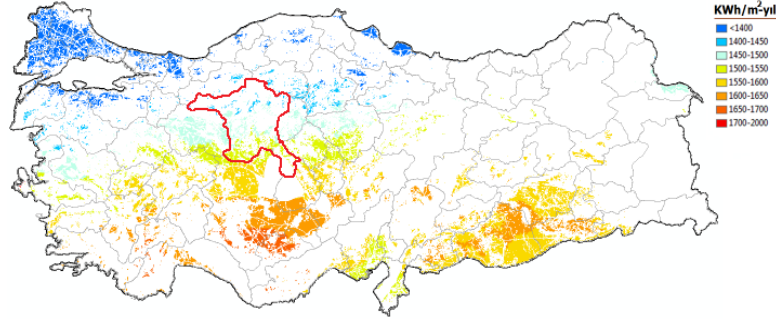
eşitliği ile hesaplanır (Kumar ve diğ. 2011). Burada *min*, bu iki eşitlikten küçük olanın kullanılacağını ifade etmektedir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

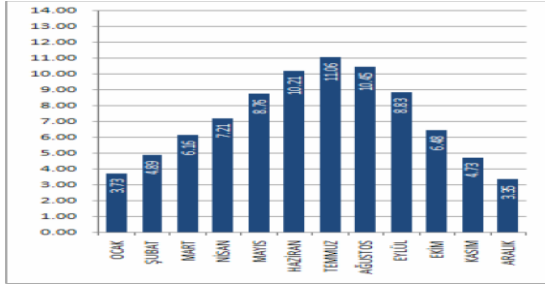
Türkiye, güneş potansiyeli açısından Avrupa ülkelerine göre oldukça elverişlidir. Şekil 1'de güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) ve Ankara global güneş radyasyon dağılımı görülmektedir. Ankara, Türkiye'nin merkezine yakın bir konumda bulunur. Batı Karadeniz Bölgesi'nde kalan kuzey kesimleri hariç, büyük bölümü İç Anadolu Bölgesi'nde yer alır ve yüzölçümü olarak üçüncü büyük ildir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 2506 saat ve yıllık ortalama güneş ışınımı  $1389 \text{ Wh/m}^2$ 'dir (Sensoy ve diğ. 2010). Şekil 2'de güneş enerjisinden termal üretime elverişli alanlar gösterilmektedir ([www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)). Şekil 3'te Ankara ili güneşlenme süresi değerleri (saat) Şekil 4'te ise Ankara ili global radyasyon değerleri ( $\text{kWh/m}^2\text{-gün}$ ) verilmektedir. Şekillerde verilen Ankara'ya ait güneş radyasyonu değerleri ve güneşlenme sürelerine bakıldığında nispeten iyi konumdadır. Güneş radyasyonu değerleri il içerisinde aylara göre farklılaşır güney ve doğuya gidildikçe ve Temmuz-Ağustos aylarında artış gözlenir(Şevik, S., 2011).



Şekil 1:  
Ankara global güneş radyasyon dağılımı ([www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)).

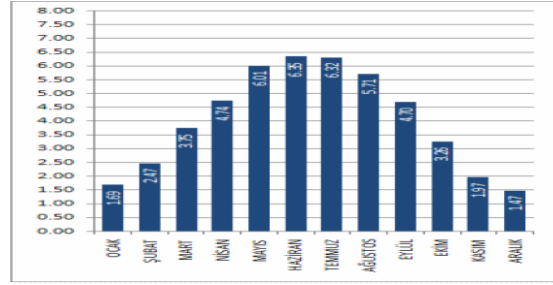


**Şekil 2:**  
Güneş enerjisinden termal üretime elverişli alanlar ([www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)).



**Şekil 3:**

Ankara ili güneşlenme süresi değerleri (saat)  
([www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)).



**Şekil 4:**

Ankara ili global radyasyon değerleri (kWh/m<sup>2</sup>-gün)  
([www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)).

İç Anadolu bölgesinde yer alan Ankara ilinde güneşlenme mevsimsel bakımdan incelendiğinde, kış için 21 Ocak, ilkbahar için 21 Nisan, yaz için 21 Temmuz ve sonbahar için 21 Ekim tarihleri kaynak veri olarak alındığında, Ankara için dört mevsim güneşin konumu Şekil 5'teki gibi olmaktadır. Güneşin Ankara'ya geliş açısı hesaplanırken, güneşin kente göre en dik olduğu konumdaki değeri dikkate alındığında Ankara'ya güneş en düşük açıda kış aylarında 26.7° ile geldiği hesaplanmıştır. Bu tarihte güneş yaklaşık 07:06'da doğup, 16:26'da batmakta ve en etkili olduğu dik konuma 11:47'de gelmektedir. Bu tarihte güneşlenme süresi 9:20 (sa:dak) olmaktadır. Ankara'ya güneşin en dik açıyla geldiği mevsim yaz ayı olmakta ve 21 Haziran tarihinde güneş 73.5° ile en dik konuma gelmektedir. Bu tarihte 04:20'de doğan güneş 19:20'de batarak 15 saat Ankara'yı ısıtmaktadır. En dik olduğu konum ise 11:51'dir. İlkbaharda yaklaşık 61.9° ile gelen güneş, sonbahar mevsiminde ise yaklaşık 39.5° derece ile konumlanmaktadır (Yılmaz ve Memlük 2008). Özetlenecek olursa, güneş ışınları Ankara il merkezine (39.56 °N, 32.52 °E) en düşük 26.7° (kış mevsiminde), en dik 73.5° (yaz mevsiminde), ilkbaharda 61.9° ve sonbaharda ise 39.5° açı ile gelmektedir.

Ankara'nın nüfusu yaklaşık 5 milyon (2013 yılı), yüzölçümü 25 437 km<sup>2</sup> ve 25 ilçe idari birimi mevcuttur. Şekil 5'te Ankara il ve ilçelerine ait topografik ve sınır haritaları görülmektedir. Tablo 1'de ise Ankara ve ilçelerine ait koordinatlar verilmektedir. Buna göre hesaba katılan yerleşim alanları 38-40° enlem, 31-33° boylam ve 650-1300 m yükseklik değerleri aralığındadır.



