**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# SOLAR YOLLARIN TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sernaz ENGİN ŞİMŞEK**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ulaştırma Mühendisliği Programı**

**MART 2020**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# SOLAR YOLLARIN TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sernaz ENGİN ŞİMŞEK**

**(501161433)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ulaştırma Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdullah Hilmi LAV**

**MART 2020**

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü' nün 501161433 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Sernaz ENGİN ŞİMŞEK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "SOLAR YOLLARIN TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı:** **Prof. Dr. Abdullah Hilmi LAV** .....
**İstanbul Teknik Üniversitesi**

**Jüri Üyeleri:** **Prof. Dr. Hilmi Berk ÇELİKOĞLU** .....
**İstanbul Teknik Üniversitesi**

**Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN** .....
**İstanbul Gelişim Üniversitesi**

**Teslim Tarihi: 10 Mart 2020**

**Savunma Tarihi: 13 Mart 2020**

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezim boyunca kıymetli zamanını ayırıp, bilgisi ve tecrübesiyle yardımcı olan ve kendimi geliştirmemi sağlayan Sayın Prof. Dr. Abdullah Hilmi LAV'a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bugüne gelmemde sonsuz emekleri olan, her daim yanımda olan merhum babam Mustafa ENGİN'e, annem Gülderen ENGİN'e, ağabeyim Sertaç ENGİN'e ve eşim Furkan ŞİMŞEK'e sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mart 2020

Sernaz ENGİN ŞİMŞEK

(İnşaat ve Harita Mühendisi)

**İÇİNDEKİLER**

**Sayfa**

**ÖNSÖZ** ..... **v**
**ÇİZELGE LİSTESİ** ..... **ix**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **xi**
**ÖZET** ..... **xiii**
**SUMMARY** ..... **xvii**
**1. GİRİŞ** ..... **1**
1.1 Amaç ve Kapsam ..... 3
**2. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ** ..... **5**
2.1. Solar Enerji ..... 5
2.1.1 Solar radyasyon ..... 5
2.1.1.1 Fotovoltaik hücreler ..... 5
2.1.2 Termal gradyan ..... 6
2.1.2.1 Termoelektik üreticiler (TEGs) ..... 6
2.1.2.2 Asfalt solar toplayıcılar (ASC) ..... 6
2.1.2.3 İndüksiyon ısıtma ..... 8
2.2 Araçların Mekanik Enerjisi ..... 10
2.3 Elektrik Enerjisi Üretim Teknolojilerinin Kıyaslanması ..... 10
**3. SOLAR YOLLARIN ÇEVRESEL FAKTÖRLERE ETKİLERİ** ..... **13**
3.1 Sera Gazı Etkisi ..... 13
**4. SOLAR YOLLAR** ..... **21**
4.1. Solar Yolların Yapısı ..... 23
4.1.1 Temel tabakası ..... 26
4.1.2 Elektronik tabakası ..... 26
4.1.2.1 Mikroişlemciler ..... 26
4.1.2.2 Solar paneller ..... 28
4.1.2.3 Solar hücreler ..... 30
4.1.2.4 PV modüllerinin enerji üretimini etkileyen faktörler ..... 34
4.1.2.5 PV hücrelerin türleri ..... 41
4.1.3 LED tabakası ..... 45
4.1.4 Cam tabakası ..... 49
4.1.4.1 Cam yüzeyin taşıma kapasitesi ..... 51
4.1.4.2 Cam yüzeyin deseni ..... 52
4.1.4.3 Cam yüzeyin eğimlerde ve kurplarda kullanımı ..... 53
4.1.4.4 Temizlik ..... 54
4.1.5 Saydam beton ..... 55
4.2. Çalışma Prensibi ..... 56
4.3. Genel Özellikler ..... 57
4.3.1. Avantajlar ..... 59
4.3.2. Dezavantajlar ..... 62
4.4. Elektrikli Araçlara Geçiş ..... 62
4.4.1 Elektrikli araç şarj yöntemleri ..... 62
4.4.1.1 Kablolu ve kablosuz şarj yönteminin genel tanımı ..... 62
4.4.1.2 Statik ve dinamik kablosuz şarj yöntemleri ..... 63

4.4.1.3 Dinamik kablosuz şarj yönteminin avantajları.....67
4.4.1.4 Kablosuz şarj edilen elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmalar .....68
**5. ULUSLARARASI ÖRNEKLER .....69**
**6. SOLAR YOLLARIN TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ.....71**
6.1 Güneşlenme Süresi .....71
6.1.1 İllerin güneşlenme süresi.....71
6.1.2 İllerin solar yollardan elektrik üretimi .....75
6.1.3 Solar yolların illere göre verimliliği.....79
**7. SONUÇLAR .....109**
**KAYNAKLAR.....113**
**EKLER.....125**
**ÖZGEÇMİŞ.....133**

## ÇİZELGE LİSTESİ

**Sayfa**

**Çizelge 2.1:** Elektrik enerjisi üretim teknolojilerinin kıyaslanması [5].....**10**
**Çizelge 4.1:** PV hücre türlerine göre yıllık olarak üretilen enerji kaybı miktarları [3] ...**35**
**Çizelge 4.2:** PV hücre türlerine göre hücre özelliklerinin kıyas tablosu [3] .....**45**
**Çizelge 6.1:** Kullanılacak solar panelin özellikleri [54] .....**75**
**Çizelge 6.2:** Yapılaşma yüzdeleri. .....**80**
**Çizelge 6.3:** 1. Bölge olan Hakkari için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**87**
**Çizelge 6.4:** 11. Bölge olan Rize için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**87**
**Çizelge 6.5:** 2. Bölge olan Iğdır için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**88**
**Çizelge 6.6:** 3. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**89**
**Çizelge 6.7:** 4. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**90**
**Çizelge 6.8:** 5. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**91**
**Çizelge 6.9:** 6. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**92**
**Çizelge 6.10:** 7. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**93**
**Çizelge 6.11:** 8. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**94**
**Çizelge 6.12:** 9. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**95**
**Çizelge 6.13:** 10. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri. .....**96**
**Çizelge 6.14:** %100 mesken %0 ticarethane için verimliliği pozitif olan iller çizelgesi. **98**
**Çizelge 6.15:** %100 mesken %0 ticarethane için verimliliği negatif olan iller çizelgesi.**98**
**Çizelge 6.16:** %75 mesken %25 ticarethane için verimliliği pozitif olan iller çizelgesi. .....**100**
**Çizelge 6.17:** %75 mesken %25 ticarethane için verimliliği negatif olan iller çizelgesi. .....**100**
**Çizelge 6.18:** %50 mesken %50 ticarethane için verimliliği pozitif olan iller çizelgesi. .....**102**
**Çizelge 6.19:** %50 mesken %50 ticarethane için verimliliği negatif olan iller çizelgesi. .....**102**
**Çizelge 6.20:** %25 mesken %75 ticarethane için verimliliği pozitif olan iller çizelgesi. .....**104**
**Çizelge 6.21:** %25 mesken %75 ticarethane için verimliliği negatif olan iller çizelgesi. .....**105**
**Çizelge 6.22:** %0 mesken %100 ticarethane için verimliliği pozitif olan iller çizelgesi. .....**106**
**Çizelge 6.23:** %0 mesken %100 ticarethane için verimliliği negatif olan iller çizelgesi. .....**107**
**Çizelge A.1:** Türkiye illerinin ortalama güneşlenme süreleri ve üretilen elektrik enerjisi miktarları. .....**127**

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa**

**Şekil 2.1:** Elektrik enerjisi üretim teknolojileri [5].....**5**
**Şekil 2.2:** Asfalt solar toplayıcılar boru sistemleri [7].....**7**
**Şekil 2.3:** Asfalt solar toplayıcılar için örnek sistem [8] .....**7**
**Şekil 2.4:** Asfalt solar toplayıcılar çalışma prensibi [9] .....**8**
**Şekil 2.5:** Asfaltın kendini iyileştirme aşamaları [10].....**9**
**Şekil 2.6:** İndüksiyon akımının açığa çıkma aşamaları [10] .....**9**
**Şekil 2.7:** Piezoelektrik üreticilerin yol üzerindeki yerleşimi [11].....**11**
**Şekil 3.1:** 2017 yılı sera gazı emisyonları (CO2 eşdeğeri). .....**14**
**Şekil 3.2:** 2017 yılı sera gazı emisyonlarının yüzdelik dağılımları…… **14**
**Şekil 3.3:** Sera gazı emisyonlarının yıllara göre dağılımı (CO2 eşdeğeri). .....**15**
**Şekil 3.4:** 2017 yılı sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (CO2 eşdeğeri). .....**16**
**Şekil 3.5:** 2017 yılı sektörlere göre toplam sera gazı emisyonu yüzdelik dağılımları.....**17**
**Şekil 3.6:** 2017 yılı enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve paydaları.....**18**
**Şekil 3.7:** 2016 yılı ekonomik faaliyetlere göre sera gazı emisyonları (CO2 eşdeğeri). .**19**
**Şekil 3.8:** 2016 yılında ulaşım ve depolama faaliyetine göre sera gazı emisyonları (ton). .....**20**
**Şekil 4.1:** Çin'in Jinan şehrinde uygulanan çift şeritli solar yol [14] .....**22**
**Şekil 4.2:** Solar yolları meydana getiren tabakalar [16] .....**24**
**Şekil 4.3:** Solar yolları meydana getiren tabakaların şeması. .....**25**
**Şekil 4.4:** Elektronik tabakasında yer alan mikroişlemciler [18] .....**27**
**Şekil 4.5:** Solar panellerde yer alan mikroişlemciler [19] .....**28**
**Şekil 4.6:** Solar panel [21] .....**30**
**Şekil 4.7:** Solar hücre bölümleri [23] .....**33**
**Şekil 4.8:** Solar hücreden solar düzeneğe geçiş evreleri [24].....**34**
**Şekil 4.9:** PV modülünün ömür-üretim gücü grafiği [3] .....**35**
**Şekil 4.10:** PV modülünün solar radyasyondaki değişime göre gerilim-akım grafiği [3]. .....**36**
**Şekil 4.11:** PV modülünün solar radyasyondaki değişime göre gerilim-güç grafiği [3] .**36**
**Şekil 4.12:** PV modülünün modül iç sıcaklığındaki değişime göre güç, akım ve gerilim grafiği [3] .....**37**
**Şekil 4.13:** PV modülünün modül iç sıcaklığındaki değişime göre gerilim-akım grafiği [3] .....**38**
**Şekil 4.14:** PV modülünün modül iç sıcaklığındaki değişime göre gerilim-güç grafiği [3] .....**38**
**Şekil 4.15:** PV modülünün doluluk oranı hesap grafiği (akım&güç-gerilim) [3] .....**39**
**Şekil 4.16:** PV modülünün iç sıcaklık-doluluk oranı hesap grafiği [3] .....**39**
**Şekil 4.17:** Monokristal silikon PV paneller [26].....**41**
**Şekil 4.18:** Polikristal silikon PV paneller [27].....**42**
**Şekil 4.19:** İnce-film silikon PV paneller [28] .....**43**
**Şekil 4.20:** İnce film silikon PV paneller [29].....**43**
**Şekil 4.21:** Polikristal, monokristal ve ince-film silikon PV paneller [30] .....**44**
**Şekil 4.22:** Gece solar yollarda LED ışıklarla uyarıda bulunulması [12].....**46**

**Şekil 4.23:** Solar yollarda LED ışıklarla yavaşla uyarısı [11] .....**46**
**Şekil 4.24:** LED ışıklarla park alanlarının oluşturulması [31].....**47**
**Şekil 4.25:** LED ışıklarla yol işaretlemelerinin ve park alanlarının oluşturulması [33] ..**48**
**Şekil 4.26:** Solar yollarda LED ışıklar [34] .....**49**
**Şekil 4.27:** Solar yollarda cam yüzeyi [35].....**50**
**Şekil 4.28:** MOHS sertlik skalası.....**51**
**Şekil 4.29:** Solar yollarda uygulanan cam yüzeyin deseni [37].....**53**
**Şekil 4.30:** Sollar yollarda yer alan cam yüzeyin eğimler ve kurplarda kullanım örneği [38] .....**54**
**Şekil 4.31:** Saydam betonu oluşturan katmanlar [2].....**56**
**Şekil 4.32:** Solar yolların çalışma prensibi. .....**57**
**Şekil 4.33:** Statik kablosuz şarj yöntemi [41] .....**63**
**Şekil 4.34:** Dinamik kablosuz şarj yöntemi [43] .....**64**
**Şekil 4.35:** Elektrikli araçların solar yollarla kablosuz şarj yöntemi**.** .....**65**
**Şekil 4.36:** Dinamik kablosuz şarj örneği [44] .....**66**
**Şekil 4.37:** Solar yollarda dinamik kablosuz şarj yöntemi [45].....**67**
**Şekil 4.38:** Solar yollarda dinamik kablosuz şarj yönteminin şebeke yerleşimi [46].....**67**
**Şekil 5.1:** Dünya'daki ilk solar yol (Fransa- Tourouvre-au-Perche) [48] .....**69**
**Şekil 5.2:** Hollanda'daki solar bisiklet yolu [51].....**70**
**Şekil 6.1:** 1985-2006 yıllarının ortalama güneşlenme süresi Türkiye il grafiği – 1 (saat). .....**72**
**Şekil 6.2:** 1985-2006 yıllarının ortalama güneşlenme süresi Türkiye il grafiği – 2 (saat). .....**72**
**Şekil 6.3:** 1985-2006 yıllarının ortalama güneşlenme süresi Türkiye il grafiği – 3 (saat). .....**73**
**Şekil 6.4:** 1985-2006 yıllarının ortalama güneşlenme süresi Türkiye il grafiği – 4 (saat). .....**73**
**Şekil 6.5:** Ortalama güneşlenme süresine göre Türkiye il haritası. .....**74**
**Şekil 6.6:** Solar yollardan üretilen elektrik enerjisi Türkiye il grafiği-1 (kWsa).....**76**
**Şekil 6.7:** Solar yollardan üretilen elektrik enerjisi Türkiye il grafiği-2 (kWsa).....**77**
**Şekil 6.8:** Solar yollardan üretilen elektrik enerjisi Türkiye il grafiği-3 (kWsa).....**77**
**Şekil 6.9:** Solar yollardan üretilen elektrik enerjisi Türkiye il grafiği-4 (kWsa).....**78**
**Şekil 6.10:** Solar yollardan üretilen elektrik enerjisinin Türkiye illerine göre dağılım...**79**
**Şekil 6.11:** %100 mesken ve %0 ticarethane olması durumunda solar yolların illere göre verimlilik dağılım haritası. .....**97**
**Şekil 6.12:** %75 mesken ve %25 ticarethane olması durumunda solar yolların illere göre verimlilik dağılım haritası. .....**99**
**Şekil 6.13:** %50 mesken ve %50 ticarethane olması durumunda solar yolların illere göre verimlilik dağılım haritası. .....**101**
**Şekil 6.14:** %25 mesken ve %75 ticarethane olması durumunda solar yolların illere göre verimlilik dağılım haritası. .....**103**
**Şekil 6.15:** %0 mesken ve %100 ticarethane olması durumunda solar yolların illere göre verimlilik dağılım haritası. .....**105**

# SOLAR YOLLARIN TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ

## ÖZET

Küresel etkilerin artmaya başlamasıyla birlikte sürdürülebilirlik kavramı hayatımızda çokça yer almaya başlamıştır. Sürdürülebilirlik neredeyse her alanda uygulanmaya çalışılan, elimizde bulunan imkanlara en az zarar verecek şekilde bu imkanların tümünün gelecek nesillere aktarılmaya çalışılması anlamına gelen bir kavramdır. Bu kavramın uygulamaya geçirilmesi için birçok alanda yeni arayışlara girilmiştir. Üzerine en çok çalışma yapılan konulardan biri de küresel ısınmanın ana etmenlerinden olan sera gazı etkisini azaltmak adına uygulanması hedeflenen yenilenebilir enerji üretimi yöntemleridir. Solar enerjiden direkt elektrik enerjisi üretimi en temel yenilenebilir enerji üretimi yöntemi olup, bu yöntem üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. İşte bu çalışmalar sonucunda ortaya atılan yeni enerji üretimi yöntemi bu tezin de konusu olan solar yollardır. Dünyanın birçok alanını yollar kaplamaktadır, bu nedenle bu yolların solar yollara dönüşümünü sağlamak çokça temiz enerji üretimini sağlayacaktır. Böylelikle de küresel ısınmanın etkileri en aza indirgenmiş olacaktır.

Tezin ilk bölümünde solar yollara sürdürülebilirlik kapsamında neden geçiş yapılması gerektiğinin anlaşılabilmesi adına solar yolların çevresel faktörlere olan etkilerinden bahsedilmiştir. Bu çevresel faktör temel anlamıyla sera gazı etkisidir. Solar yollar, fosil yakıtlara nazaran çevreye zararlı gaz salınımı yapmadan enerji üretimine olanak sağlar. Böylelikle sera gazı etkisinde azalmaya sebep olmuş olacaktır. Bunun dışında da elektrikli araçlara geçişte olumlu olanaklar sağladığı için $CO_2$ salınımının azalmasına neden olacaktır. Bu da sera gazı etkisinin azalması anlamına gelmektedir. Yani solar yolların çevresel faktörlerden en önemlisi olan sera gazı etkisinin azalmasına iki farklı açıdan olumlu etkisi vardır ve bu bölümde bu konulara detaylıca yer verilmiştir.

İkinci bölümde, elektrik enerjisi yöntemlerinden detaylı olarak bahsedilmiştir. Elektrik enerjisi üretimi yöntemleri; solar enerji ve araçların mekanik enerjisinden üretilen elektrik enerjileri olmak üzere iki ana kategori ve bunların alt kategorilerinden meydana gelir. Solar enerji ile üretilen elektrik enerjisinde solar radyasyon kullanılarak bu tezin de konusu olan fotovoltaik yani solar hücrelerle elektrik enerjisi üretim yöntemi yer almaktadır. Diğer solar enerjiyle elektrik enerjisi üretimi yapılan yöntem ise solar enerjinin asfalt üzerinde oluşturacağı termal gradyan ile üretilen elektrik enerjisi yöntemleridir. Bunları termoelektrik üreticiler, asfalt solar toplayıcılar ve indüksiyon ısıtma alt kategorileri meydana getirir. Araçların hareketi sonucunda açığa çıkan enerji ile birlikte elektrik enerjisi üretim yöntemi ise araçların mekanik enerjisinden üretilen elektrik enerjisi yöntemidir. Bu yöntemde direkt olarak piezoelektrik üreticiler kullanılarak enerji üretimi sağlanır ya da hidrolik, mikro-elektromekanik ya da elektromekanik yöntemler kullanılıp enerji elektromanyetik üreticilere aktarılarak mekanik enerjisinden elektrik enerjisinin üretimi sağlanmış olur. Bu kategorilerin hepsine bu bölümde yer verilmiştir. Bu bölümün sonuna gelindiği zaman elektrik enerjisinin üretim yöntemleri hakkında detaylı bir bilgiye sahip olunacaktır.

Üçüncü bölümde, solar yolların çevresel faktörlere olan etkilerinden en önemli olan sera gazı etkisi detaylı olarak işlenmiş, sera gazı etkisinin hangi alanlarda daha fazla kirliliğe sebep olduğu ve solar yollara geçişin neden önemli olduğu kavramlarına Türkiye İstatistik Kurumu'ndan elde edilen verilerle oluşturulan grafiklerle yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, öncelikle solar yolların daha iyi anlaşılabilmesi adına, solar yolların yapısına, yapısında yer alan temel, elektronik, LED ve cam tabakasının detaylarına, solar yolların çalışma prensibine, solar yolların genel özellikleri ve bunun altında da sağladığı avantaj ve dezavantajlara ve de elektrikli araçlara sağladığı geçiş olanaklarına yer verilmiştir. Temel tabakası LED tabakasının gece de çalışmaya devam edebilmesi adına hem üretilen elektrik enerjisinin gereken kısmını kendi bünyesinde depolayıp, hem de fazla kalan elektrik enerjisinin de solar yolların çevresinde yer alan mahallere dağıtımını yapmakla yükümlüdür. Bununla beraber aynı zamanda da solar yolların yapısında yer alan elektronik tabakasının zeminle ilişiğini keserek elektronik tabakasını koruma altına alır. Elektronik tabakası ise solar paneller, solar hücreler (fotovoltaik hücreler) ve mikroişlemcilerden meydana gelir. Mikroişlemciler solar panellerin içerisinde yer alır, kısaca solar yolların beyni mikroişlemcilerdir. Mikroişlemciler konum belirlemede, hava koşullarının bilgisini alarak ısıtma sisteminin çalışmasını sağlamada, otonom araçlara geçiş imkanı sunmada, verilerin alınıp, sürücülere aktarılmasında görev alır. Solar hücreler ise bor ve fosfor ile safsızlaştırılan silikon elementlerinin N-tipi ve P-tipi olarak ayrılması ile N-tipinden P-tipine elektron akışı sağlayarak akım ve buna bağlı olarak da solar panellerde elektrik enerjisi üretimini sağlar. Solar hücreleri yani fotovoltaik hücreleri etkileyen faktörler; solar hücrenin bozulması, solar hücrenin türü, solar radyasyon miktarı, solar modülün iç sıcaklığı, doluluk oranı, gölge etkisi ve kirlilik etkisidir. Bu faktörlerin solar hücreler üzerindeki çeşitli etkileri bu bölümde detaylı olarak incelenmiştir. Aynı zamanda solar hücrelerin türlerine de; monokristal silikon, polikristal (multikristal) silikon, kalın-film silikon, ince-film (amorf) silikon ve diğer ince-film silikonlara, bu bölümde yer verilerek, nasıl oluştukları, verimleri, maliyetleri, 1 kW enerji üretimi için kapladıkları alan, doluluk oranları, yüksek sıcaklıktaki performansları ve dağınık ışıktaki elektrik enerjisi üretimi durumları ayrıntılı olarak irdelenip, solar hücre türlerine göre kıyaslanmıştır. Solar panellerin ise kullanım verimlerine yer verilip detaylıca bahsedilmiştir. LED tabakası ise yol boyamalarına gerek kalmaksızın yol işaretlemelerinin yapılmasını, yol üzerine canlı ve cansız varlıklar çıktığı zaman sürücüleri uyararak ve gece görüşünü arttırarak kaza riskini azaltıp, güvenlik miktarını arttırmayı ve interaktif olarak değişkenlik gösterip sürücüleri yönlendirmeyi sağlar. Cam tabakası ise solar yolların yapısında yer alan elektronik ve LED tabakasının olumsuz olabilecek dış etmenlere karşı koruyarak, aynı zamanda da yolun stabilitesini sağlar. Camların taşıma kapasitesi, cam yüzeyin deseni, eğim ve kurplara sağladıkları uyum ve cam yüzeyin temizliği ile ilgili bilgilere detaylı olarak bu bölümde yer verilmiştir. Aynı zamanda solar yolların elektrikli araçlara ve otonom araçlara geçişte sağladığı avantajlara da yer verilmiştir. Solar yolların yapısına yerleştirilecek aktarıcı bobinler sayesinde elektrikli araçlar dinamik olarak hareket halindeyken aktarıcı bobinden alıcı bobine manyetik alan etkisiyle solar yollardan elde edilen ve şebekelerde depolanan elektrik enerjisinin aktarımı sağlanarak elektrikli araçların sarjı sağlanmış olur. Böylelikle menzil endişesine yer ve büyük bataryalar kullanılmasına gerek kalmaksızın elektrikli araçların seyahati kolaylıkla sağlanacaktır. Bu bölüm tamamlandığında solar yollar kavramı iyice anlaşılmış olunup, sistemin nasıl çalıştığı, sistemin çalışması için gereken koşullar ve bu sistemin avantajları ve dezavantajları hakkında bilgi sahibi olunacaktır.

Beşinci bölümde ise solar yollar her ne kadar ülkemizde daha uygulanmış olmasa da daha önce uygulaması yapılmış uluslararası ülkelerde yer alan dünyadaki ilk solar yol olan Fransa'daki ilk solar yola, Hollanda'da uygulanan solar bisiklet yoluna ve Amerikada'ki solar yola yer verilmiştir. Çin'in Jinan şehrinde uygulanan solar yollarla ilgili detaylara ise dördüncü bölümde yer verilmiştir. Uygulanan solar yolların özelliklerine, kullanımı sonucunda da ortaya çıkan olumlu ya da olumsuz yanlarına yer verilmiştir. Olumsuz yanları için ise önerilerde bulunulmuştur.

Altıncı bölümde, ülkemiz için yeni bir kavram olan solar yolların ülkemizde uygulanması adına gerekli koşulları barındırıp barındırmadığı hakkında çalışmalar yapılmıştır. İller bazında uygunluk miktarı incelenmiş, güneşlenme sürelerine ve güneşlenme süresi haritasına, solar yollar sayesinde üretilebilecek enerji miktarına ve üretilen elektrik enerjisi haritasına yer verilmiştir. Ayrıca bu veriler kullanılarak solar yolların yapım ve bakım maliyetine, solar yolların iller bazında verimliliğine ve Türkiye'nin solar yollar uygulanması sonucunda elde edilecek olan verimlilik haritasına yer verilmiştir. Solar yolların etrafına bulunan mahallerin türlerine (mesken ve ticarethane) göre harcanacak elektrik enerjisi miktarının bedeli değişkenlik gösterecektir. Çünkü ticarethanelerdeki elektrik enerjisi tüketim bedelleri meskenlerdeki elektrik enerjisi tüketim bedelinden daha fazladır. Bu nedenle solar yolların uygulanması sonucunda elde edilecek elektrik enerjisinin ticarethanelerde kullanılması daha yüksek bir kazanç sağlayacak olup verimlilik oranının daha yüksek olmasına neden olacaktır. Bu nedenle veriler solar yolların etrafında yer alan mahallerin türlerine ve miktar dağılımlarına göre; %100 mesken-%0 ticarethane, %75 mesken- %25 ticarethane, %50 mesken-%50 ticarethane, %25 mesken-%75 ticarethane ve %0 mesken-%100 ticarethane olmak üzere hesaplanarak tüm bu durumlar için solar yolların uygulanması sonucunda Türkiye'nin verimlilik haritaları oluşturulmuştur. Bunlar neticesinde de tüm koşullar ele alınarak Türkiye'de solar yollara geçişe en uygun ve yapılması olumsuz sonuçlara sebep olabilecek illere değinilmiştir. %0 mesken ve %100 ticarethane olması durumunda Artvin, Rize ve Trabzon illeri hariç tüm illerde verimlilik oranları değişkenlik gösterecek şekilde pozitif bir verim elde edilmiştir. Yani bu durum en verimli koşulları sağlayacak durumdur ve Artvin, Rize ve Trabzon'da solar yolların uygulanması olumsuz sonuçlara neden olacaktır. Hakkari ve Iğdır illeri ise en düşük verimlilik oranlarını vermesi beklenen %100 mesken-%0 ticarethane durumunda bile pozitif yüksek bir verim göstermektedir. Yani bu illerde solar yolların uygulanması olumlu sonuçlara neden olacaktır. Bu bölüm sonuna gelindiği zaman hangi koşullarda ve hangi illerde solar yolların uygulanmasının olumlu ya da olumsuz sonuç doğuracağı tespit edilebilecektir.

## APPLICABILITY OF SOLAR ROADWAYS IN TURKEY

## SUMMARY

With the global effects starting to increase, the concept of sustainability has started to take place in our lives. Sustainability is a concept that is tried to be applied in almost every field, and means to try to transfer all of these opportunities to future generations in a way that will not harm the possibilities we have. In order to put this concept into practice, new searches have been made in many fields. One of the most studied topics is the renewable energy production methods that are aimed to be applied in order to reduce the greenhouse gas effect, which is one of the main factors of global warming. Direct electrical energy production from solar energy is the most basic renewable energy production method, and various studies have been carried out on this method. The new energy production method introduced as a result of these studies is the solar roadways that are the subject of this thesis. Roads cover many parts of the world, so transforming these roads into solar roads will provide a lot of clean energy production. Thus, the effects of global warming will be minimized.

In the first part of the thesis, the effects of solar roads on environmental factors are mentioned in order to understand why to switch to solar roads within the scope of sustainability. This environmental factor is basically the greenhouse gas effect. Solar roads allow energy production without releasing harmful gases to the environment compared to fossil fuels. Thus, it will cause a decrease in greenhouse gas effect. Apart from this, it will cause a decrease in CO2 emission since it provides positive possibilities in the transition to electric vehicles. This means that the greenhouse gas effect is reduced. In other words, solar roads have a positive effect on the reduction of greenhouse gas effect, which is the most important environmental factor, in two different aspects, and these topics are discussed in detail in this section.

In the second part, electrical energy methods are mentioned in detail. Electric power generation methods; It consists of two main categories as solar energy and electrical energy produced from mechanical energy of vehicles and their sub-categories. In electrical energy produced by solar energy, solar radiation is used in photovoltaic, which is the subject of this thesis, in other words, electrical energy production method with solar cells. The method of producing electrical energy with other solar energy is the electrical energy produced by the thermal gradient that solar energy will create on asphalt. These are thermoelectric manufacturers, asphalt solar collectors and induction heating sub-categories. The electricity generation method along with the energy released as a result of the movement of the vehicles is the electrical energy produced from the mechanical energy of the vehicles. In this method, energy production is provided directly by using piezoelectric producers, or by using hydraulic, micro-electromechanical or electromechanical methods, energy is transferred to electromagnetic producers, thus generating electrical energy from mechanical energy. All of these categories are included in this section. By the end of this section, you will have detailed information about the production methods of electrical energy.

In the third section, the most important greenhouse gas effect of the impact of the environmental factor of the solar roads further processed, the greenhouse effect of are included in what areas more pollution caused by and transition reason to solar roadways concept lead to formed graphics with the data obtained from the Turkey Statistical Institute.

In the fourth section, primarily for the understanding of solar roads, the structure of the solar roads, the basic, electronic, LED and glass layer details in the structure, the working principles of the solar roads, the general features of the solar roads and the advantages and disadvantages it provides under it, and also the electric vehicles transition facilities are included. In order for the LED layer to continue to work at night, the base layer is obliged to both store the required electricity energy in its own structure and to distribute the remaining electrical energy to the locations around the solar roads. At the same time, it also protects the electronic layer by disconnecting the electronic layer in the structure of the solar roads from the ground. The electronic layer consists of solar panels, solar cells (photovoltaic cells) and microprocessors. Microprocessors are located inside solar panels, in short, the brain of solar roads are microprocessors. Microprocessors are responsible for determining the location, obtaining the knowledge of the weather conditions, ensuring the operation of the heating system, providing the opportunity to passing to autonomous vehicles, taking the data and transferring it to the drivers. Solar cells, on the other hand, provide electrons flow from N-type to P-type by separating the boron and phosphorus impurities of silicon elements as N-type and P-type, thereby producing electrical energy in the current and solar panels. Factors affecting solar cells, photovoltaic cells; solar cell disruption, solar cell type, solar radiation amount, internal temperature of solar module, occupancy rate, shadow effect and pollution effect. Various effects of these factors on solar cells are examined in detail in this section. At the same time, the types of solar cells; monocrystalline silicon, polycrystalline (multi-crystalline) silicon, thick-film silicon, thin-film (amorphous) silicon and other thin-film silicones, in this section, how they are formed, their efficiency, costs, the area they occupy for 1 kW of energy production, their occupancy rates, high temperature performances and scattered light electricity generation conditions were examined in detail and compared with solar cell types. The usage efficiency of solar panels is given and mentioned in detail. The LED layer, on the other hand, enables road markings without the need for road painting, warns drivers when there are live and inanimate beings on the road, increases night vision, reduces the risk of accidents, increases the amount of safety, and indicates interactively varies and guides drivers. The glass layer, on the other hand, protects the electronic and LED layer in the structure of solar roads against external factors that may be negative, and also ensures the stability of the road. Information on the carrying capacity of the glass, the pattern of the glass surface, the harmony they provide to the curves and curves, and the cleaning of the glass surface are given in detail in this section. It also includes the advantages of solar roads in the transition to electric vehicles and autonomous vehicles. Thanks to the transmitter coils to be placed in the structure of the solar roads, electric vehicles are dynamically moving, and the transfer of the electrical energy obtained from the solar roads from the transmitter coil to the receiving coil with the magnetic field effect is ensured and the electric vehicles are charged. Thus, travel of electric vehicles will be easily provided without the need for range problems and using large batteries. When this section is completed, the concept of solar roads will be thoroughly understood and information will be gained about how the system works, the conditions required for the system to work and the advantages and disadvantages of this system.

In the fifth part, although solar roads have not been implemented in our country, the first solar road in France, the first solar road in the world, the solar bicycle road in the Netherlands and the solar road in the USA, are included. Details about the solar roads applied in Jinan city of China are given in the fourth section. The characteristics of the solar roads applied, and the positive or negative sides resulting from their use are included. Suggestions were made for the negative aspects.

In the sixth section, studies have been conducted on whether solar roads, which is a new concept for our country, meet the necessary conditions for the implementation of our country. The amount of suitability was examined on the basis of provinces, insolation times and insolation time map, the amount of energy that can be produced thanks to solar roads and the electricity generated map were included. Moreover, these data using solar road construction and maintenance costs of solar efficiency in the way of some provincial roads and Turkey's solar efficiency to be obtained as a result of the implementation of the maps are included. The price of the amount of electrical energy to be spent will vary according to the types of location areas (house and commercial) around the solar roads. Because the electricity consumption costs in the commercial establishments are higher than the electricity consumption costs in the houses. For this reason, the use of electrical energy, which will be obtained as a result of the implementation of solar roads, will provide a higher profit and will cause higher efficiency rate. For this reason, according to the types and quantity distributions of the neighborhoods around the solar roads as a result of the implementation of solar roads for all these situations, it is calculated as 100% houses-0% commercial, 75% houses-25% commercial-50% houses-50% commercial, 25% houses-75% commercial and 0% houses-100% commercial. Turkey's productivity maps were created. As a result of all these conditions to be addressed and made to advance through the solar optimal roadways in Turkey are mentioned which may cause negative effects. If it is 0% houses and 100% commercial, a positive efficiency has been achieved in all provinces except Artvin, Rize and Trabzon provinces. In other words, this situation will provide the most efficient conditions and the implementation of solar roads in Artvin, Rize and Trabzon will cause negative results. Hakkari and Iğdır provinces show a positive high efficiency even in the case of 100% dwelling-0% commercial facility, which is expected to give the lowest efficiency rates. In other words, the implementation of solar roads in these provinces will cause positive results. By the end of this section, it can be determined under which conditions and in which provinces the application of solar roads will have positive or negative results.

# 1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik, günümüzde sıkça duyulan ve üzerinde durulan önemli bir kavramdır. Artık her ne konu olursa olsun bir adım atılıp, kararlar verilirken gelecek nesillere düzgün ve yeterli kaynaklar bırakılması gerekliliği düşünülerek hareket edilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilirlik bu noktada devreye girmiş ve ihtiyacını göstermiş olur.

Bir bölgede yerleşimin oluşması ve gelişmesi için öncelikli olarak o bölgeye ulaşım imkânlarının oluşturulması ve zaman içerisinde gelişimin ilerlemesi gerekmektedir. Ulaşım sağlanırken de her ne kadar çevreye daha az zarar verilmeye çalışılsa da bu esnada doğacak zararlar yeterli ölçüde önlenemez. Bu zararları en aza düşürüp, hatta zararları faydaya dönüştürebilmek için; yani, gelecek nesillere sürdürülebilirlik kavramıyla daha az zarar görmüş bir çevre bırakmak için yeni ulaşım yöntemleri, ilgili teknolojiler vb. konular araştırılıp, geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu konulardan biri de bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde anlatılan *solar yollardır*. Solar yollar sayesinde, bir yolun inşası sırasında çevreye verilecek zararlar, doğal enerji kaynağı olan güneş ile bu yol üzerinde yer alan solar panellerin sayesinde üretilecek elektrik enerjisi ile faydaya dönüştürülmüş olunur. Solar yollara geçiş ile sera gazı salınımı da azaltılarak çevre daha az kirletilmiş sürdürülebilirlik sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte, hava kirliliği azalmış, iklim değişiklikleri yavaşlatılmış ve ekolojik denge daha az zarar görmüş olacaktır.

Uzun yıllardır enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır. $CO_2$ salınımının %87'si kömür, doğalgaz ve yağ gibi fosil yakıtların kullanılması sonucunda ortaya çıkmaktadır [1]. Var olan fosil yakıt enerjisinin kullanımına devam edildiği takdirde, 2020 yılı itibariyle enerji talebi %60'a çıkarken, $CO_2$ salınımı da %70'e çıkacaktır. Bu sebeple alternatif enerji kaynaklarına yönelim acil bir ihtiyaç olmuştur. [2]. Fosil yakıt tüketiminin çevreye verdiği ciddi zararların yanı sıra günümüzde politik konular, artan maliyetler, gittikçe azalan kaynaklar gibi konulardan dolayı fosil yakıt ile enerji üretiminin maliyeti de artmaktadır. Artan küresel ısınma etkileri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının gerekliliğini arttırmaktadır. Bu nedenlerden ötürü fosil yakıta bağımlılığın azalması adına yeni teknoloji arayışlarına yönelim meydana gelmiştir. Otomotiv sektöründe de görülen yeni *hybrid* yakıt teknolojisi gibi farklı enerji üretim yöntemleri üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Solar enerji de yeni gelişen ve gelecek vaat eden bir yöntemdir. Bu konuda doğal bir kaynak olan güneş

ile enerji üretilerek daha etkili ve düşük maliyetli ulaşım seçeneği oluşturulabilmesi için çalışmalar yapılmakta ve denemeler gerçekleştirilerek uygulanmaya başlanmaktadır.

Uzun zamandır otomobiller ve elektronik araçlar gibi birçok alanda değişiklikler yaşanırken yollar hep aynı standartlarda oluşturulmaya devam etmektedir. Fosil yakıta bağımlılığın azaltılması için gerekliliklerinin hepsi düşünülmüş ve en çok enerji elde edilebilecek, her gün uzun saatler boyu faaliyet gösteren güneş temel alınmış ve böylece yolların akıllı ve yeni bir sistem olan solar yollar olabilme olasılığı ortaya atılmış, bu konu üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Böylelikle birçok açıdan fayda sağlayan akıllı yol sistemine geçiş sağlanmaya başlanmış olacaktır. Elektrik üretiminin yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanımına geçiş yapılması sonucunda sera gazı salınımını %50 azaltacaktır [1]. Güneşe maruz kalabilecek herhangi bir yerde inşa edilebilir ve bu da milyonlarca insan için elektrik üretiminin kolayca sağlanmasına neden olur. Solar yollar şu an birkaç ülkede deneme aşamasında olup, var olan eksikliklerinin, dezavantajlarının giderilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca solar yollar elektrikli araçlara geçişe de olanak sağlar. Böylelikle fosil yakıt tüketimi ortadan kalkmış olup, sera gazı salınımı da azalmış olacaktır.

Yollardan elektrik üretilmesinin üç farklı yöntemi vardır;

1. yöntem: Asfalt yolun hemen altına piezoelektrik üreticiler yerleştirilir ve trafik yükü altındaki yol üzerinde oluşan titreşimlerden elektrik enerjisi üretilir.

2. yöntem: Termoelektrik sistemle asfalttaki sıcak enerjiden elektrik enerjisi üretilir.

3. yöntem: Solar yollarda olduğu gibi fotovoltaik solar paneller bulunur bu da güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisine dönüşümü sağlar.

Dünyadaki 173 ülke gelecek planları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarından yüksek oranda faydalanmak vardır. Bu ülkelerin 146'sı ise var olan politikaları desteklemek ve uygulamaktadır. Birçok ülkenin hedefinde 2030 yılı itibariyle üretilen enerjinin %30'unun yenilenebilir enerji ile üretilmesi vardır. Örneğin Hindistan'da 2030 yılı itibariyle üretilecek enerjinin %40'ının fosil yakıt kullanılmadan üretilmesi hedeflenmektedir. Rüzgar ve güneş panellerinin bu amaçla kullanımı dünya çapında giderek artış göstermektedir. Hindistan 2022 yılı itibariyle toplamda 175 GW yenilenebilir enerji üretimi sağlamak hedefindedir. Bunlardan 100 GW'ı güneş enerjisinden, 60 GW'ı rüzgar enerjisinden, 10 GW'ı biyokütle enerjisinden ve 5 GW'ı ise küçük su kaynaklarının enerjisinden elde edilerek toplam 175 GW'lık bir enerjiyi bulacaktır. Dünyanın toplam üretilen yenilenebilir enerji miktarı 2016 yılı itibariyle

227 GW'tır. Bu miktar da dünyada üretilen toplam elektrik enerjisinin %1,3'ünü oluşturmaktadır [3].

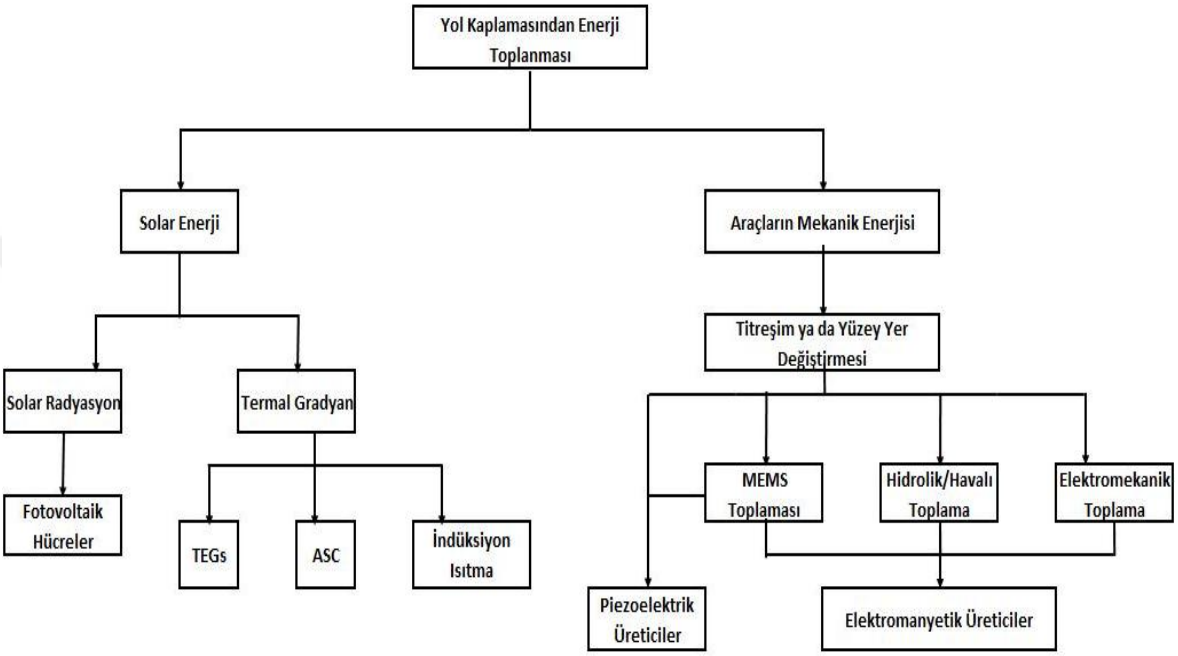
## 1.1 Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışmasında yol üzerinde yeni bir uygulama şekli olan, yeni teknoloji solar yollar incelenmiştir. Ayrıca solar yolların Türkiye'ye uygulanabilirliği üzerine de çalışmalar yapılmış, ülkemizin bu yeni teknolojiye hazır olup olmadığı araştırılmış, hangi bölgelerin solar yollara geçişe daha elverişli ve altyapısının daha hazır olduğu belirlenmiştir.

Solar paneller senelerden beri güneş ışınlarından doğrudan elektrik üretimi sağlamak için çeşitli yerlerde kullanılan bir sistem olmuştur. Son yıllarda bu sistemin yollar üzerinde de uygulanabileceği keşfedilmiş ve solar yollara geçiş yavaş adımlarla sağlanmaya başlamıştır. Bu tez kapsamında da solar yollara geçişin neden önemli olduğu, elektrik enerjisi üretim teknolojileri, solar yolların sera gazına etkisi, yapısı, çalışma prensibi, genel özellikleri, avantaj ve dezavantajları, maliyeti, uluslararası yapılmış olan örnekleri ve Türkiye'de uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur. Neticede bu tezle beraber solar yollar bütünüyle ele alınmış, iyice detaylandırılmış ve ülkemizin bu sisteme hazır olup olmadığı, bu sistemin gerçekten faydalı olup olmayacağı tespit edilmiştir. Türkiye'de uygulanabilirliği açısından yapılan fizibilite çalışması sonucunda ArcGIS programının paketi olan ArcMap V.10.7 kullanılarak Türkiye haritaları üretilmiştir [4].