**Şekil 5:**  
Ankara il ve ilçelerine ait topografik ve sınır haritaları.

**Tablo 1. Ankara ve ilçelerine ait koordinatlar (<http://www.mgm.gov.tr>).**

no	Yerleşim yeri	Enlem (K)	Boylam (D)	Yükseklik (m)	no	Yerleşim yeri	Enlem (K)	Boylam (D)	Yükseklik (m)
1	ANKARA	40° 4'	32° 34'	891	14	Güdül	40° 12'	32° 14'	730
2	Akyurt	40° 8'	33° 5'	1039	15	Haymana	39° 43'	32° 50'	1225
3	Altındağ	39° 59'	32° 58'	1084	16	Kalecik	40° 10'	33° 41'	780
4	Ayaş	40° 1'	32° 20'	993	17	Kazan	40° 14'	32° 41'	931
5	Bala	39° 50'	33° 28'	1300	18	Keçiören	40° 4'	32° 34'	891
6	Beypazarı	40° 10'	31° 55'	682	19	Kızılcahamam	40° 28'	32° 39'	986
7	Çamlıdere	40° 29'	32° 28'	1252	20	Mamak	39° 53'	33° 1'	1190
8	Çankaya	39° 51'	32° 55'	1115	21	Nallıhan	40° 17'	31° 33'	650
9	Çubuk	40° 14'	33° 2'	997	22	Polatlı	39° 58'	32° 16'	886
10	Elmadag	39° 54'	33° 23'	1178	23	Pursaklar	40° 3'	32° 53'	1099
11	Etimesgut	39° 57'	32° 40'	808	24	Sincan	39° 58'	32° 35'	794
12	Evren	39° 2'	33° 48'	879	25	Şereflikoçhisar	38° 55'	33° 33'	993
13	Gölbaşı	39° 48'	32° 48'	1015	26	Yenimahalle	39° 59'	32° 41'	879

Eğik düzleme gelen aylık, mevsimlik, altı aylık, yıllık maksimum güneş ışınımı değerlerini bulmak için VB.Net (Visual Studio) alt yapısında bir program geliştirildi. Bu program, coğrafi verileri toplayan, depolayan, analiz eden ve aylık, mevsimlik, altı aylık, yıllık maksimum güneş ışınımı ve optimum eğim açısı değerlerini sunan bilgisayar tabanlı bir bilgi sistemi üzerine kurulmuştur. Yani, hesaplanmak istenen bölgenin gerçek verileri programa girilerek bahsi geçen veriler rahatlıkla elde edilebilmektedir. Bu yolla, hesaplanan bölge içinde her bir alan üzerine düşen toplam güneş enerjisinin metrekarede kaç kilowatt-saat enerji üretebildiğini hesaplamak mümkündür. Program ile, eşitlik 1-9 kullanılarak, 0-90° eğim açısı değerleri için ayrı ayrı hesaplamalar yapılarak maksimum ışınımın olduğu açı değeri tespit edilerek optimum açı değeri bulunmuş ve ara yüz programları kullanılarak grafiksel sonuçlar elde edilmiştir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

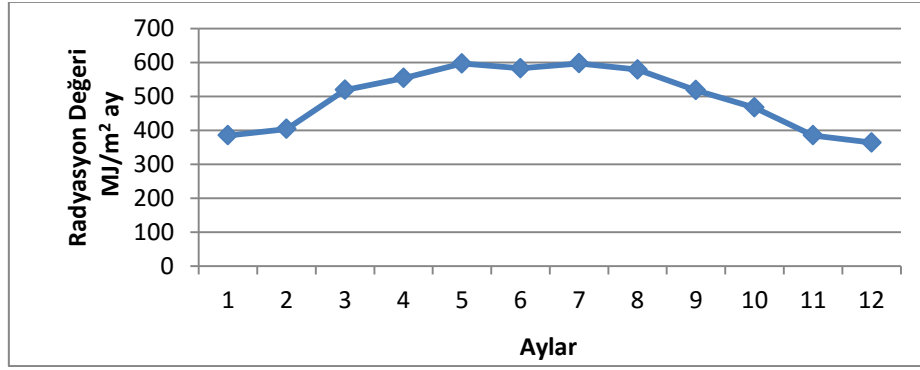
Programa Ankara merkez ve ilçeleri ile ilgili bilgiler girilerek aylara göre optimum açı değeri güneş ışınım değerleri elde edilmiş ve Tablo 2'de sunulmuştur. Optimum açı değeri Ocak ayı için 64° ve güneş kolektörü üzerine düşen güneş ışınımı değeri 436.62 MJ/m<sup>2</sup>-ay, Haziran ayı için ise optimum açı değeri 1° ve güneş kolektörü üzerine düşen güneş ışınımı değeri 652.52

MJ/m<sup>2</sup>-ay olarak hesaplanmıştır. Optimum açı değeri artarak Aralık ayında 67°'ye yükselmiştir. Aralık ayındaki güneş ışınımı değeri 422.85 MJ/m<sup>2</sup>-ay olarak hesaplanmıştır.

Kolektör-panel eğim açılarının değiştirilmesi mümkün olmadığı durumlarda yıllık olarak hesaplanan optimum açı değeri kullanılabilir. Ankara için yıllık optimum açı değeri 34° olarak hesaplanmıştır. Yıllık optimum açı kullanıldığında kolektör yüzeyine düşen güneş ışınım miktarı (Şekil 6) 6662.16 MJ/m<sup>2</sup>-yıl'dır.

**Tablo 2. Aylara göre optimum açı ve güneş ışınım değerleri**

Aylar	Açı Değeri	Güneş Işınım Değerleri (MJ)	Aylar	Açı Değeri	Güneş Işınım Değerleri (MJ)
Ocak	64	436.62	Temmuz	3	655.53
Şubat	56	428.7	Ağustos	17	598.02
Mart	41	521.86	Eylül	34	518.4
Nisan	23	562.22	Ekim	51	484.9
Mayıs	7	641.18	Kasım	62	429.28
Haziran	1	652.52	Aralık	67	422.85
<i>Toplam</i>					6352.08

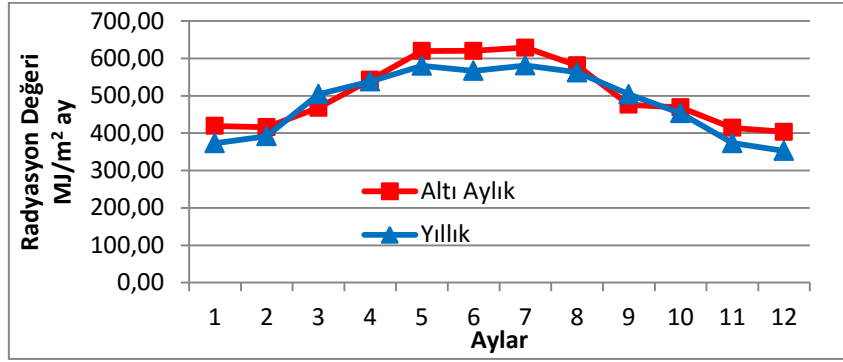


**Şekil 6:**

*Yıllık optimum açığa göre güneş radyasyon değerleri değişimi.*

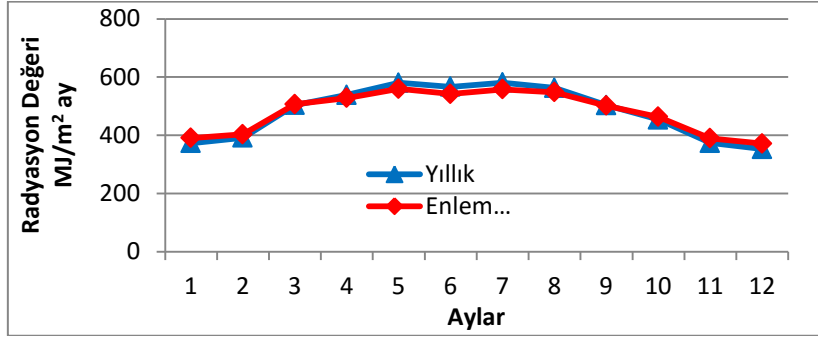
Yılda iki kez altı aylık süreler ile kolektör-panel açısı değiştirildiğinde ortaya çıkan güneş ışınım miktarları Şekil 7'de verilmiştir. Yılda iki kez açı değiştirildiğinde kolektör yüzeyine düşen güneş ışınım miktarı 6058.58 MJ/m<sup>2</sup>-yıl olmaktadır. Sadece yılda iki kez açı değiştirildiğinde birim alana düşen enerji miktarı 275.9 MJ artmaktadır. Büyük kapasiteli işletmeler düşünüldüğünde bu farkın önemi daha da çok artmaktadır. Yıllık optimum açığa ve enleme göre güneş radyasyon değerleri değişimi ise Şekil 8'de verilmiştir. Mart, Nisan, Eylül ve Ekim aylarında enlem açısı ve hesaplanan optimum açı değerleri birbirine yaklaşmaktadır. Buna karşın diğer aylarda bu değerler birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Bu nedenle hesaplanan optimum değerlerdeki güneş radyasyon miktarlarında artış gözlenmektedir. Aylık, mevsimlik, altı aylık ve yıllık için optimum eğim açıları hesaplanmış ve Tablo 3'te verilmiştir. Aylık bazda eğim açısı değerleri 1-67° arasında değişirken mevsimlik bazda 6-62° arasında, 6 aylık bazda 15 ve 56° olarak değişmiş ve yıllık bazda ise 34° olarak hesaplanmıştır.





**Şekil 7:**

Yıllık ve altı aylık optimum açığa göre güneş radyasyon değerleri değişimi.



**Şekil 8:**

Yıllık optimum açığa ve enleme göre güneş radyasyon değerleri değişimi.

Tablo 3'te verilen optimum eğim açılarına göre güneş ışınlam değerleri (MJ) hesaplanmış ve Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 3. Aylık, mevsimlik, altı aylık ve yıllık optimum eğim açıları.**

Aylar	Aylık (°)	Mevsimlik (°)	Altı aylık (°)	Yıllık (°)	Enlem (40°)
Ocak	64				
Şubat	56	62			
Mart	41				
Nisan	23	23			
Mayıs	7				
Haziran	1		15		
Temmuz	3	6		34	40
Ağustos	17				
Eylül	34				
Ekim	51	49			
Kasım	62		56		
Aralık	67	62			



**Tablo 4. Optimum eğim açıları için güneş ışıma değerleri (MJ).**

Aylar	Aylık (°)	Mevsimlik (°)	Altı aylık (°)	Yıllık (°)	Enlem(40°)
Ocak	436.62	422.978	419.39	384.939	390.745
Şubat	428.7	413.780	415.92	403,84	403,272
Mart	521.86	488.207	467.89	519.148	506.740
Nisan	562.22	546.354	542.89	554,265	528.368
Mayıs	641.18	608.499	619.75	597.244	559.625
Haziran	652.52	631.795	620.28	582.871	541.976
Temmuz	655.53	636.745	628.80	597.763	557.796
Ağustos	598.02	574.449	581.10	579.096	548.111
Eylül	518.4	490.637	475.85	518.401	501.510
Ekim	484.9	470.329	469.19	467.516	463.446
Kasım	429.28	406.600	414.05	385.241	389.483
Aralık	422.85	408.565	403.47	363.946	371.357
Toplam	6352.08	6098.94	6058.58	5988.273	5762.429

Ankara'da yıllık eğim açısı sabit olanlara göre; yılda sadece iki kez eğim açısı değiştirildiğinde birim alana düşen enerji miktarında % 5.1 ve mevsim geçişlerinde açı değiştirildiğinde % 5.8 oranında bir artış olmaktadır. Yıl boyunca eğim açısı 34° olarak ayarlandığında % 3.9 oranında bir artış sağlanabilecektir. Her ay eğim açısı değiştirilmesi durumunda ise birim alana düşen enerji miktarında % 10.2 oranında bir artış gerçekleşeceği hesaplanmıştır.