## 2. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

Enerji üretim teknolojisi iki ana grupta sınıflandırılabilir. Bunlardan birisi solar radyasyonu kullanarak elektrik enerjisi üretimini gerçekleştiren gruptur; diğeri ise araç yükünden elde edilen mekanik enerjiden elektrik enerjisi üretimini gerçekleştiren gruptur. Şekil 2.1'de elektrik enerjisinin üretiminde kullanılan yöntemler gösterilmiştir.




**Şekil 2.1:** Elektrik enerjisi üretim teknolojileri [5].

### 2.1. Solar Enerji

Solar enerji güneşten gelen solar enerjinin direkt olarak kullanılması sonucunda elektrik üretiminin gerçekleştiği sistemleri içerisinde barındırır. Bu enerji ise solar radyasyon ve temel gradyan olmak üzere iki farklı üretim yöntemi olarak ayrılmaktadır.

#### 2.1.1 Solar radyasyon

##### 2.1.1.1 Fotovoltaik hücreler

Solar radyasyonun solar yollar üzerinde yer alan fotovoltaik hücrelere ulaşması ile doğrudan bir elektrik üretimi oluşur. Bu sistemin çalışma prensibi detaylı olarak Bölüm 4' te incelenmiştir.

### 2.1.2 Termal gradyan

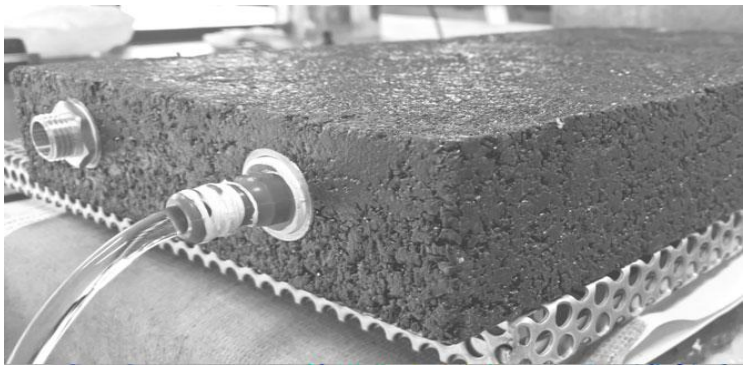
Solar radyasyonun asfalt üzerine etki etmesi sonucunda asfaltın sıcaklık değeri 70 C°'lere kadar çıkar [6]. Asfalt ve ortam sıcaklığı arasında oluşacak sıcaklık farkı kullanılarak solar enerjiden direkt olarak elektrik enerjisi üretimi sağlanmış olur. Oluşan bu sıcaklık farkına termal gradyan denir. Termoelektik üreticiler, asfalt solar toplayıcıları ve indüksiyon ısıtma sistemleri kullanılarak bu oluşan termal gradyan enerjisinden faydalanılıp doğrudan elektrik üretimi gerçekleştirilir.

#### 2.1.2.1 Termoelektik üreticiler (TEGs)

Asfalt üzerinde yükselen sıcaklık etkisini azaltmak adına güneşin sıcaklığı ve asfaltın sıcaklığından doğan sıcaklık farkını kullanarak; ortam sıcaklığına nazaran asfaltın sıcaklığı daha fazla miktarda olur ve de ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek hem elektrik enerjisi üretimi sağlayan hem de soğutucu etki oluşturan termoelektrik üreticiler kullanılır. Termoelektrik üreticiler asfaltın alt katmanında yer alır. Sıcaklık farkı sonucu termal gradyan ortaya çıkar bu termal gradyan termoelektrik üreticilere (TEGs) aktarılır ve solar enerjiden elektrik enerjisinin üretimi gerçekleşmiş olur. Böylelikle bu sistemin uygulanması asfaltın üzerindeki yüksek sıcaklıktan dolayı tekerlek izi oluşum olasılığını da azaltmış olur.

#### 2.1.2.2 Asfalt solar toplayıcılar (ASC)

Solar enerji, yola sıcaklık aktarılarak enerji üretimi sağlayan asfalt solar toplayıcılar tarafından toparlanır ve enerji üretimi gerçekleşir. Bu sistemde de yine termal gradyan etkisi sonucu ortaya çıkan sıcaklık farkı kullanılarak asfalt içerisinde yer alan boru sistemlerinin kullanılması sonucu elektrik üretimi sağlanır (Şekil 2.2).

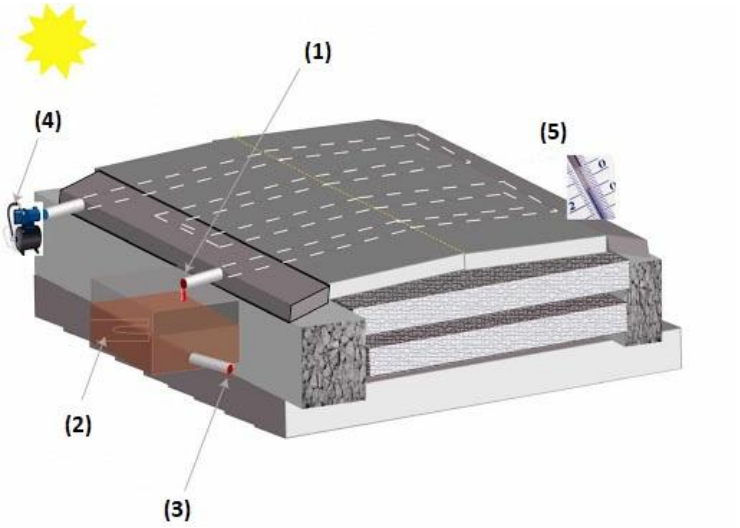


**Şekil 2.2:** Asfalt solar toplayıcılar boru sistemleri [7].

Asfalt solar toplayıcılar sisteminde asfaltın içinde suyun akacağı borular bulunur (Şekil 2.3). Solar ışınların asfalta ulaşması ile borular içerisinde yer alan su ile asfalt arasında termal gradyan miktarı artar. Asfaltın sıcaklığı yükseldiği zaman bu sıcaklık asfalttan boru içerisindeki suya aktarılır ve su akışı su ve asfalt arasında denge sıcaklığına ulaşılıncaya kadar devam eder. Akış dengesinin ardından asfalt soğumaya su ise ısınmaya başlar. Isınan suyun türbinlere aktarılması ile elektrik üretimi sağlanmış olur (Şekil 2.4). Bu sistem sayesinde asfaltın aşırı ısınması sonucunda doğacak olan olumsuzluklar da önlenmiş olur. Asfalt solar toplayıcılar genel olarak düşük sıcaklıklı jeotermal ısı pompaları da bulunur. Bu pompalar sayesinde soğuk su asfalt içindeki borulara pompalanır. Bu da sistemin daha hızlı çalışmasını sağlar.



**Şekil 2.3:** Asfalt solar toplayıcılar için örnek sistem [8].




**Şekil 2.4:** Asfalt solar toplayıcılar çalışma prensibi [9].

(1) - Borulardan çıkan sıcak su asfalt yolun temel ya da alt temel bölümünün içerisinde yer alan izole edilmiş rezervuara gelir.

(2) - İzole edilmiş rezervuar içerisinde yer alan solar ısıtıcı eleman asfaltta bulunan borulardan gelen sıcak suyun gerektiği kadar yeterli sıcaklığa ulaşması için sıcaklığını yükseltir.

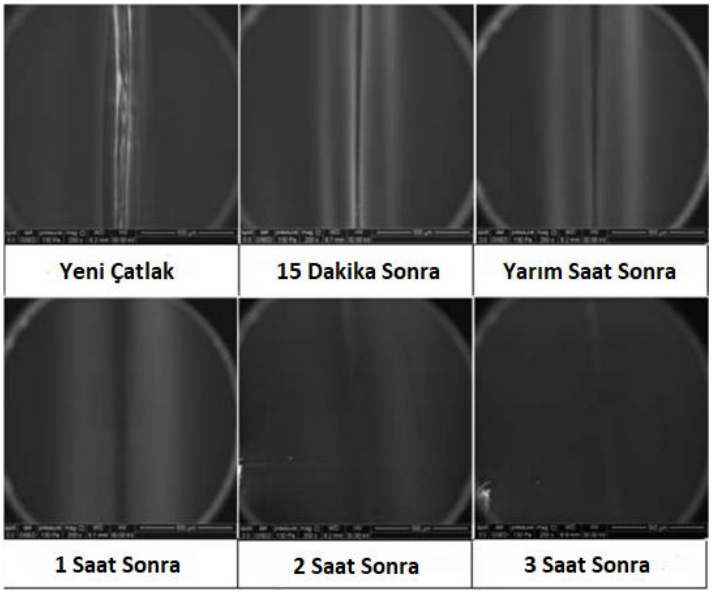
(3) - Yeterli sıcaklığa ulaşmış olan su "Organik Rankin Çevirimi" ya da "Kalina Çevirimi" sistemleriyle elektrik üretiminin sağlanması için türbine gider.

(4) - Solar pompa asfalt kaplamasının içinde yer alan borulara soğuk su pompalar.

(5) - Asfaltın sıcaklığı ve radyasyon ısısı düşer. Asfalt kaplamanın ömrü uzatılmış olur, elektrik enerjisi üretimi sayesinde sera gazı oluşumu düşer ve hava kalitesi de geliştirilmiş olur.

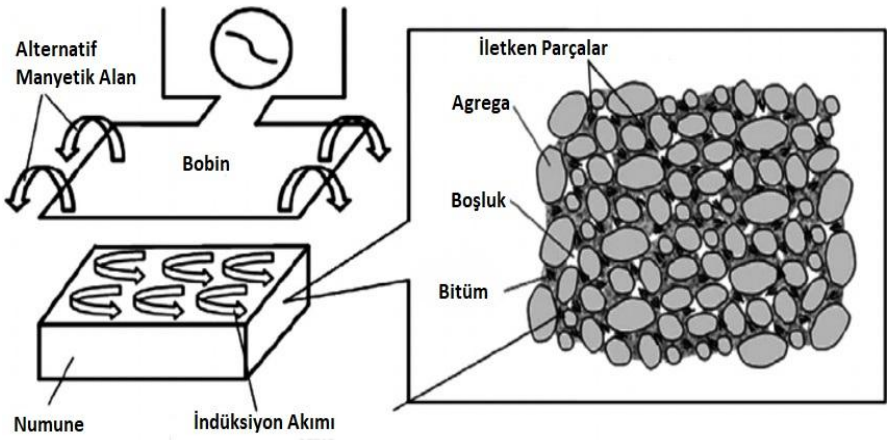
### 2.1.2.3 İndüksiyon ısıtma

İndüksiyon ısıtma sistemi çeliğin iletkenlik özelliğinden faydalanılarak oluşturulan bir enerji üretim sistemidir. Asfaltın yapısına bu iletken çelik parçaları yerleştirilir. Bunlar solar enerji sonucunda ısınmaya başlar ve ısındıkça yapısında yer aldığı asfaltın sıvılaşmasını sağlar. Bu sıvılaşma sonucu asfalt yol üzerinde bulunan çatlaklar ve çukurlar zamanla yok olacak şekilde kapanır (Şekil 2.5). Bu da asfaltın kendini iyileştirme özelliği kazanmasını sağlar.




**Şekil 2.5:** Asfaltın kendini iyileştirme aşamaları [10].

Bu sistem çalışırken metalin hemen ısınmasını sağlayan mıknatıslar bulunur. Mıknatıslar sistem içerisinde yer alan bobine alternatif akımlar yollar bu da manyetik bir alan oluşumunu sağlar. Bu oluşan manyetik alanlar da içeriğinde yer alan çelik fiberler sayesinde moleküllerin ısınmasını sağlar. Oluşan alternatif akımlar elektrik üretiminin oluşmasını sağlar. İndüksiyon ısıtma yöntemi ise başka bir solar enerji ile direkt olarak elektrik enerjisi üretim şeklidir. İndüksiyon ısıtma sistemi ile birlikte asfalt karışımının, solar radyasyonu toplayarak yüksek sıcaklıklarda otomatik olarak kendini iyileştirme özelliği kazanmasını ve aynı zamanda da ortaya çıkan termal gradyan sonucunda elektrik enerjisi üretimini sağlar (Şekil 2.6).




**Şekil 2.6:** İndüksiyon akımının açığa çıkma aşamaları [10].

## 2.2 Araçların Mekanik Enerjisi

Hareket eden araçlar motorlarını ve birçok parçasını çalıştırmak için enerji harcar ve açığa enerji çıkarır. Açığa çıkardığı bu enerjilerden %15'ten %21'e kadar bir kısmı araç tekerleklerinden yola geçer. Böylelikle araç yükünden enerji üretimi gerçekleşmiş olur [5].

Elektrik enerjisi üretim teknolojileri kapmasında incelenen ikinci grup ise mekanik enerjinin araç tekerlekleri ile yola aktarılmasıyla enerji üretiminin gerçekleştiği bir teknolojidir. Bu yöntemde direkt olarak enerji piezoelektrik üreticileri tarafından toplanarak elektrik enerjisi üretimi sağlanırken; hidrolik, basınçlı hava, elektromekanik ve mikro elektromekanik sistemler de toplanan enerjiyi elektromanyetik üreticilere aktararak elektrik enerjisi üretimini sağlamış olur.

## 2.3 Elektrik Enerjisi Üretim Teknolojilerinin Kıyaslanması

Bölüm 2'de açıklanan elektrik enerjisi üretim teknolojilerinin birbirleriyle kıyaslandığı tablo Çizelge 2.1'de yer almaktadır.

**Çizelge 2.1**: Elektrik enerjisi üretim teknolojilerinin kıyaslanması [5].

| Teknoloji | Şirket ya da Enstitü | Kurulu Güç (W/m²) | Dönüştürme Verimi | Enerji Üretimi (J/Veh.m) | Yerleştirme Metotu |
|---|---|---|---|---|---|
| Fotovoltaik | Solar Roadways | 97,3 | 11,2% | - | 1 |
| | TNO | - | - | - | 2 |
| TEGs | | - | - | 10,1x10^ | 3 |
| | | - | 1,6% | 0,7x10^5 | 3 |
| Piezoelektrik | Innowwattech | - | - | 5,8 | 3 |
| | Genziko | 1942,0 | - | 40,0 | 3 |
| Hidrolik | Kinergy Power | - | - | 188,0 | 1-2 |
| | New Energy | - | - | - | 1-2 |
| Elektromekanik | Waydip | 833,0 | 50,0% | 180,0 | 2 |
| | Underground Power | - | 85,0% | - | 1-2 |
| | Highway Energy | - | - | - | 2 |
| | Energy Intelligence | - | - | - | 2 |

Açıklamalar:

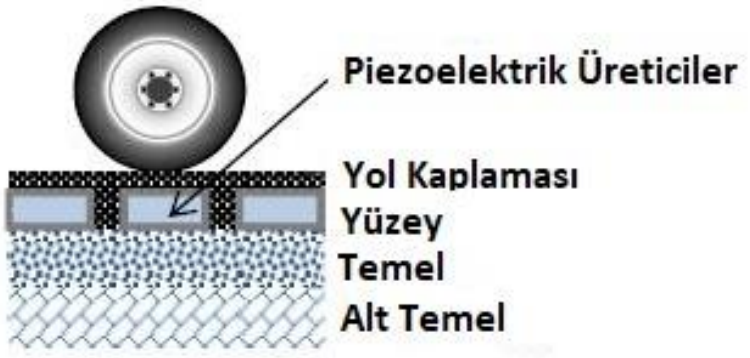
YM1- Yol kaplamasının üst kısmına yerleştirilmiştir, artık yeni yol yüzeyi haline gelmiştir.

YM2 - Yol kaplamasının içine gömülmüştür, üst tabakada yer alır, artık yeni yol yüzeyi haline gelmiştir.

YM3 - Yol kaplamasının içine gömülmüştür, üst tabakada yer alır, üzeri yol kaplamasının yüzeyi ile kaplıdır.

Yapılan araştırmalara göre solar enerjiden elde edilen en elverişli enerji üretim sistemi fotovoltaik sistemlerdir. Ama bu sistemde hala cam yüzey kullanıldığından araçların aderansı açısından; güvenlik koşulları ve yuvarlanma kapasitesini garanti etmesi; araçlara zorluk yaratması gibi handikaplar mevcuttur. Termoelektrik üreticiler (TEGs) sistemini yollarda uygulamak araçların uyumu açısından da daha elverişlidir fakat enerji üretim verimi düşmektedir.

Yapılan çalışmalarda ilk yönelim piezoelektrik üretimine olmuşken verimin düştüğü göz önüne alınmıştır ve bu konu üzerine olan eğilim son yıllarda azalmıştır. Buna nazaran araçların mekanik enerjisinden elektromanyetik üreticiler kullanılarak elektrik enerjisinin üretildiği mekanik sistemler üzerine araştırmalar çoğalmıştır. Piezoelektrik elektrik enerjisi üretim teknolojisinin yol üzerindeki yerleşim sistemine Şekil 2.7'de yer verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda mekanik sistemlerden olan hidrolik sistemin en yüksek enerji üretimine sahip olduğu görülmüştür. Bu sistemdeki uygulama, piezoelektrik sistemdeki uygulama şeklinden daha kolaydır. Aynı zamanda da elektrik enerjisi üretimi açısından da daha elverişlidir.




**Şekil 2.7:** Piezoelektrik üreticilerin yol üzerindeki yerleşimi [11].

Ayrıca araçların yol üzerinde oluşturduğu mekanik enerji geçişinden elektrik üretilmesi yerine araçların üzerinden geçmesi sonucu yol üzerinde oluşan titreşimden açığa çıkan mekanik enerjiden de elektrik enerjisi üretilebilir. Ama bu üretilen enerji miktarı diğer sistemler kullanılarak mekanik enerjiden üretilen elektrik enerjisine

nazaran çok düşüktür. İleride bu tür enerji üretimi de geliştirilerek, yoldaki titreşimden elektrik enerjisi üretimi sağlanarak, mevcut mekanik sistemlerden üretilen elektrik enerjisinden daha yüksek kapasitede enerji elde edilebilir [5].

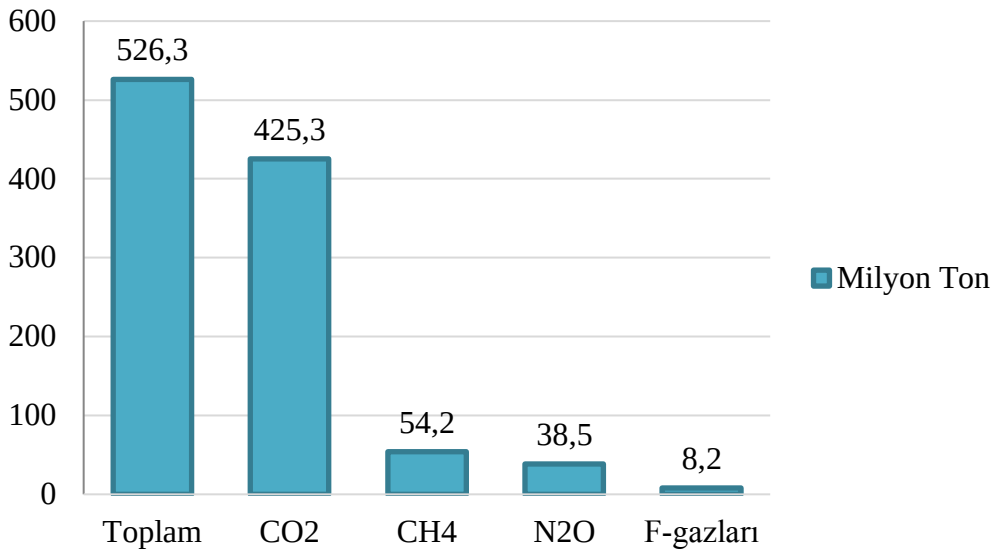
# 3. SOLAR YOLLARIN ÇEVRESEL FAKTÖRLERE ETKİLERİ

Karayollarının; yapılaşma, geçtiği bölgenin kalkınması, ticari faaliyetlerin gelişmesi ve çevresel faktörler gibi birçok unsura etkisi bulunmaktadır. Tez kapsamında incelenen karayolu ulaşımı seçeneklerinden biri olan solar yolların, çevresel faktörlere olan etkisi irdelendiğinde ise elektrik üretiminin desteklenmesi ve bunun sonucunda elektrikli araç kullanımının artması gibi faydalarla sera gazı etkisinin azalması, hava kirliliğinin önlenmesi gibi çok önemli etkilere sahiptir.

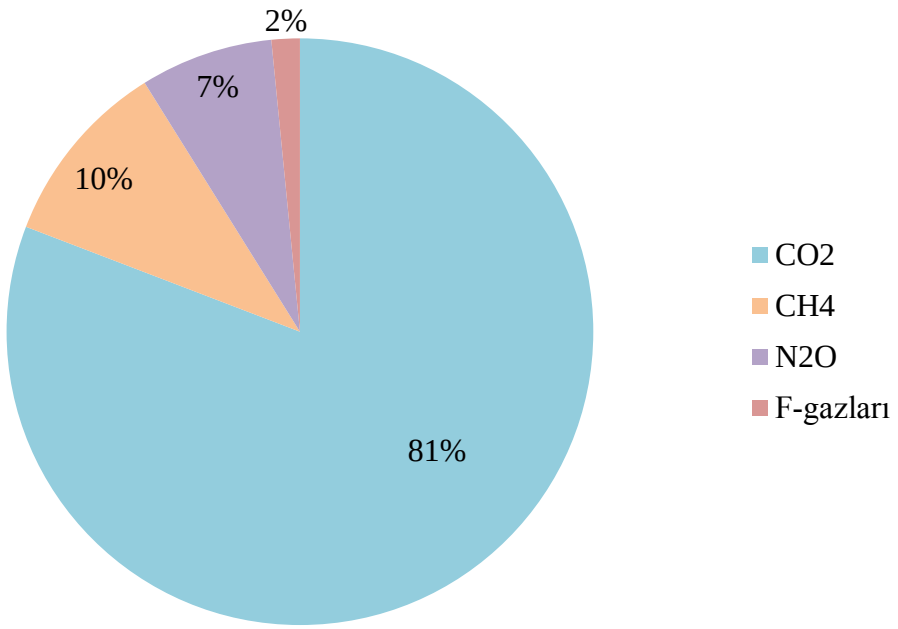
Günümüzdeki en büyük problem küresel ısınmadır. Küresel ısınmayla beraber insanlığın ve diğer canlıların varoluşu, genellersek dünya tehlikeye girer. Bu tehlikenin en büyük sebeplerinden biri de sera gazı etkisidir. Sera gazı etkisinin artışı ile beraber küresel ısınma problemi de artmakta, dünyanın düzeni bozulmaktadır. Sera gazı başlıca $CO_2$ gazı olmak üzere metan, azot protoksit ve F-gazlarından oluşur. Bu gazların hepsi dünyanın ekolojik dengesine zarar verici etkilere sebep olmaktadır.

## 3.1 Sera Gazı Etkisi

Türkiye İstatistik Kurumundan alınan verilerle oluşturulan Şekil 3.1'e göre; 2017 yılında toplam açığa çıkan sera gazı miktarı 526,3 milyon tondur. Bunun yanı sıra atmosfere salınımı gerçekleşen $CO_2$ miktarı ise 425,3 milyon tondur. Bu miktar Şekil 3.2'de görüldüğü gibi toplam salınan sera gazı emisyon miktarının %81'ini oluşturur. Toplam 54,2 milyon ton ve toplam salınan gaz miktarının %10'unu oluşturan CH4 (metan gazı) ise $CO_2$'i takip etmektedir. Bunun peşinden $N_2O$ (azot protoksit) 38,5 milyon tonluk miktar ve %7'lik oranla gelmektedir. Azot protoksit küresel ısınmanın çok bilinmeyen katalizörü olarak literatürlerde yer almaktadır. En son ise F-gazları 8,2 milyon tonluk değer ve %2'lik oranla toplam salınan sera gazı miktarını tamamlamaktadır. F-gazları ise florlu sera gazı olarak bilinmektedir.

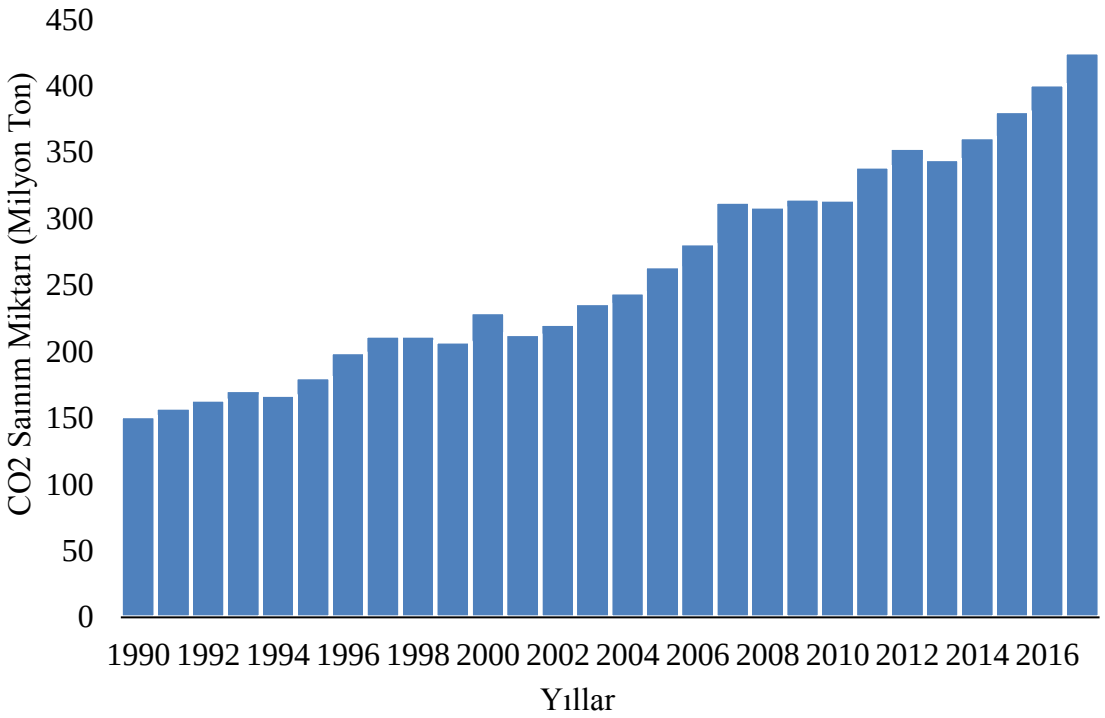



**Şekil 3.1:** 2017 yılı sera gazı emisyonları (CO2 eşdeğeri).




**Şekil 3.2:** 2017 yılı sera gazı emisyonlarının yüzdelik dağılımları.

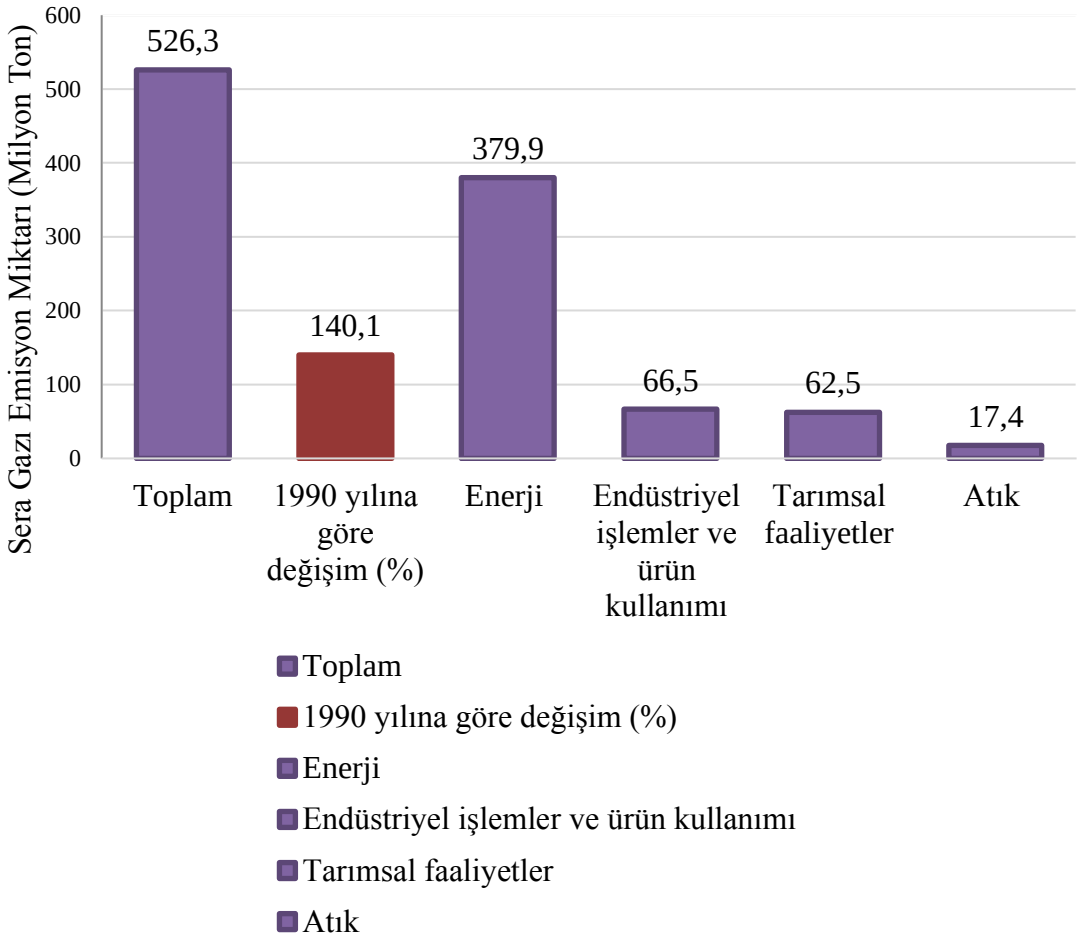
Şekil 3.3'e bakıldığı zaman atmosfere salınan sera gazı miktarında 1993, 1998, 2000, 2007 ve 2012 yıllarından sonra ufak düşüşler olsa da genel itibariyle salınan gaz miktarı her geçen sene artarak devam etmiştir. Yani bu üç grafikten de çıkaracağımız sonuç; dünyamız her geçen gün kirleniyor ve bu durum küresel ısınmaya sebep olup, ekolojik dengenin bozulmasına ve geri dönüşü olmayan zararların ortaya çıkmasına zemin oluşturuyor. Bu da acil bir şekilde müdahale edilip, çeşitli yeni uygulamalara geçilmesinin gerekliliğini ortaya koyuyor.




**Şekil 3.3:** Sera gazı emisyonlarının yıllara göre dağılımı (CO2 eşdeğeri).

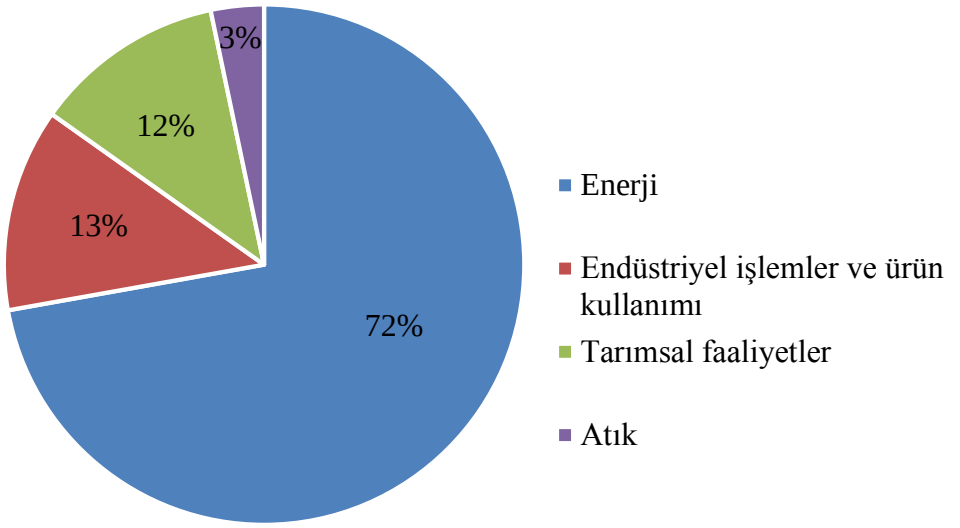
2017 yılı sera gazı salınım miktarını incelenmişti, bununla beraber hangi sektörlerde önlem alınması gerektiği ile alakalı da bilgi sahibi olmak önemlidir. Çünkü önceki paragrafta bahsedildiği gibi ekolojik dengenin bozulmasının önüne geçmek için çeşitli önlemler almak zorunludur. Bu önlemleri de hangi alanlarda uygulayacağımızı bilmek için sera gazı emisyonlarının dağılımını sektörlere göre bilmek gereklidir. Şekil 3.4'te görüldüğü üzere toplamda 526,3 milyon ton olan sera gazı salınım miktarına en çok 379,9 milyon tonla enerji sektörünün sebep olduğu görülmektedir. Bunu 66,5 milyon tonla endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve de buna çok yakın bir değerde olan 62,5 milyon tonluk tarımsal faaliyetler izler. En düşük salınım miktarı ise 17,4 milyon

ton salınım ile atıklara aittir. 1990 yılına göre var olan yüzdelik değişim ise 140,1 milyon tondur. Yani 2017 yılında açığa çıkan $CO_2$ salınımı 1990 yılına göre %140,1'lik bir artış söz konusudur.



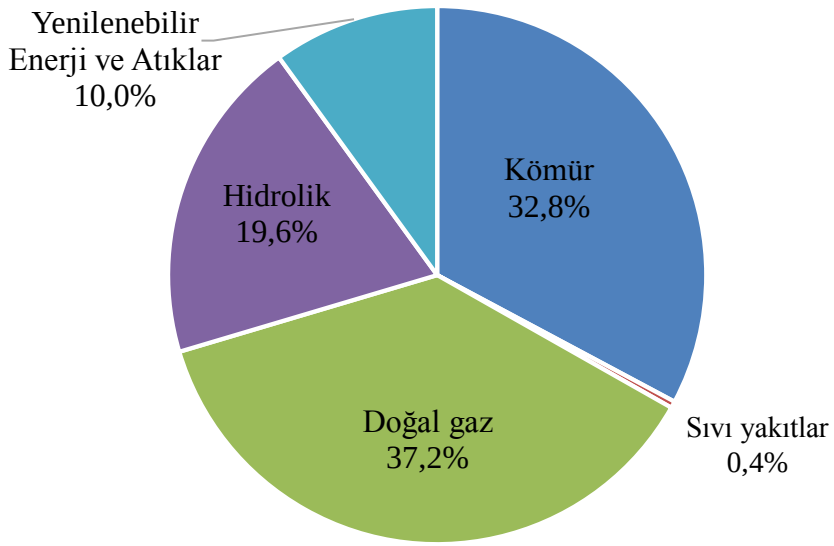

**Şekil 3.4:** 2017 yılı sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları (CO2 eşdeğeri).

Şekil 3.5'te görüldüğü üzere 2017 yılında gerçekleşen emisyonların %72'si enerji sektöründen açığa çıkmıştır. Bunu %13 ve %12 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve tarımsal faaliyetler takip etmektedir. %3'lük oranla ise sera gazı salınımına en düşük etki gösteren atıklardır.



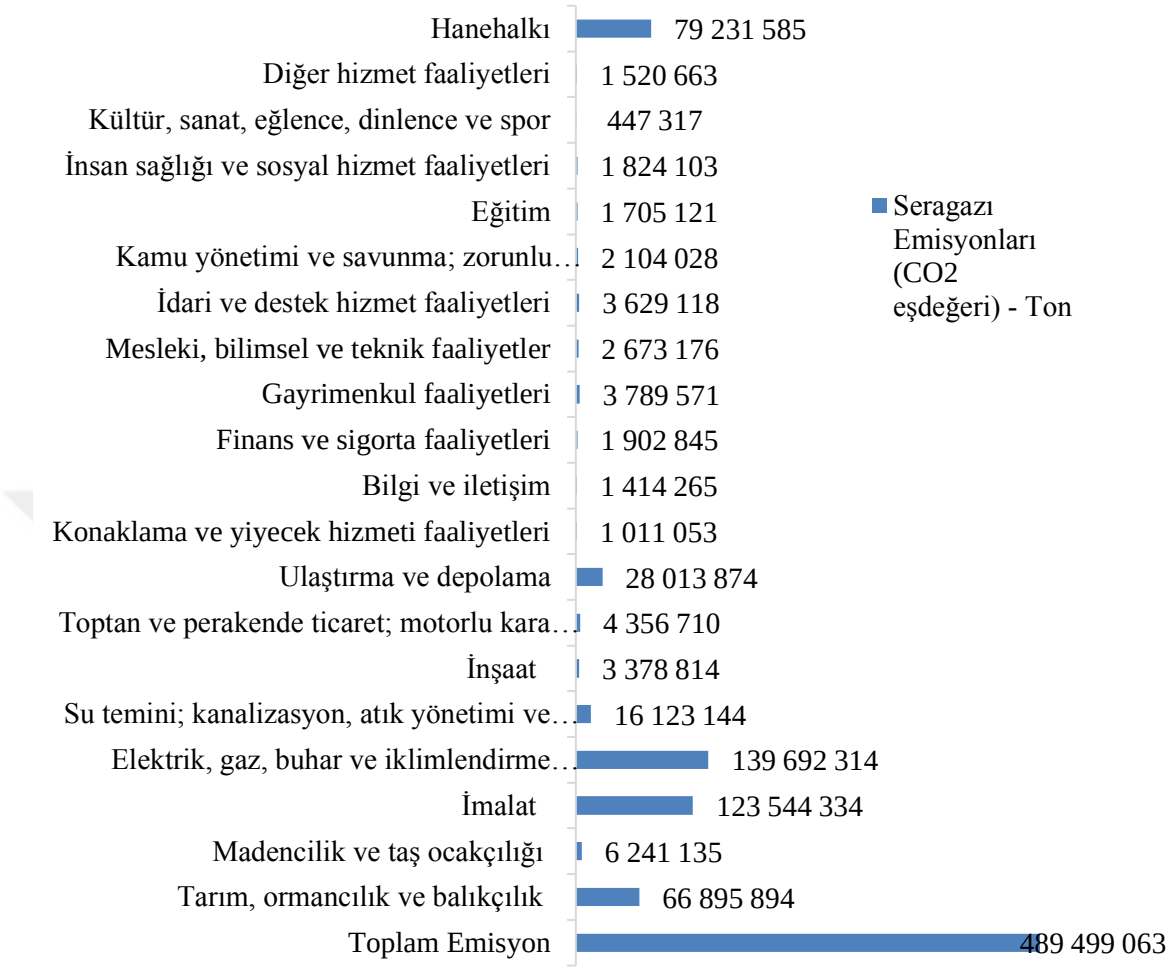

**Şekil 3.5:** 2017 yılı sektörlere göre toplam sera gazı emisyonu yüzdelik dağılımları.

Solar enerjinin kullanımı gündeme gelene kadar enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar kullanılmıştır. Fosil yakıtların artık hem üretiminde yaşanan zorluklar hem de maliyetinde yaşanan artış sonucunda yeni enerji kaynağı arayışına girilmiştir. Bu arayış neticesinde de her gün, günün büyük bir miktarında dünyamızı maliyetsiz bir şekilde aydınlatan güneşten enerji elde etme fikri doğmuştur. 2017 yılında elektrik enerjisi üretimi için kullanılan kaynaklara Şekil 3.6'da yer verilmiştir. Bunlar %37,2 oranla en yüksek olan doğalgaz, %32,8 oranla kömür, %19,6 oranla hidrolik, %10,0 oranla yenilenebilir enerji ve atıklar ve %0,4 oranla en düşük orana sahip sıvı yakıtlardır. Bu verilere göre yenilenebilir enerji ve atıklar yüzdesi %10,0'la alt sıralarda yer almaktadır. Bu yüzde temiz enerjiyi barındırır. Bu şekilde çevreye zarar vermeden enerji üretilerek, enerji tüketimi en az zararla karşılanır. Sürdürülebilirliğe katkı sağlanmış olur. Bu yüzdenin 2017 yılı itibariyle düşük olduğunu ve arttırmaya yönelik çalışmalar yapılması gerektiği bu grafikten görülmektedir. Solar enerjinin yollarda kullanılmasıyla beraber bu oran artacak ve bununla beraber de çevreye verilecek en az zararla sürdürülebilirliğe katkı sağlanmış olacaktır.



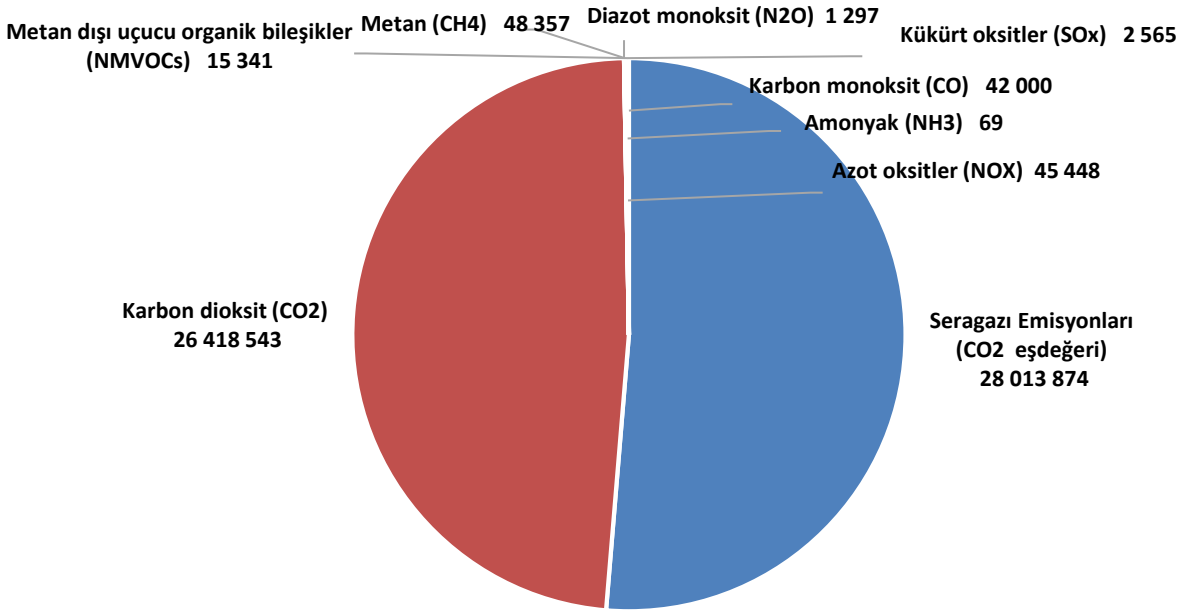

**Şekil 3.6:** 2017 yılı enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve paydaları.

Şekil 3.7'deki verilere bakıldığı zaman 2016 yılında yapılan çalışmalar sonucunda ekonomik faaliyetlere göre sera gazı emisyon miktarlarında dikkat çekenler; 139.692.314 tonla birinci sırada yer alan elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi ve dağıtımı, 123.544.334 tonla ikinci sırada yer alan imalatlar, 79.231.585 tonla üçüncü sırada hane halkı, 66.895.894 tonla dördüncü sırada tarım, ormancılık ve balıkçılık ve 28.013.874 tonla beşinci sırada ulaştırma ve depolama yer almaktadır. Yani ulaştırma sonucunda açığa çıkan sera gazı emisyonu miktarı ilk beşte bulunmaktadır. Bu da dikkat edilmesi gereken bir husus olduğunun göstergesidir. Bunun dışında elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi ve dağıtımı ise sera gazı emisyonu açısından birinci sıradadır. Bu da kayda değer bir durumdur. Tüm bunlar dikkate alındığı zaman solar yollara geçiş sağlandığı takdirde elektrikli araçların kullanımına daha çok imkân sağladığı ve de fosil yakıtlara gerek duyulmaksızın güneş enerjisi ile direkt olarak elektrik enerjisi üretileceğinden dolayı hem ulaştırma açısından açığa çıkan sera gazı düşürülmüş olacak hem de elektrik üretimi solar yollar sayesinde sağlanacağı için elektrik üretimi sırasında açığa çıkan sera gazı etkisi azalacaktır. Böylelikle sürdürülebilirlik sağlanmış olup, çevreye daha az zarar verilecek ve gelecek nesillere daha sağlıklı bir dünya bırakılacaktır.