**Tablo 5. Ankara ve tüm ilçelerinin aylık bazda güneş radyasyon değerleri (MJ).**

	Ankara Merk.	Akyurt	Altındağ	Ayaş	Bala	Beypazarı	Çamlidere	Çankaya	Çubuk	Elmadag	Etimesgut	Evren	Göbeği	Güdü	Haymana	Kalecik	Kazan	Keçiören	K.hammam	Mamak	Nallihan	Polatlı	Pursaklar	Sincan	Ş.Koçhisar	Yenimahalle
Ocak	437	439	440	439	445	433	440	441	437	442	436	443	440	433	444	434	436	437	436	442	431	437	440	436	445	437
Şubat	429	431	432	430	436	425	432	433	430	434	428	433	432	426	435	427	429	429	428	434	424	429	432	428	436	429
Mart	522	524	526	524	530	518	527	527	523	528	521	526	525	518	529	520	522	522	522	528	517	522	526	521	528	522
Nisan	562	565	566	564	570	558	568	567	564	568	561	565	565	559	569	560	563	562	563	568	557	562	566	561	567	562
Mayıs	641	644	645	643	650	637	648	646	643	647	640	642	644	638	649	639	642	641	643	648	636	641	646	639	645	641
Haziran	653	656	657	655	661	648	660	657	655	659	651	652	655	649	660	650	653	653	654	659	647	652	657	650	655	652
Temmuz	656	659	660	658	665	651	663	661	658	662	654	656	658	652	663	653	656	656	657	662	650	656	660	654	659	655
Ağustos	598	601	602	600	607	594	604	603	600	604	597	600	601	595	605	596	598	598	599	604	593	598	602	596	602	598
Eylül	518	521	522	520	526	514	523	523	520	524	517	522	521	515	525	516	519	518	519	524	513	519	522	517	524	518
Ekim	485	487	489	487	493	481	489	490	486	490	484	489	488	482	492	483	485	485	485	491	480	485	488	484	492	485
Kasım	429	431	433	431	437	425	432	434	430	435	429	435	433	426	436	427	429	429	428	435	424	430	433	428	437	430
Aralık	423	425	426	425	431	419	426	428	423	428	422	430	427	419	430	420	422	423	422	429	418	423	426	422	432	423
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
İlkbahar	1691	1699	1702	1697	1716	1678	1708	1705	1696	1708	1687	1698	1700	1681	1713	1684	1692	1691	1693	1709	1676	1691	1703	1686	1706	1691
Yaz	1896	1905	1908	1902	1922	1882	1917	1910	1902	1914	1891	1899	1904	1885	1918	1888	1898	1896	1900	1915	1880	1896	1909	1890	1906	1895
Sonbahar	1409	1415	1420	1415	1432	1398	1421	1423	1412	1425	1407	1422	1419	1399	1430	1402	1409	1408	1408	1426	1394	1410	1419	1406	1430	1410
Kış	1284	1290	1295	1290	1307	1273	1293	1298	1286	1300	1282	1302	1295	1274	1306	1277	1283	1284	1282	1301	1269	1286	1294	1282	1309	1285
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
İlkbahar +Yaz	3561	3577	3584	3573	3611	3535	3598	3589	3571	3596	3552	3571	3578	3540	3604	3546	3563	3561	3567	3598	3530	3561	3585	3550	3586	3560
Sonbahar +Kış	2678	2690	2699	2689	2724	2655	2699	2706	2683	2710	2674	2709	2698	2658	2720	2664	2676	2678	2674	2712	2648	2681	2698	2672	2723	2679
Yıllık	5954	5981	5997	5977	6047	5908	6010	6008	5969	6019	5942	5994	5990	5916	6037	5928	5955	5954	5957	6022	5896	5957	5997	5939	6022	5955

Yıllık toplamda en fazla güneş radyasyonunu ilçeler almaktadır. Bala, Haymana, Mamak, Şereflikoçhisar, Elmadağ, Çamlıdere ve Çankaya en fazla güneş radyasyonu alan ilçelerdir. Tablo 6’da Ankara merkeze göre tüm ilçelerinin aylık bazda güneş radyasyon değerleri farkları (MJ) verilmiştir. Bu tablo, Ankara merkezin tüm ilçelerine göre ne kadar fazla veya eksik güneş radyasyonu aldığını göstermektedir. Ankara merkez, Bala’ya göre 92 MJ, Şereflikoçhisar ve Mamak ilçelerine göre ise her biri için 68 MJ daha az güneş radyasyonu almaktadır. Buna karşın, Keçiören, Yenimahalle, Kazan, Kızılcahamam ve Polatlı ilçeleri neredeyse Ankara merkez ile aynı güneş radyasyonu almaktadırlar. Elbette, kentsel ısı adası etkisi özellikle kent merkezinde ve Yenimahalle gibi kent merkezine yakın yerlerde dikkate alınabilir. Ancak bunun hesaplanması güçtür. Ankara ve tüm ilçeleri için aylık bazda eğim açısı değerleri (°) hesaplanmış ve Tablo 7’de verilmiştir. Güneş kolektörü veya güneş panelleri Haziran ayı için Ankara merkez ve tüm ilçelerde eğim açısı 1° olarak konumlandırılırken İlkbahar+Yaz ve Sonbahar için sadece iki ilçe hariç aynı eğim açılarında konumlandırılabilir. Ankara ve tüm ilçelerinin aylık bazda eğim açısı değerleri arasındaki farklar detaylı olarak Tablo 8’de görülebilir. Buna göre Pursaklar ilçesi ile Ankara merkezde eğim açısı aynı iken Ankara merkeze göre Evren ve Şereflikoçhisar ilçelerinde açığı 1° artırmak gerekmektedir. Buna karşın, genel itibariyle Çamlıdere, Kızılcahamam ve Nallıhan ilçelerinde ise açı değeri merkeze göre 1° eksiltilmelidir.

**Tablo 6. Ankara ve tüm ilçelerinin aylık bazda güneş radyasyon değerleri farkları (MJ).**

	Ankara Merkez	Akyurt	Atındağ	Ayaş	Bala	Beypazarı	Çamlıdere	Çankaya	Çubuk	Elmadağ	Etimesgut	Evren	Göğbaşı	Güdül	Haymana	Katecik	Kazan	Keçiören	Kızılcahamam	Mamak	Nallıhan	Polatlı	Pursaklar	Sincan	Şereflikoçhisar	Yenimahalle
Ocak	-1,88	-3,55	-1,92	-7,9	3,91	-2,99	-4,86	-0,59	-5,54	0,6	-6,28	-3,6	3,41	-7,49	2,37	0,45	0	1,04	-5,85	5,16	-0,56	-3,34	0,89	-8,85	-0,32	
Şubat	-1,91	-3,28	-1,77	-7,24	3,6	-3,49	-4,35	-0,82	-5,07	0,74	-4,56	-3,08	3,06	-6,67	2,13	0,18	0	0,41	-5,34	4,63	-0,38	-3,18	1	-6,83	-0,19	
Mart	-2,36	-3,75	-2,01	-8,19	4,11	-4,76	-4,82	-1,22	-5,74	1,05	-3,83	-3,24	3,41	-7,34	2,36	-0,05	0	-0,11	-6,03	5,14	-0,3	-3,74	1,34	-6,33	-0,1	
Nisan	-2,58	-3,82	-2,04	-8,25	4,16	-5,63	-4,74	-1,54	-5,78	1,27	-2,45	-3	3,37	-7,17	2,33	-0,3	0	-0,72	-6,06	5,08	-0,17	-3,91	1,55	-4,89	0,02	
Mayıs	-3,01	-4,16	-2,21	-8,9	4,53	-7	-4,99	-1,99	-6,25	1,6	-1,08	-2,95	3,58	-7,48	2,47	-0,61	0	-1,44	-6,53	5,37	-0,03	-4,38	1,9	-3,62	0,14	
Haziran	-3,13	-4,13	-2,18	-8,76	4,48	-7,54	-4,82	-2,2	-6,15	1,73	0,04	-2,71	3,47	-7,2	2,39	-0,8	0	-1,89	-6,41	5,2	0,08	-4,43	2,04	-2,39	0,23	
Temmuz	-3,11	-4,21	-2,23	-8,97	4,56	-7,34	-4,99	-2,12	-6,29	1,68	-0,66	-2,89	3,57	-7,48	2,47	-0,7	0	-1,66	-6,57	5,36	0,02	-4,47	1,99	-3,19	0,18	
Ağustos	-2,77	-3,98	-2,12	-8,58	4,34	-6,21	-4,88	-1,73	-6,01	1,4	-1,97	-3,02	3,48	-7,37	2,41	-0,42	0	-1	-6,3	5,23	-0,11	-4,13	1,7	-4,47	0,07	
Eylül	-2,35	-3,65	-1,96	-7,94	3,99	-4,86	-4,64	-1,27	-5,57	1,08	-3,25	-3,05	3,29	-7,03	2,28	-0,12	0	-0,28	-5,85	4,96	-0,25	-3,67	1,36	-5,66	-0,06	
Ekim	-2,17	-3,63	-1,95	-7,97	3,99	-4,1	-4,76	-0,99	-5,59	0,89	-4,56	-3,3	3,36	-7,27	2,34	0,12	0	0,28	-5,88	5,08	-0,38	-3,55	1,17	-7,05	-0,17	
Kasım	-1,86	-3,43	-1,86	-7,62	3,79	-3,1	-4,66	-0,64	-5,34	0,64	-5,71	-3,41	3,28	-7,17	2,28	0,37	0	0,85	-5,61	4,96	-0,5	-3,25	0,91	-8,17	-0,28	
Aralık	-1,79	-3,5	-1,9	-7,83	3,88	-2,65	-4,85	-0,47	-5,48	0,54	-6,72	-3,65	3,41	-7,48	2,38	0,54	0	1,26	-5,8	5,18	-0,59	-3,25	0,82	-9,29	-0,35	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
İlkbahar	-7,77	-11,53	-6,16	-24,92	12,57	-16,96	-14,33	-4,61	-17,48	3,78	-7,44	-9,09	10,18	-21,66	7,05	-0,9	0	-2,16	-18,31	15,32	-0,53	-11,8	4,65	-14,83	0,02	
Yaz	-8,92	-12,29	-6,52	-26,26	13,36	-20,84	-14,7	-5,93	-18,42	4,74	-2,89	-8,67	10,54	-22,04	7,28	-1,83	0	-4,4	-19,24	15,8	-0,06	-12,95	5,65	-10,4	0,45	
Sonbahar	-6,28	-10,53	-5,67	-23,14	11,57	-11,85	-13,81	-2,86	-16,22	2,57	-13,36	-9,59	9,77	-21,1	6,78	0,36	0	0,84	-17,08	14,77	-1,11	-10,31	3,39	-20,59	-0,5	
Kış	-5,56	-10,3	-5,58	-22,92	11,37	-9,12	-14,04	-1,86	-16,05	1,87	-17,49	-10,32	9,87	-21,59	6,87	1,17	0	2,7	-16,96	14,93	-1,55	-9,74	2,69	-24,89	-0,87	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
İlkbahar +Yaz	-16,57	-23,62	-12,57	-50,77	25,75	-37,38	-28,78	-10,45	-35,61	8,48	-10,4	-17,59	20,58	-43,33	14,23	-2,69	0	-6,38	-37,25	30,93	-0,58	-24,57	10,24	-25,17	0,48	
Sonbahar +Kış	-11,8	-20,72	-11,18	-45,85	22,78	-20,91	-27,74	-4,73	-32,11	4,4	-30,73	-19,85	19,49	-42,53	13,55	1,48	0	3,47	-33,88	29,49	-2,65	-19,93	6,03	-45,27	-1,37	
Yıllık	-26,94	-42,4	-22,73	-92,43	46,45	-55,28	-54,15	-14,27	-64,79	12,15	-40,1	-36,02	38,42	-82,3	26,65	-0,94	0	-2,46	-68,06	57,87	-3,2	-42,47	15,4	-68,22	-0,95	