**Şekil 3.7:** 2016 yılı ekonomik faaliyetlere göre sera gazı emisyonları ($CO_2$ eşdeğeri).

Şekil 3.8'de yer verilen 2016 yılındaki ulaşım ve depolama faaliyetlerinin detayı incelendiğinde toplam 28.013.874 ton olan miktarın 26.418.543 tonunu $CO_2$ salınımı meydana getirmektedir. Bunu 48.357 tonla $CH_4$ takip ederken, 45.448 tonla NOX sonrasında gelmektedir. 42.000 ton ise CO gazı salınımı mevcuttur. Bunların sonrasında ise sırayla NMVOCs (metan dışı uçucu organik bileşikler), SOX, $N_2O$ ve $NH_3$ gelmektedir.




**Şekil 3.8:** 2016 yılında ulaşım ve depolama faaliyetine göre sera gazı emisyonları (ton).

## 4. SOLAR YOLLAR

Fosil yakıt tüketiminin çevreye verdiği zararlar ve fosil yakıta ulaşılabilirliğin artan maliyeti sonucunda yeni kaynaklar kullanma gereksinimi ortaya çıkmıştır. Güneş hiçbir maliyeti ve zararı olmaksızın yeryüzüne enerji sağlayan doğal bir kaynaktır. Bunun neticesinde de geleceğe olumlu etkisi olan ve yenilenebilir enerji üretimi sağlayan solar enerji kaynağı kullanımı fikri ortaya atılmıştır. Bununla beraber de bunu günün uzun zamanları güneşe maruz kalan ve dünyanın birçok yerini kaplayan yollara entegre etme fikri doğmuştur. Böylelikle geleneksel yolların; güneşten direkt olarak fayda sağlayabilecek ve yenilenebilir enerji üretebilecek solar yollara dönüşümünü sağlamak adına birçok çalışma yapılmıştır. Solar yollara geçiş 2009'un ilk dönemlerinde başlamıştır. Daha sonrasında Amerika'da bu konuyla alakalı çalışmalar yapılması için *Solar Roadways* adında bir kurum kurulmuştur [12].

Yollar dünyanın her yerini kaplamaktadır, güneş ise dünyanın her yerine enerji kaynağı sağlamaktadır. İşte solar yollar ile birlikte, mevcut yolların solar yollara entegrasyonu sağlandıktan sonra dünyanın her yerinde doğal enerji kaynağı olan güneşten faydalanarak, yollar üzerinden direkt elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilerek yenilenebilir enerji üretilmiş olacaktır. Bunun sayesinde hem doğal yollardan elektrik enerjisi üretimi sağlanmış olup hem de fosil yakıt tüketimine gerek kalmayacağı için de çevre kirliliğinin önüne geçilmiş olacaktır. Solar yollar sayesinde üretilen elektrik enerjisinin miktarı kullanıcıların tükettiği elektrik enerjisini fazlalıkla karşılamaktadır. Bu da tek başına yeterli olan bir sistemin kullanılmasının mantık çerçevesinde olduğunun göstergesidir. Solar yollar bize temiz, güvenilir, geliştirilebilir ve fiyatı uygun bir enerji sağlar. Eğer ki var olan tüm yolların; geleneksel asfalt kaplama yol standardından %20 verimli solar yollara geçişi sağlanırsa 3 kat daha fazla elektrik enerjisi üretimi ortaya çıkmış olacaktır [1]. 2007 yılında PV solar panellerle üretilen enerji miktarı 2,826 GWP (gigawatts), 2008'de 5,95 GWP'tır. Bir yıl içinde üretilen elektrik enerjisi miktarındaki artışı %110'dur. Güneşten yeryüzüne gelen enerji miktarı ise 89 petawattdır. İnsanların yaklaşık enerji tüketimi 15 terawattdır. Yani güneşten gelen enerji miktarı tüketilen enerjinin 6.000 katıdır. Solar paneller kullanımı ile tüketilen elektrik enerji miktarı fazlasıyla üretilip aynı zamanda da çevreye zarar vermeden enerji üretimi sağlanmış olur [13].

Dünyada solar yolların avantaj ve dezavantajlarını görmek adına uygulandığı birçok ülke vardır ve bu yollar deneme aşamasındadır. Örneğin Çin'in hava kirlilik oranı yüksek olan şehirlerinden biri olan Jinan şehrinde fosil yakıt tüketimiyle artan kirlilik

oranını düşürebilmek adına ilk etapta 1 km'lik iki şeritli yaklaşık 5.785 m²'lik alana yayılmış bir solar yol inşa edilmiştir. Bu yol yaklaşık 1 milyon kilowatt-saat elektrik enerjisi üretmektedir bu da Çin'deki 800 evin elektrik ihtiyacını karşılayacak kadar bir elektrik enerjisidir [2]. Buradan da görüldüğü gibi kısa mesafeli bir yolda bile bu teknolojinin uygulanması birçok mahal için gerekli elektrik enerjisini sağlamaktadır. Çin'de uygulanan yolda asfaltla benzer özellikleri gösteren şeffaf beton kullanılmıştır. Bu yoldan üretilecek enerji ilk etapta çevresindeki evlerde kullanılabilmesi hedeflenirken ileriki aşamada elektrikli araçları direkt olarak şarj edebilmeyi hedeflemektedir. Ayrıca elektrik üretiminin yanı sıra sera gazı emisyonunda da azalma sağlayacaktır. Bu teknoloji sayesinde sera gazı salınımında %50 bir düşüş sağlanmış olacaktır [2]. Şekil 4.1'de Çin'in Jinan şehrinde uygulanan çift şeritli solar yol örnek olarak verilmiştir.




**Şekil 4.1:** Çin'in Jinan şehrinde uygulanan çift şeritli solar yol [14].

Solar yolların yüksek verimli çalışabilmesi için üç önemli kıstas vardır.

- Güneş ışınlarının, elektrik enerjisine dönüşümün sağlanacağı elektronik tabakasına geçebilmesi için yüzey temiz olmalıdır.
- Elektronik tabakası ise gelen güneş enerjisini tutabilmeli ve elektrik enerjisine dönüşümü sağlamalıdır.
- Temel tabakası da üretilen elektrik enerjisinin sistemde yer alan LED'lerin kullanımı için gerekli kısmını saklı tuttuktan sonra kalan enerjiyi ev, işyeri

vs.'ye iletimini sağlamalıdır. Bu konuda temel tabakası enerji dağıtımını yapma aşamasında doğru karar vermelidir.

### 4.1. Solar Yolların Yapısı

Solar yolları meydana getiren sistem dört temel parçadan meydana gelir (Şekil 4.2). Bunlar; temel tabakası, elektronik tabakası, LED ışıklar ve cam kaplama ya da cam üzeri saydam asfalt kaplamadır. Güneşten gelen enerji bu dört tabakadan geçiş yaparak elektrik enerjisine dönüştürülür ve bu üretilen elektrik enerjisi ise binalara aktarılır. Güneş ışınları olduğunda elektrik enerjisi üretilir ama elektrik enerjisi kullanımına her zaman ihtiyaç vardır. Bu yüzden fazlası şebekelerde depo edilmeli ve ihtiyaç halinde kullanılabilmelidir. Şekil 4.2'de solar yolları meydana getiren bileşenler detaylı olarak gösterilmiştir.

Solar yolların yapısal tasarım gereklilikleri aşağıdaki gibidir:

-Oluşturulan bu yapı dairesel yük dağılımını araç tekerleklerinden sağlamalıdır. 480 kPa araç tekerleklerinden panellere aktarılan gerekli tipik tasarım gerilim değeridir [15].

-Panelin ağırlığı, iki insanın test edilmesi ve yükleme özelliklerinin araştırabilmesi adına kolayca manevra yapabileceği miktarda olabildiğince hafif olmalıdır.

-Yapısı tuz ve diğer potansiyel atıklar gibi malzemelerden doğabilecek korozyona karşı koyabilecek özellikte olmalıdır.

-Tasarımı modüler ve bakımı kolay olabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

-Saydam yüzey hücre bölmelerini saptırmaz, böylelikle bu saydam tabakası üzerindeki yükü solar hücrelere aktarmış olur.

-Ölçümlere, inşaata ve testlere uyum sağlayabilmesi adına tasarlanan panelin kenar uzunluğu 0,91 m ve diğer koşulları da sağlayabilmesi adına yeterli kalınlıkta olmalıdır [15].

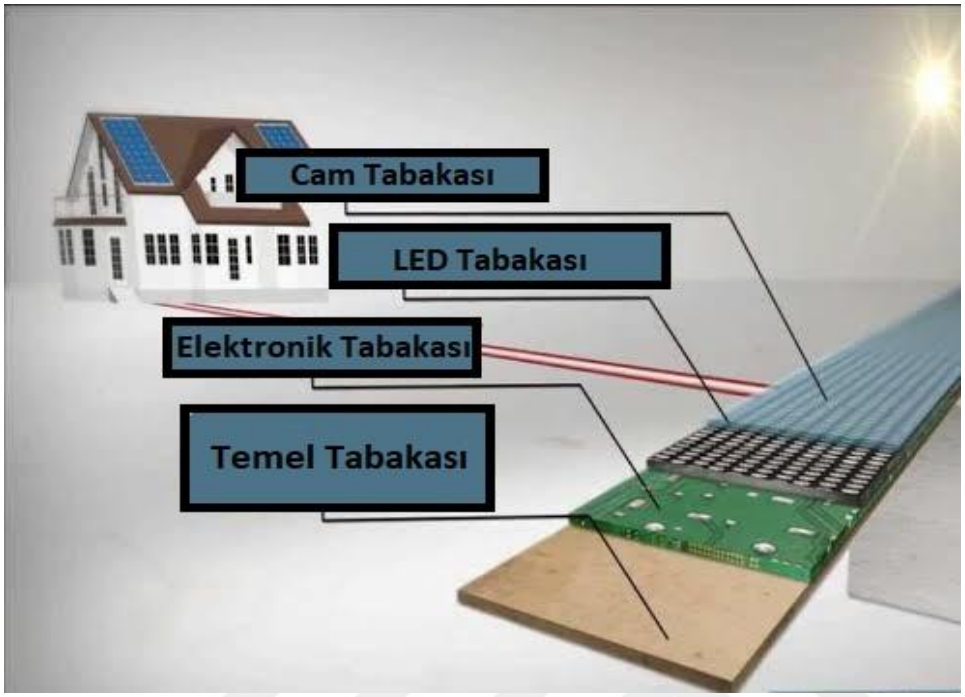
Solar yolların elektriksel tasarım gereklilikleri ise şöyle açıklanmaktadır:

-Hiçbir hücre gölge etkisine maruz kalmamalıdır.

-Optik tabakadan oluşabilecek sapmalara karşı dayanımı sağlayabilmesi adına hücreler arasındaki bağ çok güçlü olmalıdır.

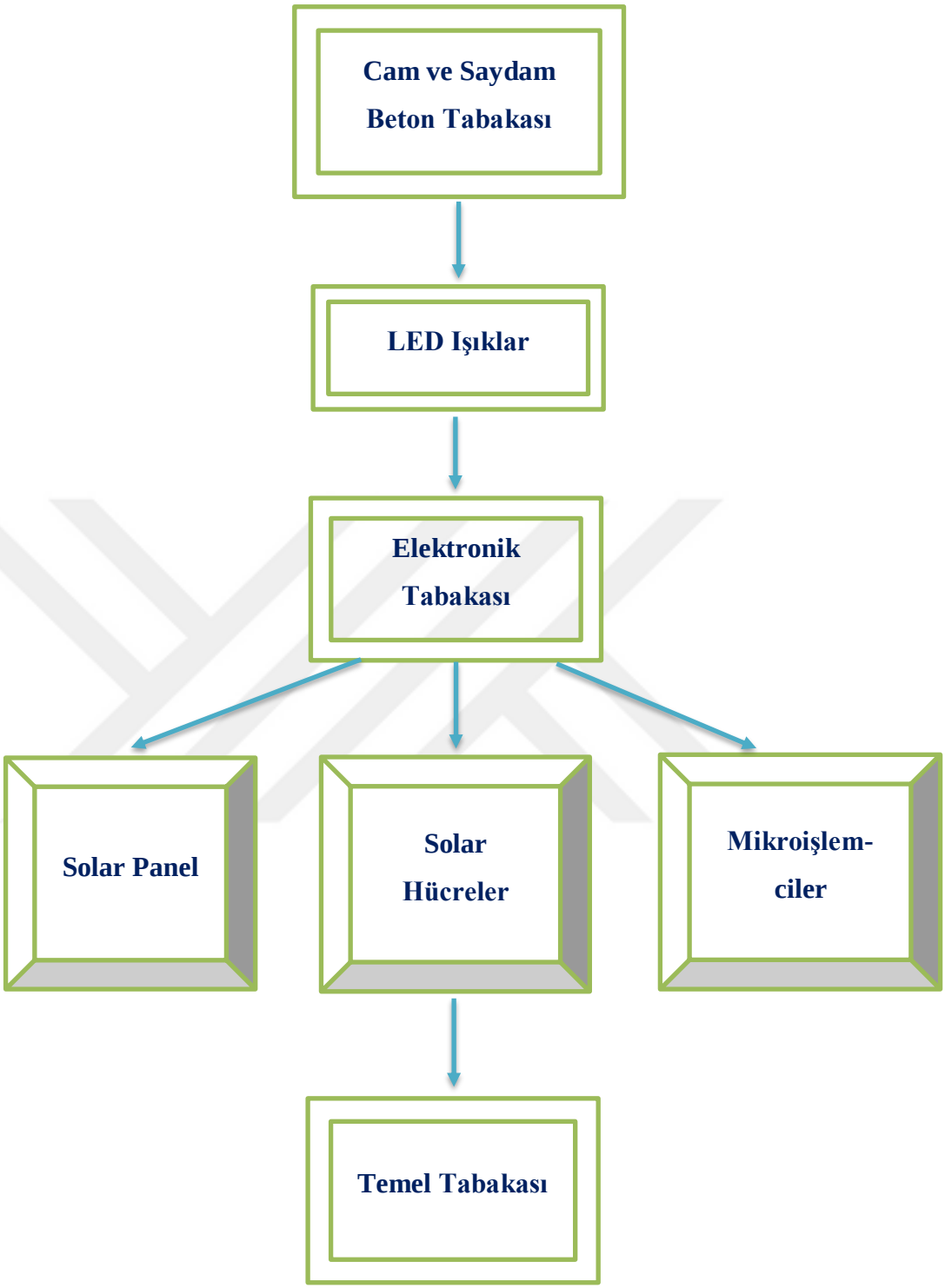
-Paneller, su ve diğer maddelerin elektroniklerine zarar vermemesi adına her türlü hava koşullarına karşı dayanıklı olmalıdır.

-Sistemin içinde dış elektrik hattına ters akımları önleyen bir diyot yerleştirilir. Böylelikle paneller içinde yer alan hücreler için oluşabilecek zararlar önlenmiş olur.




**Şekil 4.2:** Solar yolları meydana getiren tabakalar [16].

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere güneş enerjisi ilk olarak solar sistemi meydana getiren cam veya saydam beton tabakasına gelir. Buradan LED ışıkların yer aldığı tabakaya geçiş yaparak solar enerjiden elektrik enerjisi üretiminin direkt olarak sağlandığı elektronik tabakasına geçiş yapar. Bu tabakada solar enerjiden elektrik enerjisi üretimini sağlayan solar paneller ve solar panelleri meydana getiren solar hücreler ve panellerin ısıtılmasını, konum bilgisini sağlayan aynı zamanda sistemin beyni olan mikroişlemciler bulunur. Bu elektronik tabakasında elektrik enerjisi üretildikten sonra mikroişlemcilerin de karar verme mekanizması ile birlikte üretilen elektrik enerjisinin gece de LED ışık, ısıtma sisteminin çalışabilmesi adına gerekli olan kısmını bünyesinde depolarken fazla olan elektrik enerjisinin de etrafındaki mahallere dağıtımını sağlar.




**Şekil 4.3:** Solar yolları meydana getiren tabakaların şeması.

### 4.1.1 Temel tabakası

Temel tabakası; güneş ışınlarını içerisine alıp elektrik enerjisine dönüştüren elektronik tabakasını; hava koşullarına ve dışarıdan gelecek etmenlere karşı korur. Ayrıca da sistemin kendi kullanımının dışında kalan üretilmiş fazla elektriğin ise evlere, işyerlerine dağıtımının yapıldığı yer yine temel tabakasıdır. Bu fazla enerji elektronik tabakasından temel tabakasına aktarılır ve buradan da çevresindeki mahallere dağıtımı sağlanır. Buna ilave olarak güç ve data sinyalleri de temel tabakasına aktarılarak temel tabakası üzerinden çevresindeki mahallere iletilir.

### 4.1.2 Elektronik tabakası

Elektronik tabakası üç temel parçadan meydana gelir. Bunlar; mikroişlemciler, solar hücreler ve solar panellerdir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşümün yapıldığı birim elektronik tabakasıdır.

#### 4.1.2.1 Mikroişlemciler

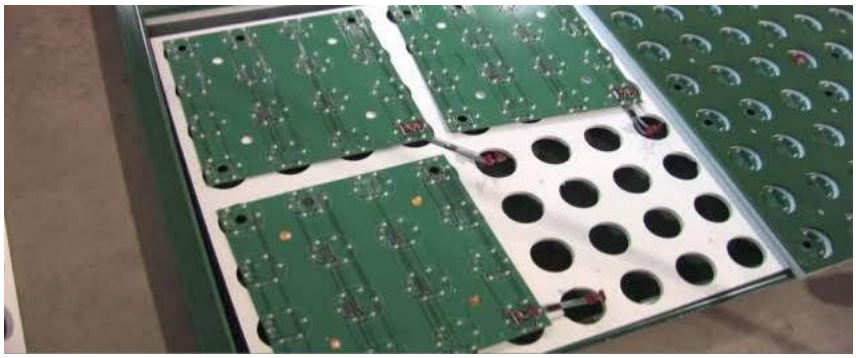
Mikroişlemciler elektronik tabakasının bir elemanıdır. Pek çok farklı konuda fayda sağlar. Işıklandırma, iletişim ve gözlemleme özelliklerine sahiptir ve bunları sunar. Solar yollarda solar panellerin içerisinde her 3,66 m'de bir yer alan mikroişlemciler; iletişimi, aydınlatmayı, yönetimi sağlayarak akıllı yol sisteminin oluşumunu sağlar [12].

Mikroişlemciler yolun beynidir, sayesinde güvenlik, konum belirleme, veri aktarımı, veri gözlenmesi sağlanır. Her solar panelin bir mikroişlemcisi bulunur. Her mikroişlemci, panelin konum bilgisine sahiptir. Bu da panellerin çalınmasına yönelik oluşabilecek bir hırsızlık durumunda panelin yeri hakkında bilgi aktarımı sağlar. Böylelikle çalınan solar panelinin yeriyle beraber çalan kişinin konumu da tespit edilmiş olunur. Buna ek olarak hareket halinde panelin ve hırsızın da hızlarının tespiti sağlanmış olunur. Bu özellik sayesinde pahalı bir sistem olan solar yolların elemanlarının çalınmasına yönelik bir güvenlik önlemi alınmış olunur.
Her solar panel mikroişlemciler sayesinde birbiriyle iletişim halinde olur. Böylece her panel birbirine veri aktarımında bulunur, solar paneller etkileşim halindedir. Ayrıca

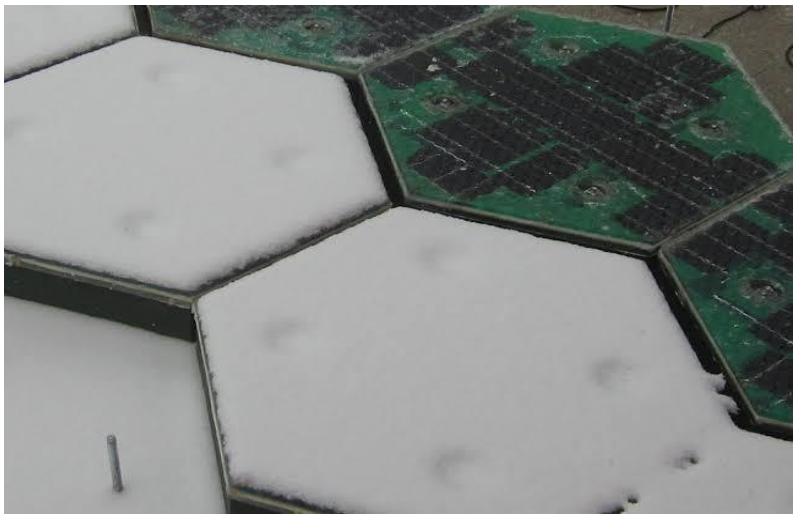
mikroişlemciler, sürücü ve yayalarla da iletişim kurar. Mesela yolculuk esnasında her mikroişlemcinin konumu belli olduğundan GPS'e gerek kalmaksızın konum belirler ve gidilecek yere yönlendirmeler oluşturur.

Mikroişlemcilerin GPS'e göre konum doğruluğu daha yüksektir. GPS'e gerek kalmaksızın yolların haritalarının oluşturulmasında da mikroişlemcilerden faydalanılabilir. Bu avantaj otonom araçlara geçişi de kolay kılacaktır. Solar yollar otonom araçlara tamamen geçilmesi için zemin hazırlar. Otonom araçlar solar yollarda mikroişlemciler sayesinde aracın nerede olduğu ve nereye doğru ilerlemesi gerektiği hakkında bilgi sağlayacaktır. Yani mikroişlemciler veri aktarımı sağlayıp, kullanıcılara gözlemleme imkânı sunmaktadır. Otonom araç uygulaması resmi açıdan ilk olarak 2018'de uygulanmıştır. Sürücüsüz araç kullanımıyla araçlar birbirine daha yakın takip mesafesinde hareket ederek yol kapasitesini de arttırmaktadır. Bu teknoloji ilk olarak 8 sürücüsüz aracın kullanıldığı 1997'de Kaliforniya'da uygulanmış ve 2007'de tekrar 6 sürücüsüz araçla tekrar edilmiştir. GPS sisteminin araçların yerlerini 2 cm'ye kadar doğrulukla tespit edilebilmesi otonom araç teknolojisinin gelişmesine büyük katkıda bulunmuştur. Google tarafından ilk lisanslı otonom araç için Amerika'nın Nevada eyaletinde bir Toyota Prius'un halka açık caddelerde test edilmesine izin verilmiştir [17].

Mikroişlemciler aynı zamanda ısıtma sistemini de kontrol eder. Böylelikle kışın soğuklarda don ve buzlanmayı, yağmur sonucu su birikimini ısıtma sistemini kullanarak engellemiş olur. Ayrıca yol üzerindeki yüklemeleri de algılayarak aşırı yüklü araç seyahat ettiğinde LED tabakası ile diğer sürücülere bilgilendirmede bulunarak özellikle geceleri kaza riskini düşürür. Elektronik tabakasında yer alan mikroişlemcilere örnek olarak Şekil 4.4'te ve Şekil 4.5'te yer verilmiştir.



**Şekil 4.4:** Elektronik tabakasında yer alan mikroişlemciler [18].



**Şekil 4.5:** Solar panellerde yer alan mikroişlemciler [19].

#### 4.1.2.2 Solar paneller

Solar paneller solar hücrelerin bir araya gelmesiyle meydana gelir. Her solar hücre bir miktar güç üretir ve böylelikle birçok solar hücrenin bir araya gelmesiyle kullanışlı bir güç elde edilmiş olunur. Solar hücreler foto-voltaik özellik gösterir. Bu nedenle solar paneller bazı kaynaklarda foto-voltaik paneller şeklinde de ifade edilir. Foto-voltaik paneller ilk olarak Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel tarafında 1950'li yıllarda bulunmuş ve uzay amaçlı uygulamalarda kullanılmıştır [13].

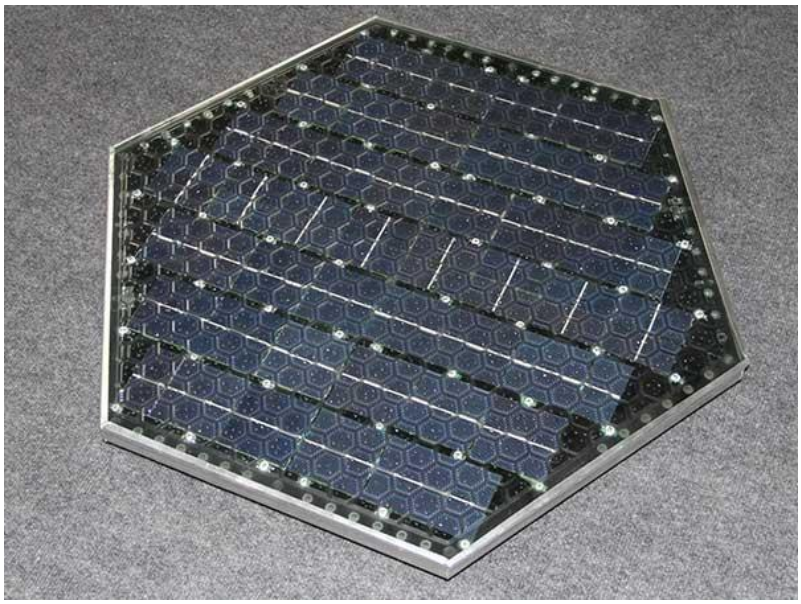
Solar panellerin fiyatları uzun süreli bakıldığında 2002 Ocak ayından 2004 Mayıs ayına kadar düşüş göstermektedir. Daha sonrasında 2006-2007 yılına kadar artış göstermiştir. Bu maliyetin artışının sebebi ise, foto-voltaik panellerin üretimi için silikona ihtiyaç vardır ve panellerin üretimi için hammadde olan silikonun üretiminin yeterli olmamasıdır. 2008 yılından sonra Amerika ve Avrupa'da solar panellerin fiyatlarında düşüş olmaya başlamıştır [13].

1970'lerde solar panellerden enerji üretiminin verim yüzdesi %7,5 iken günümüzde yapılan araştırma ve geliştirmelerin neticesinde bu yüzde %18,5'lara çıkmıştır. 2010 yılında ilk solar yol prototipi yapılmıştır. Daha sonrasında da daha güvenli, daha az maliyetli ve daha verimli yol üretimi yapıp uygulaması yapılmıştır. 2006 yılında solar yolların verimliliği %10 iken, günümüzde verimlilik değeri %18,5'lara ulaşmıştır. Solar yollardaki paneller çatılarda kullanılan solar paneller gibi açılı yerleştirilemediğinden maksimum verimle enerji üretimi sağlamaları mümkün değildir. Araştırmacıların elde ettiği verilere göre çatılarda kullanılan solar panellerle solar yollardaki solar panellerin verimlilikleri arasında %25-31 bir fark vardır. Çok

büyük alanlarda solar yolların uygulaması yapıldığında bu verim farkının azalacağı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [20].

Yol bakımı açısından solar paneller oldukça kolaylık sağlar. Solar yollar Şekil 4.6'da görüldüğü üzere solar panellerden oluştuğu için hangi panelde arıza var ise o panelin değiştirilmesi, tamiratının yapılması yeterli olacaktır. Bununla beraber diğer panellerin çalışmasında hiçbir sıkıntı olmayacak olup, solar yolların geri kalan sistemi çalışmaya devam edecektir. Yani asfalt yollarda olduğu gibi yolun büyük bir kısmının kapatılmasına gerek duyulmayacak, trafik ve yol güzergahında bir aksaklık yaşanmayacaktır. Her solar panelin ağırlığı 45,36 kg'dır, bu da her arızalı olan parçanın tek bir kişi tarafından tamiratının dakikalar içinde kolaylıkla olacağını göstermektedir. Bu da çalışacak eleman sayısının azalmasını sağlar. Arızalı ya da bakıma sokulacak olan yolun belirli parçası için yolcular mikroişlemciler sayesinde alternatif yollara kolaylıkla yönlendirilebilir, bakım ve onarım sonlandığında ise yol eski haline kolaylıkla döndürülebilir. Yolda herhangi bir problem söz konusu olduğunda içerisinde bulunan mikroişlemciler sayesinde merkeze bilgiler iletilir ve bu bilgiler doğrultusunda bakım veya onarım için adım atılır. Panellerin herhangi birinde bozulma olsa bile enerji üretimine diğer panellerin çalışmasıyla devam edilir, üretim durmaz. Güneş ışınları solar panellere geldiğinde solar enerji direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürülür yani elektrik üretilmiş olur.

Günümüzde mevcut kullanılan polikristal teknolojisi ile oluşturulan foto-voltaik panellerin verimi %14 ve %18 arasında değişmektedir. Monokristal teknolojisi kullanılarak üretilen paneller var ise verim %18 ve %22 arasında olur. Eğer ki bu polikristal bağlantıları galyum arsenit malzemeleriyle beraber kullanılır ve entegrasyonu sağlanırsa solar panellerin verimi %40'a kadar çıkar. Ama bu durum şu an için çok maliyetlidir [13].



**Şekil 4.6:** Solar panel [21].

#### 4.1.2.3 Solar hücreler

Hesap makineleri düşünüldüğünde hiçbir bataryası ya da kapatma tuşu olmadan üzerinde yer alan solar hücrelerle çalışır. Böylece solar hücrelere gelen gün ışığıyla birlikte hesap makinesi işlevini yerine getirir. Yeterli ışığı aldığı sürece de çalışmaya devam eder. Amacımız bir gün tamamen solar enerjiden elde edilen elektrik enerjisini kullanabilmektir. Güneş enerjisi yeryüzünde m²'ye 1000 Watt enerji sağlar. Bu enerji miktarı üretilen enerjiyi ev ve iş yerlerimizde kullanmamız açısından oldukça yeterli bir miktardır. Güneşten bu enerjiyi ne kadar fazla sağlayabilirsek o kadar maliyeti az ve çevreye zararı olmayan enerji elde etmiş oluruz [22].

Solar hücreler içerisinde bulunan kristal silikon ve kadmiyum telürür sayesinde solar enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Işık ve elektriğin birleşimden oluşan foto-voltaik (PV) kavramı uydu, hesap makineleri, solar yollar gibi cihazların içeriğinde bulunan solar hücreler için kullanılır. Foto-voltaik yani solar hücreler; güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine çevirir. Solar hücreler birbirine elektrik gücüyle bağlıdır bu bağlanma sonucunda da solar panelleri oluşturur.

Foto-voltaik sistem direkt enerji dönüşümünü sağlamaktadır. Foto-voltaik hücreler yarı iletken özel malzemelerden oluşmuştur. Silikon ise yapısında çokça yer alan malzemedir. Güneş ışını solar hücrelere çarptığında, solar hücreler yarı iletken malzemenin içerisinde enerjinin büyük bir kısmını absorbe eder. Absorbe edilen enerji elektronlarla çarpışır ve bu durum elektronların serbestçe hareket etmesini sağlar. PV hücrelerin içerisinde elektrik alanları vardır bu alanlar elektronların serbest

bırakılmasıyla absorbe edilen ışınların belli bir doğrultuda serbestçe akmasını sağlar. Hücrelerin gerilimi de solar hücrelerin üretebileceği güç miktarını belirler.

Yarı iletken özellik gösteren solar hücrelerin yapısında silikon malzemesinin kullanılmasının sebebi ise silikonun kristal form gösteriyor olmasıdır. Yani kristal formu açıklamak gerekirse; silikon atomunun 14 elektronu vardır. Bunlar 3 kabukta 2-8-4 şeklinde diziliş gösterirler. Son kabukta 4 elektron eksiği vardır. Bu sebeple komşu atomlarla etkileşime girip elektronlarını paylaşıp eksiğini kapatmaya meyillidir. Bu da aslında 4 farklı atomla elektron paylaşımına girebileceğini gösterir. Bu da PV hücreler için önemli bir özelliktir. Saf silikon malzemesi örneğin bakıra kıyasla zayıf bir iletkendir. Bu da elektronların serbest kalmasının önüne geçer. Bu durum bir dezavantaj doğurur. Bu nedenle saf silikonun içerisine başka atomlar eklenerek saflığını azaltmaya çalışılır. Normalde saflık en çok istenen şeydir ama PV sisteminin daha verimli çalışması için saflık miktarı başka atomlar da işin içerisine katılarak azaltılır. Silikonun fosfor atomuyla birlikte çalıştığı düşünülürse, fosfor atomunun son kabuğunda 5 elektron vardır. Silikon atomunun ise 4 elektron ihtiyacı vardır. Yani bu bağ içerisinde fosforun bir elektronu boşta kalacaktır. Saf silikonun fosfor ile safsızlaştırılması sonucunda komşu atomlarla elektron paylaşımı yapılmaz atomlar sadece kendi aralarında bağ oluştururlar. Bu da daha fazla elektronun serbest hale geçmesine neden olur. Yani bu durum saf silikona göre fosfor ile safsızlaştırılan silikonla daha fazla enerji taşıyıcılarının ortaya çıkmasını sağlar. Bu safsızlaştırma işlemine daha fazla enerji taşıyıcılarının oluşturulmasından dolayı doping adı verilir. Safsızlaştırılan silikona; fosforla yapılan birleşim sonucunda silikonun 1 elektronu açıkta kaldığı için negatif yüklü taşıyıcıya sahip olmuş olur bundan dolayı da N-tip silikon adı verilir. N-tip dopingli safsızlaştırılmış silikon, saf silikona göre daha iyi bir iletkendir.

Başka bir yöntem ise ısı formundaki saf silikona enerji yüklemek, bu; elektronların serbest kalmasına ve elektrik enerjisini taşımasına neden olur ama çok azı enerji taşır hepsi taşımaz bu da faydalı olmadığını gösterir. Bu enerji taşıyan elektronlara serbest taşıyıcılar adı verilir. Ama bu yöntem bütün elektronların serbest taşıyıcı özellik göstermeyeceğinden dolayı faydalı bir yöntem olmadığı anlamına gelir.

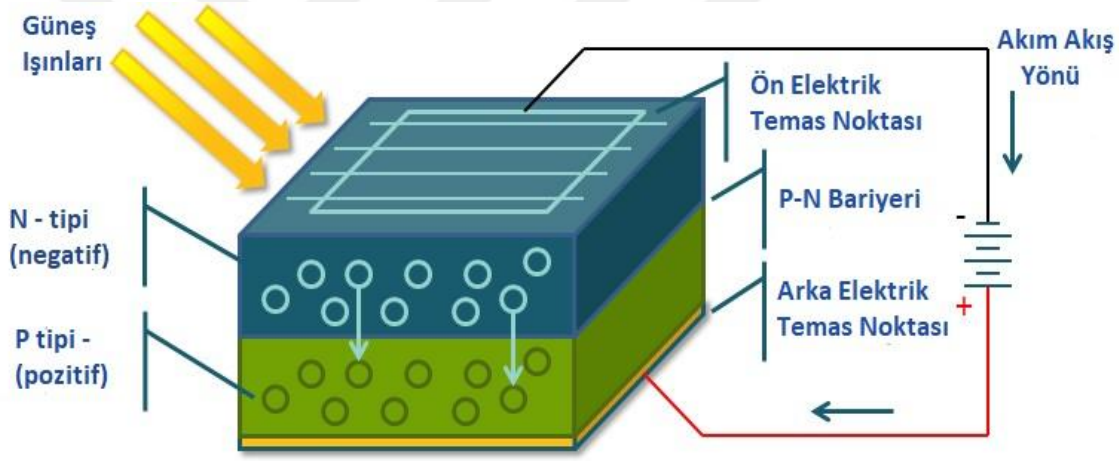
Fosforla yapılan safsızlaştırma işlemi yerine bor ile bağ kurulup silikonun safsızlaştırılması yapılırsa borun dış kabuğunda 3 elektron vardır, yani silikonun 1 elektronu eksik kalır. Bu da açıkta kalmış proton olacağı anlamına gelir, yani silikon bor ile safsızlaştırıldığında pozitif yüklü taşıyıcıya sahip olmuş olur. Bu tip silikona

ise P-tipi silikon adı verilir. Elektrik alanı olmadan solar hücreler çalışmaz. P-tipi ve N-tipi silikon bu alanda etkileşim halinde bulunmalıdır. Açıkta kalan elektronlar boş kalan elektronların yerlerini hızlıca doldurur. Bütün boşlukların doldurulması sistemin çalışması adına doğru değildir. Bu yüzden N-tipteki silikondaki elektronların P-tipindeki silikonların boşluklarını doldurulmasını zorlaştırmak için aralarına bariyer konulur. Sonuçta dengeye ulaşıldığı zaman elektrik alanı iki ayrı tarafa ayrılır. Bu elektrik alan diyot şeklinde davranır. Elektronların N'den P'ye doğru akışını sağlar ama tersi akışa engel olur. Yani elektronlar kolayca P tipine inebilir ama N tipine tırmanamaz. Foton formundaki ışınlar solar hücrelere çarptığında enerjisi elektron ve boşlukları birbirinden ayırır. Yani elektronlar serbest kalırken boşluklar da serbest kalır. Bu durum elektriksel alana yakın bir yerde gerçekleşiyorsa elektriksel alan N tipi tarafına elektron, P tipi tarafına boşluk yollar. Böylece elektriksel nötrlük ortadan kalkmış olur. Eğer dış yörüngede fazla elektron yer alırsa, bu elektronlar P tarafındaki boşlukları doldurur. Böylece bu elektron akışı akım sağlar ve hücrelerin elektrik alanı da gerilim üretmiş olur. Bu ikisiyle birlikte güce sahip olunur. Elektronlar hücrelerin bir tarafından öbür tarafına akışta bulunur. İletkenliği sağlamak adına hücrelerin tabanında metal plaka bulunur. Ama üstü de tamamen metal plaka ile çevrilirse fotonlar opak iletkenden geçemez ve oluşan akım kaybedilir. Bu nedenle üstünün tamamen metal plaka ile çevrilmemesi gerekmektedir.

Silikon çok parlak bir malzemedir bu da gelen fotonların işlemleri gerçekleşmeden önce sıçramasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu kayıpları azaltmak adına yansıma önleyici olarak solar yollarda cam yüzey kaplama uygulanmalıdır.

Sıcaklık artışı solar hücrelerin verimli çalışması adına çok önemli bir etmendir. Sıcaklık artışının solar hücre üzerinde negatif bir etkisi söz konusudur. Sıcaklık artışı oldukça fotonların üretimi hızlanır ve aralarındaki boşluk doğal olarak azalır ve bu boşluk azalması üretilen elektrik miktarını düşürmektedir. Her bir derece sıcaklık artışında solar hücrenin geriliminde 2.2 mV'luk düşüş meydana gelir [1].

Elektromanyetik ışıma monokromatik değildir, birçok farklı dalga boyu barındırır. Yani birçok farklı enerji seviyesi barındırır. Fotonlar solar hücrelere çarptığı zaman içinde barındırdığı geniş enerjinin bir kısmını elektron ve boşluk çifti için kullanamaz. Sadece bir kısmı hücrelerimiz tarafından elektron volt olarak ölçülür. Buna enerji bant aralığı denir. Hücrelere geçemeyen fotonlar çok fazla enerji barındırmaya devam eder. Hücrelere enerjinin hepsinin geçmesi hücreler saydam olsaydı daha kolay olurdu. Düşük bant aralığı sağlanamaz mı diye düşünülürse bu pek mümkün değildir çünkü bant aralığı elektrik alanının da gerilimini belirler. Eğer bant aralığımız düşük tutulursa üretilen gerilim ve buna bağlı olarak güç de az olacaktır. Bu nedenle yapılan çalışmalara göre bir hücre için optimum bant aralığı 1,4 eV olarak belirlenmiştir [22]. Solar hücrelerin sistemsel olarak çalışma mekanizması ve solar hücreleri meydana getiren bileşenler Şekil 4.7'de görüldüğü gibidir.

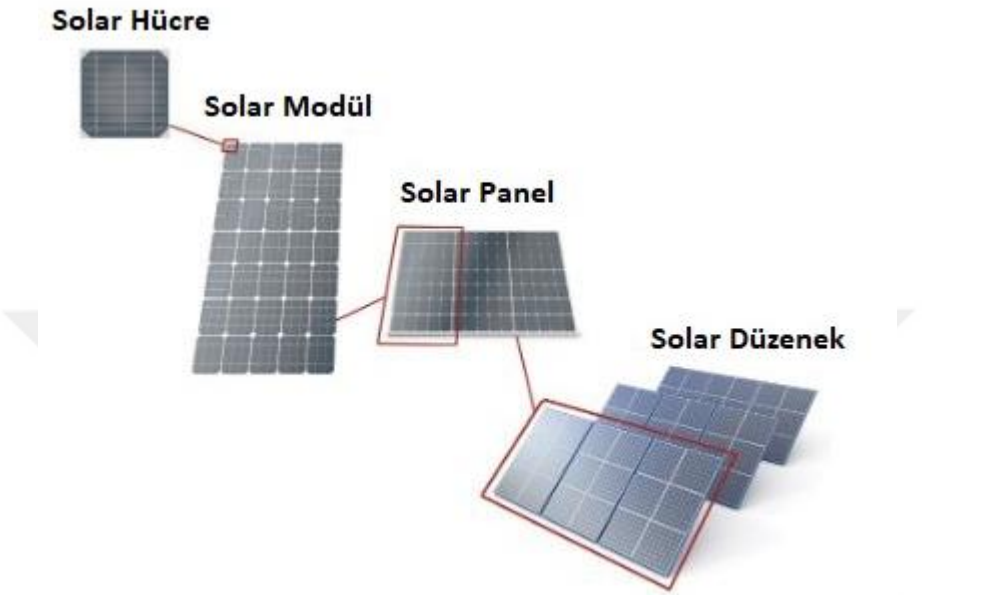



**Şekil 4.7:** Solar hücre bölümleri [23].

Nijerya'da foto-voltaik hücreler kullanılarak, bir köyde çalışma yapılmıştır. Solar hücrelerin kullanımı sonucu üretilen enerjiyle, sağlık, eğitim, tarım, güvenlik alanlarında gelişim sağlanmıştır. Böylelikle üretilen enerji sayesinde eğitim ve sağlık hizmetleri gece de sağlanabilmiştir. Tarım açısındansa üretim arttırılmış bu da kadınlara iş olanağı sağlamıştır. Evde gereken enerji miktarı da solar hücreler sonucu üretilen enerji ile karşılanmıştır. Yani bu örnekler solar hücrelerin enerji üretimi sonucunda hayatımızda ne olanaklar sağladığını göstermiş olur [22].

Şekil 4.8'de görüldüğü üzere; solar hücrelerin bir araya gelmesi ile solar modüller ve solar modüllerin bir araya gelmesi ile solar paneller meydana gelir. Birden fazla solar panelin bir araya gelmesi ile de güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretimini

sağlayacak olan solar düzenek meydana gelmiş olur. Neticede solar düzenekler kullanılarak enerji üretimi sağlanır ve bu enerji birçok alanda kullanılarak temiz enerji sayesinde sürdürülebilirlik sağlanmış olur. Solar hücreden solar düzeneğe geçiş evrelerine detaylı olarak Şekil 4.8'de yer verilmiştir.




**Şekil 4.8:** Solar hücreden solar düzeneğe geçiş evreleri [24].

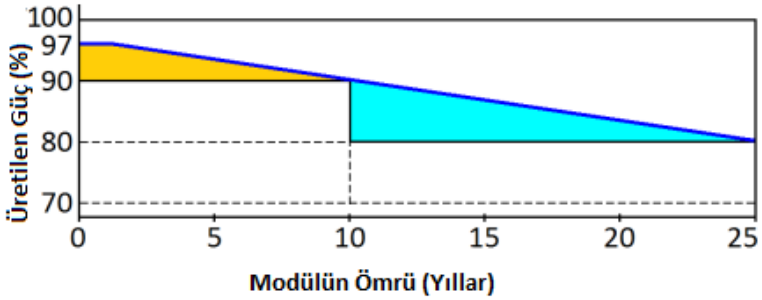
#### 4.1.2.4 PV modüllerinin enerji üretimini etkileyen faktörler

PV sisteminin ürettiği enerji ve sistemin ömrü kullanılan PV malzemesinin türü, modülün bozulması, gelen solar ışınların yoğunluğu, hücrelerin sıcaklığı, bulut ve diğer faktörlerin gölge yapma etkisi, dönüşüm elverişi, doluluk oranı, kirlilik, hava koşulları ve coğrafi konuma bağlıdır.

PV modülünün bozulması incelenecek olursa:

Fotovoltaik (PV) modüllerin yaklaşık olarak 25 yıllık ömrü vardır. İlk 10 yılda %90 enerji üretim kapasitesi sağlarken son 10-15 yılda ise %80 enerji üretim kapasitesi sağlar [3]. Bu enerji üretim kapasiteleri PV modülün yapısında yer alan silikon elementinin de özelliklerine göre değişiklik gösterebilir. PV modüllerin olması gereken süre zarfından daha erken bozulmasına tasarım hatası, düşük malzeme kalitesi ve üretim aşamalarındaki farklılıklar sebep olabilirken, uzun süreli sert çevre şartları da bu durumuna sebep olabilir.

Şekil 4.9'da da görüldüğü üzere bir PV (fotovoltaik) modül ömrünün ilk yıllarında %97'lik bir oranla güç üretimi sağlarken, ilerleyen yıllara bağlı olarak güç üretim kapasitesi gittikçe azalarak, ömrünün 10. yılında %90'lara düşer. Ardından ömrünün son yılları olan 25. yılında sadece %80'lik bir güç üretim kapasitesine sahip olur.




**Şekil 4.9:** PV modülünün ömür-üretim gücü grafiği [3].

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi yıllık olarak güç üretim kapasitesindeki değişim PV modülün hücre türüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. En düşük güç üretim kapasitesindeki düşüşü %0,36'lık bir enerji kaybı ile monokristal silikon göstermekteyken, bunu sırasıyla %0,40'lık bir düşüşle kadminyum telürür, %0,64'lük bir düşüşle polikristal silikon, %0,87'lik bir düşüşle amorf silikon ve %0,96'lık enerji kaybıyla en yüksek düşüş miktarına sahip olan bakır indiyum galyum selenyür takip etmektedir.

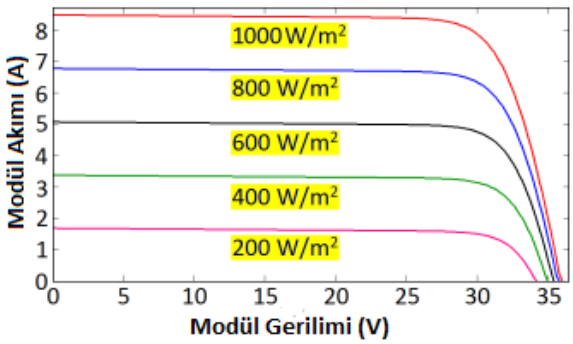
**Çizelge 4.1:** PV hücre türlerine göre yıllık olarak üretilen enerji kaybı miktarları [3].

| PV Hücre Türü | Üretilen Enerji Kaybı (%/yıl) |
|---|---|
| Monokristal Silikon (mono-Si) | 0,36 |
| Kadminyum Telürür (CdTe) | 0,40 |
| Polikristal Silikon (poly-Si) | 0,64 |
| Amorf Silikon (a-Si) | 0,87 |
| Bakır İndiyum Galyum Selenyür (CIGS) | 0,96 |

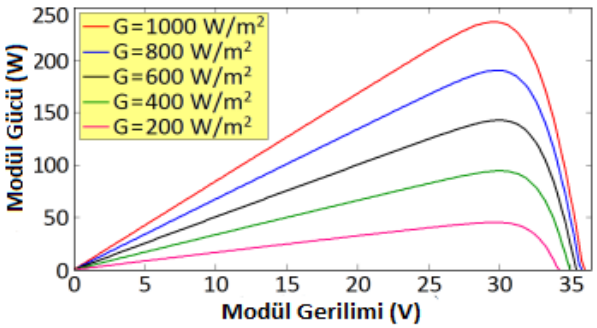
Solar radyasyondaki değişim incelenecek olursa:

Solar radyasyon yani güneşlenme miktarına bağlı olarak üretilen enerji miktarı da artış gösterir. Güneşlenme miktarındaki yaşanacak düşüş enerji üretiminin de düşmesine sebep olur.

Şekil 4.10'da incelendiğinde aynı modül gerilimi baz alındığı takdirde düşük olan solar radyasyon değerindeki üretilen modül akımı ve buna bağlı olarak da üretilen elektrik enerjisi miktarı düşükken, yüksek olan solar radyasyon değerindeki üretilen modül akımı ve buna bağlı olarak da üretilen elektrik enerjisi miktarı yüksektir. Şekildeki en düşük solar radyasyon değeri 200 W/m²'dir. Bu değerdeki üretilen modül akım değeri 1 ile 2 arasında bir değerken, en yüksek solar radyasyon değeri olan 1000 W/m²'de ise üretilen modül akımı değeri 8'in üzerindedir. Şekil 4.11'de de görüldüğü üzere modül akımıyla üretilecek elektrik enerjisi miktarı doğru orantılı olduğundan, solar radyasyon değerindeki artış modüldeki akım değerini arttırıp, buna bağlı olarak da üretilen elektrik enerjisi miktarında da artışa sebep olacaktır.




**Şekil 4.10:** PV modülünün solar radyasyondaki değişime göre gerilim-akım grafiği [3].




**Şekil 4.11:** PV modülünün solar radyasyondaki değişime göre gerilim-güç grafiği [3].

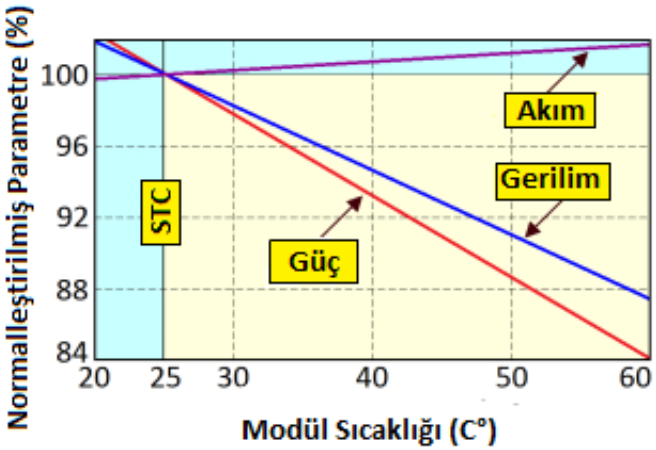
Modül sıcaklığı incelenecek olursa:

Modülün kendi iç sıcaklığıyla üretilen elektrik enerjisi miktarı doğrudan ilişkilidir. Modülün iç sıcaklığı arttıkça üretilen enerji miktarı düşmektedir. PV modül sıcaklığı hava sıcaklığındaki artış ile artarken, rüzgar hızının artması ile azalır. Yazın çok sıcak havalarda modülün sıcaklığı 60-65 C°'lere kadar çıkabilmektedir. 1 C° sıcaklık artışında üretilen enerji miktarı %0,4-0,5 azalmaktadır [3].

Modül İç Sıcaklığının artmaması için;

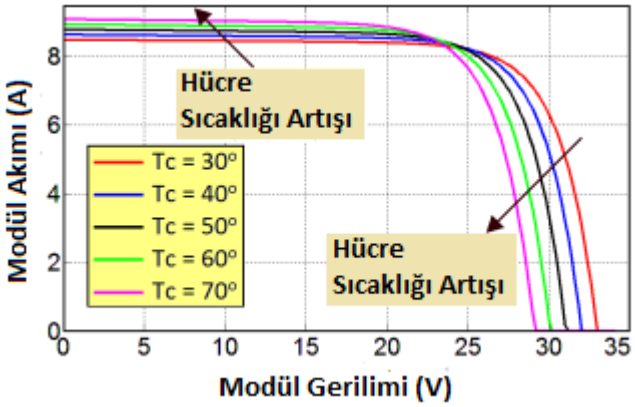
- İnverterler modülün aşağısında ve yakınında olmamalı,
- Sistemde soğutucu fanlar kullanılmalı,
- Modülü soğutmayı arttırmak için delikli taban yapısı kullanılmalı,
- Modülün içinde daha az ısı absorbe edebilmek için paneller açık renkli olmalıdır.

Şekil 4.12 incelendiğinde hem güç hem akım hem de gerilim değerlerinin 25 C°'de normalize değerde oldukları görülür, yani hepsi aynı değerdedir. Modül sıcaklık değeri 25 C°'den daha fazla sıcaklığa sahip olduğunda gerilim ve güç normalleştirilmiş değerleri düşüş gösterirken, akımın normalleştirilmiş değeri düşük bir eğimle artış göstermektedir. Ayrıca modül sıcaklığının 5 C°'lik bir artış gösterdiğinde üretilecek enerji miktarında da %2,5'luk bir düşüş göstererek yaklaşık 25 C°'de %100 iken 30 C°'de %97,5'luk bir verime sahip olduğu görülmektedir.

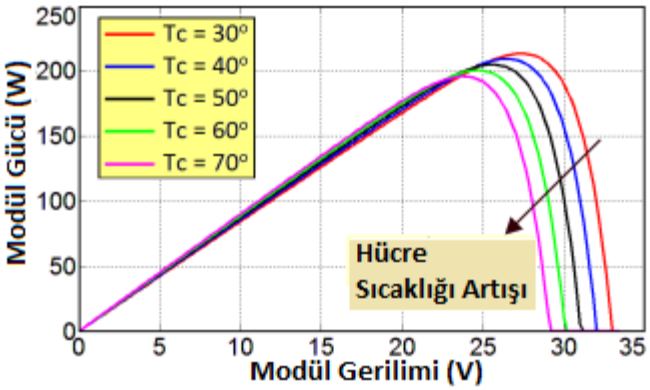



**Şekil 4.12:** PV modülünün modül iç sıcaklığındaki değişime göre güç, akım ve gerilim grafiği [3].

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te modül iç sıcaklığının artış göstermesiyle modüllerin sahip olabileceği maksimum modül gerilim değeri azalırken, aynı modül gerilim değerleri için dikkate alındığı zaman modül sıcaklıkları artarken, modül akım değeri ve modülün üretebileceği enerji miktarı düşüş göstermektedir. Yani modül sıcaklığı ne kadar düşük olursa üretilebilecek enerji miktarı ve buna bağlı olarak modülün verimliliği de o kadar yüksek olacaktır.




**Şekil 4.13:** PV modülünün modül iç sıcaklığındaki değişime göre gerilim-akım grafiği [3].

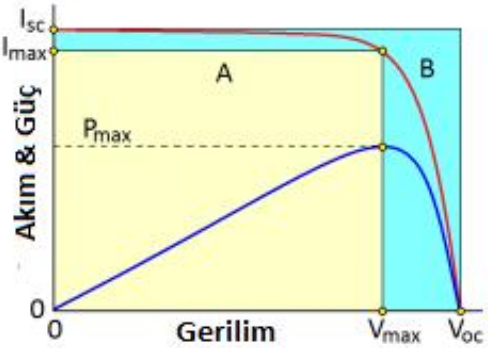



**Şekil 4.14:** PV modülünün modül iç sıcaklığındaki değişime göre gerilim-güç grafiği [3].

Doluluk oranı incelenecek olursa:

Doluluk oranı PV modülünün üretebileceği maksimum enerji miktarını belirler. İyi kalitede bir modülün doluluk oranının %70'ten fazla olması beklenir [3]. Modülün iç sıcaklığının yükselmesi doluluk oranını düşürür. Buna bağlı olarak üretilen enerji miktarı da düşer.

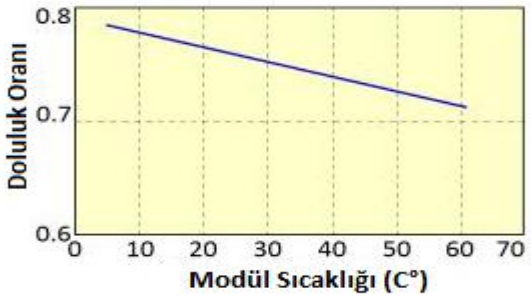
Şekil 4.15'teki modülün maksimum akım ve maksimum geriliminden oluşan A alanı ve modülün kısa devre akımı ile açık devre geriliminin birleştiği noktadan itibaren tüm alanı kapsayan B alanının birbirine bölünmesi sonucunda modülün doluluk oranı ortaya çıkar (denklem 4.1).




**Şekil 4.15:** PV modülünün doluluk oranı hesap grafiği (akım&güç-gerilim) [3].

$$Doluluk\ Oranı = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{A\ alanı}{B\ alanı} \quad (4.1)$$

Şekil 4.16'da görüldüğü üzere modül iç sıcaklığındaki artış sonucunda modüldeki doluluk oranı azalmaktadır. Doluluk oranının yüksek olması üretilecek enerji miktarında artışa sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak da modülün iç sıcaklığındaki artış, doluluk oranında düşüşe sebep olup, üretilecek enerji miktarında da düşüşe neden olacaktır. Modülün yüksek bir verimlilik oranıyla çalışarak, yüksek miktarda enerji üretimi sağlaması için modülün doluluk oranının yüksek olması istenir.




**Şekil 4.16:** PV modülünün iç sıcaklık-doluluk oranı hesap grafiği [3].

Gölgelenme açısından solar modüllerin enerji üretimini etkileyen faktör incelenecek olursa:

Gölgeye maruz kalan hücrelerde üretilen elektrik enerjisi gölgeye maruz kalmayan hücrelere nazaran daha azdır. PV sistemi gölgelenme miktarı arttıkça normal şartlarda

güneşten alması gereken solar enerji miktarının daha altında bir enerjiyi ancak bünyesine alabilir. Ortamdaki gölgelenmeden dolayı gölgede kalan hücrelerde üretim yapılamazken, komşu hücrelerde de normaldeki üretimden daha düşük enerji üretimine sebep olur. Ayrıca da gölgeye maruz kalan hücre kapasitesinden daha fazla akıma maruz bırakılırsa hücreler çok fazla ısınıp, zarar görebilir.

Kirlenme açısından solar modüllerin enerji üretimini etkileyen faktör incelenecek olursa:

Kirlenme; toz, kir ve diğer maddelerin PV modüllerinin üzerinde kaplayan cam yüzeylerin üzerinde bulunması anlamına gelir. Bu kirlilik güneş ışınlarının hücrelere gelmesini önleyerek elektrik üretimini olumsuz yönde etkiler. Tozların yerleşimi; tozun özelliği, hava koşulları, yerleşim, modülün eğim açısına ve rüzgar hızına göre değişkenlik gösterir. PV modüllerinin üzerini kaplayan cam yüzeyinin kirlenmesi yıllık olarak %5-17'lik bir enerji kaybına sebep olur [3]. Kirlenme etkisi çöl ve karayollarına yakın olan yerlerde daha çok gösterirken, sık yağmurların olduğu yerde daha az etkisini gösterir. Toz boyutu daha küçük olan maddelerin enerji kaybı daha büyük boyutta olan maddelerinkine göre daha azdır. Aynı toz tipleri için ise ince taneli olan maddelerin enerji kaybı iri taneli olana göre daha fazladır. İnce taneli maddelerin arasındaki boşluk az olduğu için ışığın geçeceği yol daha tıkalı olur bu da daha fazla enerji kaybına neden olur.

Düzenli temizlik ile bu etki ortadan kaldırılabilir. Manuel olarak yıkama, temizleme robotu, kendini temizleyen cam kullanımı ile temizlik sağlanabilir. En kolay metot ise düzenli silme ve su ile yıkama yoludur.

Genel olarak solar hücrelerin enerji üretimini etkileyen tüm faktörler değerlendirildiği zaman PV modüllerden maksimum veya yüksek miktarda elektrik enerjisi üretiminin sağlanması istendiğinde;

- PV modülünün ilk yıllarında enerji üretiminin sağlanması,
- PV modülünün hücre türünün monokristal silikon olması,
- Yüksek bir solar enerjiye maruz kalması,
- Modül sıcaklığının 25 C°'de ya da 25 C°'den biraz yüksek olması,
- Doluluk oranının %70'ten fazla olması,
- Gölgeye maruz kalmayarak güneş ışınlarının tamamen direkt olarak alması,

- Üzerinde kir olmaması adına sürekli temizlenmesi ve kir olacaksa da boşluk oranının daha yüksek olması adına iri taneli maddelerin üzerinde yer alması, gerekmektedir.

#### 4.1.2.5 PV hücrelerin türleri

Fotovoltaik gücü 1839 yılında ilk icat eden kişi Fransız bilim insanı Edmond Becquerel'dir. 1882 yılında solar hücrelerin ilk kez başarılı çalışmasını sağlayan bilim adamı ise Charles Fritts'tir. O zamanlarda kullanılan solar hücreler ince bir selenyum katmanından oluşmaktadır ve altın ile kaplıdır. 1990'lardan beridir bu şekilde elektrik üretimi yapılmaktadır. 1954 yılında Bell laboratuvarları ilk kristal silikon solar hücrenin üretimini yapmıştır. Bu ilk PV sistemi güneş enerjisinin yalnızca %4'ünü elektrik enerjisi üretimini sağlamak adına dönüştürebiliyordu [25]. O zamanlarda küçük ölçekli PV solar hücreleri kullanılırken şu anda daha konsantre güç ve daha büyük ölçekli solar hücreler kullanılarak enerji üretimi sağlanmaktadır.

Monokristal silikon PV panellerde bir adet silindirik kristal silikon ile hücrelerin üretimi sağlanır. Enerji üretimi açısından verimi en yüksek olan silikon türüdür. Solar hücreler %18-%22 oranında güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimini sağlar [3]. Fakat maliyeti diğer sistemlerden daha yüksektir. Şekil 4.17'de monokristal silikon PV panellere örnek verilmiştir.



**Şekil 4.17:** Monokristal silikon PV paneller [26].

Polikristal silikon PV paneller polikristal silikonlar; multikristal olarak da adlandırılırlar. Bu PV sistemler; bir kütle erimiş ve yeniden kristalize olmuş silikondan meydana gelir. Monokristal sisteme göre daha kolay üretimi sağlanır ve maliyeti de

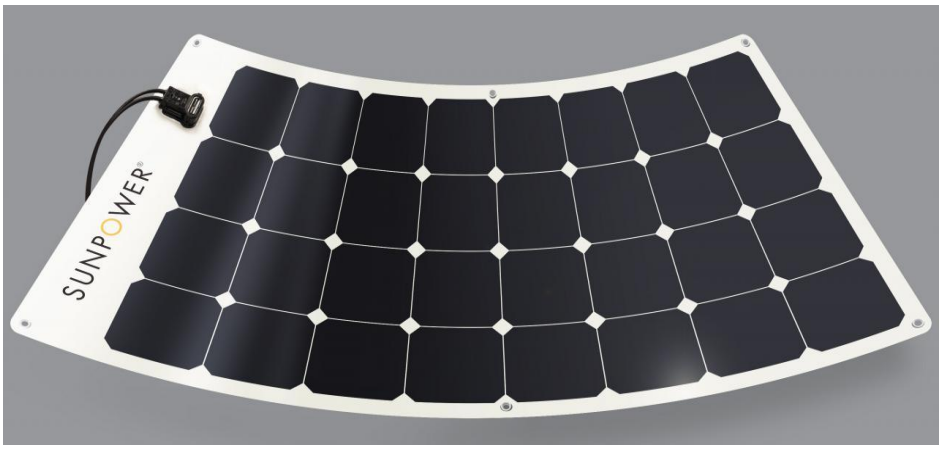
daha düşüktür ama buna bağlı olarak da verimi de daha düşüktür. Bu sistemin enerji üretimini sağlama yüzdesi %14-%18 civarındadır [3]. Şekil 4.18'de polikristal silikon PV panellere örnek gösterilmiştir.



**Şekil 4.18:** Polikristal silikon PV paneller [27].

Kalın-film silikon PV paneller; multikristal silikon üretim teknolojisinin bir başka şekli olan kalın-film silikon sistemi, silikonun tortulaşmış ve daha sonrasında parlak görünen halidir. Maliyeti ve verimi en düşük olan malzeme türüdür [25].

Amorf (ince film) silikon PV paneller ince bir homojen tabakada tortulaşmış silikondan oluşur. Kristal silikona nazaran ışığı daha iyi absorbe eder, çünkü hücreler daha incedir, diğer bir isim olarak da ince film de denir. Şekil 4.19'da da görüldüğü üzere amorf silikonlar rijit ve esnek olduğu için eğri yüzeylerde kullanımı ve çatılara direkt olarak yerleştirilmesi açısından en ideal malzemedir. Üretimi ve maliyeti oldukça düşüktür fakat enerji üretim verimi %10-%12'lerde seyretmektedir [3]. Çatılar gibi eğimli yüzeylerde ise amorf silikon teknolojisi kullanılabilir. Fakat her m²'de üretilecek enerjinin maksimum olması istenirse kristal sistemlerin kullanılması uygun olur.



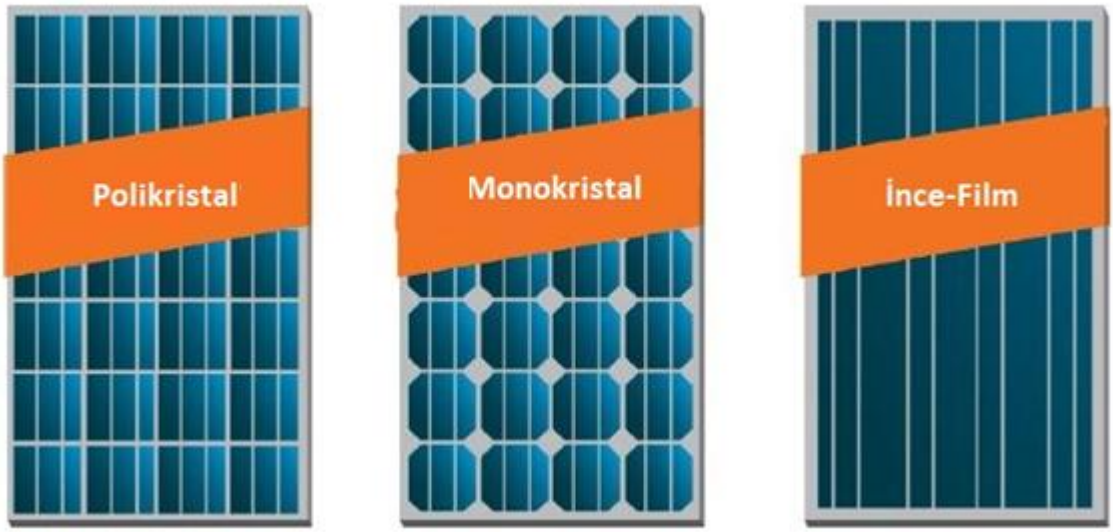

**Şekil 4.19:** İnce-film silikon PV paneller [28].

Diğer ince film silikon PV panellerde kadminyum telürür ve bakır indiyum kullanılmaktadır. Bunlar da ince film silikonlardan meydana gelir fakat verimleri amorf silikonlara nazaran daha yüksektir. Maliyeti yine amorf silikonlar gibi düşüktür. Bakır indiyum verim olarak %10-%13 iken kadminyum telürür ise verim olarak %8-%9'dur [25]. Şekil 4.20'de ince film silikon PV panellere yer verilmiştir.



**Şekil 4.20:** İnce film silikon PV paneller [29].

Şekil 4.21'de birbirinden olan farkları daha iyi anlaşılabilmesi adına polikristal, monokristal ve ince-film silikon PV panellere örnek verilmiştir.




**Şekil 4.21:** Polikristal, monokristal ve ince-film silikon PV paneller [30].

PV hücrelerin türlerinin kıyaslanması sonucunda:

- Fotovoltaik hücrelerin tür olarak verimliliği açısından değerlendirme yapıldığı zaman Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi monokristal PV hücreler %18-22 değer aralığı ile en yüksek verimliliğe sahipken, bunu sırasıyla %14-18 değer aralığı ile polikristal ve %10-12 değer aralığı ile de ince-film ve amorf PV hücreler izler [3].
- En yüksek maliyet ise monokristal silikon PV panellerde iken, polikristal silikon PV paneller orta derecede bir maliyete sahiptir. En düşük maliyete ise ince-film ve amorf silikon PV hücreler sahiptir.
- 1 kW elektrik üretimi için PV hücrelerin kapladıkları alan açısından kıyaslama yapıldığında ise en düşük yer kaplayan hücre türünün monokristal silikon PV hücreler, en yüksek yer kaplayan türün ise ince-film ve amorf silikon PV hücreler olduğu görülmektedir. Yani aynı alan içerisinde değerlendirme yapıldığı takdirde monokristal silikon PV hücreler 1 kW enerji üretimi için daha az yer kapladığından daha fazla enerji üretimi sağlarken, ince-film ve amorf silikon PV hücreler 1 kW enerji üretimi için daha çok yer kapladığından daha az enerji üretimi sağlayacaktır.
- Yüksek sıcaklıktaki performanslar açısından en iyi performansı sergileyen ince-film ve amorf silikon PV hücreler iken, en zayıf olan türler ise monokristal ve polikristal silikon PV hücrelerdir.
- Doluluk oranı doğrudan üretilecek enerji miktarını etkiler. Buna bağlı olarak monokristal ve polikristal silikon PV hücrelerin doluluk oranı ince-film ve amorf

silikon PV hücrelerden daha yüksek olduğundan enerji üretimi açısından da verimi bahsedildiği gibi ince-film ve amorf silikon PV hücrelerden daha yüksektir.

- Güneşten dağınık olarak gelen solar enerji ışınlarından elektrik enerji üretimi açısından değerlendirme yapıldığı takdirde en iyi üretimi yapan PV hücre türü ince-film ve amorf silikon türleridir.

**Çizelge 4.2:** PV hücre türlerine göre hücre özelliklerinin kıyas tablosu [3].

| Özellik | Monokristal | Polikristal | İnce Film, Amorf |
|---|---|---|---|
| Verimlilik | En yüksek (%18-%22) | Orta (%14-%18) | En düşük (%10-%12) |
| Maliyet | En yüksek | Orta | En düşük |
| 1 kW için Kapladığı Alan | En düşük | Orta | En yüksek |
| Yüksek Sıcaklıktaki Performans | Zayıf | Zayıf | İyi |
| Doluluk Oranı | %70-80 | %70-80 | %60-68 |
| Dağınık Işıktaki Enerji Üretimi | Orta | Orta | İyi |

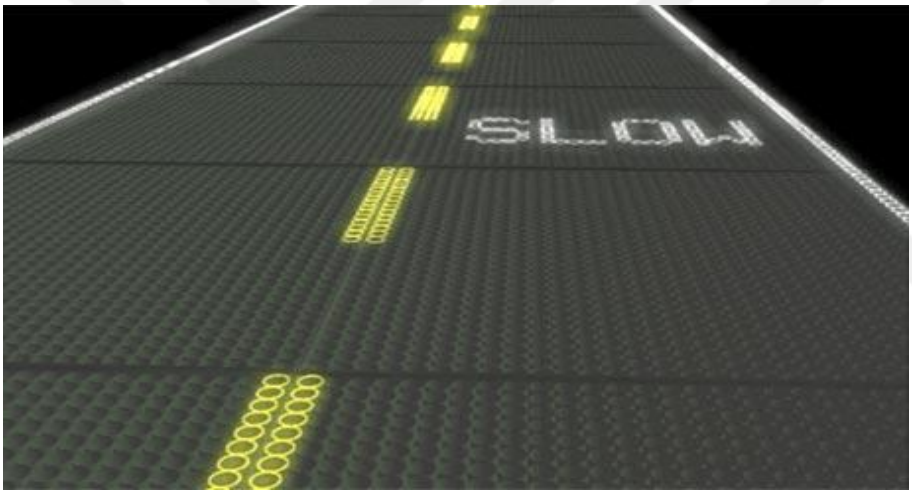
Gelecekte yapılacak çalışmalar sonucunda yapım maliyetinin daha düşük ve enerji üretimi açısından daha verimli olması adına silikon elementinin hammadde olarak kullanılması yerine karbon temelli solar PV hücreler kullanılacaktır [25].

### 4.1.3 LED tabakası

LED ışıklar ise elektronik tabakasının üzerinde yer alır ve mikroişlemciler sayesinde gerekli zamanlarda yolun aydınlatmasını sağlar. LED ışıklar trafik yönetimini sağlama açısından oldukça etkilidir. Bu da çoğu avantajı ve düzeni beraberinde getirir. LED ışıklar solar yollara hem estetik hem de interaktiflik sağlar. Şekil 4.22'deki gibi yola bir canlı ya da cansız cisim çıktığında ya da zaten yolda bulunan bir cisim mevcutsa bunları algılar ve Şekil 4.23'te görüldüğü gibi LED ışıklarla "YAVAŞLA" şeklinde uyarı ekranı oluşturulur. Bu ekran sayesinde sürücü ya da yaya durarak güvenliği sağlanmış olur. Bunun dışında bir kaza anında yol kapalıysa LED ışıklar sayesinde sürücüye uyarıda bulunularak alternatif yola yönlendirilir.



**Şekil 4.22:** Gece solar yollarda LED ışıklarla uyarıda bulunulması [12].




**Şekil 4.23:** Solar yollarda LED ışıklarla yavaşla uyarısı [11].

Kaza anında yaralanmalar var ise ya da bir yangın anı söz konusuysa ambulans ve itfaiye aracına yolda LED ışıklarla uyarı renklendirmesi yapılarak öncelik verilerek, önleri açılır ve felaketlerin zaman kaybından dolayı kötü şekilde son bulmasının önüne geçilmiş olunur. Daha önce de belirttiğimiz gibi LED ışıklar yollarda interaktifliği sağlar. Mesela bir otoparkta engelli park yeri var ve bu yer doldu. Normal park yeri olan yerler hızlıca LED ışıklar sayesinde engelli park yerine dönüştürülüp toplumun refahına katkı sağlanmış olunur. Aynı zamanda şirketlere de park alanlarında kendi logolarını kullanmaları imkanını sağlar. Böylelikle şirketler otoparkta istedikleri yere istedikleri yönlendirmeleri yapıp, logolarını kullanıp, park düzenini istedikleri gibi oluşturabilirler (Şekil 4.24). Aynı zamanda bir doğal afet riski olduğunda,

mikroişlemciler sayesinde toplanan veriler doğrultusunda LED ışıklar sayesinde sürücüler hava şartlarına bakmaları için uyarılır. Doğal afet gerçekleşmişse de sürücüler afet toplanma alanlarına LED ışıklar sayesinde yönlendirilir. LED ışıklar esneklik sağlar, çünkü asfalt yollardaki gibi boyalar sabitken değişiklik yapılması güçken LED ışıklarla değişiklik yapılıp güncel durumlara göre yönlendirmeler yapılabilmektedir. LED ışıklar aynı zamanda asfalt yollarda uygulanan yol işaretlemelerine, boyamalarına gerek kalmaksızın solar yollarda yol işaretlemeleri sağlar. Böylelikle bu işaretlemeler renklendirilebilir, gerekli yerlerde daha dikkat çekici hale getirilebilir ve de bakım yapılıp tekrar üzerinden boya ile geçilmesi gibi bir durum söz konusu olmaz. Bu da bakım masraflarını azaltıcı yönde etki etmesini gösterir. Asfalt yollarda belirli aralıklarla yol işaretlemeleri yenilenmesi gerekse de solar yollarda böyle bir durum söz konusu değildir. Özel ve resmi günlerde de kutlamaya ya da anmaya yönelik LED ışıklarla solar yollar üzerinde görselleştirmeler yapılabilir.



**Şekil 4.24:** LED ışıklarla park alanlarının oluşturulması [31].

Asfalt yollarda sürücünün karşısına çıkacak herhangi bir koyu renkli hayvan, insan gibi şeyler kaza riskini arttırır. Fakat solar yollarda durum böyle değildir. Yollarda boya yerine LED ışıkların kullanılması gece görüşünü arttırıcı bir etki oluşturur. Sürücülerin gece görüş miktarları genel olarak azalır, çoğu kaza gece meydana gelen kazalardır. Solar yollar içerisinde barındırdığı LED ışıklar sayesinde gece görüşünü arttırır, böylelikle kaza riskini düşürür. Bisiklet kullanıcıları için de gece görüş sağlamasından ötürü güvenlik sağlar ve kazaları önler. İngiltere'de yapılan son

çalışmalar göre solar yollar üzerinde bulunan LED ışıklar sayesinde gece olan kazalar %70 oranında azalmaktadır [32].

Solar yolların günlük hayat koşulları için yapılmış bir modele ait görüntü Şekil 4.25'te verilmiştir. Bu görüntüde solar yollarda yer alan LED ışıklarla bisiklet yolları, otopark ve şerit çizgileri, yaya geçitleri, hız limitleri ve yaya geçitlerinin kullanımı esnasındaki renk uyarıları ifade edilmiştir.




**Şekil 4.25:** LED ışıklarla yol işaretlemelerinin ve park alanlarının oluşturulması [33].

Solar yolların eğitici tarafı da vardır. İçerisinde yer alan LED ışıklar sayesinde okullarda eğitim amaçlı ya da gibi oyun oynamaya yönelik olarak kullanılabilir. Solar yollarda kendi ısıtma sistemi yer alır. Bu sistem sürekli olarak çalışmaz. Mikroişlemciler hava tahminlerinden elde ettikleri verileri içerisinde barındırır. Bunun sayesinde ısıtma sistemi sadece yağmur ve kar yağışı veya buzlanma riski söz konusu olduğunda devreye girer. Bu da asfalt yollara nazaran büyük bir avantaj sağlayarak kışın yaşanan kaza riskini azaltır. Asfalt yollarda oluşan kızaklanma etkisi bu özelliklerinden dolayı solar yollarda söz konusu değildir. Isıtma sistemi ve LED ışıklar geceleri şebekede biriktirilmiş olan güç ile çalışırlar, direkt üretilen elektrik enerjisi ile çalışma göstermezler.

Sürücülerin 800 m arkasında ve 400 m önünde LED ışıklar yanar. Araç olmadığında ise yol bunu algılar ve yolu aydınlatıp da boşuna enerji tüketimini engellemiş olur.

Ayrıca da sürücüler daha uzakta kalan ışıkları gördüğünde karşıdan araç geldiğini idrak etmiş olur kaza riski azalır. LED ışıklar Sürücüler hız limitini aştığı zaman LED ışıklarla uyarıda bulunulur. Yol çalışmasında da yol üzerinde uyarı ışığı yanar. LED ışıklar mikroişlemcilerle birbirini tamamlayarak akıllı yol sistemini oluşturmakta önemli bir rol oynarlar. Solar yollardaki LED ışıklarla ilgili örnekler Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

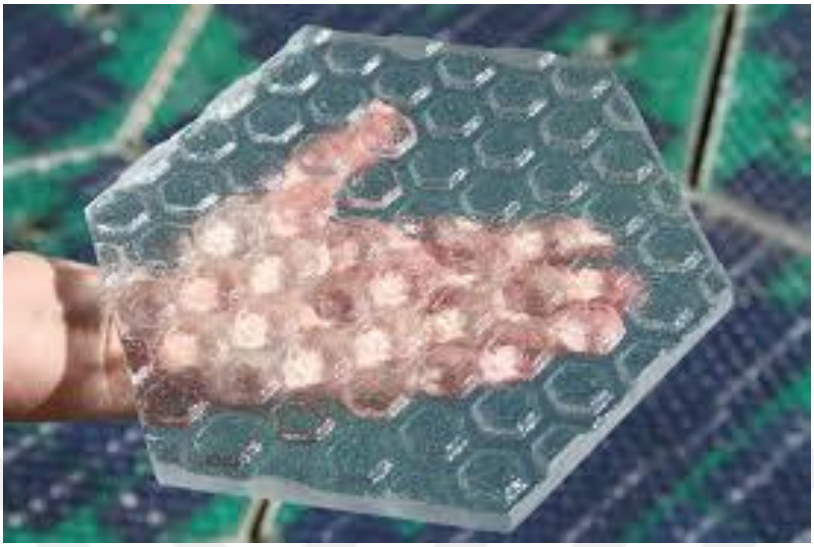



**Şekil 4.26:** Solar yollarda LED ışıklar [34].

### 4.1.4 Cam tabakası

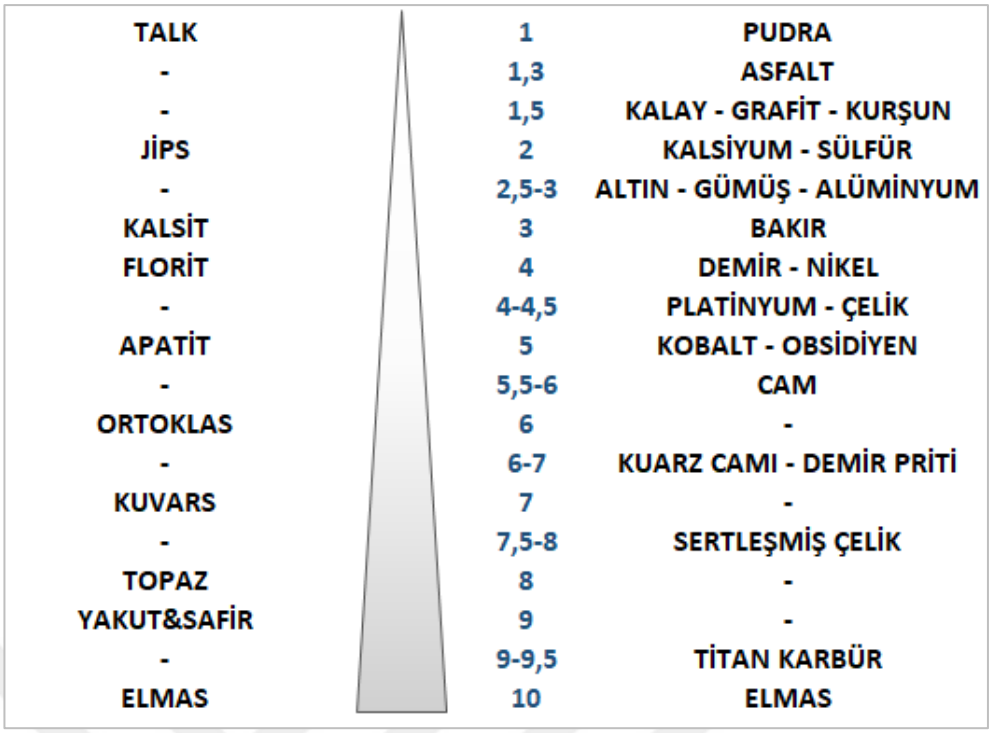
Cam tabakası ise solar yolların üst tabakasını oluşturan cam yüzeylerdir. Bazı solar yol uygulamalarında en üst tabaka cam yüzeydir. Bazılarında ise cam yüzeyin üstünde saydam beton bulunur. Solar yollar üzerinde bulunan cam tabakası Şekil 4.27'deki gibi yüzeyi pürüzlü ve altıgen şeklindedir. İki temperli, kırılmaya karşı dayanımlı altıgen şeklinde cam tabakasının arasında solar paneller, solar hücreler ve mikroişlemciler yer alır. Bunlar böylelikle dış etmenlere karşı korunmuş olunur. Altıgen şeklinin nedeni yol eğimine (%3'e kadar), yoldaki kurplara uyum sağlamasında kolaylık imkânı sunmasıdır. Aynı zamanda altıgen şekli sayesinde yol üzerine gelen yük solar hücreler arasında kolaylıkla dağıtılır. Bu da solar yolların stabilitesini sağlar. Cam yüksek sıcaklıkta kırılmaz özelliğe sahiptir. Asfalt yollarda aşırı yağış sonucu çökmeler meydana gelebilirken, solar yollar temperli cam yüzey ile kaplı ve cam yüzey su geçirmez olduğundan üzerinde çökmeler meydana gelmemektedir. Üzerinde birikecek

su da mikroişlemcilerin içerisinde bulunan ısıtma sistemi sayesinde buharlaşıp yok olacaktır.



**Şekil 4.27:** Solar yollarda cam yüzeyi [35].

Çukurlar asfalt yollarda kazaları ve hasarları önlemek adına tamir edilmesi gereken en önemli kusurlardır. Çukurların tamiratı ne yazık ki hızlı ve etkili bir biçimde olmamaktadır. Asfalt yollarda var olan çukurlar zamanla su dolarak asfaltın dayanıklılığını azaltırken, solar yollarda çukur oluşumu olmayacağından solar yolların dayanıklılığı daha fazladır. Şekil 4.28'deki MOHS sertlik skalasına göre pudranın sertliği 1 iken pırlantanın sertliği 10'dur yani sertlik, derece ile doğru orantılıdır. Asfalt yolların MOHS sertlik skalasına göre değeri 1,3 iken camın sertlik derecesi 5,5 ile 6 arasındadır. Üstelik solar yollarda kullanılan cam temperli camdır bunun sertliği normal cama göre daha yüksek olacaktır. Bu da demek oluyor ki solar yollar asfalt yollara göre daha sertliği daha yüksektir ve buna da bağlı olarak daha dayanıklıdır. Bakım açısından incelediğimizde solar yollar modüler yani birçok panelin birleşiminden oluştuğu için solar yolların bakımı daha kolay ve daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Solar yollarda kullanılan cam tabakasının standart kalınlığı ise 9,53 mm'dir.




**Şekil 4.28:** MOHS sertlik skalası.

#### 4.1.4.1 Cam yüzeyin taşıma kapasitesi

Kullanılan temperli cam çekme deneyi, yükleme deneyi ve çarpma dayanımı deneylerinden başarı ile geçmiştir. Altıgen şeklindeki temperli cam hem ekstra dayanıklılık sağlarken hem de virajlarda ve tepelerde kullanım için esneklik özelliği sağlar. Cam yüzeylerin ilk başlangıçta yarı kamyonun yasal olarak maksimum limiti 36,287 kg olduğu için bu yükü sağlamasının yeterli olacağı düşünülmüştür. Fakat ilerleyen araştırmalarda odunla yüklü bir kamyonun ağırlığının 68,039 kg olduğu tespit edilmiş ve hedef bu miktara çıkarılmıştır. Daha sonrasında yağ firmalarının yüklü kamyonlara müsaade edilen yükleme limiti 104,326 kg'dır. Bu nedenle solar yolların taşıyıcılığı en son 113,398 kg'a çıkarılmış ve bu şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Solar yollarda kullanılan temperli cam hem 3D sınırlı elemanlar metodu analizinden hem de fiziksel yükleme testinden laboratuvar ortamında başarıyla geçmiştir. Bu testin sonuçları temperli altıgen şeklindeki camın 113,398 kg'a kadar dayanıklı olduğunu göstermektedir. Şu anki güncel M1A2 Abrams tankının ağırlığı 61,669 kg'dır [36, 39]. Yani bu durum temperli camın taşıma kapasitesinin en ağır araç için bile yeterli ve bu en yüksek araç yükü değerinden de oldukça fazla bir taşıma kapasitesine sahip olduğunun göstergesidir. Bununla beraber cam yüzeylerin tasarımında altıgen şeklinin seçilmesinin sebeplerinden biri de araçlar tarafından

gelecek olan yükün eşit olarak çevresindeki solar panellere ve dolasıyla da camlara dağıtımının yapılıp, taşıma kapasitesinin arttırılmasıdır.