**Tablo 7. Ankara ve tüm ilçelerinin aylık bazda eğim açısı değerleri (°).**

	Ankara Merkez	Akyurt	Altındağ	Ayaş	Bala	Beypazarı	Çamlidere	Çankaya	Çubuk	Elmadag	Etimesgut	Evren	Gölbasi	Güdül	Haymana	Kalecik	Kazan	Keçiören	Kızılcahamam	Manak	Nallihan	Polatlı	Pursaklar	Sincan	Şereflikoçhisar	Yenimahalle
Ocak	64	64	64	64	64	64	65	64	65	64	64	63	64	65	64	64	65	64	65	64	65	64	64	64	63	64
Şubat	56	56	56	56	55	56	56	55	56	55	55	55	55	56	55	56	56	56	56	55	56	55	56	55	54	56
Mart	41	41	41	41	40	41	41	40	41	40	41	40	40	41	40	41	41	41	41	40	41	41	41	41	40	41
Nisan	23	23	23	23	22	23	23	22	23	22	23	22	22	23	22	23	23	23	23	22	23	23	23	23	22	23
Mayıs	7	7	7	7	7	7	8	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7	6	7
Haziran	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temmuz	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3
Ağustos	17	17	17	17	16	17	17	16	17	16	17	16	16	17	16	17	17	17	17	16	17	17	17	17	16	17
Eylül	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	33	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	33	34
Ekim	51	51	51	51	51	51	52	51	51	51	51	50	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	50	51
Kasım	62	62	62	62	62	62	63	62	63	62	62	61	62	63	62	62	63	62	63	62	63	62	62	62	61	62
Aralık	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	66	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	66	67
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
İlkbahar	23	24	23	23	23	24	24	23	24	23	23	23	23	24	23	24	24	23	24	23	24	23	23	23	22	23
Yaz	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	7	6	7	6	6	6	5	6
Sonbahar	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	48	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	48	49
Kış	62	62	62	62	62	62	63	62	63	62	62	61	62	63	62	62	63	62	63	62	63	62	62	62	61	62
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
İlkbahar+ Yaz	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	15
Sonbahar+ Kış	56	56	55	55	55	56	56	55	56	55	55	55	55	56	55	56	56	56	56	55	56	55	56	55	54	55
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Yıllık	34	34	34	34	34	34	35	34	35	34	34	34	34	35	34	34	35	34	35	34	35	34	34	34	33	34

Tüm tablo ve grafikler değerlendirildiğinde, Ankara merkez ve ilçeleri arasında  $\pm 1^\circ$  veya  $\pm 2^\circ$ 'lik bir eğim açısı olmasına rağmen bu açının enleme göre sabitlenen kolektörlerden yıllık bazda  $6^\circ$  daha düşük olması gerektiği hesaplanmıştır.  $40^\circ$  enlem açısında yerleştirilen kolektör ile hesaplanan değer arasında aylık bazda çok daha büyük farklar olduğu, alınan güneş radyasyon miktarları açısından en fazla yaklaşık 150 MJ fark olduğu, en düşük açı değerlerinin Mayıs-Haziran-Temmuz döneminde ve en yüksek açı değerlerinin ise Kasım-Aralık-Ocak döneminde olduğu görülmüştür. Ayrıca, yıllık, mevsimlik ve aylık bazda eğim açısını değiştirmenin % 5-10 oranında katkı sağlayacağı hesaplanmıştır.

Elde edilen bulguların literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Şenpınar (2006), farklı bölgedeki illere göre optimum eğim açısının derece cinsinden aylara ve optimum eğim açısının mevsimlere göre değerlerini Matlab simülasyon programı yardımıyla hesaplamıştır. Ankara için optimum eğim açısı değerlerini Haziran-Temmuz ayları için  $16-18^\circ$ , Aralık-Ocak ayları için  $62-60^\circ$  ve yıllık ortalama  $35^\circ$  olarak elde etmiştir. Güngör ve diğ. (2013), Antalya için optimum eğim açısı değerini tespit etmişlerdir. Antalya için optimum eğim açısı Haziran ve Temmuz ayları için  $1^\circ$ , Aralık ayı için  $65^\circ$  ve yıllık ortalama  $33^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Kaçan ve Ülgen (2012), İzmir için güneş enerjisi toplayıcılarının optimum eğim açısını  $0^\circ$  (Haziran) ile  $61^\circ$  (Aralık) arasında hesaplamışlardır ve optimum eğim açısının yıllık ortalama değerini ise yıl boyunca sabit yüzeyler için  $30.3^\circ$  olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada ise, Ankara merkez ve ilçeleri için optimum eğim açısı değerleri tespit edilmiştir. Çalışmaya göre, Ankara için optimum eğim açısı Haziran ayı için  $1^\circ$ , Aralık ayı için  $67^\circ$  ve yıllık ortalama  $34^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler, Güngör ve arkadaşları tarafından Antalya için ve Kaçan ve Ülgen tarafından İzmir için hesaplanan değerlerle uyumludur. Ayrıca, Şenpınar

ve diğer araştırmacıların çalışmalarına benzer sonuçlar elde edilmiş olup ortaya çıkan farklılıklar yazarların kullanmış olduğu farklı korelasyonlardan kaynaklanmaktadır. Haziran ve Temmuz arasındaki fark ise deklinasyon açısının değişiminden kaynaklanmaktadır.