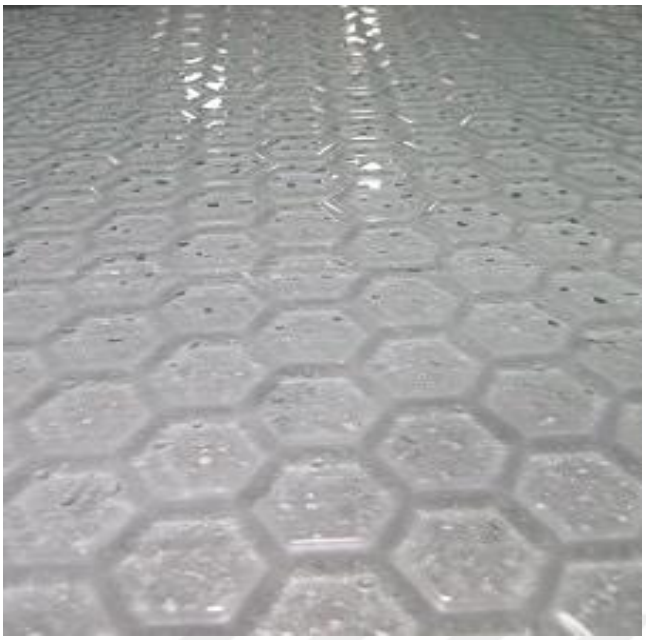
#### 4.1.4.2 Cam yüzeyin deseni

Cam tabakasının yapısı araçların yol tutuşunu sağlayacak özelliktedir. Cam yüzeyin desen tasarımının asfalt yollara göre daha fazla ya da aynı miktarda çekiş gücüne sahip olması hakkında, birçok farklı desen İngiliz Sarkaç Kayma Direnci Testine tabi tutulmuştur. Yüzeyi farklı desenlerle kaplı camların birkaçı yeterli değeri sağlamazken, birkaçı ise kırılmıştır. Güncel olarak kullanılan cam deseni ise testten başarı ile geçerek, ıslak bir zeminde 80 km/sa hızla giden bir aracın gerekli takip mesafesini koruduğu takdirde aracın durabileceği tespit edilmiştir (Şekil 4.29). Bu cam yüzey deseni motosiklet ve bisiklet için de testten başarı ile geçmiş olup, bu araçlar için de yeterli özellikleri göstermiştir. Daha sonrasında da birçok farklı desen İngiliz Sarkaç Kayma Direnci testine tabi tutulmuştur. Yürüme yolları, bisiklet yollarında kullanılacak olan cam deseninin daha az bir değere sahip olması yeterli iken karayollarında daha yüksek değeri sağlayacak olan desenli camın uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle sağlanması gereken değerin miktarına göre uygulanacak cam deseni belirlenir.

Şu anda da iki farklı şekilde solar panellerin cam yüzeyinin üretimi yapılmaktadır.

- Kritik olmayan: 40 km/s hızla ıslak zeminde durabilmeyi sağlayacak yürüme yolu ya da düşük hızlı yollarda kullanılan cam desenler. (Bisiklet yolu, yaya yolu, park alanları gibi)
- Kritik: 80 km/s hızla ıslak zeminde durabilmeyi sağlayacak karayollarında kullanılan cam desenler. (SR2)

Kış ayları boyunca solar yollar üzerine kum serpilerek sürtünme katsayısının arttırılması sağlanır böylelikle araçların kayma gibi riskleri ortadan kaldırılmış olur.



**Şekil 4.29:** Solar yollarda uygulanan cam yüzeyin deseni [37].

#### 4.1.4.3 Cam yüzeyin eğimlerde ve kurplarda kullanımı

Solar yollarda en merak edilen konulardan biri de tepelerde, eğimlerde, kurplarda nasıl uygulanabileceği konusudur. İlk başlarda prototip olarak oluşturulan solar panellerin boyutları 3,68x3,68 m² iken eğimli yollarda, kurplarda ve tepelerde bu panellerin uygulanmasının ne kadar zor olduğu tespit edilmiştir. Bunun hemen ardından ölçüleri 0,64x0,64 m²'ye düşürülüp, şeklinin de elverişsiz olduğu düşüncesiyle altıgen şeklinde üretime başlanmıştır. Böylelikle solar panellerin ve camların %3'lük bir eğime kadar kolayca uygulanabildiği ve eğimlere, kurplara kolaylıkla uyum sağlayabildiği tespit edilmiştir (Şekil 4.30).



**Şekil 4.30:** Sollar yollarda yer alan cam yüzeyin eğimler ve kurplarda kullanım örneği [38].

#### 4.1.4.4 Temizlik

Solar yolların üzerinde yer alan camların temizliğinin zor olduğu düşünüldüğünde, bu kir durumunun enerji üretimini ne kadar etkilediğini görmek adına bir deney yapılmıştır. 2 adet aynı özellikteki solar panel laboratuvar ortamında çatıya yerleştirilmiştir. Bunlardan sadece biri temiz olarak korunmuş diğeri kire maruz bırakılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Sonuç olarak temiz olan panel kirli olana kıyasla %9 daha fazla bir enerji üretimi yapmıştır. Bu da demek oluyor ki solar panellerin kirli olması durumunda bile çok düşük bir enerji kaybı meydana gelecektir. Örnek bir çalışma olarak bir bisikletli hem asfalt yolda hem de cam yüzeyli solar yolda fren yapmıştır, sonuç olarak cam yüzey üzerinde fren izi yok kadar az bir şekilde rastlanırken asfalt üzerinde kaybedilmesi mümkün olmayacak bir fren izi ortaya çıkmıştır. Cam yüzey üzerindeki az denecek kadar olan fren izi yağmurla ve zamanla yok olacaktır. Asfalt yoldaki fren izi ise yok olmadan varlığını sürdürecektir. Yollardan zamanla araçlardan yağ, şanzıman yağı gibi maddeler süzülecektir. Bu maddelerin cam yüzey üzerinden yok edilebilmesi adına titanyumdioksit kullanılır. Bu madde yağları toz haline dönüştürür ve böylelikle yağmur veya rüzgar ile bu yağlar uçup giderek zemin temizlenmiş olur. Yol üzerine bir yağ dökülmesi vs. gerçekleşmediği takdirde bile üreticiler en azından yılda bir defa titanyumdioksit ile temizleme çalışmalarının yapılmasını önermektedir. Bu gibi durumların temizliğe yeterli olmadığı takdirde yol süpürme araçları devreye alınarak yolun temizliği sağlanabilmektedir. Kış ayları boyunca solar yollar üzerine kum serpilerek sürtünme

katsayısının arttırılması sağlanır böylelikle araçların kayma gibi riskleri ortadan kaldırılmış olur. Bu kumların baharda temizliğinin yapılması için de yol süpürme araçları kullanılır.

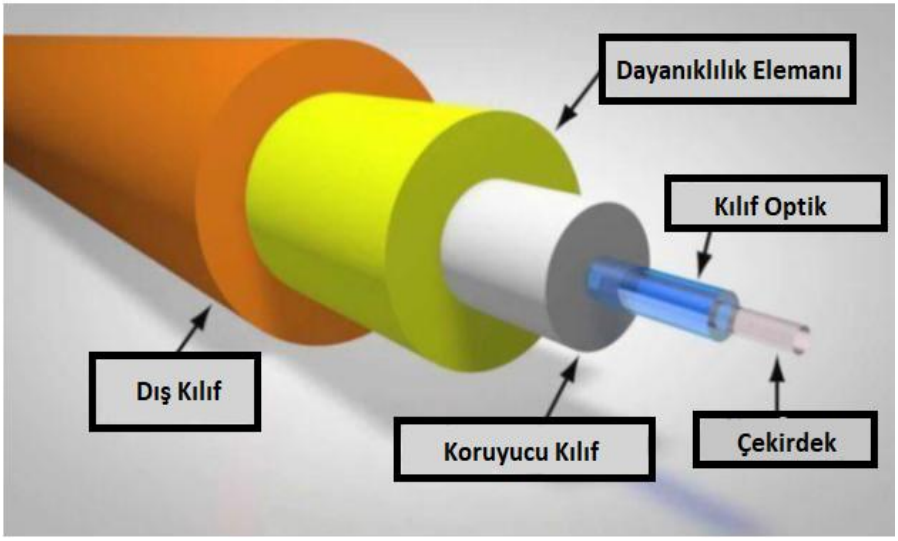
### 4.1.5 Saydam beton

Solar yolların üst yüzeyi cam halinde bırakılıp, kullanılabildiği gibi cam tabakasının üzerine saydam beton da serilebilir. Saydam beton yüzey; normal betona göre 10 kat daha dayanıklıdır. Saydam betonun tasarımı cam tabakasının kalınlığını belirlemekte önemli bir faktördür.

Saydam beton uygulaması için iki temel malzeme kullanılır.

- İnce Agregalı Beton: Kum gibi ince agregalı çimento içerir. Çimento 53 derece standart Portland çimentosdur. Kum 4,75 mm IS kalburdan geçmelidir.
- Optik Lif: 3 tabaka içerir; çekirdek, kılıf optik, koruma kaplaması.
  - Çekirdek: Işığın geçmesini sağlamak için merkezinde bulunan cam kısımdır.
  - Kılıf Optik: Çekirdeğin etrafını sararak çekirdekteki yansımaları toplar.
  - Koruma Kaplaması: Lifin en dışında yer alır ve lifi dış zararlara karşı korur.

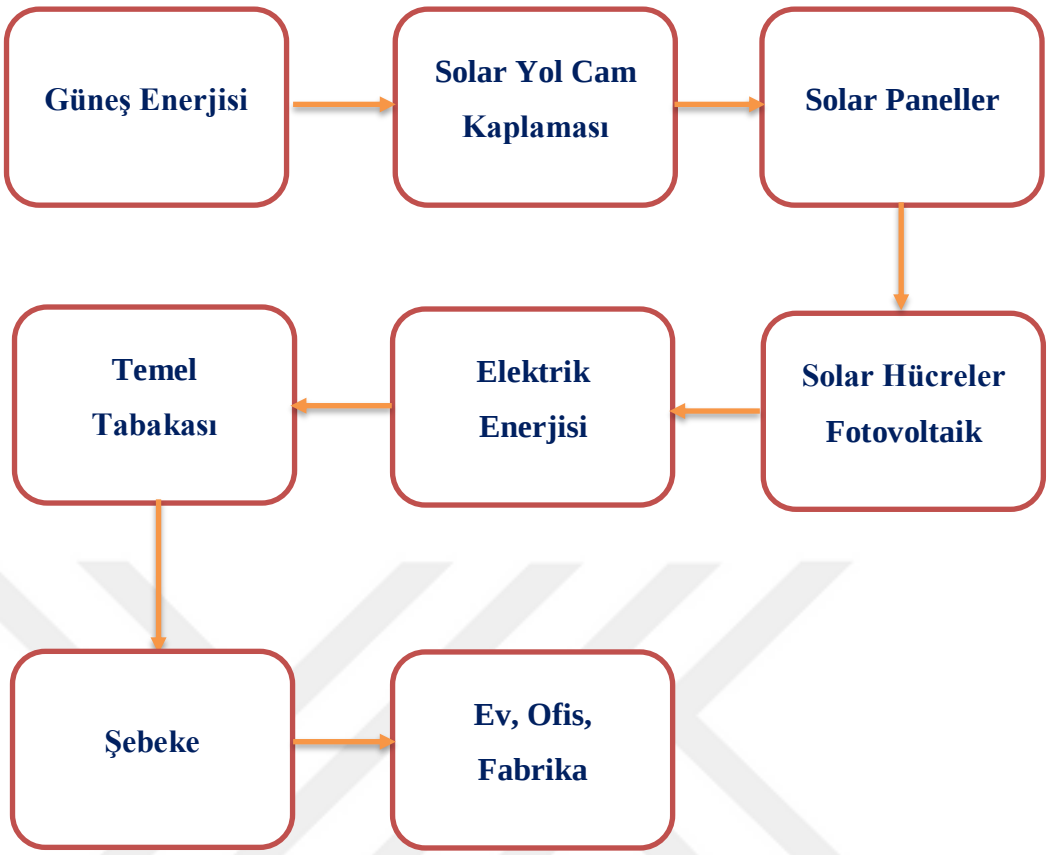
Saydam betonun üzerine gelen güneş enerjisini elektronik tabakasına iletebilmesi için betonun içerisinde optik liflerin bulunması gerekir. Bu lifler ışığın geçmesini sağlayan çekirdek, yansımaları toplamak için ise kılıf optikten meydana gelir. Ayrıca bu enerjinin kayıp olmadan aktarımının alt tabakalara sağlanması için kılıf optikler koruyu kılıf, dayanıklılık elemanı ve dış kılıf ile birlikte dış etmenlere karşı etkili bir şekilde korunur. Beton ve optik liflerin bir arada olması saydam betonu meydana getirir. Saydam beton optik kılıf elemanı Şekil 4.31'de gösterilmiştir.




**Şekil 4.31:** Saydam betonu oluşturan katmanlar [2].

### 4.2. Çalışma Prensibi

Şekil 4.32'de görüldüğü üzere güneş ışınları ilk olarak solar yol kaplamasına ulaşır. Buradan da elektronik tabakasının içerisinde yer alan solar panellere ulaşır. Güneş ışınları daha sonra solar panellerden solar hücrelere ulaşır. Foto-voltaik solar hücreye gelen enerji hücrenin yapısında bulunan N-tipi elektrik alanından P-tipi elektrik alanına elektron geçişiyle solar hücrenin içerisinde elektrik üretimi sağlanmış olur. Üretilen elektrik ise solar yolun yapısında bulunan LED ışıkların güneş enerjisi olmadığı gece saatlerinde de çalışabilmesi için gerekli kısmını kendi şebekesinde depolanırken, fazla kalan elektrik enerjisini de temel tabakasından direkt olarak çevre ev ve diğer mahallere aktarılarak, tüm mahaller için gerekli olan elektrik enerjisi, fosil yakıta gerek kalmaksızın çevreye zarar vermeden üretilmiş olur.




**Şekil 4.32:** Solar yolların çalışma prensibi.

### 4.3. Genel Özellikler

Solar yollarda temizliğin zor olduğu koşulları irdelemek adına temizliğin yapılmadığı durum incelenmiştir ve temizlik yapılmayıp güneşli bir günde üretilen enerjinin, temiz bir solar yolda üretilen enerjiden sadece %9 düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yani bu küçük bir kayıp olduğundan temizliği çok zor olduğu koşullarda dikkate alınmayabilir. Solar yollar sayesinde üretilen temiz güneş enerjisi ile elektrikli otomobiller solar yolların bulunduğu herhangi bir yerde; alışveriş yaparken, evde, otoparkta, iş yerinde direkt şarj olunabilir. Elektrikli araçlar yolda seyahat ederken aynı anda şarj olabilirler böylelikle bir yerde durup vakit harcamadan ihtiyaçlarını karşılayabilirler. Aynı zamanda bu durum elektrikli araçlarda büyük baterilerin olması gerekliliğini de ortadan kaldırır. Solar yolların uygulanması, elektrikli araçlara geçişin hızlanmasına zemin hazırlar. Çünkü şarj yerleri oluşturulması, kısa mesafeler kat edilmesi, kısa zaman aralıklarında uzun süreler şarj edilmesi gibi dezavantajları solar yollar sayesinde ortadan kaldırılmış olunur. Solar yollar aynı zamanda bütün elektrik,

internet vs. hatlarını içerisinde barındırarak çok elverişli bir altyapı şebekesi sağlar. Böylece doğal etkiler sonucu oluşacak kesintiler, zararlar engellenmiş olacaktır. Bütün hatları içerisinde barındırdığından dolayı hatların bakımı ve tamiri daha dolay olacaktır. Ayrıca da şebeke ağlarının oluşturulması için çok büyük kazıların gerekli olmaması da hatlarla ilgili yapılacak çalışmalarda çalışacak personellerin iş güvenliğinin artmasını sağlar. Merkezlendirilmiş enerji sistemi bir merkezi yerden güç temin eder ve iletim hattı boyunca bu güç taşınır. Fakat bu taşıma esnasında enerji kayıpları yaşanır. Merkezlendirilmiş enerji sitemleri güvenlik açısından zafiyet sağlar aynı zamanda da bir doğal afet esnasında daha fazla zarara maruz kalır ve bunların sonucunda da elektrik kesintilerine maruz kalınabilir. Solar yollarda kullanılan merkezileştirilmemiş sistem ise daha güvenliklidir. Kullanılan güçler hep evler, işyerleri gibi yakın güç kaynaklarından temin edilir. Bu sistemde fazla olan enerji etrafında bulunan komşulara iletilir. Böylece yolun bir kısmında herhangi bir doğal afet sonucu zarar var ve elektrik üretilemiyorsa, yolun diğer kısmı enerji üreterek çalışmaya devam eder ve bu da güvenliği sağlayarak, oluşacak elektrik kesintileri engellenmiş olur.

Solar yollar sonucunda üretilen enerji DC olup, evlerde, işyerlerinde kullanılan enerji AC'dir. Bu nedenle üretilen güneş enerjisinin evde kullanılabilmesi için DC enerjiden AC enerjiye dönüşüm sağlanması gerekmektedir. Fakat bu dönüşüm sırasında enerji kaybı yaşanmaktadır. Bununla beraber evlerde kullanılan birçok elektronik cihaz ise DC enerji kaynağıyla çalışmaktadır. Bu nedenle bu cihazların kullanımı için de tekrardan bir AC enerjiden DC enerjiye dönüşüm yapılması gerekmekte olup, tekrar bir enerji kaybı yaşanacaktır. Bu kayıpları önlemek adına, eğer tamamen solar yollar uygulamasına geçilecekse, ev ve işyerlerinde kullanılan enerjinin AC yerine DC enerjiye dönüşümü sağlanmalıdır. Böylelikle ev ve işyerlerinde artık DC enerji kullanılabileceğinden dolayı DC'den AC'ye dönüşüm sırasındaki enerji kaybı önlenmiş olacak, daha fazla kullanılabilir enerji elde edilmiş olacaktır. AC güçten DC güce dönüşüm yapmak adına solar yolların sisteminde inverterler bulunur. İnverterler dönüştürücü tabanlı ya da az-dönüştürücü olarak sınıflandırılırlar. Az-dönüştürücü inverterler, dönüştürücü tabanlı inverterlara göre daha yüksek verime sahiptirler. Verim miktarı %97'dir. İnverterların yapısında maksimum güç noktası takip sistemleri bulunur böylelikle açığa çıkan PV gücünü optime eder. Bu sistem az-dönüştürücü inverterlarda iki adet bulunurken dönüştürücü tabanlı inverterlarda bir adet bulunur. Aynı zamanda asfalt yollardaki gibi fren izi oluşumu yol üzerinde kalıcı izler

bırakırken solar yollarda olan izler cam üzerinde olduğundan dolayı yağmurla ya da kendiliğinden kaybolacaktır. Yağ gibi maddeler yola döküldüğünde solar yollardan temizlenmesi için titanyumdioksit uygulanmalıdır bu uygulama sayesinde dökülen maddeler toz haline dönüşür ve yağmur ya da rüzgar etkisiyle de temizlenmiş olur.

### 4.3.1. Avantajlar

Solar yolların avantajları maddeler halinde aşağıda açıklanmıştır:

- LED tabakası sayesinde gece görüşünü arttırarak gece olması muhtemel kaza riskinin azalmasını sağlar.
- LED tabakası sayesinde yol işaretlemelerini kolayca oluşturur ve buna bağlı olarak da bakım masraflarının azalmasını sağlayarak aynı zamanda da işaretlemelerde kolaylıkla değişiklik yapılabilmesi olanağını sağlar.
- LED tabakası sayesinde bir hayvan ya da bir araç veya aniden yola çıkan bir şey olduğu zamanda uyarılarda bulunarak sürücülerin kaza yapma riskini azaltır.
- LED tabakası sayesinde kaza oluşmuş veya yol çalışması olmuş ise bu konu hakkında sürücüleri uyararak sürücüleri alternatif yol güzergahlarına yönlendirir.
- LED tabakasının eğitici özelliklerinden öğrenciler açısından faydalanılabilir.
- Mikroişlemciler her solar panelin konum bilgisini taşır böylece panellerin nerede bulunduğu bilgisine anlık olarak ulaşılabilir bu da hırsızlıklara karşı önlem sağlar.
- Mikroişlemcilerde bulunan konum bilgisi sayesinde GPS'e gerek kalmaksızın daha iyi bir konum doğruluyla daha hızlı bir şekilde haritalar oluşturulabilir.
- Mikroişlemciler ısı bilgisini barındırır. Mikroişlemciler hava tahminlerine doğrudan bağlantı ile iletişim kurar ve yağmur ve don olaylarında önceden tahminlerde bulunarak ısıtma sisteminin çalışma miktarını ve çalışmasını sağlayarak gerekli önlemleri alır. Gerekli olduğu takdirde panellerin ısıtılmasını sağlayarak yolda su birikintisini, kar ve buzlanmayı önler. Bu da yolda oluşacak kızaklanma, kaza riskini azaltır.
- Gerekli olan elektriği LED tabakasının gece elektrik üretemezken de çalışabilmesi için şebekelerde depo edip, fazla elektriği ise ev, işyerleri gibi çevre mahallere ileterek onların elektrik ihtiyacını karşılar.
- Solar hücreler sayesinde güneş enerjisinden direkt olarak elektrik enerjisi üretimi sağlar. Bu da sürdürülebilirliğe katkı sağlayarak temiz enerji üretimini ortaya

çıkarır. Fosil yakıtlara gerek kalmaksızın üretilen enerji kullanılır ve çevre kirliliği azalmış olur.

- Mikroişlemci içerisinde yer alan ısıtma sistemi sayesinde kış aylarında havanın sıcaklık derecesi düştüğünde ve yol müsait olduğunda doğal bir şekilde hayvanlar için ısınma imkânı sağlar.
- Üzerinde bulunan cam tabakası sayesinde yol tutuşunu sağlar.
- Elektrikli araçlara geçişe imkân sağlayarak ulaşım kirliliğine çözüm olur.
- Mikroişlemciler sonucunda direkt yol güzergahı çıkarması sayesinde otonom araçlara geçişi kolaylaştırır ve olanak sağlar.
- Yol inşası amacıyla zaman zaman mecburen ağaçlar kesilebilir, solar yollar sayesinde en azından çevreye verilen zararı güneşten gelen ışınlarla doğrudan elektrik enerjisi üretimi sağlayarak çevreye olumlu etki oluşturur. Bilinen geleneksel yollar ise yapım aşamasında çevreye zarar verdiği gibi kullanımı aşamasında çevreye bir faydası yoktur.
- Yola giren herhangi bir varlığı algılar, böylece solar yollar çok yönlü koruma sağlar; hayvanları, sürücüleri, bisikletlileri, motosikletlileri, yayaları korur.
- Solar panellerde herhangi bir arıza olduğunda arızalı olan panel çıkarılır diğer paneller ise bir arada hiçbir sıkıntı olmadan çalışmalarına devam ederek enerji üretirler ve yol hizmeti sağlarlar.
- Bakımı oldukça kolaydır. Geleneksel yollara nazaran bir kişi tarafından kolaylıkla solar paneller kaldırılıp değişikliği yapılabilir. Ayrıca diğer standart yollara kıyasla bu bakım, onarım işlemleri ise oldukça kısa sürer.
- Asfalt yol sudan etkilenir, ömrü kısadır, bakımı sıkça yapılmalıdır. Solar panellerin ömrü ve dolayısıyla solar yolların ömrü yaklaşık 20-25 yıl arasında değişirken, asfalt yolların ömrü 7-12 yıldır [12].
- Solar yollar yeniden bir yol çalışmasına gerek kalmaksızın halihazırda bulunan yolun üzerine kolaylıkla inşa edilebilir.
- Günümüzde uygulanan yol türlerinden en yaygın kullanılan asfalt yol, beton yol, sathi kaplama vb. türlere göre solar yolların inşa hızı çok daha yüksektir. Geleneksel yol türlerinin imalat aşamalarında ihtiyaç duyulan iş makineleri gibi unsurlara gerek olmadığı için hem yol inşa süresinde hem de çalışan işçi sayısında önemli miktarda azalmalar olmaktadır. Çünkü solar paneller imalathanelerden hazır olarak inşa sahasına geldiğinden dolayı sadece montajı için gerekli ekipman

ve işçi sayısına ihtiyaç duyulacaktır. Bu durum da yolun inşa süresini doğrudan etkilemektedir.

- Solar güç ile üretilen elektrik diğer elektrik formlarının üretimine nazaran daha az çevreye olumsuz etkisi vardır.
- Ek bir altyapı çalışmasına gerek kalmaksızın TV, internet vs. gibi sistemleri kolaylıkla bünyesinde barındırabilir.
- Kışın sıcak yazın soğuk tutar. Özellikle Hollanda, Belçika ve İskoçya için ideal bir özelliktir.
- Solar yollar yeni bir teknolojinin yollarda kullanılmasıdır. Yani akıllı karayolu sistemini oluşturur.
- Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır. Böylelikle elektrikli araçların da kullanımının artmasını sağlayarak petrole gidip araçların benzin ya da mazot alması oranı azaltılır.
- Solar enerji yenilenebilir bir kaynaktır bu da solar yolların yenilenebilir olduğu anlamına gelir.
- Asfalt yol yerine solar yolun kullanılması asfalt yani fosil yakıtlı kaynak tüketimini azaltarak sürdürülebilirlik kavramına pozitif etki yaratır.
- Çevreye zarar vermez ekosistem dostudur ve insan sağlığına da olumsuz etkilerde bulunmaz.
- İş olanakları sağlar, solar yolların sabitlenmesi ve bakımı için donanımlı mühendis ve insanlara ihtiyaç vardır.
- Farklı voltajlarda elektrik gönderimine müsaade eden bir iletim ortamına sahiptir. Yani elektriğin aktarılacağı mahaller için gerekli olan voltajlarda elektrik iletimine olanak sağlar.
- Elektrikli araçlara seyahat süresince herhangi bir zamanda solar paneller direkt olarak elektrik üretimini sağlar. Normal fiziksel bağlantılarla, kablolu olarak bir elektrikli aracın şarj edilmesi 24 KWh ile 4-8 saat sürmektedir [39].
- Solar bir yolun üretim kapasitesi içerdiği solar modül sayısı ve büyüklüğüyle bağlantılıdır. Yani solar yollar çok farklı şekillerde istenilen amaca hizmet edecek şekilde oluşturulabilirler yani yeniden şekillendirilebilir ve çok yönlüdürler.

### 4.3.2. Dezavantajlar

Solar yolların dezavantajları maddeler halinde aşağıda açıklanmıştır:

- Solar yolların yapım maliyeti yüksektir. Yüksek miktarda bir yatırım gerektirir.
- Paneller pahalı ve kullanılması gereken panel sayısı arttıkça maliyet artar.
- Deprem solar yolları çok fazla etkiler.
- Solar paneller doğru konumlandırılmalıdır. Yollar yerleşim yerleriyle doğru bir oryantasyon içinde olmalıdır bu sebeple de kesinlikle şehir planlaması yapılması gerekmektedir.
- Yaz mevsiminde solar yollardan elektrik enerjisi üretimi daha fazladır, yani yaz mevsiminde güneş ışınları doğrudan solar yollara ulaşabildiği için çok verimlidir fakat diğer mevsimlerde bulut, yağış etkisinden dolayı güneş ışınları solar yollara ulaşamaz bu sebeple de solar yolların verimi diğer mevsimlerde düşmektedir. Yani iklim koşulları dikkate alınarak solar yolların uygulanmasına karar verilmelidir.

## 4.4. Elektrikli Araçlara Geçiş

Solar yollar elektrikli araçlar üzerinde seyahat ederken elektrik akışı sağlayarak araçların şarj olması imkanını sağlar. Solar yollarla elektrikli araçlar arasında manyetik alan oluşumu söz konusudur bu da araçların yol üzerindeki hareket hallerinde şarjını sağlar. Böylelikle solar yolların uygulanması ile elektrikli araçlara geçiş kolaylaşmış olacaktır. Bu sistem özellikle Hollanda için çok elverişli olur çünkü Hollanda'da çok fazla sayıda elektrikli araç mevcuttur [40].

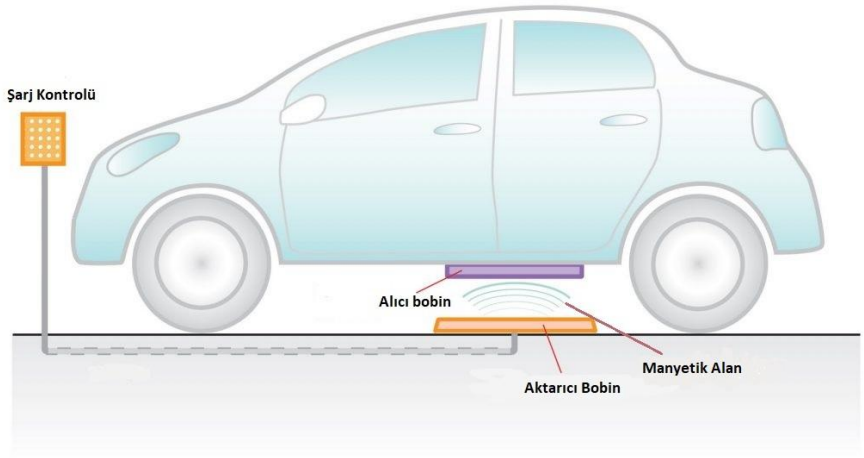
### 4.4.1 Elektrikli araç şarj yöntemleri

#### 4.4.1.1 Kablolu ve kablosuz şarj yönteminin genel tanımı

Şarj olma teknolojileri iletken ve endüktif olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Araç ve elektrik şebekesi arasında sabit bir noktada prize takılarak şarj edilme şekli iletken şarj edici grubu meydana getirir. Endüktif şarj edici grupta ise elektromanyetik kuplajı kullanarak elektrik enerjisinin kablosuz olarak araca aktarılmasını sağlar. Bu sisteme endüktif kuplajlı kablosuz güç aktarım sistemi de denebilir.

#### 4.4.1.2 Statik ve dinamik kablosuz şarj yöntemleri

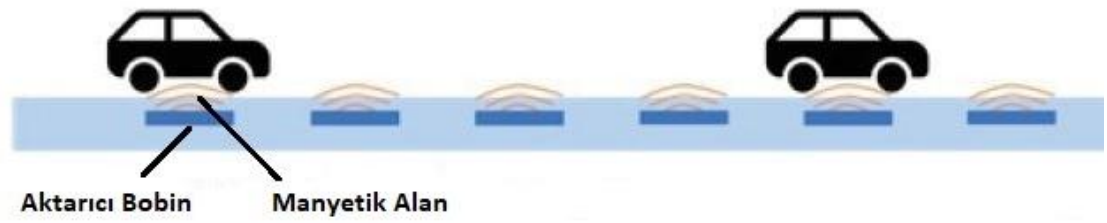
Elektrikli araçların kullanımının artması ile araçların ne kadar menzil yol alabileceği ve ne kadar menzil sonunda şarj istasyonuna uğraması gerektiğini kapsayan menzil endişesi ortaya çıkmıştır. Bu menzil endişesi sonucunda araçların yolculuk esnasında şarj etme istasyonuna uğramalarına gerek kalmaksızın şarj olabilme teknolojilerinin araştırmalarına başlanmıştır. Şarj istasyonlarının az olması durumu da dikkate alınarak bu teknoloji geliştirilmiştir. Bu geliştirilen dinamik kablosuz şarj yöntemiyle araçların sabit olarak durmasına gerek kalmaksızın araçların durarak şarj olma süresi ortadan kalkacağından zaman kaybının önüne geçilmiş olunur. Statik kablosuz şarj yönteminde ise araçlar yine bir istasyona uğrayıp manyetik alan etkisiyle kablosuz olarak şarj olurlar (Şekil 4.33).




**Şekil 4.33:** Statik kablosuz şarj yöntemi [41].

Kısa mesafeli yolculuk yapılacağı zaman araçların şarj edilmesine gerek kalmadığından dinamik kablosuz şarj yöntemine gerek duyulmamaktadır. Fakat uzun yolculuklar yapılacağı zaman menzil endişesi kavramı ortaya çıkacağından bu sistemin önemi devreye girmektedir (Şekil 4.34). Elektrikli araçların seyahat esnasında yol altyapısında bulunan şebekeler ile kablosuz olarak şarj edilebilmesinin maliyeti, üzerinde PV modüllerin bulunduğu solar yollardan üretilen elektrik enerjisinden şarj edilebilmesinin maliyetinden daha düşüktür. Fakat solar yollardan elektrikli araçların dinamik kablosuz olarak şarj edilmesi sera gazı emisyonunu %47-48 oranında azaltmasından ötürü sürdürülebilirlik açısından daha elverişlidir [42]. Kablosuz dinamik şarj sisteminin uygulamaya konabilmesi için solar yollarda bir altyapı

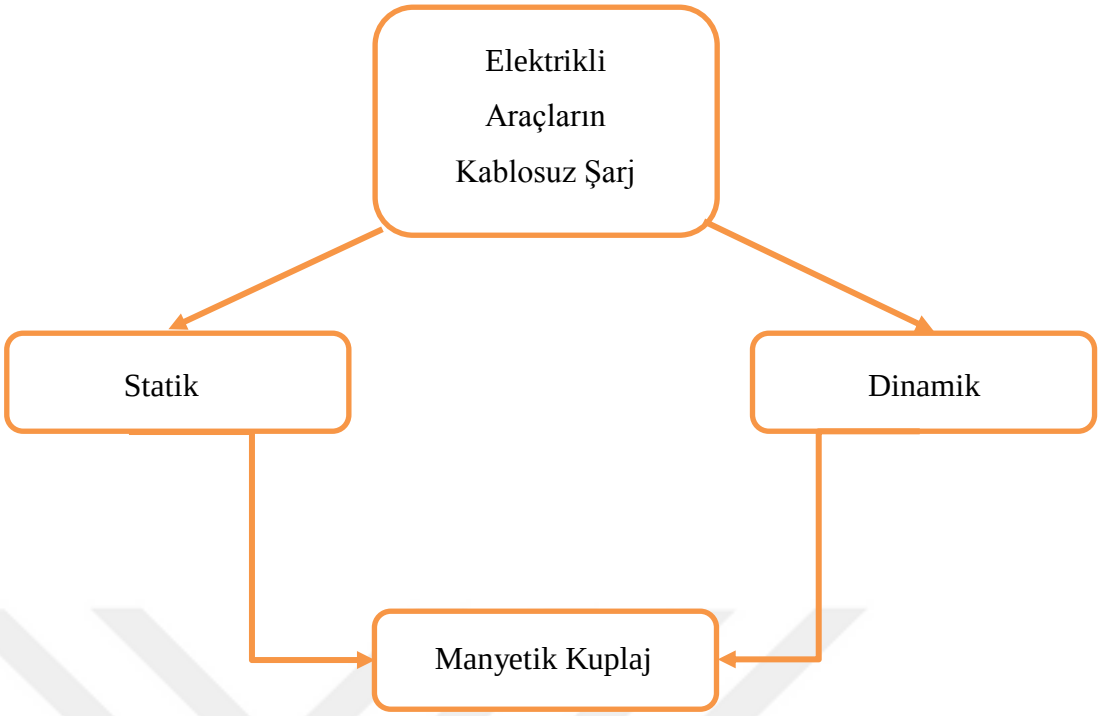
oluşturulmuş olmalıdır. Bu altyapı sistemin en verimli aktarımı ve performansı sergileyebileceği şekilde olmalıdır.




**Şekil 4.34:** Dinamik kablosuz şarj yöntemi [43].

PV modüllerle kablosuz şarj yöntemi iki kategoriye ayrılır. PV- bağımsız yöntemde araca aktarılacak olan elektrik enerjisi aracın seyahati esnasında PV panellerde solar enerjiden üretilecek olan elektrik enerjisi kullanılarak gerçekleşir. Bu sistemde elektrikli araçların şarj olması için gerekli olan enerji miktarının PV modüllerin üretebileceği toplam enerji miktarından daha düşük olmalıdır. Solar enerjiden üretilmiş olan PV gücü yetersiz ya da bu güce ulaşılmaz bir durum söz konusu ise elektrikli araçlar PV-şebeke sistemini kullanarak şebekeden alınan güç ile şarj olurlar. PV-bağımsız yönteminde elektrikli araçlar PV solar paneller üzerinde gölge etkisi yaratacağından ve elektrikli araçlar PV paneller üzerinden geçeceği ve üretilecek elektrik enerjisi de eşzamanlı gerçekleşeceğinden dolayı PV panellerin solar enerjiden faydalanıp elektrik enerjisi üretiminde sorun yaşanacaktır. Bu yüzden diğer bir yöntem olan PV-şebeke yöntemi daha verimli olacaktır. Bu yöntemde ise PV solar panellerden daha önceden üretilip şebekede depolanan elektrik enerjisi kullanılarak elektrikli araçların kablosuz şarjı gerçekleştirilir.

Elektrikli araçlar kendi içlerinde elektrik enerjisi üretimi gerçekleştiremediğinden elektrik enerjisi dışarıda üretilip aracın kendisine aktarılmalıdır. İşte bu sebeple elektrikli araçların şarj edilme yöntemleri araştırılmış, daha sonrasında ise bir yere bağımlılık olmadan araçların manyetik alan etkisiyle kablosuz şarj edilebilme yöntemleri ele alınmış ve incelenmiştir. Şekil 4.35'te görüldüğü gibi elektrikli araçların kablosuz şarj yöntemleri statik ve dinamik yöntem olmak üzere ikiye ayrılır.



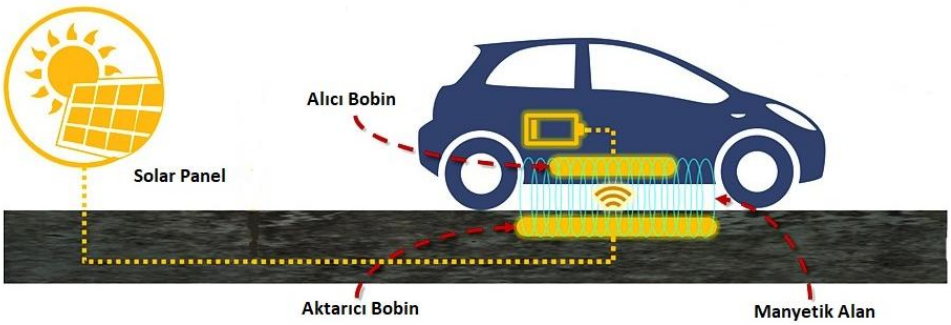

**Şekil 4.35:** Elektrikli araçların solar yollarla kablosuz şarj yöntemi**.**

Elektrikli araçlarda kablosuz şarj, yola yerleştirilen aktarıcı bobinle, elektrikli aracın alt kısmına yerleştirilen alıcı bobin arasında oluşacak olan manyetik kuplaj sonucunda aktarıcı bobinden alıcı bobine elektrik enerjisi aktarımı gerçekleştirilerek elektrikli araçlar şarj edilmiş olunur. Dinamik kablosuz elektrikli araç şarj yöntemiyle araçlar hareket halindeyken şarj edilebilme imkanı sağlanır. Böylelikle uzun yolculuklarda menzil endişesi yaşamadan, kısıtlı şarj istasyonlarına erişmek ve istasyonlarda sıra beklemek zorunda kalmadan, şarj istasyonlarında şarj esnasında bekleyerek zaman kaybı yaşamak zorunda kalmadan elektrikli araçların seyahat halinde şarj edilmesi sağlanır. Dinamik kablosuz şarj yöntemi ile birlikte araçlar sürekli şarj edilebilme halinde olacağından dolayı elektrikli araçların ilk yapım aşamasındaki en yüksek maliyeti oluşturan büyük bataryaların boyutları küçültülebilir. Böylelikle de en yüksek maliyet olan bataryalar küçültülerek hem yerden avantaj hem de maliyetten avantaj sağlanmış olunur. Bu yöntemde yol boyunca yol yüzeyine gömülü olarak yerleştirilen aktarıcı bobinlerle araçların sürekli şarjı sağlanır (Şekil 4.36).

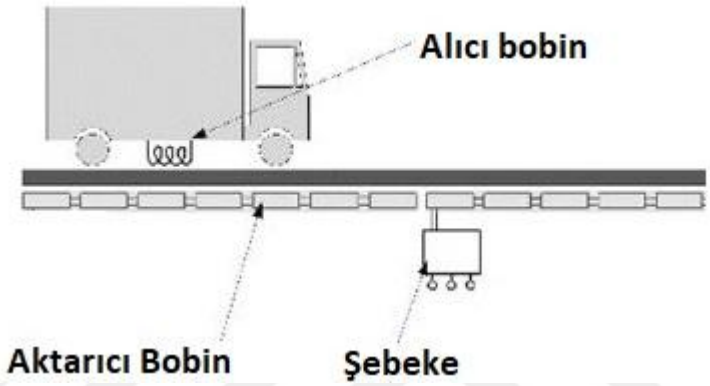



**Şekil 4.36:** Dinamik kablosuz şarj örneği [44].

Solar yollarda uygulamasında ise PV paneller sonucu solar enerjiden direkt olarak üretilen elektrik enerjisinin mahallere dağıtılmayan fazla kalan kısmı şebekede depolanır. Bu depolanan elektrik enerjisi kullanılarak solar yol üzerindeki aktarıcı bobinden elektrikli araç üzerinde yer alan alıcı bobine oluşacak olan manyetik kuplaj yani manyetik alan sonucu açığa çıkacak olan akımla aktarılmış olunur (Şekil 4.37 ve Şekil 4.38). Araç solar yol üzerinde seyahat ederken bobinin üzerine geldiğinde elektrik enerjisi endüktif olarak, bobinde elektrik akımı meydana getirerek, araçta bulunan toplayıcı bobine aktarılır. Böylelikle elektrikli araçlar dinamik kablosuz olarak şarj edilmiş olunur. Kablosuz güç aktarımında bobinlerin hizasız olmasından ya da akım dönüşümünden dolayı hatalar meydana gelebilir. Statik kablosuz şarj yönteminde ise elektrikli araçlar yine park alanlarında, şarj istasyonlarında bulunacak olan aktarıcı bobin ve araç üzerinde yer alan alıcı bobin arasında manyetik kuplaj sonucunda elektrik enerjisinin aktarımı sağlanır. Fakat bu yöntemde araç sabit olarak dururken şarj olur bu daha hızlı şarj olmasını sağlar ama dinamik kablosuz şarj yönteminde bahsedilen zaman kazancı, menzil endişesinin ortadan kalkması, elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların küçültülmesi gibi avantajları sağlamaz. Bu nedenle en avantajlı yöntem dinamik kablosuz şarj yöntemi olacaktır. Yalnız kablosuz olarak manyetik alanla aktarım sırasında potansiyel enerji verimliliği %90-93 arasındadır. Aktarım sırasında bir enerji kaybı meydana gelir.




**Şekil 4.37:** Solar yollarda dinamik kablosuz şarj yöntemi [45].




**Şekil 4.38:** Solar yollarda dinamik kablosuz şarj yönteminin şebeke yerleşimi [46].

Bobinin yerleşimi için gerekli olan unsurlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Güç kapasitesi; çalışma frekansını ve güç aktarımını içermelidir.
- Dayanıklı bir şekilde yerleştirilmelidir.
- Bobinler elektrikli aracı elektromanyetik koruma altına almalıdır.
- Bobinin kaplayacağı alan ve kalınlığı kaçak akı, yanlış hizalanma gibi durumların oluşmaması için en verimli şekilde belirlenerek tasarlanmalıdır.

#### 4.4.1.3 Dinamik kablosuz şarj yönteminin avantajları

Solar yolların dinamik şarj yönteminin birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar:

- Elektrikli araçlar yol üzerinde seyahat ederken bataryaları şarj edildiği için yer ve zaman kazanılması açısından verimliliği arttırır.
- Elektrikli araçların uzun yollarda kullanılması sonucu ortaya çıkan menzil endişesini ortadan kaldırır.

- Şarj istasyonlarındaki sıra bekleme sonucu oluşacak zaman kaybını da ortadan kaldırır.
- Elektrikli araçlarla yol altyapısının şarj imkanını sağladığı sürece sınırsız seyahat etme imkanı sağlar.
- Elektrikli araçlarda daha fazla şarj tutabilmesi adına kullanılan büyük boyutlu pillerin seyahat halinde şarj edilebilmesinden dolayı küçük tutulabilmesi imkanını sağlar. Böylelikle maliyet olarak da avantaj sağlamış olur. Dinamik kablosuz şarj sisteminin uygulanmasının elektrikli aracın batarya kapasitesi %20 azaltılabileceği tespit edilmiştir [46].
- Otonom araçları da durmasına gerek olmaksızın yolculuk esnasında şarj etme imkanı sunarak otonom araçlara geçişi kolaylaştırır.

Bunların dışında manyetik alan söz konusu olacağı ve bu manyetik alan oluşurken araç içerisinde sürücü, yolcu bulunacağından dolayı manyetik alanın sağlık etkisi üzerine de araştırmalar yapılmaktadır. Kablosuz şarj sırasında oluşacak olan manyetik alanın sağlık açısından insanlara zarar verip vermeyeceği üzerinde durulmaktadır.