**Tablo 8. Ankara ve tüm ilçelerinin aylık bazda eğim açısı değerleri arasındaki fark.**

	Ankara Merkez	Akyurt	Altındağ	Ayaş	Bala	Beypazarı	Çamlidere	Çankaya	Çubuk	Elmadag	Etimesgut	Eyren	Göbeği	Güdül	Haymana	Kalecik	Kazan	Keçiören	Kızılcahamam	Mamak	Nallıhan	Polatlı	Pursaklar	Sincan	Şereflikoçhisar	Yenimahalle
Ocak		0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	1	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	0	1	0
Şubat		0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	2	0
Mart		0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Nisan		0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Mayıs		0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
Haziran		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temmuz		0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Ağustos		0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Eylül		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Ekim		0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Kasım		0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	1	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	0	1	0
Aralık		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
İlkbahar		-1	0	0	0	-1	-1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	0	-1	0	-1	0	0	0	1	0
Yaz		0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0	1	0
Sonbahar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Kış		0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	1	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	0	1	0
---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
İlkbahar+ Yaz		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Sonbahar+ Kış		0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	2	1	1
---		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Yıllık		0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	0	1	0

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ankara merkez ve ilçeleri için optimum eğim açısı değerleri tespit edilmiştir. Optimum eğim açısı Haziran ayı için  $1^\circ$ , Aralık ayı için  $67^\circ$  ve yıllık optimum açı değeri ise  $34^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, altı aylık periyotlarda  $15^\circ$  ve  $56^\circ$ , mevsimlik (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) periyotlarda ise sırasıyla 62, 23, 6 ve 49 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, merkez ve ilçeleri arasında veya kendi aralarında  $\pm 1^\circ$  veya  $\pm 2^\circ$ 'lik bir eğim açısı farkı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, Ankara'da sadece yılda iki kez eğim açısı değiştirildiğinde yıllık eğim açısı sabit olanlara göre yaklaşık % 5 verim artışı elde edilebileceği buna karşın her ay eğim açısı değiştirildiğinde bu oranın yaklaşık % 10'a çıkabileceği hesaplanmıştır. Özellikle büyük kapasiteli işletmeler için bu fark önemli bir etki yaratacaktır. Türkiye'deki mevcut 18-20 milyon  $m^2$  güneş kolektörüne uygulanması durumunda güneş enerjisinin ekonomiye katkısı büyük olacaktır. Benzer olarak PV panellere uygulandığında işletmeye ve ekonomiye büyük katkı sağlayacaktır. Bu nedenle, güneş kolektörleri veya panellerinden yüksek verim almak için kolektörlerin güney yönünde optimum açıda konumlandırılması son derece önemlidir. Bu bağlamda, en azından eğim açısının yaz-kış olmak üzere yılda iki kez değiştirilmesi önerilmektedir. Her mevsim hatta her ay sonunda eğim açısı

manuel olarak ayarlanarak güneş kolektör sisteminin daha verimli çalışması sağlanabilir veya daha iyi bir çözüm olan güneş takip sistemleri kullanılabilir. Eğim açısı değişikliklerinin yapılabilmesi için kolektörlerin montajı yapılan sehparın ayarlanabilir olması ve kullanılan bağlantı parçalarının esnek olması gerekir. Bu çalışmayla, Ankara merkez ve ilçeleri için optimum eğim açısı belirlenerek yatırımcılar ve araştırmacılara bir kaynak oluşturulmuştur. Elde edilen değerler hem güneş kolektörü hem de PV paneller için kullanılabilir. İleriki çalışmalarda, sabit güneş panellerine çevre binaların veya ağaçların gölgeleme etkisi de hesaba katılabilir. Hatta koordinatları girilen bir arazinin eğimi, güneş ışınlarının geliş açıları, koordinatları girilen bir binanın çatı eğimi vb. değerler girilerek arazinin veya çatının maksimum güneş enerjisini depolamak için uygun olup olmadığı veya sabit güneş panellerinden üretilebilecek enerji potansiyeli hesaplanabilir.

Semboller			
$\phi$	enlem ( $^{\circ}$ )	$z$	rakım (m)
$\beta$	eğim açısı ( $^{\circ}$ )	$\omega$	güneşin doğuş ve batış açısı ( $^{\circ}$ )
$\delta$	deklinasyon açısı ( $^{\circ}$ )	$G_{sc}$	güneş sabiti ( $1367 \text{ W/m}^2$ )
$H$	yatay yüzeye gelen radyasyon	$H_T$	eğik yüzeye gelen radyasyon ( $\text{MJ/m}^2$ gün)
$H_o$	atmosfer dışı radyasyon ( $\text{MJ/m}^2$ gün)	$\rho$	yerin yansıtma oranıdır ( $\approx 0.2$ ).
$H_D$	aylık difüz radyasyon ( $\text{MJ/m}^2$ gün)	$R_b$	atmosfer dışı radyasyon oranı (%)
$n$	1 ocaktan itibaren yılın gün sayısı	a,b	bölgesel sabit

## KAYNAKLAR

1. Çakmanus, İ. (2001) Türkiye'nin enerji problemleri ve çözüm önerileri, *Mühendis ve Makine*, 492, 29-34.
2. Şevik, S. (2011) Isı pompası ve güneş kolektörünün birlikte kullanıldığı, ısıtma ve kurutma amaçlı sıcak hava üretim sisteminin tasarımı, imalatı ve deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış), Ankara.
3. Güngör, A., Koçer, A., Demirci, E. (2013) Güneş enerjisi kullanımında optimum tilt açısının önemi, *6. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, 6-7 Aralık 2013, Mersin.
4. Duffie, JA., Beckman, WA. (1982) Solar engineering of thermal processes, New York: Wiley.
5. Heywood, H. (1971) Operational experience with solar water heating, *J Inst Heat Vent Energy*, 39, 63-9.
6. Doğan, İ. (1995) Optimum tilt angle for solar collectors used in Cyprus, *Renewable Energy*, 6-7, 813-819, doi:10.1016/0960-1481(95)00070-Z
7. Benghanem, M. (2011) Optimization of tilt angle for solar panel: case study for Madinah, Saudi Arabia, *Applied Energy*, 88(4), 1427-33, doi:10.1016/j.apenergy.2010.10.001
8. Koçer, A., Güngör, A. (2013) Future of solar collectors: Tilt angle optimization for maximum performance, *3rd International Exergy, Life Cycle Assessment, and Sustainability Workshop & Symposium (ELCAS3)*, 395-403, Nisyros, Greece.
9. Tiris, M., Tiris, C., Ture, I.E. (1996) Correlations of monthly-average daily global, diffuse and beam radiations with hours of bright sunshine in Gebze, Turkey, *Energy Conversion and Management*, 37(9), 1417-21, doi:10.1016/0196-8904(95)00227-8

10. Bakirci, K. (2009) Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey, *Energy*, 34(4), 485–501, doi:10.1016/j.energy.2009.02.005
11. Zuhairy, AA., Sayigh, A.A.M. (1995) Simulation and modeling of solar radiation in Saudi Arabia, *Renewable Energy*, 16(2), 107–18, doi:10.1016/0960-1481(94)00056-C
12. Ulgen, K., Hepbasli, A. (2003) Comparison of the diffuse fraction of daily and monthly global radiation for Izmir, Turkey, *Energy Sources*, 25, 637–49, 2003, doi:10.1080/00908310390212444
13. Bakirci, K. (2009) A simple calculation method for estimation of instantaneous global solar radiation on horizontal surface, *Journal of Thermal Science and Technology*, 29(2), 53–8.
14. Runsheng, T., Tong, W. (2004) Optimal tilt-angles for solar collectors used in China, *Applied Energy*, 79, 239–48, doi:10.1016/j.apenergy.2004.01.003
15. Şenpınar, A. (2006) Güneş açılarına bağlı olarak optimum sabit güneş paneli açısının hesaplanması, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*.
16. Bulut, H. (2008) Adana ilinde eğik yüzeylere gelen güneş ışınım miktarının belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu*, 16-17 Ekim 2008, Adana.
17. Gunerhan, H., Hepbasli, A. (2007) Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications, *Building and Environment*, 42, 779–83, doi:10.1016/j.apenergy.2010.10.001
18. Moghadam, H., Tabrizi, FF., Sharak, AZ. (2011) Optimization of solar flat collector inclination, *Desalination*, 265(1–3), 107–11, doi:10.1016/j.desal.2010.07.039
19. Mehleri, ED., Zervas, PL., Sarimveis, H., Palyvos, JA., Markatos, NC. (2010) Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays, *Renewable Energy*, 35(11), 2468–75, doi:10.1016/j.renene.2010.03.006
20. Ghosh, HR., Bhowmik, NC., Hussain, M. (2010) Determining seasonal optimum tilt angles, solar radiations on variously oriented, single and double axis tracking surfaces at Dhaka, *Renewable Energy*, 35(6), 1292–7, doi:10.1016/j.renene.2009.11.041
21. Maatallah, T., El Alimi, S., Nassrallah, SB. (2011) Performance modeling and investigation of fixed, single and dual-axis tracking photovoltaic panel in Monastir city, Tunisia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8) 4053–66, doi:10.1016/j.rser.2011.07.037
22. Kaldellis, J., Zafirakis, D. (2012) Experimental investigation of the optimum photovoltaic panels tilt angle during the summer period, *Energy*, 38(1), 305–14, doi:10.1016/j.energy.2011.11.058
23. Siraki, AG., Pillay, P. (2012) Study of optimum tilt angles for solar panels in different latitudes for urban applications, *Solar Energy*, 86(6), 1920–8, doi:10.1016/j.solener.2012.02.030
24. Lave, M., Kleissl, J. (2011) Optimum fixed orientations and benefits of tracking for capturing solar radiation in the continental United States, *Renewable Energy*, 36(3), 1145–52, doi:10.1016/j.renene.2010.07.032
25. Lubitz, WD. (2011) Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels, *Applied Energy*, 88(5), 1710–9, doi:10.1016/j.apenergy.2010.11.008
26. Cooper, PL. (1969) The Absorption of solar radiation in solar still, *Solar Energy*, 12(3), 333–46, doi:10.1016/0038-092X(69)90047-4

27. Duffie, JA., Beckman, WA., “Solar engineering of thermal processes”, Wiley, 2nd Edn. pp. 234–67, New York, USA, (1994).
28. Liu, B., Jordan, R. (1962) Daily insolation on surfaces tilted towards the equator, *Trans ASHRAE* 67.
29. Kumar, A., Thakur, NS., Makade, R., Shivhare, MK. (2011) Optimization of tilt angle for photovoltaic array, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3:4.
30. Sensoy, S., Ulupınar, Y., Demircan, M., Alan, I., Bostan, PA. (2010) Modeling solar energy potential in Turkey, *BALWOIS, Republic of Macedonia: Ohrid*, 25, 29.
31. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.eie.gov.tr>.
32. Yılmaz, T., Memlük, Y. (2008) Vadilerde rüzgâr ve güneş hareketlerine bağlı planlama ve tasarım olanakları, Ankara Büyükesat vadisi örneği, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2), 193–04, Antalya.
33. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı <http://www.mgm.gov.tr>.
34. Kaçan, E., Ülgen, K. (2012) Güneş enerjisi toplayıcılarında eğim ve yönlendirmenin yararlanabilirliğe etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 27(4), 837-846.