#### 4.4.1.4 Kablosuz şarj edilen elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmalar

Bir Alman firması olan IAV, elektrikli araçlara yol içerisinde yer alan elektrik iletken metal ile manyetik alan oluşturarak kablosuz şarj olma imkanı sunmaktadır. Yol üzerinde elektrikli araç olduğu zaman sistem aktif olarak elektrik araçları kablosuz olarak şarj etme işlemi başlar. Evatra ise araçların park alanlarında kablo olmadan şarj edebilme özelliğini sağlayan Fişsiz Güç adında sistemi geliştirmiştir. Bir araç park ettiği zaman SEA J1772 protokolünün bağlı olduğu sistemi kullanarak iletişim sağlar ve otomatik olarak kablosuz şarj olur. Duke Enerji, Google, Clemson Üniversitesi tarafından test edilmiştir ve ürünün satışına başlanmıştır. Benzer teknoloji Stanford Üniversitesi ve MIT tarafından da araştırılmaktadır [17].

## 5. ULUSLARARASI ÖRNEKLER

Fransa: Dünya'daki ilk solar yol örneği Fransa'da görülmektedir. Fransa'nın Tourouvre-au-Perche şehrinde 1 km'lik toplam 2880 solar panelden oluşan Dünya'nın ilk solar yolu inşa edilmiş ve 2016 yılında kullanıma açılmıştır [39]. Fakat bu yeni yol sistemi birçok açıdan başarısızlığa uğramıştır. İlk olarak inşa edilip tasarımı yapılırken üzerinden ağır taşıtların geçeceği düşünülmemiştir. Yüksek yüklü taşıtlara dayanım gösterememiştir. Bir diğer sorun ise yüksek hıza dayanımı yoktur. 70 km/sa hızın geçilmesi yol üzerinde sorunlara sebebiyet vermektedir. Yani burada inşa edilen solar yolun hız limiti 70 km/sa'tir. En önemli faktör ise solar yollardan doğrudan elektrik enerjisinin üretilebilmesi için güneş ışınlarını doğrudan alması gereklidir. Fransa'nın Tourouvre-au-Perche şehri ise yılın çok az zamanında güneş alan bir yerdir. Bu sebeple de projenin başlangıcında üretilmesi hedeflenen elektrik enerjisine ulaşılamamış ve proje yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı başarısızlığa uğramıştır. Yolun yapım ve kullanıma açılış maliyeti 5 milyon Euro'dur bu maliyetin karşılanacağı düşünülerek adım atılmış, fakat istenen verim elde edilememiştir [47]. Bu da bir projeye başlanırken, ki bu proje yeni bir teknolojiyle gerçekleştirilmesi hedeflenen bir projeyse üzerinde çokça negatif ve pozitif yönler düşünülmeli ona göre karara varılması gerektiği anlamına gelir. Sonunda zararla karşılaşmamak için efektif olan çözüm yolu izlenmeli ve uygulanmalıdır. İşte bu projede yol tasarımı sırasında hız limiti, ağır yüklere karşı yolun dayanımı ve solar yolların temel prensibi güneş ışınları olduğuna göre güneş alan bir bölgeye inşa edilmesine dikkat edilmesi gerekiyordu. Dünya'da solar yolun ilk uygulaması Şekil 5.1' de gösterildiği gibi Fransa'da yapılmıştır.



**Şekil 5.1:** Dünya'daki ilk solar yol (Fransa- Tourouvre-au-Perche) [48].

Hollanda: Hollanda'nın Krommenie şehrinde pilot çalışma olarak solar yoldan meydana getirilen 70 m' lik bisiklet yolu inşa edilmiştir [49].

128 m² solar panelden meydana getirilmiştir. Hollanda'daki solar bisiklet yolu Fransa'daki solar yola nazaran başarılı bir şekilde sonuç vermiştir. İstenen ve hedeflenen miktarları karşılamıştır. Bu solar bisiklet yolu bir yılın sonunda 350.000 bisikletli bu yolu kullanmıştır ve de solar paneller 9500 kWh enerji üretmiştir. 3000 kWh enerji bir evin yıllık elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Bu üretilen toplam miktar da üç evin bir yıllık bütün elektrik ihtiyacını karşılamak için yeterli bir miktardır [50]. Bu solar bisiklet yolu bir yılın sonunda hiç temizliğe bakıma gerek kalmaksızın çalışmasını sürdürmüştür. Hollanda'daki solar bisiklet yolu örneği gösteriyor ki efektif bir yere gereken koşullarda solar yol teknolojisini getirmek hedeflenen enerjiyi hatta daha fazlasını bile elde etmeyi sağlar. Bu nedenle yapılacak olan planlama her iş kolunda olduğu gibi çok önemlidir.



**Şekil 5.2:** Hollanda'daki solar bisiklet yolu [51].

Amerika: Amerika'nın Idaho eyaletinde solar yolun 2009'un başlarında inşası başlayıp Aralık 2014'te tamamlanıp kullanıma açılmıştır. Yol üzerinde bulunan cam tabakasındaki camın dayanımı, taşıma kapasitesi üzerinde laboratuvarda çalışma yapılmıştır ve cam başarıyla bu testleri geçmiştir. Ayrıca solar yollar yapısı kablosuz bağlantı sağlayarak araçlara enerji geçişini direkt olarak sağlama özelliğiyle de akıllı yol sistemini meydana getirir [52].

# 6. SOLAR YOLLARIN TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ

Solar yollar ülkemiz için oldukça yeni bir teknolojidir ve halihazırda uygulaması bulunmamaktadır. Bu nedenle bu tez kapsamında solar yolların Türkiye'de uygulanabilirliği irdelenmiş ve hangi illerin solar yollara geçiş için daha elverişli olduğu tespit edilmiştir.

## 6.1 Güneşlenme Süresi

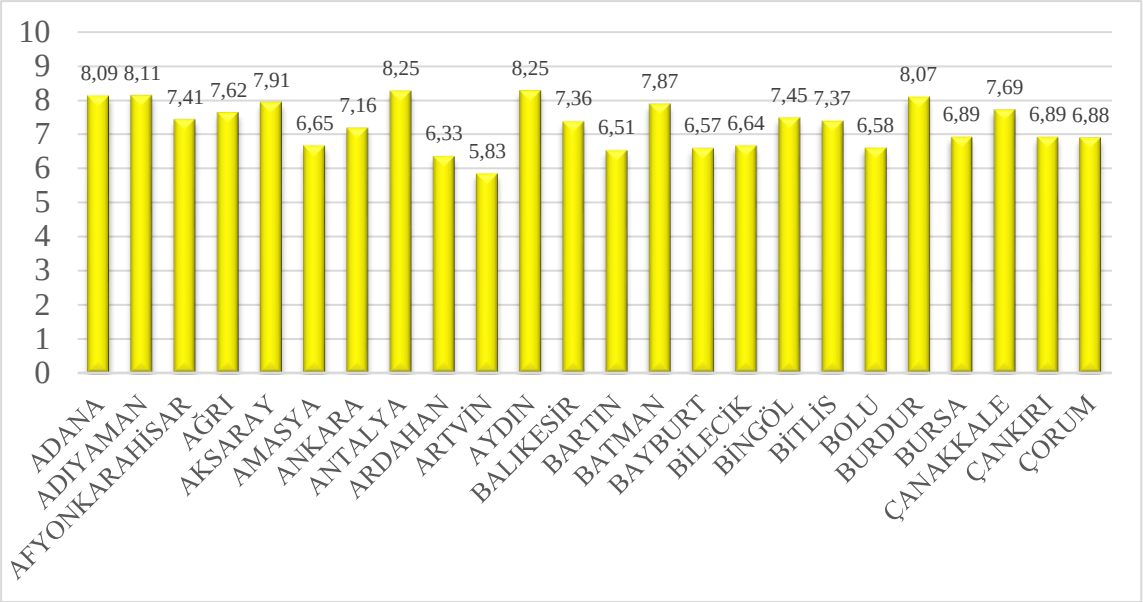
Güneşlenme süresi bir yerin güneş aldığı süreye ifade etmektedir. Bir solar yolda elektrik enerjisi üretilebilmesi için güneş enerjisine ihtiyaç vardır. Güneşin alındığı miktar ve süre üretilecek enerji miktarını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla bu ihtiyaç için de en önemli kıstas güneşlenme süresi olacaktır. Ülkemiz çok farklı coğrafyanın ve iklimin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu nedenle de farklı coğrafi bölgelerde ve iklimlerde farklı güneşlenme süreleri ve bununla beraber de farklı üretilen elektrik enerjisi miktarı ortaya çıkacaktır. Tüm bunlardan dolayı elde edilen güneşlenme süresi verileriyle "Ortalama Güneşlenme Süresine Göre Türkiye İl Haritası" ortaya çıkarılmıştır.

### 6.1.1 İllerin güneşlenme süresi

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulan "Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası" Türkiye Güneş Modeli kullanılarak hazırlanmıştır. Bu modelde Coğrafi Bilgi Sisteminde kullanılan *ESRI Radiation Model* ve birçok parametrelerden faydalanılarak oluşturulmuştur [53]. Güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu değerleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü istasyonlarında 1985 ve 2006 yılları arasında ölçüm yapılan 22 yıllık saatlik güneş ölçüm değerlerinden elde edilmiştir.

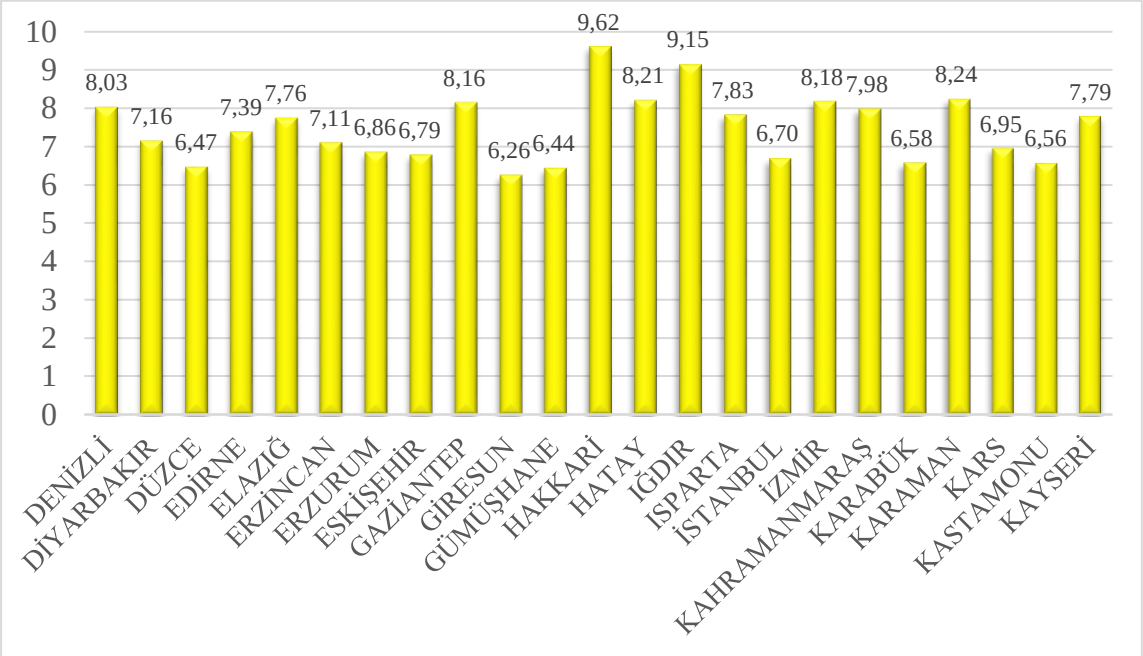
Türkiye'de bulunan 81 ilin hepsinin, 30 günlük güneşlenme sürelerinin ortalamasından elde edilen 12 ayın ortalama güneşlenme sürelerine Ek A.1'de detaylı olarak yer verilmiştir.

Şekil 6.1'de görüldüğü üzere Adana, Adıyaman, Antalya, Aydın, Burdur illeri yüksek ortalama güneşlenme süresi değerine sahiptir.



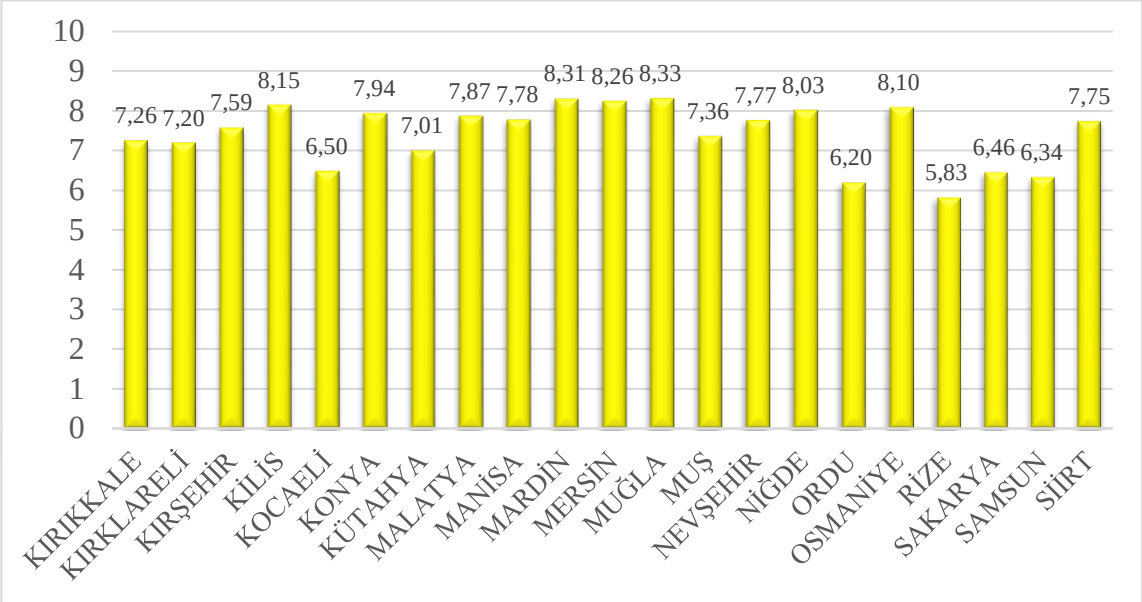

**Şekil 6.1:** 1985-2006 yıllarının ortalama güneşlenme süresi Türkiye il grafiği – 1 (saat).

Şekil 6.2'de görüldüğü üzere Denizli, Gaziantep, Hakkari, Iğdır, İzmir, Karaman illeri yüksek ortalama güneşlenme süresi değerine sahiptir.



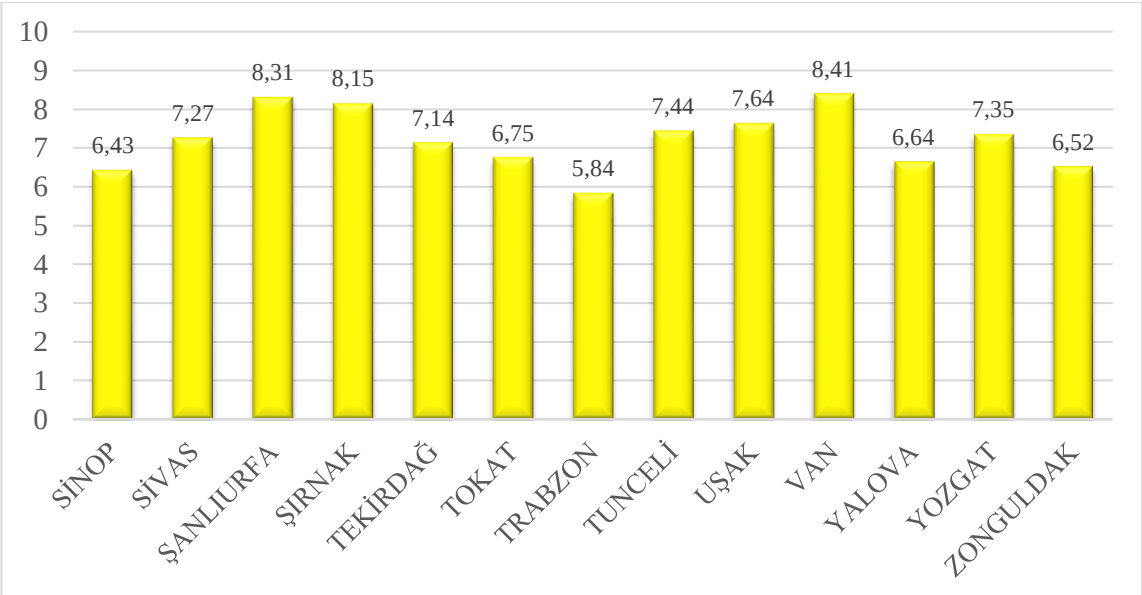

**Şekil 6.2:** 1985-2006 yıllarının ortalama güneşlenme süresi Türkiye il grafiği – 2 (saat).

Şekil 6.3'te görüldüğü üzere Kilis, Mardin, Mersin, Muğla, Niğde, Osmaniye illeri yüksek ortalama güneşlenme süresi değerine sahiptir.

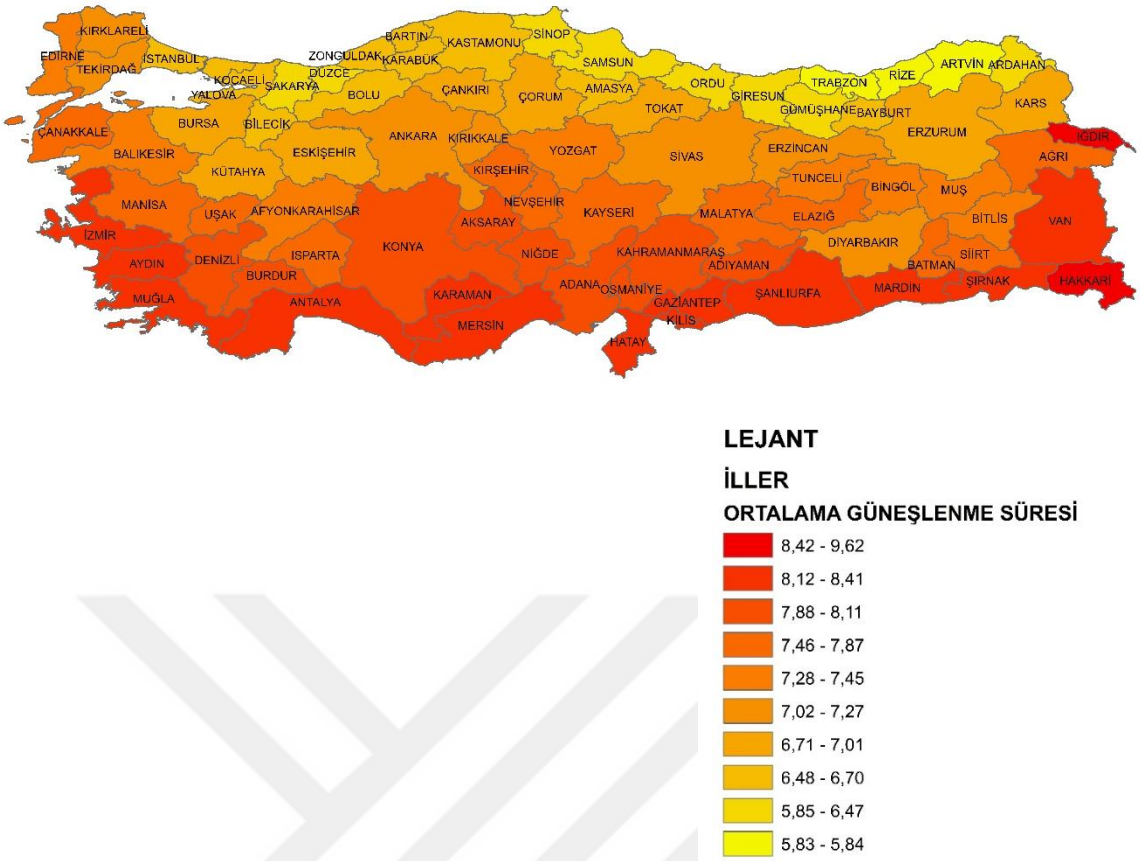



**Şekil 6.3:** 1985-2006 yıllarının ortalama güneşlenme süresi Türkiye il grafiği – 3 (saat).

Şekil 6.4'te görüldüğü üzere Şanlıurfa, Şırnak, Van illeri yüksek ortalama güneşlenme süresi değerine sahiptir.




**Şekil 6.4:** 1985-2006 yıllarının ortalama güneşlenme süresi Türkiye il grafiği – 4 (saat).




**Şekil 6.5:** Ortalama güneşlenme süresine göre Türkiye il haritası.

Şekil 6.5’ te gösterilen ortalama güneşlenme süresine göre Türkiye il haritasına göre Akdeniz ve Ege bölgelerinin kıyıya komşu olan illerinde güneşlenme süresi en yüksek değerlerdedir. Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu (Ardahan, Kars ve Ağrı hariç) bölgelerinde ise sınıra komşu illerde güneşlenme süresi en yüksek değerlerdedir. Bu illerden İç Anadolu, Karadeniz ve Marmara bölgelerine doğru ilerlendikçe güneşlenme süresi değerleri azalarak düşüş göstermektedir. Nitekim ülkemizin en az güneşe maruz kalan illeri özellikle Doğu Karadeniz olmak üzere Karadeniz ve Marmara bölgesidir. Bu da bu bölgelerde yıllık olarak güneş enerjisinden faydalanma miktarının az olduğu, bu illerde solar yolların yapılmasının verimli sonuç vermeyeceğinin ve bu sebeple bu illerin solar yollara için elverişli olmadığı anlamına gelmektedir. Solar yolların özellikle uygulaması yapılabileceği iller; İzmir, Aydın, Denizli, Burdur, Muğla, Antalya, Mersin, Karaman, Adana, Hatay, Osmaniye, Gaziantep, Kilis, Adıyaman, Şanlıurfa, Mardin, Şırnak, Hakkari, Van ve Iğdır illeridir.

### 6.1.2 İllerin solar yollardan elektrik üretimi

Solar yolların Türkiye'de uygulanabilirliğinin araştırılması kapsamında Türkiye'deki tüm illerin solar yollara geçiş yapılması düşünüldüğünde, hangi illerin solar yollar uygulaması sonucu ne kadar elektrik üretilebileceği araştırılmıştır. Buna göre de hangi illerin solar yollara geçiş açısından elverişli olduğu kanaatine varılmıştır. 1 km'lik şehirlerarası bölünmemiş bir şeritli yol için elektrik üretimi hesabı yapılmış ve ortaya çıkan değerler yorumlanmıştır.

Bu çalışmanın yapılabilmesi için öncelikle güneşlenme süresine ve solar yolun yapısında kullanılacak olan solar panelin özellik bilgilerine ihtiyaç vardır (Çizelge 6.1). Solar yollara gelen güneş ışınlarından doğrudan elektrik üretiminin sağlanması sonucunda üretilecek elektrik enerjisi miktarı hesabı takiben verilen denklemlerle elde edilir.

**Çizelge 6.1:** Kullanılacak solar panelin özellikleri [54].

| | |
|---|---|
| Maksimum Panel Gücü | 250W |
| Maksimum Panel Gücünün Tolerans Aralığı | ±%5 |
| Solar Hücrelerin Türü | Çok Kristalli Silikon |
| Solar Panelin Boyutu (Uzunluk x Genişlik x Yükseklik) | 1,644 x 0,972 x 0,05 m |

Bu araştırma sırasında maksimum gücü 250 W olan Windsor marka solar panellerin kullanıldığı düşünülmüştür. Bu panellerin özellikleri yukarıdaki tabloda belirtilmiştir. Bu solar panellerin boyutları 1,644 x 0,972 x 0,05 m'dir. Öncelikle 1 $m^2$ solar panelin ne kadar panel gücüne sahip olduğunu tespit etmemiz gereklidir. Denklem 6.1' de 1 m²'' lik panelin gücünün, maksimum panel gücünün panelin enine ve uzunluğuna oranıyla elde edildiği ifade edilmiştir.

$$1\,m^2\text{lik panel için panel gücü} = \frac{maksimum\ panel\ g\ddot{u}c\ddot{u}}{en \times uzunluk} \tag{6.1a}$$

$$1\,m^2\text{lik panel için panel gücü} = \frac{250}{1{,}644 \times 0{,}972} = 156{,}45\ W \tag{6.1b}$$

Solar yolda elektrik enerjisi üretimi hesabı için 1 km'lik şehirlerarası bölünmemiş bir şeritli yol kullanıldığı ifade edilmişti. Şehirlerarası bölünmemiş bir şeritli yolun genişliği 3,30 m'dir. Denklem 6.2'de kWsa biriminde elektrik enerjisinin üretim miktarının hesabı gösterilmiştir.

$$Yolun\ Uzunluğu\ (m) \times Yolun\ Genişliği(m) \times\ Panel\ Gücü\ (W) \times \times\ Güneşlenme\ Süresi\ (sa) = Üretilen\ Elektrik\ Enerjisi\ \text{(kWsa)} \quad (6.2)$$

Örneğin güneşlenme süresi en yüksek olan Hakkari ili baz alındığı zaman;

Yolun uzunluğu = 1000 m

Yolun genişliği = 3,30 m

Panel gücü = 156,45 W

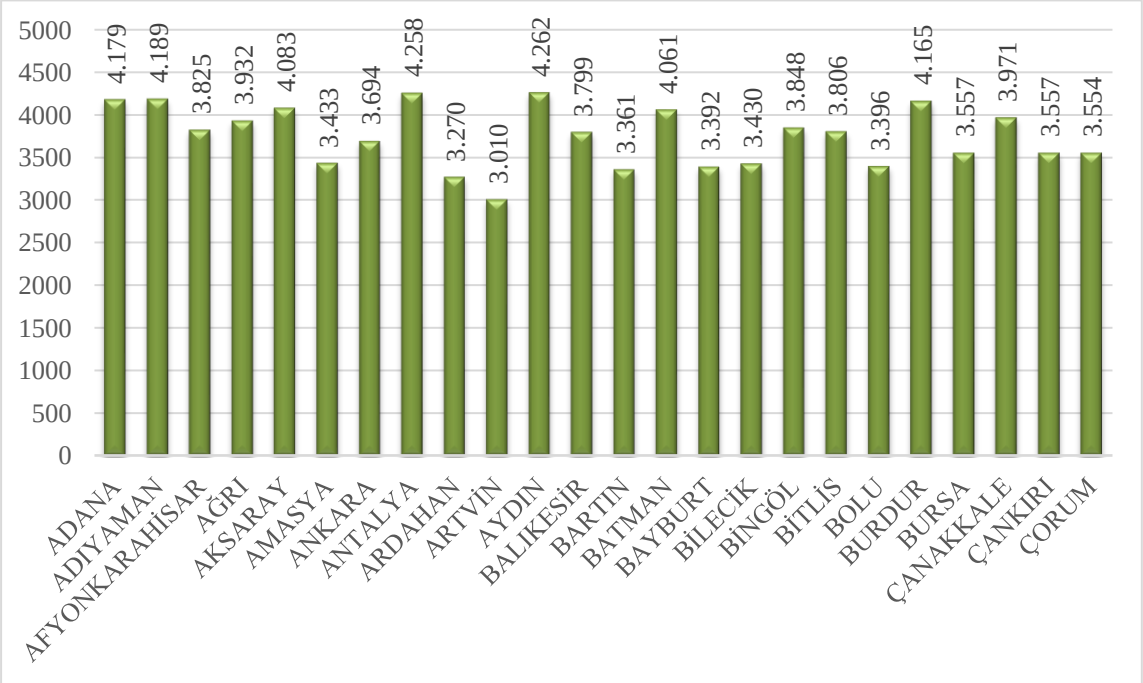
Güneşlenme süresi = 9,62 sa

1 km'lik bir solar yoldan;

$1000 \times 3{,}30 \times 156{,}45 \times 9{,}62 = 4966{,}66\ kWsa$ elektrik enerjisi üretilmiş olunacaktır.

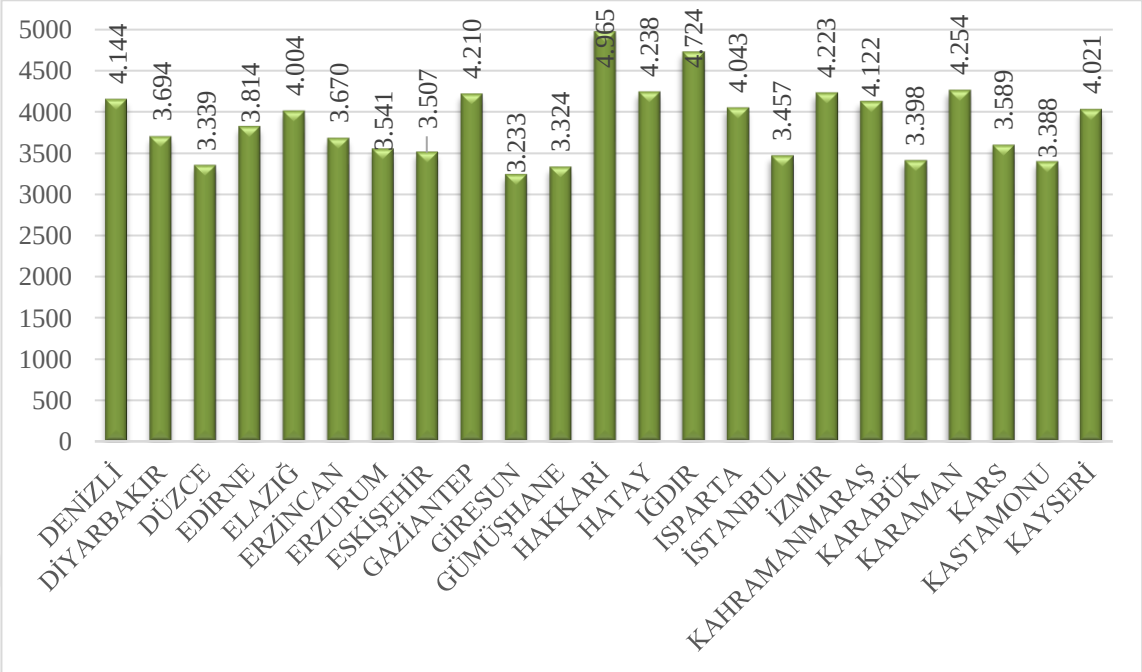
Türkiye'de bulunan 81 ilin hepsinin, 1985 ve 2006 yılları arasındaki ortalama güneşlenme süreleri kullanılarak hesaplanan üretilen elektrik enerjisi miktarlarına Ek A.1'de detaylı olarak yer verilmiştir.

Şekil 6.6' da görüldüğü üzere Adana, Adıyaman, Antalya, Aydın, Burdur illeri güneşlenme süresiyle de doğru orantılı olarak yüksek elektrik üretimi değerine sahiptir.



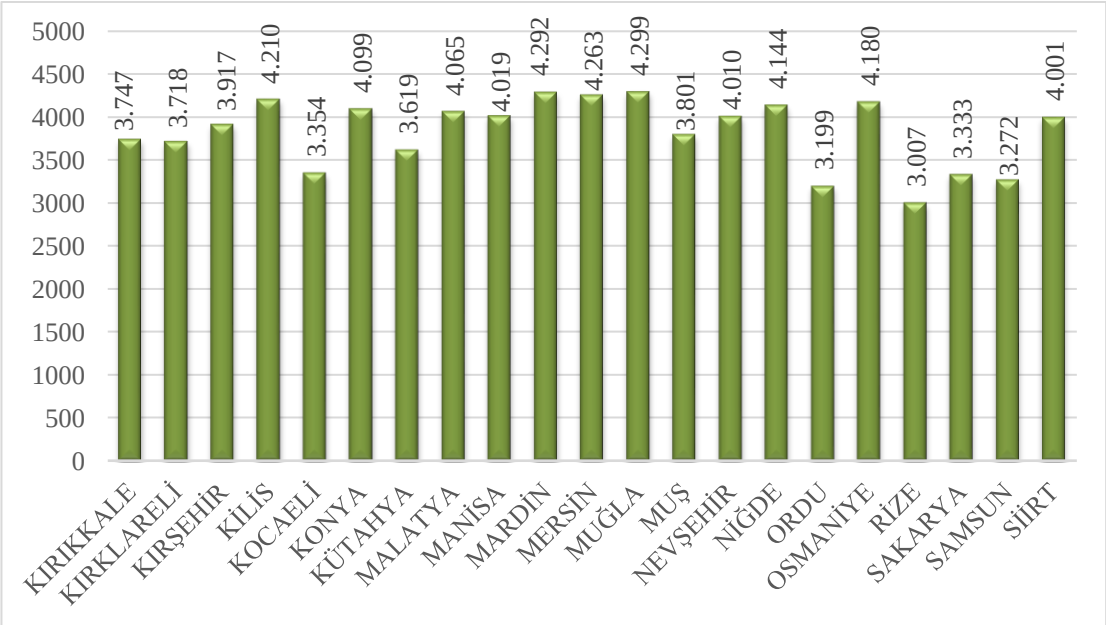

**Şekil 6.6:** Solar yollardan üretilen elektrik enerjisi Türkiye il grafiği-1 (kWsa).

Şekil 6.7' de görüldüğü üzere Denizli, Gaziantep, Hakkari, Iğdır, İzmir, Karaman illeri güneşlenme süresiyle de doğru orantılı olarak yüksek elektrik üretimi değerine sahiptir.



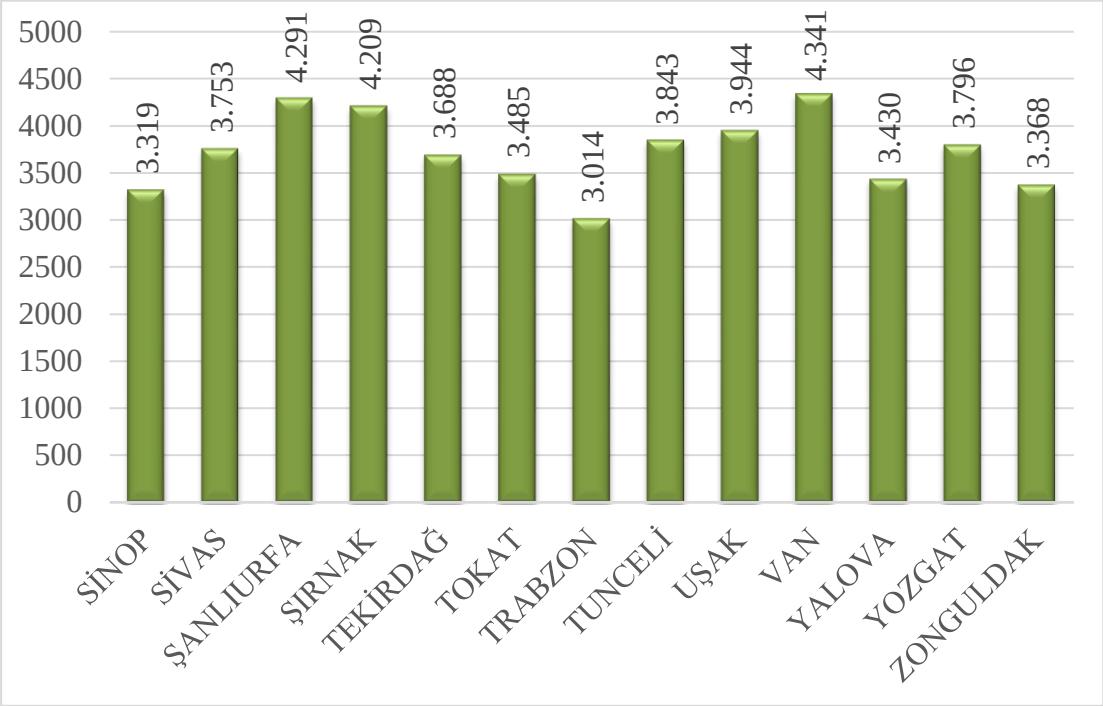

**Şekil 6.7:** Solar yollardan üretilen elektrik enerjisi Türkiye il grafiği-2 (kWsa).

Şekil 6.8'de görüldüğü üzere Kilis, Mardin, Mersin, Muğla, Niğde, Osmaniye illeri güneşlenme süresiyle de doğru orantılı olarak yüksek elektrik üretimi değerine sahiptir.



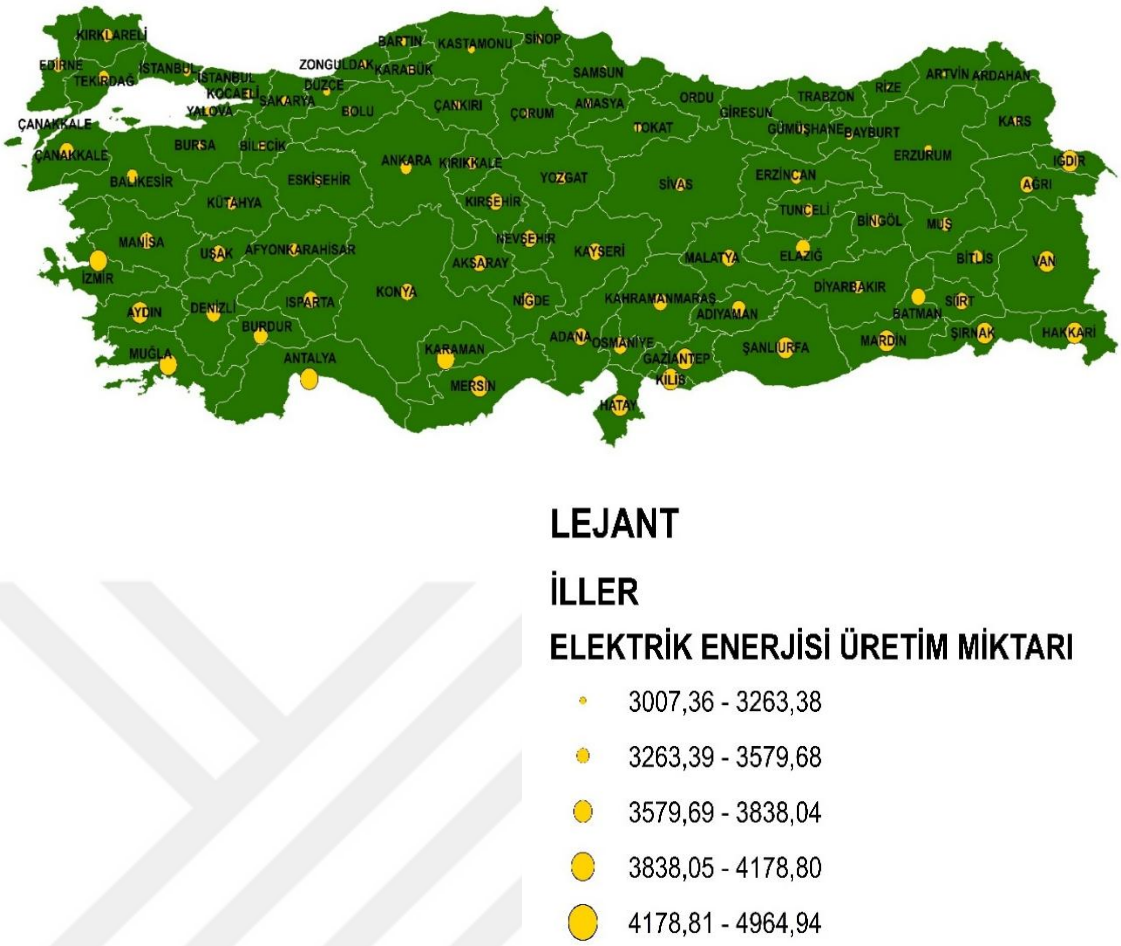

**Şekil 6.8:** Solar yollardan üretilen elektrik enerjisi Türkiye il grafiği-3 (kWsa).

Şekil 6.9’ da görüldüğü üzere Şanlıurfa, Şırnak, Van illeri yüksek ortalama güneşlenme süresi değerine sahiptir.




**Şekil 6.9:** Solar yollardan üretilen elektrik enerjisi Türkiye il grafiği-4 (kWsa).

Daha önceki bölümlerde üretilen elektrik enerjisi hesabında güneşlenme süresi kullanılmıştı. Bu da üretilecek enerji miktarının güneşlenme süresi ile doğru orantılı olacağının göstergesidir. Bu nedenle Şekil 6.5’te verilen harita ile aynı yorumlar yapılabilir ve geçerlidir. Bu iki haritadaki tek fark Şekil 6.5’ teki güneşlenme süresi bilgisini içerirken, Şekil 6.10’daki harita ise 1 km’lik bir şehirlerarası bölünmemiş tek şeritli bir solar yol için üretilebilecek elektrik enerjisi miktarlarına ait verileri 81 il için içermektedir.




**Şekil 6.10:** Solar yollardan üretilen elektrik enerjisinin Türkiye illerine göre dağılım.

### 6.1.3 Solar yolların illere göre verimliliği

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından başlangıçta 81 il genelinde en yüksek ve en düşük olan iller üzerinde çalışma yapılmış olup, daha sonrasında her yedi bölge için en yüksek ve en düşük güneşlenme süresi ve elektrik enerjisi üretimi olan iller üzerinde maliyet çalışmalarına detaylı olarak yer verilmiştir. Üzerinde çalışmalar yapılan her il için solar yolların inşasının yapıldığı alanda yer alan ticarethane ve meskenlerin yüzdeleri Çizelge 6.2'de çalışmalar detaylandırılmıştır.

**Çizelge 6.2:** Yapılaşma yüzdeleri.

| Mesken | Ticarethane |
|---|---|
| 0% | 100% |
| 25% | 75% |
| 50% | 50% |
| 75% | 25% |
| 100% | 0% |

Çünkü açığa çıkacak olan yol inşa ve bakım maliyetlerinin üretilen elektrik enerjisinin yol etrafında yer alan mahallere dağıtılması ve o mahaller tarafından kullanılması sonucu elde edilecek kazanç açısından kıyaslama yapılacaktır. Mahallerin mesken ya da ticarethane olması elde edilecek kazanç miktarında değişikliğe sebep olacağından her ihtimal değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu kıyaslama, fizibilite çalışması sonucunda solar yolun yapılacak olan alanda yapılmasının uygun olup olmadığını karar verilecektir. Tüm iller için bu ihtimallerin hepsi değerlendirmeye alınmış olup Çizelge 6.2'de detaylı olarak yer verilmiştir.

İlk olarak en yüksek güneşlenme süresine ve elektrik enerjisi üretim miktarına sahip olan ilimiz Hakkari'ye ve ardından en düşük güneşlenme süresine ve elektrik enerjisi üretim miktarına sahip olan ilimiz Rize'ye yer verilmiştir.

1. Bölge olan Hakkari için;

$$Yıllık\ Enerji\ Üretim\ \ Miktarı\ (kWsa) = Günlük\ Enerji\ Üretim\ Miktarı\ (kWsa/gün) \times \times Yıldaki\ Gün\ Sayısı \times Verim\ Oranı \quad (6.3a)$$

Denklem 6.3'teki yıllık enerji üretim miktarı daha önceki çalışmada her il için elde edilen günlük enerji miktarı verileri, maksimum panel gücü dikkate alınarak değerlendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Panelin maksimum güç ile çalışmadığı varsayılarak elde edilmiş olan günlük enerji üretim miktarları üzerinden %10'luk bir enerji kaybı uygulanarak çalışmalara devam edilmiştir.

$$Yıllık\ Enerji\ Üretim\ \ Miktarı = 4.964{,}94 \times 365 \times 0{,}90 = 1.630.983{,}04\ \ kWsa \quad (6.3b)$$

Yapım (inşa) ve bakım toplam maliyeti m² başına 48 $'dır [20]. (6.4a)

$$1\ km'deki\ Yüzey\ Alanı\ (m^2) = Yol\ Uzunuğu\ (m) \times Yol\ Genişliği\ (m)$$

Bu çalışmada üretilene elektrik enerjisi miktarı 1 km uzunlukta 3,30 m genişliğindeki şehirlerarası bölünmemiş bir şeritli yol için yapılmıştır (denklem 6.4).

$$1\ km'deki\ Yüzey\ Alanı = 1000 \times 3{,}30 = 3300\ m^2 \quad (6.4b)$$

Denklem 6.5'te solar yolun toplam yapım ve bakım maliyeti hesaplanmıştır.

$$Toplam\ Maliyet = 1\ km'deki\ Yüzey\ Alanı\ (m^2) \times \times Toplam\ Birim\ Maliyet\ (\$/m^2) \quad (6.5a)$$

$$Toplam\ Maliyet = 3300 \times 48 = 158.400{,}00\ \$ \quad (6.5b)$$

Denklem 6.5'te elde edilen toplam maliyet $ idi. Toplam maliyetin denklem 6.6'da dolardan Türk lirasına dönüşümü sağlandı.

$$Toplam\ Maliyet\ (TL) = Dolar\ Kuru \times Toplam\ Maliyet(\$) \quad (6.6a)$$

$$Toplam\ Maliyet\ (TL) = 6{,}06 \times 158.400{,}00 = 959.904{,}00\ TL \quad (6.6b)$$

- 1.630.983,04 $kWsa$'in %100'ünün de meskenlerde kullanılacağı düşünülürse;

Üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanç denklem 6.7'de verilmiştir.

$$Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazanç\ (TL) = = Yıllık\ Enerji\ Üretim\ Miktarı\ (kWsa)x\ xMeskenlerdeki\ Birim\ Elektriğin\ Vergiler\ Dahil\ Fiyatı\ (TL/kWsa)) \quad (6.7a)$$

Meskenlerdeki birim elektriğin vergiler ve dağıtım dahil fiyatı 0,7102 TL'dir [55].

$$Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazanç\ (TL) = 1.630.983{,}04 \times 0{,}7102 = 1.158.324{,}15\ TL \quad (6.7b)$$

Solar yol uygulamasının verimliliği denklem 6.8'de hesaplanmıştır.

$$Solar\ Yol\ Uygulamasının\ Verimliliği = \frac{Üretilen\ Elektrik\ E.K.\ Elde\ Edilen\ Kazanç - Toplam\ Maliyet}{Üretilen\ Elektrik\ E.K.\ Elde\ Edilen\ Kazanç} \quad (6.8a)$$

$$= \frac{1.158.324{,}15 - 959.904{,}00}{1.158.324{,}15} = 17\% \quad (6.8b)$$

- 1.630.983,04 $kWsa$'in %75'inin meskenlerde, %25'inin ise ticarethanelerde kullanılacağı düşünülürse;

Meskenlerde kullanılan elektrik enerjisinin miktarı denklem 6.9'da verilmiştir.

Meskenlerde;

$$Meskenlerde\ Kullanılan\ Enerji\ Miktarı\ (kWsa) = \quad (6.9)$$
$$Yıllık\ Enerji\ Üretim\ Miktarı\ (kWsa) \times Yüzdesi = 1.630.983{,}04 \times 0{,}75 = 1.223.237{,}28\ kWsa$$

Üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanç denklem 6.10'da verilmiştir.

$$Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazanç\ (TL) = Meskenlerde\ Kullanılan\ Enerji\ Miktarı\ (kWsa) \quad (6.10a)$$
$$\times Meskenlerdeki\ Birim\ Elektriğin\ Vergiler\ Dahil\ Fiyatı\ (TL/kWsa)$$

Meskenlerdeki birim elektriğin vergiler ve dağıtım dahil fiyatı 0,7102 TL'dir [55].

$$Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazanç\ (TL) = 1.223.237{,}28 \times 0{,}7102 = 868.743{,}11\ TL \quad (6.10b)$$

Ticarethanelerde kullanılan elektrik enerjisinin miktarı denklem 6.11'de verilmiştir.

Ticarethanelerde;

$$Ticarethanelerde\ Kullanılan\ Enerji\ Miktarı\ (kWsa) = \quad (6.11)$$
$$Yıllık\ Enerji\ Üretim\ Miktarı\ (kWsa) \times Yüzdesi = 1.630.983{,}04 \times 0{,}25 = 407.745{,}76\ kWsa$$

Üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanç denklem 6.12'de verilmiştir.

$$Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazanç\ (TL) = Ticarethanelerde\ Kullanılan\ Enerji\ Miktarı\ (kWsa) \times \quad (6.12a)$$
$$Ticarethanelerde\ Birim\ Elektriğin\ Vergiler\ Dahil\ Fiyatı\ (TL/kWsa)$$

Ticarethanelerdeki birim elektriğin vergiler ve dağıtım dahil fiyatı 0,9445 TL'dir [55].

$$Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazanç\ (TL) = 407.745{,}76 \times 0{,}9445 = 385.115{,}87\ TL \quad (6.12b)$$

Denklem 6.13'te toplam üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanca yer verilmiştir.

$$\begin{aligned} &Toplam\ \text{Üretilen Elektrik Enerjisinin Kullanılmasından Elde Edilen Kazaç} \\ &= Meskenlerden\ Elde\ Edilen\ Kazanç \\ &+ Ticarethanelerden\ Elde\ Edilen\ Kazanç \\ &= 868.743{,}11 + 385.115{,}87 = \ 1.253.858{,}98\ TL \end{aligned} \tag{6.13}$$

Solar yol uygulamasının verimliliği denklem 6.14'te hesaplanmıştır.

$$Solar\ Yol\ Uygulamasının\ Verimliliği \tag{6.14a}$$

$$= \frac{Toplam\ \text{Üretilen Elektrik}\ E.K.\ Elde\ Edilen\ Kazanç - Toplam\ Maliyet}{Toplam\ \text{Üretilen Elektrik}\ E.K.\ Elde\ Edilen\ Kazanç}$$

$$= \frac{1.253.858{,}98\ \ - 959.904{,}00}{1.253.858{,}98} = 23\% \tag{6.14b}$$

- 1.630.983,04 $kWsa$'in %50'sinin meskenlerde, %50'sinin ise ticarethanelerde kullanılacağı düşünülürse;

Meskenlerde kullanılan elektrik enerjisinin miktarı denklem 6.15'de verilmiştir.

Meskenlerde;

$$Meskenlerde\ Kullanılan\ Enerji\ Miktarı\ (kWsa) = \tag{6.15}$$

$$Yıllık\ Enerji\ \text{Üretim Miktarı}\ (kWsa) \times Yüzdesi = 1.630.983{,}04 \times 0{,}50 = 815.491{,}52\ kWsa$$

Üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanç denklem 6.16'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} &\text{Üretilen Elektrik Enerjisinin Kullanılmasından Elde Edilen Kazanç}\ (TL) \\ &= Meskenlerde\ Kullanılan\ Enerji\ Miktarı\ (kWsa) \\ &\times Meskenlerdeki\ Birim\ Elektriğin\ Vergiler\ Dahil\ Fiyatı\ (TL/kWsa) \end{aligned} \tag{6.16a}$$

Meskenlerdeki birim elektriğin vergiler ve dağıtım dahil fiyatı 0,7102 TL'dir [55].

$$\begin{aligned} &\text{Üretilen Elektrik Enerjisinin Kullanılmasından Elde Edilen Kazanç}\ (TL) \\ &= \ 815.491{,}52 \times 0{,}7102 = \ \ 579.162{,}08\ TL \end{aligned} \tag{6.16b}$$

Ticarethanelerde kullanılan elektrik enerjisinin miktarı denklem 6.17'de verilmiştir.

Ticarethanelerde;

$$Ticarethanelerde\ Kullanılan\ Enerji\ Miktarı\ (kWsa) = \quad (6.17)$$

$$Yıllık\ Enerji\ Üretim\ Miktarı\ (kWsa) \times Yüzdesi = 1.630.983{,}04 \times 0{,}50 = 815.491{,}52\ kWsa$$

Üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanç denklem 6.18'de verilmiştir.

$$Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazanç\ (TL) = Ticarethanelerde\ Kullanılan\ Enerji\ Miktarı\ (kWsa) \times Ticarethanelerde\ Birim\ Elektriğin\ Vergiler\ Dahil\ Fiyatı\ (TL/kWsa) \quad (6.18a)$$

Ticarethanelerdeki birim elektriğin vergiler ve dağıtım dahil fiyatı 0,9445 TL'dir [55].

$$Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazanç\ (TL) = 815.491{,}52 \times 0{,}9445 = 770.231{,}74\ TL \quad (6.18b)$$

Denklem 6.19'da toplam üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanca yer verilmiştir.

$$\begin{aligned} Toplam\ Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazaç &= Meskenlerden\ Elde\ Edilen\ Kazanç \\ &+ Ticarethanelerden\ Elde\ Edilen\ Kazanç \\ &= 579.162{,}08 + 770.231{,}74 = 1.349.393{,}82\ TL \end{aligned} \quad (6.19)$$

Solar yol uygulamasının verimliliği denklem 6.20'de hesaplanmıştır.

$$Solar\ Yol\ Uygulamasının\ Verimliliği \quad (6.20a)$$

$$= \frac{Toplam\ Üretilen\ Elektrik\ E.K.\ Elde\ Edilen\ Kazanç - Toplam\ Maliyet}{Toplam\ Üretilen\ Elektrik\ E.K.\ Elde\ Edilen\ Kazanç}$$

$$= \frac{1.349.393{,}82 - 959.904{,}00}{1.349.393{,}82} = 29\% \quad (6.20b)$$

- 1.630.983,04 $kWsa$'in %25'inin meskenlerde, %75'inin ise ticarethanelerde kullanılacağı düşünülürse;

Meskenlerde kullanılan elektrik enerjisinin miktarı denklem 6.21'de verilmiştir.

Meskenlerde;

$$Meskenlerde\ Kullanılan\ Enerji\ Miktarı\ (kWsa) = \quad (6.21)$$

$$Yıllık\ Enerji\ Üretim\ Miktarı\ (kWsa) \times Yüzdesi = 1.630.983{,}04 \times 0{,}25 = 407.745{,}76\ kWsa$$

Üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanç denklem 6.22'de verilmiştir.

$$\text{Üretilen Elektrik Enerjisinin Kullanılmasından Elde Edilen Kazanç } (TL) = \text{Meskenlerde Kullanılan Enerji Miktarı } (kWsa) \times \text{Meskenlerdeki Birim Elektriğin Vergiler Dahil Fiyatı } (TL/kWsa) \quad (6.22a)$$

Meskenlerdeki birim elektriğin vergiler ve dağıtım dahil fiyatı 0,7102 TL'dir [55].

$$\text{Üretilen Elektrik Enerjisinin Kullanılmasından Elde Edilen Kazanç } (TL) = 407.745{,}76 \times 0{,}7102 = 289.581{,}04\ TL \quad (6.22b)$$

Ticarethanelerde kullanılan elektrik enerjisinin miktarı denklem 6.23'te verilmiştir.

Ticarethanelerde;

$$\text{Ticarethanelerde Kullanılan Enerji Miktarı } (kWsa) = \text{Yıllık Enerji Üretim Miktarı } (kWsa) \times \text{Yüzdesi} = 1.630.983{,}04 \times 0{,}75 = 1.223.237{,}28\ kWsa \quad (6.23)$$

Üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanç denklem 6.24'te verilmiştir.

$$\text{Üretilen Elektrik Enerjisinin Kullanılmasından Elde Edilen Kazanç } (TL) = \text{Ticarethanelerde Kullanılan Enerji Miktarı } (kWsa) \times \text{Ticarethanelerde Birim Elektriğin Vergiler Dahil Fiyatı } (TL/kWsa) \quad (6.24a)$$

Ticarethanelerdeki birim elektriğin vergiler ve dağıtım dahil fiyatı 0,9445 TL'dir [55].

$$\text{Üretilen Elektrik Enerjisinin Kullanılmasından Elde Edilen Kazanç } (TL) = 1.223.237{,}28 \times 0{,}9445 = 1.155.347{,}61\ TL \quad (6.24b)$$

Denklem 6.25'te toplam üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanca yer verilmiştir.

$$\begin{aligned}\text{Toplam Üretilen Elektrik Enerjisinin Kullanılmasından Elde Edilen Kazaç} &= \text{Meskenlerden Elde Edilen Kazanç} \\ &+ \text{Ticarethanelerden Elde Edilen Kazanç} \\ &= 289.581{,}04 + 1.155.347{,}61 = 1.444.928{,}65\ TL\end{aligned} \quad (6.25)$$

Solar yol uygulamasının verimliliği denklem 6.26'da hesaplanmıştır.

$$Solar\ Yol\ Uygulamasının\ Verimliliği \quad (6.26a)$$

$$= \frac{Toplam\ Üretilen\ Elektrik\ E.K.Elde\ Edilen\ Kazanç - Toplam\ Maliyet}{Toplam\ Üretilen\ Elektrik\ E.K.Elde\ Edilen\ Kazanç}$$

$$= \frac{1.444.928{,}65 - 959.904{,}00}{1.444.928{,}65} = 34\% \quad (6.26b)$$

- 1.630.983,04 $kWsa$'in %100'ünün de ticarethanelerde kullanılacağı düşünülürse;

Üretilen elektrik enerjisinin kullanılmasından elde edilen kazanç denklem 6.27'de verilmiştir.

Ticarethanelerde;

$$Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazanç\ (TL) = Ticarethanelerde\ Kullanılan\ Enerji\ Miktarı\ (kWsa) \times Ticarethanelerde\ Birim\ Elektriğin\ Vergiler\ Dahil\ Fiyatı\ (TL/kWsa) \quad (6.27a)$$

Ticarethanelerdeki birim elektriğin vergiler ve dağıtım dahil fiyatı 0,9445 TL'dir [55].

$$Üretilen\ Elektrik\ Enerjisinin\ Kullanılmasından\ Elde\ Edilen\ Kazanç\ (TL) = 1.630.983{,}04 \times 0{,}9445 = 1.540.463{,}48\ TL \quad (6.27b)$$

Solar yol uygulamasının verimliliği denklem 6.28'de hesaplanmıştır.

$$Solar\ Yol\ Uygulamasının\ Verimliliği \quad (6.28a)$$

$$= \frac{Üretilen\ Elektrik\ E.K.Elde\ Edilen\ Kazanç - Toplam\ Maliyet}{Üretilen\ Elektrik\ E.K.Elde\ Edilen\ Kazanç}$$

$$= \frac{1.540.463{,}48 - 959.904{,}00}{1.540.463{,}48} = 38\% \quad (6.28b)$$

Çizelge 6.3'te Hakkari için elde edilen sonuçlar gösterilerek yapılaşma durumlarına göre verim değerleri ifade edilmiştir.

**Çizelge 6.3:** 1. Bölge olan Hakkari için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 1.630.983,04 | 0,00 | 1.158.324,15 | 0,00 | 1.158.324,15 | 17,00 |
| %75 M. %25 T. | 1.223.237,28 | 407.745,76 | 868.743,11 | 385.115,87 | 1.253.858,98 | 23,00 |
| %50 M. %50 T. | 815.491,52 | 815.491,52 | 579.162,08 | 770.231,74 | 1.349.393,82 | 29,00 |
| %25 M. %75 T. | 407.745,76 | 1.223.237,28 | 289.581,04 | 1.155.347,61 | 1.444.928,65 | 34,00 |
| %0 M. %100 T. | 0,00 | 1.630.983,04 | 0,00 | 1.540.463,48 | 1.540.463,48 | 38,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından en yüksek değerlere sahip olan Hakkari ilinde solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane ya da mesken de olsa solar yollardan pozitif bir verim elde edilecektir. Solar yolun etrafında hangi mahallerin olduğu sadece verimin artmasını ya da azalmasını belirleyecektir. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunsa daha yüksek verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır. Çizelge 6.4'te 11. Bölgedeki verimlilik oranları gösterilmiştir.

**Çizelge 6.4:** 11. Bölge olan Rize için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 987.917,80 | - | 701.619,22 | - | 701.619,22 | -37,00 |
| %75 M. %25 T. | 740.938,35 | 246.979,45 | 526.214,42 | 233.272,09 | 759.486,51 | -26,00 |
| %50 M. %50 T. | 493.958,90 | 493.958,90 | 350.809,61 | 466.544,18 | 817.353,79 | -17,00 |
| %25 M. %75 T. | 246.979,45 | 740.938,35 | 175.404,81 | 699.816,27 | 875.221,08 | -10,00 |
| %0 M. %100 T. | - | 987.917,80 | - | 933.088,36 | 933.088,36 | -3,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından en düşük değerlere sahip olan Rize ilinde solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane ya

da mesken de olsa solar yollardan negatif bir verim elde edilecektir. Solar yolun etrafında hangi mahallerin olduğu sadece verimin artmasını ya da azalmasını belirleyecektir. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunsa daha yüksek bir negatif verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır. Güneşlenme süresi, buna bağlı olarak üretilecek enerji miktarına ve de yapım ve bakım maliyetinin üretilen elektrik enerjisinin tüketim fiyatıyla kıyaslanıp elde edilecek kazanç miktarı dikkate alındığında Rize ilinde solar yolların uygulanması istenilen sonucu vermeyeceğinden, Rize solar yolların yapılmasına uygun bir il değildir sonucunu çıkarmak mümkündür. Hakkari ilinden hemen sonra gelen 2. Bölge olan Iğdır için hesaplanan verim oranları Çizelge 6.5'te verilmiştir.

**Çizelge 6.5:** 2. Bölge olan Iğdır için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 1.551.695,21 | 0,00 | 1.102.013,94 | 0,00 | 1.102.013,94 | 13,00 |
| %75 M. %25 T. | 1.163.771,41 | 387.923,80 | 826.510,46 | 366.394,03 | 1.192.904,49 | 20,00 |
| %50 M. %50 T. | 775.847,61 | 775.847,61 | 551.006,97 | 732.788,06 | 1.283.795,03 | 25,00 |
| %25 M. %75 T. | 387.923,80 | 1.163.771,41 | 275.503,49 | 1.099.182,10 | 1.374.685,58 | 30,00 |
| %0 M. %100 T. | 0,00 | 1.551.695,21 | 0,00 | 1.465.576,13 | 1.465.576,13 | 35,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından en yüksek değerlere sahip olan Iğdır ilinde solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane ya da mesken de olsa solar yollardan pozitif bir verim elde edilecektir. Solar yolun etrafında hangi mahallerin olduğu sadece verimin artmasını ya da azalmasını belirleyecektir. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunsa daha yüksek verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır.

3. Bölge için (Van, Muğla, Mardin, Şanlıurfa, Mersin, Aydın, Antalya, Karaman, Hatay, İzmir, Gaziantep, Kilis, Şırnak, Adıyaman, Osmaniye, Adana, Burdur) (%12-9) Çizelge 6.6' da verimlilikler gösterilmiştir.

**Çizelge 6.6:** 3. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 1.392.471,10 | 0,00 | 988.932,97 | 0,00 | 988.932,97 | 3,00 |
| %75 M. %25 T. | 1.044.353,32 | 348.117,77 | 741.699,73 | 328.797,24 | 1.070.496,97 | 10,00 |
| %50 M. %50 T. | 696.235,55 | 696.235,55 | 494.466,49 | 657.594,48 | 1.152.060,96 | 17,00 |
| %25 M. %75 T. | 348.117,77 | 1.044.353,32 | 247.233,24 | 986.391,71 | 1.233.624,96 | 22,00 |
| %0 M. %100 T. | 0,00 | 1.392.471,10 | 0,00 | 1.315.188,95 | 1.315.188,95 | 27,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından 3. bölgede yer alan Van, Muğla, Mardin, Şanlıurfa, Mersin, Aydın, Antalya, Karaman, Hatay, İzmir, Gaziantep, Kilis, Şırnak, Adıyaman, Osmaniye, Adana, Burdur illeri için solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane ya da mesken de olsa solar yollardan pozitif bir verim elde edilecektir. Solar yolun etrafında hangi mahallerin olduğu sadece verimin artmasını ya da azalmasını belirleyecektir. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunsa daha yüksek verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır.

Çizelge 6.7'de 4. bölge için (Niğde, Denizli, Kahramanmaraş, Konya, Aksaray, Malatya, Batman, Isparta, Kayseri, Manisa, Nevşehir, Elazığ, Siirt) (%8-5) hesaplar gösterilmiştir.

**Çizelge 6.7:** 4. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 1.334.640,31 | 0,00 | 947.861,55 | 0,00 | 947.861,55 | -1,00 |
| %75 M. %25 T. | 1.000.980,23 | 333.660,08 | 710.896,16 | 315.141,94 | 1.026.038,11 | 6,00 |
| %50 M. %50 T. | 667.320,16 | 667.320,16 | 473.930,77 | 630.283,89 | 1.104.214,66 | 13,00 |
| %25 M. %75 T. | 333.660,08 | 1.000.980,23 | 236.965,39 | 945.425,83 | 1.182.391,22 | 19,00 |
| %0 M. %100 T. | 0,00 | 1.334.640,31 | 0,00 | 1.260.567,77 | 1.260.567,77 | 24,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından 4. bölgede yer alan Niğde, Denizli, Kahramanmaraş, Konya, Aksaray, Malatya, Batman, Isparta, Kayseri, Manisa, Nevşehir, Elazığ, Siirt illeri için solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane, %75, %50 ve %25 ticarethane olması durumunda solar yollardan pozitif bir verim elde edilecektir. Fakat solar yolun etrafında %0 ticarethane, %100 mesken olması durumunda solar yollardan negatif bir verim elde edilecektir. Yani eğer bu bölgede yer alan illerde solar yol etrafında sadece meskenler bulunuyor ise solar yol yapmak istenilen sonucu vermeyeceğinden bu durum dikkate alınarak bu illerde solar yol uygulaması yapılmalıdır. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunsa daha yüksek verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır.

5. Bölge için (Çanakkale, Uşak, Ağrı, Kırşehir, Bingöl, Tunceli, Afyonkarahisar) (%4-1) verim hesapları Çizelge 6.8'de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.8:** 5. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 1.280.194,48 | 0,00 | 909.194,12 | 0,00 | 909.194,12 | -6,00 |
| %75 M. %25 T. | 960.145,86 | 320.048,62 | 681.895,59 | 302.285,92 | 984.181,51 | 2,00 |
| %50 M. %50 T. | 640.097,24 | 640.097,24 | 454.597,06 | 604.571,84 | 1.059.168,91 | 9,00 |
| %25 M. %75 T. | 320.048,62 | 960.145,86 | 227.298,53 | 906.857,77 | 1.134.156,30 | 15,00 |
| %0 M. %100 T. | 0,00 | 1.280.194,48 | 0,00 | 1.209.143,69 | 1.209.143,69 | 21,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından 5. bölgede yer alan Çanakkale, Uşak, Ağrı, Kırşehir, Bingöl, Tunceli, Afyonkarahisar illeri için solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane, %75, %50 ve %25 ticarethane olması durumunda solar yollardan pozitif bir verim elde edilecektir. Fakat solar yolun etrafında %0 ticarethane, %100 mesken olması durumunda solar yollardan negatif bir verim elde edilecektir. Yani eğer bu bölgede yer alan illerde solar yol etrafında sadece meskenler bulunuyor ise solar yol yapmak istenilen sonucu vermeyeceğinden bu durum dikkate alınarak bu illerde solar yol uygulaması yapılmalıdır. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunsa daha yüksek verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır.

6. Bölgenin (Edirne, Bitlis, Muş, Balıkesir, Yozgat, Sivas, Kırıkkale, Kırklareli, Ankara, Diyarbakır, Tekirdağ) (%0-(-3)) verimlilik değerleri Çizelge 6.9'da belirtilmiştir.

**Çizelge 6.9:** 6. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 1.233.670,22 | 0,00 | 876.152,59 | 0,00 | 876.152,59 | -10,00 |
| %75 M. %25 T. | 925.252,67 | 308.417,56 | 657.114,44 | 291.300,38 | 948.414,83 | -1,00 |
| %50 M. %50 T. | 616.835,11 | 616.835,11 | 438.076,30 | 582.600,76 | 1.020.677,06 | 6,00 |
| %25 M. %75 T. | 308.417,56 | 925.252,67 | 219.038,15 | 873.901,14 | 1.092.939,29 | 12,00 |
| %0 M. %100 T. | 0,00 | 1.233.670,22 | 0,00 | 1.165.201,53 | 1.165.201,53 | 18,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından 6. bölgede yer alan Edirne, Bitlis, Muş, Balıkesir, Yozgat, Sivas, Kırıkkale, Kırklareli, Ankara, Diyarbakır, Tekirdağ illeri için solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane, %75 ve %50 ticarethane olması durumunda solar yollardan pozitif bir verim elde edilecektir. Fakat solar yolun etrafında %0 ticarethane, %100 mesken olması ve %25 ticarethane, %75 mesken olması durumunda solar yollardan negatif bir verim elde edilecektir. Yani eğer bu bölgede yer alan illerde solar yol etrafında sadece meskenler ya da %75 oranında mesken bulunuyor ise solar yol yapmak istenilen sonucu vermeyeceğinden bu durum dikkate alınarak bu illerde solar yol uygulaması yapılmalıdır. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunsa daha yüksek verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır.

Çizelge 6.10'da 7. bölge için (Erzincan, Kütahya, Kars, Çankırı, Bursa, Çorum, Erzurum) (%(-4)-(-7)) verim hesapları gösterilmiştir.

**Çizelge 6.10:** 7. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 1.177.304,05 | 0,00 | 836.121,33 | 0,00 | 836.121,33 | -15,00 |
| %75 M. %25 T. | 882.978,03 | 294.326,01 | 627.091,00 | 277.990,92 | 905.081,92 | -6,00 |
| %50 M. %50 T. | 588.652,02 | 588.652,02 | 418.060,67 | 555.981,84 | 974.042,50 | 1,00 |
| %25 M. %75 T. | 294.326,01 | 882.978,03 | 209.030,33 | 833.972,75 | 1.043.003,09 | 8,00 |
| %0 M. %100 T. | 0,00 | 1.177.304,05 | 0,00 | 1.111.963,67 | 1.111.963,67 | 14,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından 7. bölgede yer alan Erzincan, Kütahya, Kars, Çankırı, Bursa, Çorum, Erzurum illeri için solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane, %75 ve %50 ticarethane olması durumunda solar yollardan pozitif bir verim elde edilecektir. Fakat solar yolun etrafında %0 ticarethane, %100 mesken olması ve %25 ticarethane, %75 mesken olması durumunda solar yollardan negatif bir verim elde edilecektir. Yani eğer bu bölgede yer alan illerde solar yol etrafında sadece meskenler ya da %75 oranında mesken bulunuyor ise solar yol yapmak istenilen sonucu vermeyeceğinden bu durum dikkate alınarak bu illerde solar yol uygulaması yapılmalıdır. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunsa daha yüksek verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır.

8. Bölge için (Eskişehir, Tokat, İstanbul, Amasya, Bilecik, Yalova) (%(-8)-(-11)) Çizelge 6.11'de hesaplanan verimler gösterilmiştir.

**Çizelge 6.11:** 8. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 1.135.657,92 | 0,00 | 806.544,25 | 0,00 | 806.544,25 | -19,00 |
| %75 M. %25 T. | 851.743,44 | 283.914,48 | 604.908,19 | 268.157,23 | 873.065,41 | -10,00 |
| %50 M. %50 T. | 567.828,96 | 567.828,96 | 403.272,13 | 536.314,45 | 939.586,58 | -2,00 |
| %25 M. %75 T. | 283.914,48 | 851.743,44 | 201.636,06 | 804.471,68 | 1.006.107,74 | 5,00 |
| %0 M. %100 T. | 0,00 | 1.135.657,92 | 0,00 | 1.072.628,90 | 1.072.628,90 | 11,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından 8. bölgede yer alan Eskişehir, Tokat, İstanbul, Amasya, Bilecik, Yalova illeri için solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane ve %75 ticarethane olması durumunda solar yollardan pozitif bir verim elde edilecektir. Fakat solar yolun etrafında %0 ticarethane, %100 mesken olması, %25 ticarethane, %75 mesken olması ve de %50 ticarethane, %50 mesken olması durumunda solar yollardan negatif bir verim elde edilecektir. Yani eğer bu bölgede yer alan illerde solar yol etrafında sadece meskenler, %75 ya da %50 oranında mesken bulunuyor ise solar yol yapmak istenilen sonucu vermeyeceğinden bu durum dikkate alınarak bu illerde solar yol uygulaması yapılmalıdır. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunsa daha yüksek verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır.

9. Bölge için (Karabük, Bolu, Bayburt, Kastamonu, Zonguldak, Bartın, Kocaeli, Düzce, Sakarya, Gümüşhane, Sinop) (%(-12)-(-15)) verimlilik değerleri Çizelge 6.12'de ifade edilmiştir.

**Çizelge 6.12:** 9. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 1.104.183,48 | 0,00 | 784.191,11 | 0,00 | 784.191,11 | -22,00 |
| %75 M. %25 T. | 828.137,61 | 276.045,87 | 588.143,33 | 260.725,32 | 848.868,66 | -13,00 |
| %50 M. %50 T. | 552.091,74 | 552.091,74 | 392.095,55 | 521.450,65 | 913.546,20 | -5,00 |
| %25 M. %75 T. | 276.045,87 | 828.137,61 | 196.047,78 | 782.175,97 | 978.223,75 | 2,00 |
| %0 M. %100 T. | 0,00 | 1.104.183,48 | 0,00 | 1.042.901,30 | 1.042.901,30 | 8,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından 9. bölgede yer alan Karabük, Bolu, Bayburt, Kastamonu, Zonguldak, Bartın, Kocaeli, Düzce, Sakarya, Gümüşhane, Sinop illeri için solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane ve %75 ticarethane olması durumunda solar yollardan pozitif bir verim elde edilecektir. Fakat solar yolun etrafında %0 ticarethane, %100 mesken olması, %25 ticarethane, %75 mesken olması ve de %50 ticarethane, %50 mesken olması durumunda solar yollardan negatif bir verim elde edilecektir. Yani eğer bu bölgede yer alan illerde solar yol etrafında sadece meskenler, %75 ya da %50 oranında mesken bulunuyor ise solar yol yapmak istenilen sonucu vermeyeceğinden bu durum dikkate alınarak bu illerde solar yol uygulaması yapılmalıdır. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunsa daha yüksek verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır.

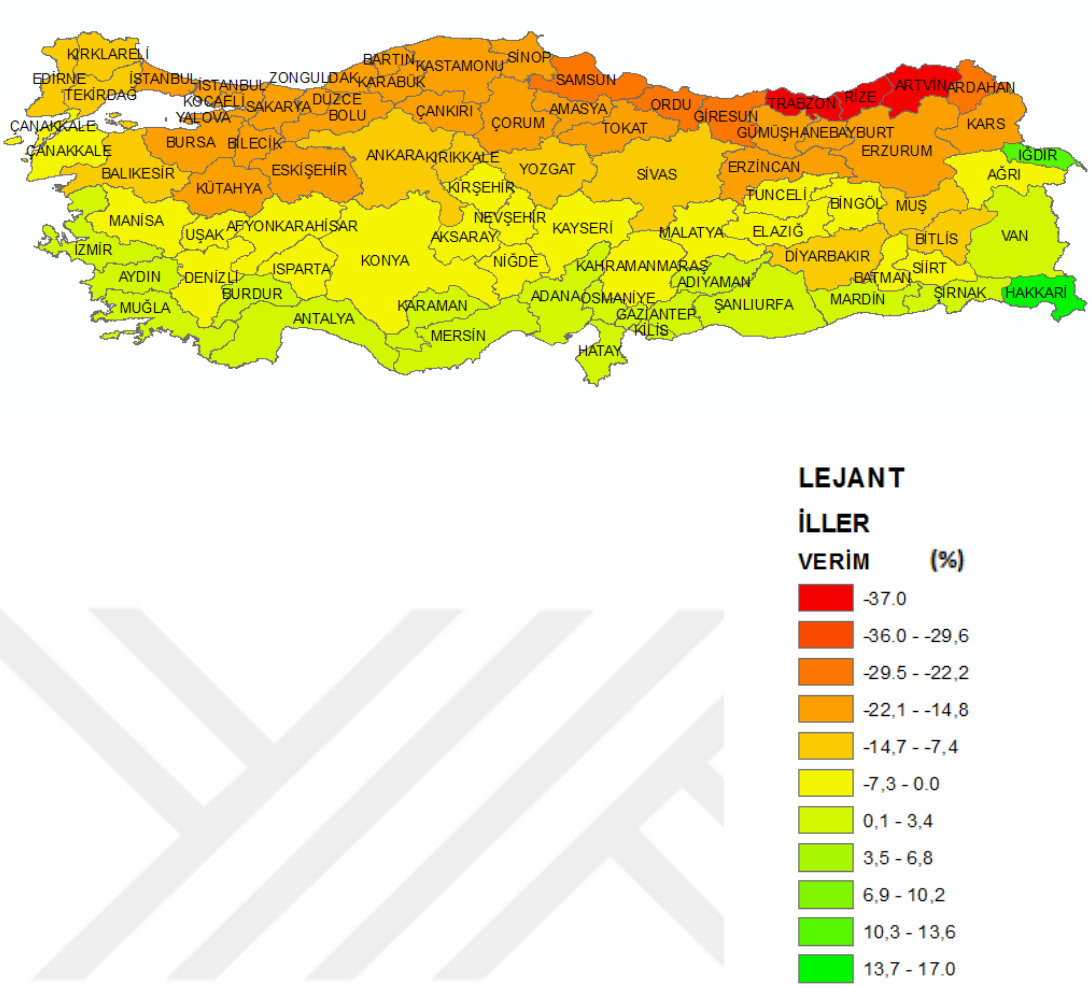
10. Bölge için (Samsun, Ardahan, Giresun, Ordu) (%(-16)-(-19)) Çizelge 6.13'te verimlilikler hesaplanmıştır.

**Çizelge 6.13:** 10. Bölge için tüm koşullardaki verim değerleri.

| Durum | Mesken Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Ticarethane Elektrik Üretim Miktarı (kWsa) | Mesken Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Ticarethane Elektrik Toplam Fiyatı (TL) | Toplam Elektrik Fiyatı (TL) | Verim (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %100 M. %0 T. | 1.065.474,30 | 0,00 | 756.699,84 | 0,00 | 756.699,84 | -27,00 |
| %75 M. %25 T. | 799.105,72 | 266.368,57 | 567.524,88 | 251.585,12 | 819.110,00 | -17,00 |
| %50 M. %50 T. | 532.737,15 | 532.737,15 | 378.349,92 | 503.170,24 | 881.520,16 | -9,00 |
| %25 M. %75 T. | 266.368,57 | 799.105,72 | 189.174,96 | 754.755,35 | 943.930,31 | -2,00 |
| %0 M. %100 T. | 0,00 | 1.065.474,30 | 0,00 | 1.006.340,47 | 1.006.340,47 | 5,00 |

Güneşlenme süresi ve üretilen elektrik enerjisi miktarı açısından 10. bölgede yer alan Samsun, Ardahan, Giresun, Ordu illeri için solar yolun yapılacağı alanın etrafında tamamen ticarethane olması durumunda solar yollardan pozitif bir verim elde edilecektir. Fakat solar yolun etrafında %0 ticarethane, %100 mesken olması, %25 ticarethane, %75 mesken olması, %50 ticarethane, %50 mesken olması ve de %75 ticarethane, %25 mesken olması durumunda solar yollardan negatif bir verim elde edilecektir. Yani eğer bu bölgede yer alan illerde solar yol etrafında sadece meskenler, %75, %50 ya da %25 oranında mesken bulunuyor ise solar yol yapmak istenilen sonucu vermeyeceğinden bu durum dikkate alınarak bu illerde solar yol uygulaması yapılmalıdır. Solar yolun inşa edildiği alanın etrafında sadece ticarethaneler bulunursa yüksek ve pozitif verimle çalışan bir solar yol yapılmış olacaktır.

Şekil 6.11'de yapılaşma oranlarının %100 mesken ve %0 ticarethane olması durumu için solar yolların verimlilik haritası verilmiştir.




**Şekil 6.11:** %100 mesken ve %0 ticarethane olması durumunda solar yolların illere göre verimlilik dağılım haritası.

Çizelge 6.14'te yer alan illerde yapılması planlanan solar yolların etrafında tamamen meskenler dahi bulunsa verimli sonuç alınacaktır. Yani bu en düşük verim edilen durumda bile verimli çıkan bu illerde solar yollar ne koşulda yapılırsa yapılsın verimli bir sonuç alınacaktır. Özellikle Hakkari ve Iğdır illerinde yüksek verim elde edilecekken, geri kalan illerde solar yolların etrafında %100 mesken %0 ticarethane bulunması durumunda düşük bir verim oranı elde edilecektir.

**Çizelge 6.14:** %100 mesken %0 ticarethane için verimliliği pozitif olan iller çizelgesi.

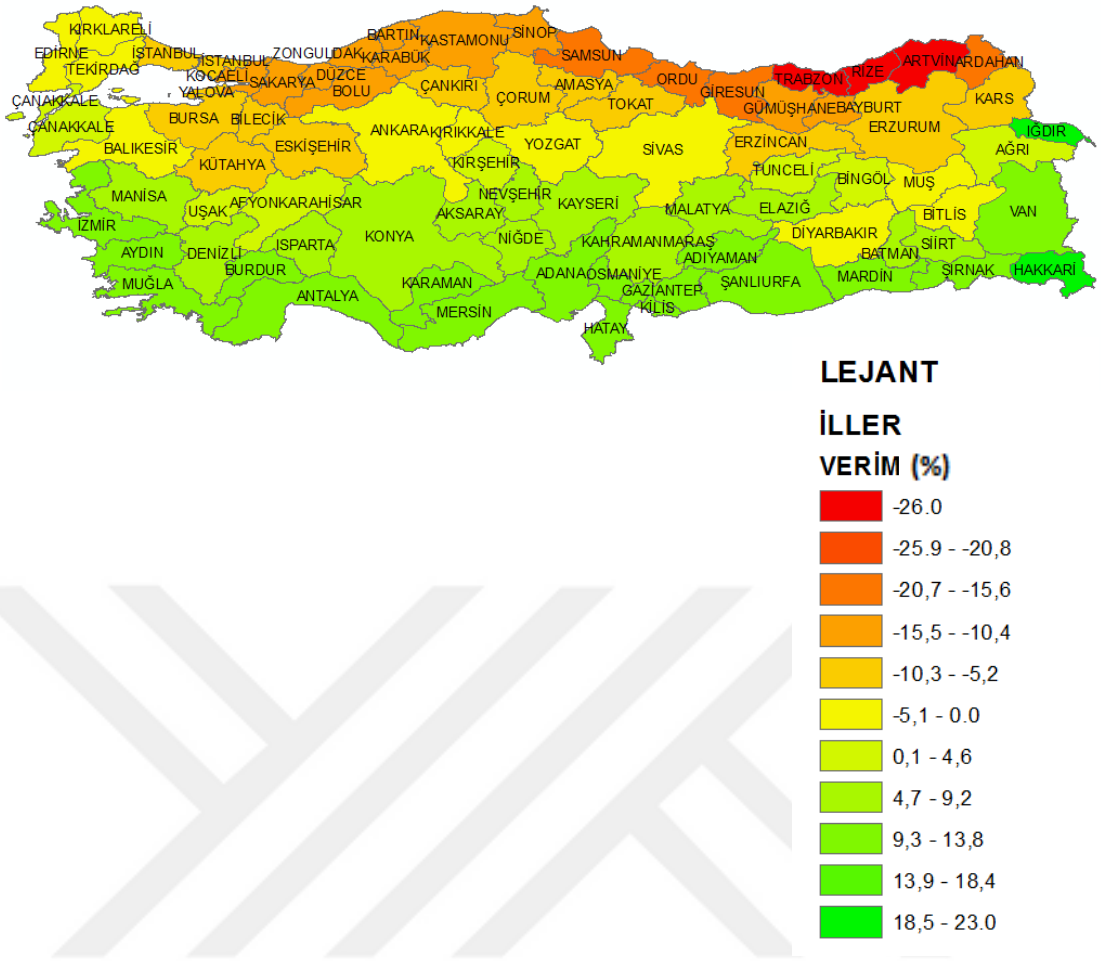
| Verimliliği Pozitif Değer Çıkan İller | | | |
|---|---|---|---|
| İzmir | Aydın | Muğla | Burdur |
| Antalya | Karaman | Mersin | Adana |
| Osmaniye | Hatay | Gaziantep | Kilis |
| Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin | Şırnak |
| Van | Iğdır | Hakkari | |

Çizelge 6.15'te yer alan illerde yapılması planlanan solar yolların etrafında tamamen meskenler bulunması durumunda verimli sonuç alınamayacaktır. Bundan dolayı eğer ki bu çizelgedeki illerden birinde solar yol inşasına karar verilirse ve bu solar yollar etrafında sadece meskenler yer alıyorsa sonuç negatif bir verim olacaktır. Bu nedenle etrafında sadece mesken olması durumunda bu illerde solar yol yapımına karar verilmemelidir. Özellikle de Trabzon, Rize ve Artvin illerinde verimlilik en düşük değerindedir. Buralar solar yolların kesinlikle yapılmaması gereken illerdir.

**Çizelge 6.15:** %100 mesken %0 ticarethane için verimliliği negatif olan iller çizelgesi.

| Verimliliği Negatif Değer Çıkan İller | | | |
|---|---|---|---|
| Çanakkale | Manisa | Uşak | Denizli |
| Afyonkarahisar | Isparta | Konya | Aksaray |
| Kırşehir | Nevşehir | Niğde | Kayseri |
| Kahramanmaraş | Malatya | Elazığ | Tunceli |
| Bingöl | Ağrı | Siirt | Batman |
| Edirne | Kırklareli | Tekirdağ | Balıkesir |
| Ankara | Kırıkkale | Yozgat | Sivas |
| Muş | Diyarbakır | Bitlis | İstanbul |
| Kocaeli | Yalova | Sakarya | Bursa |
| Bilecik | Kütahya | Eskişehir | Bolu |
| Düzce | Zonguldak | Karabük | Bartın |
| Çankırı | Kastamonu | Çorum | Sinop |
| Amasya | Tokat | Erzincan | Gümüşhane |
| Bayburt | Erzurum | Kars | Samsun |
| Ordu | Giresun | Ardahan | Trabzon |
| Rize | Artvin | | |

Şekil 6.12'de yapılaşma oranlarının %75 mesken ve %25 ticarethane olması durumu için solar yolların verimlilik haritası verilmiştir.




**Şekil 6.12:** %75 mesken ve %25 ticarethane olması durumunda solar yolların illere göre verimlilik dağılım haritası.

Çizelge 6.16'da yer alan illerde yapılması planlanan solar yolların etrafında bulunan mahallerin %75'i mesken, %25'i ise ticarethane olursa verimli sonuç alınacaktır. Özellikle bu koşul için de Hakkari ve Iğdır illerinde yüksek verim elde edilecekken, geri kalan illerde özellikle Uşak, Afyonkarahisar, Çanakkale, Kırşehir, Tunceli, Bingöl ve Ağrı illerinde solar yolların etrafında %75 mesken %25 ticarethane bulunması durumunda daha düşük bir verim oranı elde edilecektir.

**Çizelge 6.16:** %75 mesken %25 ticarethane için verimliliği pozitif olan iller çizelgesi.

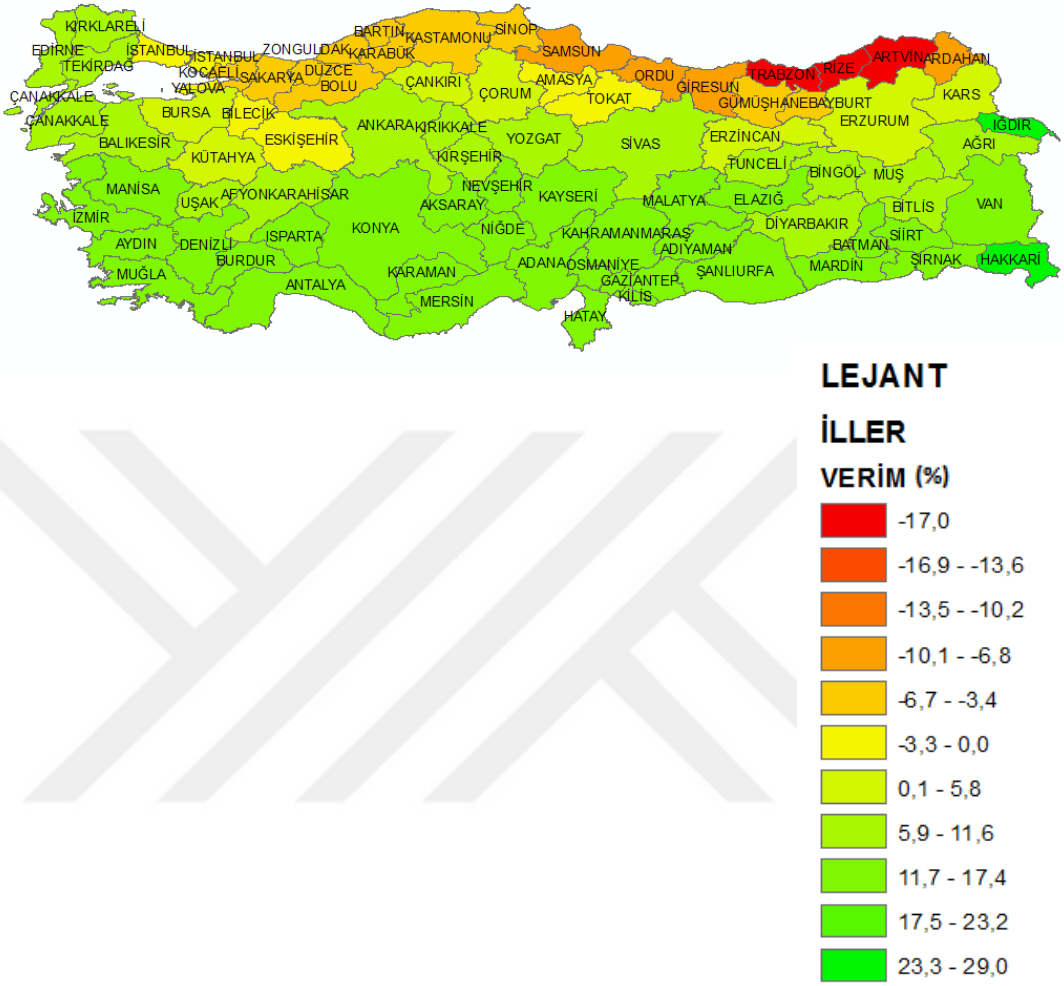
| Verimliliği Pozitif Değer Çıkan İller | | | |
|---|---|---|---|
| İzmir | Aydın | Muğla | Burdur |
| Antalya | Karaman | Mersin | Adana |
| Osmaniye | Gaziantep | Kilis | Hatay |
| Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin | Şırnak |
| Iğdır | Hakkari | Van | Manisa |
| Denizli | Isparta | Konya | Aksaray |
| Nevşehir | Niğde | Kayseri | Kahramanmaraş |
| Malatya | Elazığ | Siirt | Batman |
| Çanakkale | Uşak | Afyonkarahisar | Kırşehir |
| Tunceli | Bingöl | Ağrı | |

Çizelge 6.17'de yer alan illerde yapılması planlanan solar yolların etrafında %75 oranında mesken, %25 oranında ticarethane bulunması durumunda verimli sonuç alınamayacaktır. Bundan dolayı eğer ki bu çizelgedeki illerden birinde solar yol inşasına karar verilirse ve bu solar yollar etrafında %75 oranında mesken ve %25 oranında ticarethane yer alıyorsa sonuç negatif bir verim olacaktır. Bu nedenle etrafında %75 oranında mesken ve %25 oranında ticarethane olması durumunda bu illerde solar yol yapımına karar verilmemelidir. Özellikle de Trabzon, Rize ve Artvin illerinde verimlilik en düşük değerindedir. Buralar solar yolların kesinlikle yapılmaması gereken illerdir. Trabzon, Rize ve Artvin illerinden sonra en yüksek negatif verimliliğe sahip olan iller Samsun, Ordu, Giresun ve Ardahan'dır.

**Çizelge 6.17:** %75 mesken %25 ticarethane için verimliliği negatif olan iller çizelgesi.

| Verimliliği Negatif Değer Çıkan İller | | | |
|---|---|---|---|
| Edirne | Tekirdağ | Kırklareli | Balıkesir |
| Ankara | Kırıkkale | Yozgat | Sivas |
| Diyarbakır | Muş | Bitlis | Bursa |
| Kütahya | Eskişehir | Bilecik | Yalova |
| İstanbul | Çankırı | Çorum | Amasya |
| Tokat | Erzincan | Erzurum | Kars |
| Kocaeli | Sakarya | Düzce | Bolu |
| Zonguldak | Karabük | Bartın | Kastamonu |
| Sinop | Gümüşhane | Bayburt | Samsun |
| Ordu | Giresun | Ardahan | Trabzon |
| Rize | Artvin | | |

Şekil 6.13'te yapılaşma oranlarının %50 mesken ve %50 ticarethane olması durumu için solar yolların verimlilik haritası verilmiştir.




**Şekil 6.13:** %50 mesken ve %50 ticarethane olması durumunda solar yolların illere göre verimlilik dağılım haritası.

Çizelge 6.18'de yer alan illerde yapılması planlanan solar yolların etrafında bulunan mahallerin %50'si mesken, %50'si ise ticarethane olursa verimli sonuç alınacaktır. Özellikle bu koşul için de Hakkari ve Iğdır illerinde yüksek verim elde edilecekken, geri kalan illerde özellikle Bursa, Kütahya, Çankırı, Çorum, Erzincan, Erzurum ve Kars illerinde solar yolların etrafında %50 mesken %50 ticarethane bulunması durumunda daha düşük bir verim oranı elde edilecektir.

**Çizelge 6.18:** %50 mesken %50 ticarethane için verimliliği pozitif olan iller çizelgesi.

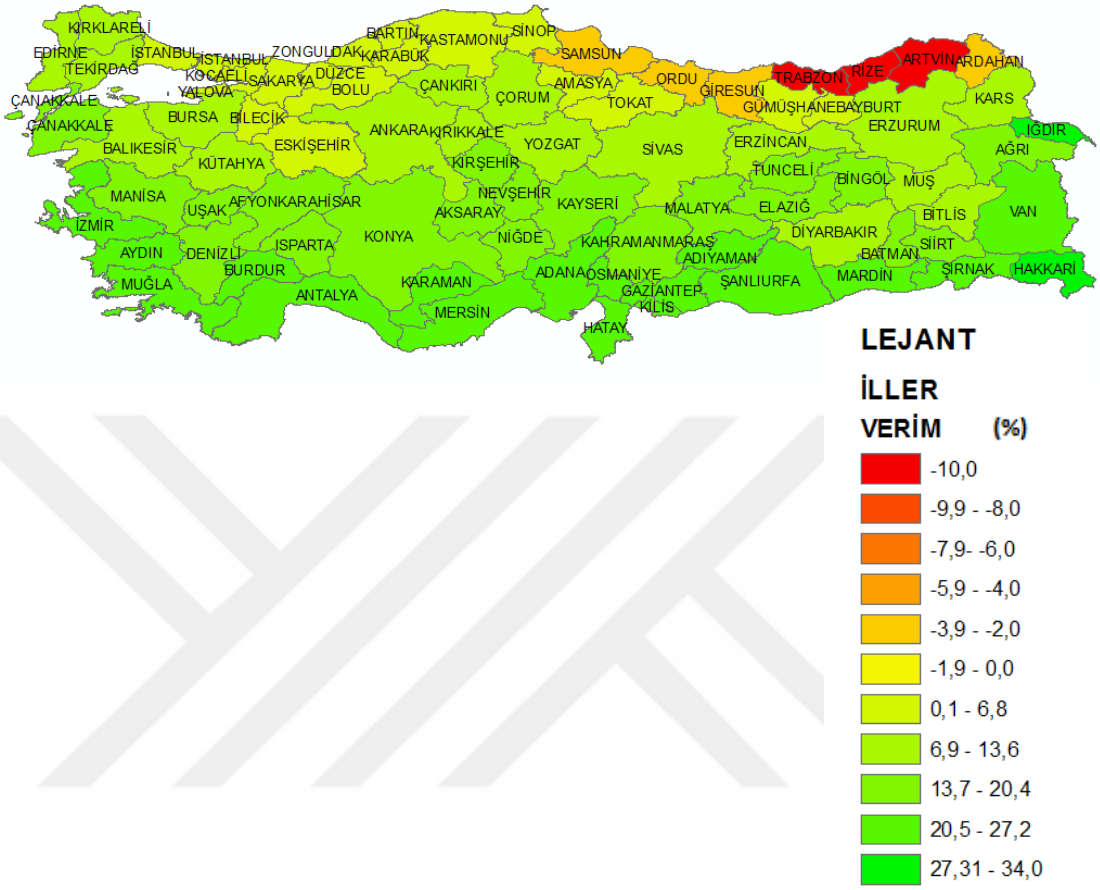
| Verimliliği Pozitif Değer Çıkan İller | | | |
|---|---|---|---|
| İzmir | Manisa | Aydın | Muğla |
| Denizli | Burdur | Isparta | Antalya |
| Konya | Karaman | Mersin | Niğde |
| Aksaray | Nevşehir | Kayseri | Adana |
| Osmaniye | Hatay | Kilis | Gaziantep |
| Adıyaman | Malatya | Kahramanmaraş | Şanlıurfa |
| Elazığ | Mardin | Batman | Siirt |
| Şırnak | Van | Iğdır | Hakkari |
| Edirne | Kırklareli | Tekirdağ | Çanakkale |
| Balıkesir | Uşak | Afyonkarahisar | Ankara |
| Kırıkkale | Kırşehir | Yozgat | Sivas |
| Tunceli | Bingöl | Muş | Diyarbakır |
| Bitlis | Ağrı | Bursa | Kütahya |
| Çankırı | Çorum | Erzincan | Erzurum |
| Kars | | | |

Çizelge 6.19'da yer alan illerde yapılması planlanan solar yolların etrafında %50 oranında mesken, %50 oranında ticarethane bulunması durumunda verimli sonuç alınamayacaktır. Bundan dolayı eğer ki bu çizelgedeki illerden birinde solar yol inşasına karar verilirse ve bu solar yollar etrafında %50 oranında mesken ve %50 oranında ticarethane yer alıyorsa sonuç negatif bir verim olacaktır. Bu nedenle böyle etrafında %50 oranında mesken ve %50 oranında ticarethane olması durumunda bu illerde solar yol yapımına karar verilmemelidir. Özellikle de Trabzon, Rize ve Artvin illerinde verimlilik en düşük değerindedir. Buralar solar yolların kesinlikle yapılmaması gereken illerdir. Trabzon, Rize ve Artvin illerinden sonra en yüksek negatif verimliliğe sahip olan iller Samsun, Ordu, Giresun ve Ardahan'dır.

**Çizelge 6.19:** %50 mesken %50 ticarethane için verimliliği negatif olan iller çizelgesi.

| Verimliliği Negatif Değer Çıkan İller | | | |
|---|---|---|---|
| İstanbul | Yalova | Bilecik | Eskişehir |
| Amasya | Tokat | Kocaeli | Sakarya |
| Zonguldak | Düzce | Bolu | Karabük |
| Bartın | Kastamonu | Sinop | Gümüşhane |
| Bayburt | Samsun | Ordu | Giresun |
| Ardahan | Trabzon | Rize | Artvin |

Şekil 6.14'te yapılaşma oranlarının %25 mesken ve %75 ticarethane olması durumu için solar yolların verimlilik haritası verilmiştir.




**Şekil 6.14:** %25 mesken ve %75 ticarethane olması durumunda solar yolların illere göre verimlilik dağılım haritası.

Çizelge 6.20'de yer alan illerde yapılması planlanan solar yolların etrafında bulunan mahallerin %25'i mesken, %75'i ise ticarethane olursa verimli sonuç alınacaktır. Özellikle bu koşul için de Hakkari ve Iğdır illerinde yüksek verim elde edilecekken, geri kalan illerde özellikle İstanbul, Kocaeli, Yalova, Sakarya, Bilecik, Eskişehir, Düzce, Bolu, Kastamonu, Sinop, Amasya, Tokat, Gümüşhane ve Bayburt illerinde solar yolların etrafında %25 mesken %75 ticarethane bulunması durumunda daha düşük bir verim oranı elde edilecektir.

**Çizelge 6.20:** %25 mesken %75 ticarethane için verimliliği pozitif olan iller çizelgesi.

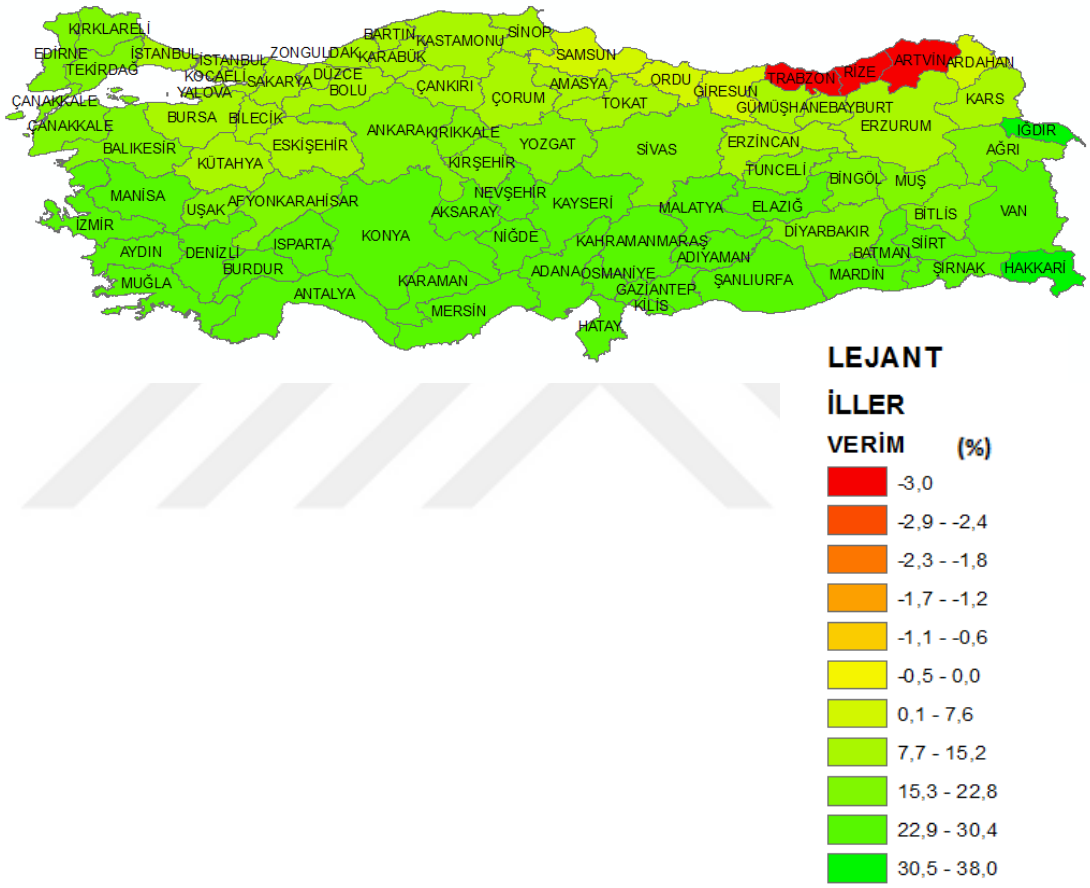
| Verimliliği Pozitif Değer Çıkan İller | | | |
|---|---|---|---|
| Çanakkale | İzmir | Aydın | Muğla |
| Burdur | Antalya | Karaman | Mersin |
| Adana | Osmaniye | Kilis | Hatay |
| Gaziantep | Adıyaman | Şanlıurfa | Mardin |
| Şırnak | Van | Iğdır | Hakkari |
| Manisa | Uşak | Denizli | Afyonkarahisar |
| Isparta | Konya | Aksaray | Niğde |
| Kırşehir | Nevşehir | Kayseri | Kahramanmaraş |
| Malatya | Elazığ | Tunceli | Bingöl |
| Ağrı | Batman | Siirt | Edirne |
| Kırklareli | Tekirdağ | Balıkesir | Bursa |
| Kütahya | Ankara | Kırıkkale | Çankırı |
| Çorum | Yozgat | Sivas | Erzincan |
| Erzurum | Kars | Diyarbakır | Muş |
| Bitlis | İstanbul | Kocaeli | Yalova |
| Sakarya | Bilecik | Eskişehir | Düzce |
| Bolu | Zonguldak | Karabük | Bartın |
| Kastamonu | Sinop | Amasya | Tokat |
| Gümüşhane | Bayburt | | |

Çizelge 6.21'de yer alan illerde yapılması planlanan solar yolların etrafında %25 oranında mesken, %75 oranında ticarethane bulunması durumunda verimli sonuç alınamayacaktır. Bundan dolayı eğer ki bu çizelgedeki illerden birinde solar yol inşasına karar verilirse ve bu solar yollar etrafında %25 oranında mesken ve %75 oranında ticarethane yer alıyorsa sonuç negatif bir verim olacaktır. Bu nedenle böyle etrafında %25 oranında mesken ve %75 oranında ticarethane olması durumunda bu illerde solar yol yapımına karar verilmemelidir. Özellikle de Trabzon, Rize ve Artvin illerinde verimlilik en düşük değerindedir. Buralar solar yolların kesinlikle yapılmaması gereken illerdir. Trabzon, Rize ve Artvin illerinden sonra en yüksek negatif verimliliğe sahip olan iller Samsun, Ordu, Giresun ve Ardahan'dır. Başka da bir ilde bu koşul için negatif bir verim değeri söz konusu değildir.

**Çizelge 6.21:** %25 mesken %75 ticarethane için verimliliği negatif olan iller çizelgesi.

| Verimliliği Negatif Değer Çıkan İller | | | |
|---|---|---|---|
| Samsun | Ordu | Giresun | Ardahan |
| Trabzon | Rize | Artvin | |

Şekil 6.15'te yapılaşma oranlarının %0 mesken ve %100 ticarethane olması durumu için solar yolların verimlilik haritası verilmiştir.




**Şekil 6.15:** %0 mesken ve %100 ticarethane olması durumunda solar yolların illere göre verimlilik dağılım haritası.

Çizelge 6.22'de yer alan illerde yapılması planlanan solar yolların etrafında bulunan mahallerin %0'ı mesken, %100'ü ise ticarethane olursa verimli sonuç alınacaktır. Özellikle bu koşul için de Hakkari ve Iğdır illerinde yüksek verim elde edilecekken, geri kalan illerde özellikle Samsun, Ordu, Giresun ve Ardahan illerinde solar yolların etrafında %0 mesken %100 ticarethane bulunması durumunda daha düşük bir verim oranı elde edilecektir.

**Çizelge 6.22:** %0 mesken %100 ticarethane için verimliliği pozitif olan iller çizelgesi.

| Verimliliği Pozitif Değer Çıkan İller | | | |
|---|---|---|---|
| İzmir | Aydın | Muğla | Manisa |
| Denizli | Burdur | Isparta | Antalya |
| Konya | Karaman | Mersin | Aksaray |
| Nevşehir | Kırşehir | Kırıkkale | Ankara |
| Niğde | Yozgat | Sivas | Kayseri |
| Kahramanmaraş | Adana | Osmaniye | Hatay |
| Kilis | Gaziantep | Adıyaman | Malatya |
| Elazığ | Şanlıurfa | Mardin | Batman |
| Şırnak | Siirt | Van | Iğdır |
| Hakkari | Tunceli | Bingöl | Muş |
| Bitlis | Diyarbakır | Ağrı | Uşak |
| Afyonkarahisar | Çanakkale | Balıkesir | Tekirdağ |
| Edirne | Kırklareli | İstanbul | Bursa |
| Yalova | Bilecik | Kütahya | Eskişehir |
| Sakarya | Kocaeli | Düzce | Bolu |
| Zonguldak | Karabük | Bartın | Kastamonu |
| Sinop | Çankırı | Çorum | Amasya |
| Tokat | Erzincan | Gümüşhane | Bayburt |
| Erzurum | Kars | Samsun | Ordu |
| Giresun | Ardahan | | |

Çizelge 6.23'te yer alan illerde yapılması planlanan solar yolların etrafında %0 oranında mesken, %100 oranında ticarethane bulunması durumunda verimli sonuç alınamayacaktır. Bundan dolayı eğer ki bu çizelgedeki illerden birinde solar yol inşasına karar verilirse ve bu solar yollar etrafında %0 oranında mesken ve %100 oranında ticarethane yer alıyorsa sonuç negatif bir verim olacaktır. Bu nedenle böyle etrafında %0 oranında mesken ve %100 oranında ticarethane olması durumunda bu illerde solar yol yapımına karar verilmemelidir. Bu koşulda da diğer tüm koşullarda olduğu gibi Trabzon, Rize ve Artvin illerinde verimlilik en düşük değerindedir. Buralar solar yolların kesinlikle yapılmaması gereken illerdir.

**Çizelge 6.23:** %0 mesken %100 ticarethane için verimliliği negatif olan iller çizelgesi.

| Verimliliği Negatif Değer Çıkan İller | | |
|---|---|---|
| Trabzon | Rize | Artvin |

Şu net olarak söylenebilir ki Trabzon, Rize ve Artvin illeri her koşulda hiçbir şekilde solar yolların uygulanmaması gereken yerlerdir. Diğer illerdeki durumlar da diğer koşullara göre değişiklik göstermektedir. Bir ilde solar yol yapılmasına kanaat getirilmesi düşünüldüğünde solar yol yapılması düşünülen yolun etrafındaki mahallerin oranı dikkate alınarak bu çalışmadaki tablolar ve haritalardan faydalanılarak elde edilmesi istenilen verim doğrultusunda karar verilmeli ve adım atılmalıdır.

## 7. SONUÇLAR

Ulaştırma, hayatımızın her alanında ihtiyaç duyulan önemli bir konudur. Artan küresel ısınma etkisini azaltmak adına bu alanda yeni yöntemler araştırılmış ve bu yeni yöntemlerin hayatımızda en çok yer alan karayolları ile entegrasyonu sağlanarak solar yollar bulunmuştur. Bu tez kapsamındaki çalışmada yeni bir teknoloji yöntemi olan solar yolların özellikleri, yapısı, çevresel faktörlere etkisi, çalışma prensibi ve maliyet analizi anlatılmıştır. Ayrıca solar yolların Türkiye'de uygulanabilirliği araştırılmış ve sonuçlara varılmıştır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlas'ındaki verilerden elde edilerek 81 ilin güneşlenme süresi hesaplanmıştır. Bu hesaba ek olarak, belirli bir markası ve solar gücü olan solar panellerin 1 km'lik şehirlerarası bölünmemiş tek şeritli bir yoldaki güneşlenme süresine bağlı olarak 81 il için üretilebilecek elektrik enerjisi miktarları ve verimler hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde Ege, Akdeniz, Doğu Anadolu (Kars, Ardahan ve Ağrı hariç) ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin kıyı bölgelerinde ve sınırlarında bulunan illerinde; İzmir, Aydın, Denizli, Muğla, Antalya, Mersin, Karaman, Adana, Hatay, Osmaniye, Gaziantep, Kilis, Adıyaman, Şanlıurfa, Mardin, Şırnak, Hakkari, Van ve Iğdır, güneşlenme süreleri ve birim yol için üretilen elektrik enerji miktarları daha fazladır. Bu da solar yollar için bahsi geçen illerin daha elverişli ve daha verimli çalışarak pozitif sonuçlar vereceğinin göstergesidir. Bu illere yapılacak olan solar yol yatırımlarının olumlu olacağı öngörülmüştür. Diğer coğrafi bölgelere bakıldığında ise, İç Anadolu, Marmara ve Karadeniz bölgelerine doğru güneşlenme sürelerinin ve birim yol için üretilebilecek elektrik enerjisi miktarlarının düşük olduğu görülmektedir. Güneşlenme sürelerine göre solar yolların yapılacağı bölgelerin çevresinde bulunacak yapılaşma göz önünde bulundurularak; %100 mesken-%0 ticarethane, %75 mesken-%25 ticarethane, %50 mesken-%50 ticarethane, %25 mesken-%75 ticarethane ve %0 mesken-%100 ticarethane olmak üzere beş farklı durum için verimlilik çalışması yapılmıştır. Elde edilen hesaplamalar sonucunda ise verimli ve verimsiz olan iller çizelgelerle gösterilmiştir. Bu değerlerin en düşük olduğu illerin Doğu Karadeniz bölgesinde yer aldığı ve bu bölgelere yatırım yapmanın olumsuz sonuçlar doğuracağı görülmüştür.

Solar yolların enerji üretimi direkt olarak güneş alabilme süresiyle alakalıdır ve güneşin olmadığı zamanlarda ise üretim düşecektir. Yapılan fizibilite çalışması sonucunda elde edilen veriler nedeniyle solar yolların uygulanabileceği iller; İzmir,

Aydın, Burdur, Muğla, Antalya, Mersin, Karaman, Adana, Hatay, Osmaniye, Gaziantep, Kilis, Adıyaman, Şanlıurfa, Mardin, Şırnak, Hakkari, Van ve Iğdır olmalıdır. En yüksek güneşlenme süresine, birim yolda üretilecek elektrik enerjisi miktarına ve verimliliğe sahip olan il Hakkari ve en düşük olan iller ise Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Artvin ve Rize'dir. Solar yolların çevresindeki mahallere göre verimlilik değerleri değişkenlik göstereceğinden, yapılan fizibilite çalışmaları sonucunda solar yolların yapılması planlanan bölgelerde yer alacak mahallere göre iller çizelgesine bakılarak verimlilik konusunda sonuçlara varılabilir.

Uluslararası platformda solar hücrelerin en elverişli şekilde enerji üretimini sağlamak ve PV sisteminin maliyetini düşürmek adına çalışmalar yapılmakta ve yeni hücre teknolojileri geliştirilmektedir. Yatırımların amortisman süreleri çok geç sağlandığı için şu an uygulanması çoğu bölgede yapılmayabilir. Ama daha uzun vadede düşünüldüğünde gelecek bir zamanda maliyet düşürülüp konu hakkında gelişmeler olması ile solar yolların uygulanması önem kazanan bir teknoloji halini alacaktır. Gelecekte daha farklı malzeme türleri ile solar panel üretimi yapılması daha düşük maliyetli ve daha verimli sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle daha çok araştırma ve geliştirme yapılması gereken önemli bir konudur.

Solar yolların inşa maliyeti şu andaki elektrik santrali, güç ve veri altyapıları ve mevcut yol sistemlerinin maliyetine eşittir. Bunların hepsinin görevini tek başına üstlenip elektrik enerjisi üretimi yaparak fayda sağlamaktadır [1]. İnşa malzemelerinin fiyatları da gün geçtikçe daha da pahalılaşan hayat koşulları ile gittikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak geleneksel karayolu türlerinin de inşa ve bakım maliyetleri artmaktadır. Bunların sonucunda ise gelişen teknolojinin de katkısıyla yeni karayolu türlerine yönelimi sağlamaktadır. Solar yollar da bu yeni türlerden biridir. Solar yolların ürettiği elektrik enerjisi ve sağladığı altyapı olanakları (internet, telefon, TV, elektrik vs.) sayesinde kendi maliyetini karşılayabilme potansiyeli bulunmaktadır. Fakat günümüz koşullarına adapte dilmeye çalışılması nedeniyle solar yolların var olan asfalt yol üzerine uygulanacağından ve altyapısal olarak başka bir sistemin mevcut olmasından dolayı bu kazancın etkisi Bölüm 7'de anlatılan fizibilite çalışmasında göz önüne alınamayacaktır.

Tez kapsamındaki çalışmaya göre yapılan fizibilite çalışması her bölge için solar yolların karlı bir yatırım olmayacağını ortaya koymuştur. Bu nedenle bir bölgeye solar yol yapılmasına karar verilmeden önce maliyeti ve bölgeye uygulanabilirliği konularında ön çalışma yapılmalıdır. Çünkü üretilecek olan enerjinin kazanç sağlayıp

sağlamayacağı solar yolların yapılması düşünülen bölgedeki güneşlenme süresine bağlı olarak büyük değişiklikler göstermektedir. Bazı bölgelerde solar yolların yapılması kazançtan çok zarara neden olacaktır. Bu nedenle solar yollar için maliyet konusunda genelleme yaparak kesin bir sonuca ulaşmak mümkün değildir. Eğer ki fizibilite sonucu çok kazançlı olabilecek bir bölgeye solar yol yapılırsa; solar enerji bedelsiz olarak direkt güneşten elde edilir ve herhangi bir kişi ya da bir kurum bu enerjiden faydalanabilir. Ayrıca elektrik tüketim ihtiyacı bu şekilde sağlanarak üretilen fazla enerjisinin ticarileştirilmesi ile kazanç da sağlanabilir. Örneğin Çin'de 2017 yılında yapılan solar yol inşa edilmiştir ve 2-3 ay sonra bu yoldan iki milyon dolarlık bir gelir sağlanmıştır. Yani daha önce de belirttiğimiz gibi solar yolun başlangıçta inşa maliyeti geleneksel asfalt yol inşasına göre %80 daha yüksektir ama geleneksel asfalt yolların ömrü 7-12 yıl iken solar yolların ömrü 20-25 yıldır. Ayrıca hükümet, ticari binalara da elektrik enerjisi sağlayarak bir gelir elde etmiştir. Solar yollara geçiş sağlandıktan sonra şehir ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin 3 katı kadar elektrik enerjisi üretimi sağlamıştır [39]. Yani Çin'de yapılan solar yolun yapıldığı bölgenin iklim yapısı, güneşlenme süresi açısından solar yollardan verim elde edilip, kazanç sağlanması ile solar yollar projesi oldukça iyi bir sonuç vermiştir. Olumsuz bir örneğe bakıldığında; Kaliforniya'nın tüm ana yollarının solar yollarla kaplı olduğu düşünülürse, Kaliforniya'nın yıllık enerji tüketimi tüm dünyanın solar yollarla kaplı olması sonucunda üretilecek 4 yıllık enerji üretim kapasitesine denk gelmektedir. Bu miktar da 100 miyar dolardır ki buna, solar yolda AC güç üretimi olduğu ve mahallerde kullanılan gücün DC olduğu için inverterlarla dönüşüm sağlanmalıdır. İnverterler ve iletim yolu maliyeti dahil değildir; o da dahil edilirse maliyet iki katına çıkmaktadır. Kaliforniya yollarının tamamının solar yollarla kaplı olması sonucunda üretilecek enerji miktarı Kaliforniya'da tüketilen enerji miktarının 1/5'i kadar bir orandır [11]. Yani Kaliforniya'nın coğrafi durumu, iklim koşulları ve güneşlenme süreleri solar yolların üretim verimliliği açısından yetersizdir.

## KAYNAKLAR


[1] **Chauhan, M., VaibhavRao, U. K. D., Agarwal, P., Kaur, K.**. "Solar lanes"- Is it the replacement of fossil fuel for generating electricity?.

[2] **Patila, A. R., Khairnara, V. Y., Kokatea, A. V., & Narkhedea, R. S.** (2018). A Novel Route for Construction of Smart Highways by Using Photovoltaic Solar Panels, *IJRAR-International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR), 5*(3), 491-496.

[3] **Vidyanandan, K. V.** (2017). An overview of factors affecting the performance of solar PV systems. *Energy Scan, 27*, 2-8.

[4] **ArcMap** (Version 10.7) [Computer Software]. ArcGIS Suite of Geospatial Processing Programs, *Environmental Systems Research Institute, Redlands, California.*

[5] **Duarte, F., & Ferreira, A.** (2015). Energy harvesting on road pavements. In *The third international conference on advances in civil, structural and environmental engineering—ACSEE* (pp. 126-130).

[6] **Beddu, S., Talib, S. H. A., & Itam, Z.** (2016, March). The Potential of Heat Collection from Solar Radiation in Asphalt Solar Collectors in Malaysia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 32, No. 1, p. 012045). IOP Publishing.

[7] **Alonso-Estébanez, A., Pascual-Muñoz, P., Sampedro-García, J. L., & Castro-Fresno, D. (2017).** 3D numerical modelling and experimental validation of an asphalt solar collector. *Applied Thermal Engineering, 126*, 678-688.

[8] **Dakessian, L., Harfoushian, H., Habib, D., Chehab, G. R., Saad, G., & Srour, I.** (2016). *Finite element approach to assess the benefits of asphalt solar collectors. Transportation Research Record, 2575*(1), 79-91.

[9] **Mallick, R., Carelli, J., Albano, L., Bhowmick, S., & Veeraragavan, A.** (2011). Evaluation of the potential of harvesting heat energy from asphalt pavements. *International Journal of Sustainable Engineering, 4*(02), 164-171.

[10] **Ayar, P., Moreno-Navarro, F., & Rubio-Gámez, M. C.** (2016). The healing capability of asphalt pavements: a state of the art review. *Journal of Cleaner Production, 113*, 28-40.

[11] **Zhao, H. D., Ling, J. M., & Fu, P. C.** (2013). A review of harvesting green energy from road. In *Advanced Materials Research* (Vol. 723, pp. 559-566). Trans Tech Publications Ltd.

[12] **Renoald, A. J., Hemalatha, V., Punitha, R., Sasikala, M., & BE, M. S.** (2016). Solar Roadways-The Future Rebuilding Infrastructure and Economy, *International Journal of Electrical and Electronics Research*, *4*(2), 14-19.

[13] **Rizzo, G., Arsie, I., & Sorrentino, M.** (2010). Solar energy for cars: perspectives, opportunities and problems. In *GTAA Meeting* (pp. 1-6).

[14] **Url-1**, <https://www.dailymail.co.uk/news/article-5243757/Cutting-edge-solar-panelled-highway-targeted-thieves.html>, erişim tarihi 08.03.2020.

[15] **Northmore, A., & Tighe, S.** (2012). Innovative pavement design: are solar roads feasible?. In *2012 Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada-Transportation: Innovations and Opportunities.*

[16] **Channi, H. K.** (2019). Solar pavement: Smart means of transportation. *International Journal of Management, IT and Engineering*, *9*(2), 211-217.

[17] **Newman, P., Hargroves, K., Desha, C., Matan, A., Whistler, L., Farr, A., & Wilson, K. J.** (2012). Scenario planning and emerging global trends for the future of roads and automobile transport.

[18] **Mihaj, K. F., & Kok, B. C.** (2013). Conceptual design of harvesting energy system for road application.

[19] **Url-2**, <https://www.wall-street.ro/articol/Auto/165959/viitorul-autostrazilor-ar-putea-fi-o-adevara-revolutie-cum-vor-arata-soselele-independente-energetic.html#gref>, erişim tarihi 08.03.2020.

[20] **Davis, J. J.** (2018). Solar Parking Lot Analysis: Smart Investment or Waste of Capital.

[21] **Dhoke, M. B., & Ghutke, P.** (2017). Innovative of power generation with PV technology on solar roadways. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, *4*(3).

[22] **Aldous, S.** (2000). How solar cells work. *How Stuff Works*, April 1st.

[23] **Url-3**, <http://aprenderahacer.org/paneles-solares/como-funciona-un-panel-solar/>, erişim tarihi 08.03.2020.

[24] **Paru, A. T.** (2017). Bab II Tinjauan Pustaka.

[25] **Mughal, S., Sood, Y. R., & Jarial, R. K.** (2018). A review on solar photovoltaic technology and future trends. *Int J Sci Res Comput Sci Eng Inform Technol (IJSRCSEIT-2018)*, *4*(1).

[26] **Url-4**, <https://www.ekonomiksolar.com/monokristal-g%C3%BCne%C5%9F-paneli>, erişim tarihi 08.03.2020.

[27] **Url-5**, <https://www.enerjiportali.com/polikristal-gunes-paneli-nedir/>, erişim tarihi 08.03.2020.

[28] **Url-6**, <https://us.sunpower.com/flexible-solar-panels>, erişim tarihi 08.03.2020.

[29] **Kumari, R., Dhoodwal, M., & Khan, K.** (2018). Review on: Types of Solar Cells and Their Characteristics. *University Research Resource Journal Jayoti Vidyapeeth Women's University, Jaipur.*

[30] **Ahmadi, M. H., Ghazvini, M., Sadeghzadeh, M., Alhuyi Nazari, M., Kumar, R., Naeimi, A., & Ming, T.** (2018). Solar power technology for electricity generation: a critical review. *Energy Science & Engineering*, *6*(5), 340-361.

[31] **Url-7**, <https://gigazine.net/gsc_news/en/20140530-solar-roadways/>, erişim tarihi 08.03.2020.

[32] **Dighole, M., Pawar, A.** (2018). A Study on Environment Friendly Roadways, *International Journal of Research Civil and Architectural Engineering*, Volume No:1, Issue No:1.

[33] **Sharma, S., & Gidde, M. R.** (2014). Estimated outcome of application of Split Cycle Offset Optimization Technique (SCOOT) & Reduction of frequency of buses. *International J. of Engineering Research & Management Technology*, *1*(5), 82-90.

[34] **Url-8**, <http://teknikprojektet.se/?p=3013>, erişim tarihi 08.03.2020.

[35] **Solovev, S. V.** (2019, November). Electric and hybrid vehicles supply systems implementation problems. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 378, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.

[36] **Newman, D., Munna, M., Tschida, J. H., & Brusaw, S.** (2020). Engineering Tests to Evaluate the Feasibility of an Emerging Solar Pavement Technology for Public Roads and Highways. *Technologies*, *8*(1), 9.

[37] **Url-9**, <https://solarroadways.com/specifics/glass/>, erişim tarihi 08.03.2020.

[38] **Url-10,** <https://www.autodesk.com/redshift/construction-technology-2017/>, erişim tarihi 08.03.2020.

[39] **Mansukhlal, C. J., Sanjay, C. P., Rao, M.V., Kalyankar, S. H., & Abhale, B. G.** (2018). Solar Panel Technology in Highway, *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering, 4*(10), 27-30.

[40] **Singh, N.** (2015). Smarter Solutions for Developing Smart Cities in India. In *Journal of Indian Buildings Congress* (Vol. 22, No. 1, pp. 113-118).

[41] **Den Boer, E., Aarnink, S., Kleiner, F., & Pagenkopf, J.** (2013). Zero emissions trucks: An overview of state-of-the-art technologies and their potential.

[42] **Shrivastava, P., Alam, M. S., & Asghar, M. S. J.** (2019). Design and techno-economic analysis of plug-in electric vehicle-integrated solar PV charging system for India. *IET Smart Grid, 2*(2), 224-232.

[43] **Debnath, S., Foote, A., Onar, O. C., & Chinthavali, M.** (2018, June). Grid impact studies from dynamic wireless charging in smart automated highways. In *2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)* (pp. 950-955). IEEE.

[44] **Url-11**, <https://chargedevs.com/features/whats-wireless-ev-charging/>, erişim tarihi 08.03.2020.

[45] **Url-12**, <https://www.magment.de/en-dynamic-wireless-charging>, erişim tarihi 08.03.2020.

[46] **Hutchinson, L., Waterson, B., Anvari, B., & Naberezhnykh, D.** (2018). Potential of wireless power transfer for dynamic charging of electric vehicles. *IET Intelligent Transport Systems, 13*(1), 3-12.

[47] **No, I.** (2017). Technique to Monitor Building 'Health'Utilizes Ambient Vibrations, Civil Engineering.

[48] **Url-13**, <https://mikeshouts.com/wattway-photovoltaic-road-surface-in-tourouvre-au-perche/>, erişim tarihi 08.03.2020.

[49] **Jiang, H. F., Cen, Y. Q., Zha, X. D., & Zhang, Q. S.** (2018). Current Situation and Development Trend of Solar Pavement Technology,. *DEStech Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences,* (epe).

[50] **Moskvitch, K.** (2016). News Briefing: In Num6ers-Sola Road. *Engineering & Technology, 11*(5), 12-13.

[51] **Shekhar, A., Klerks, S., Bauer, P., & Prasanth, V.** (2015, September). Solar road operating efficiency and energy yield–an integrated approach towards inductive power transfer. In *European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU-PVSEC)* (pp. 2614-2619).

[52] **Ranjan, E. R.** (2015). Solar Power Roads: Revitalising Solar Highways, Electrical Power and Smart Grids. *International Journal of Engineering Research and General Science*, *3*(1), 380-385.

[53] **Url-14, <***http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/***>**, erişim tarihi 08.03.2020.

[54] **Selvaraju, R. K.** (2012). Characterization of Solar Roadways Via Computational and Experimental Investigations.

[55] **Url-15, <**https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>, erişim tarihi 08.03.2020.

[56] **Papagiannakis, A. T., Montoya, A., Dessouky, S., & Helffrich, J.** (2017). Development and evaluation of piezoelectric prototypes for roadway energy harvesting. *Journal of Energy Engineering*, *143*(5), 04017034.

[57] **Dezfooli, A. S., Nejad, F. M., Zakeri, H., & Kazemifard, S.** (2017). Solar pavement: A new emerging technology. *Solar Energy*, *149*, 272-284.

[58] **Suh, I. S., & Kim, J.** (2013, May). Electric vehicle on-road dynamic charging system with wireless power transfer technology. In *2013 International Electric Machines & Drives Conference* (pp. 234-240). IEEE.

[59] **Steyn, W., Harvey, J., & Gopalakrishnan, K.** (2014). Climate Change, Energy, Sustainability and Pavements (pp. 309-332). Berlin. Springer-Verlag GmbH.

[60] **Bahaj, A. S., & James, P. A. B.** (2002, May). Economics of solar powered refrigeration transport applications. In *Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2002.* (pp. 1561-1564). IEEE.

[61] **Hasebe, M., Kamikawa, Y., & Meiarashi, S.** (2006, August). Thermoelectric generators using solar thermal energy in heated road pavement. In *2006 25th international conference on thermoelectrics* (pp. 697-700). IEEE.

[62] **Costa, M. A., Costa, G. H., dos Santos, A. S., Schuch, L., & Pinheiro, J. R. (**2009, September). A high efficiency autonomous street lighting system based on solar energy and LEDs. In *2009 Brazilian Power Electronics Conference* (pp. 265-273). IEEE.

[63] **Sharma, P., & Harinarayana, T.** (2013). Solar energy generation potential along national highways. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, *4*(1), 16.

[64] **Oladele, A. S.** Evaluation of Infrastructure Development of Roadway New Technologies for Renewable Energy Generation: Lessons Learnt. *Evaluation*, *502*, 2016-025.

[65] **Liu, Q., Schlangen, E., van de Ven, M., & García, Á.** (2010). Healing of porous asphalt concrete via induction heating. *Road materials and pavement design, 11*(sup1), 527-542.

[66] **Kohak, P. G., Kandake, R. A., Patekar, V. P., & Ghorpade, D. S.** (2019). A Review on Design and Fabrication of a Solar Roadways.

[67] **Patel, D. H.** (2019). Smart Roads: Investigating Roadways as Energy Sources for Potential Application of In-Lane Charging.

[68] **Venugopal, P., Shekhar, A., Visser, E., Scheele, N., Mouli, G. R. C., Bauer, P., & Silvester, S.** (2018). Roadway to self-healing highways with integrated wireless electric vehicle charging and sustainable energy harvesting technologies. *Applied energy, 212,* 1226-1239.

[69] **Gnann, T., Funke, S., Jakobsson, N., Plötz, P., Sprei, F., & Bennehag, A.** (2018). Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 62,* 314-329.

[70] **Theodoropoulos, T., Amditis, A., Sallán, J., Bludszuweit, H., Berseneff, B., Guglielmi, P., & Deflorio, F.** (2014, December). Impact of dynamic EV wireless charging on the grid. In *2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC)* (pp. 1-7). IEEE.

[71] **Jeong, S., Jang, Y. J., & Kum, D.** (2015). Economic analysis of the dynamic charging electric vehicle. *IEEE Transactions on Power Electronics, 30*(11), 6368-6377.

[72] **Zhang, X., Yuan, Z., Yang, Q., Li, Y., Zhu, J., & Li, Y.** (2016). Coil design and efficiency analysis for dynamic wireless charging system for electric vehicles. *IEEE Transactions on Magnetics, 52*(7), 1-4.

[73] **Lu, F., Zhang, H., Hofmann, H., & Mi, C. C.** (2016). A dynamic charging system with reduced output power pulsation for electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics, 63*(10), 6580-6590.

[74] **Zhao, L., Ruddell, S., Thrimawithana, D. J., Madawala, U. K., & Hu, P. A.** (2017, May). A hybrid wireless charging system with DDQ pads for dynamic charging of EVs. In *2017 IEEE PELS workshop on emerging technologies: wireless power transfer (WoW)* (pp. 1-6). IEEE.

[75] **Arun, P. S., & Mohanrajan, S. R.** (2019, June). Effect of Partial Shading on Vehicle Integrated PV System. In *2019 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)* (pp. 1262-1267). IEEE.

[76] **Buja, G., Rim, C. T., & Mi, C. C.** (2016). Dynamic charging of electric vehicles by wireless power transfer. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *63*(10), 6530-6532.

[77] **Chen, W., Liu, C., Lee, C. H., & Shan, Z.** (2016). Cost-effectiveness comparison of coupler designs of wireless power transfer for electric vehicle dynamic charging. *Energies*, *9*(11), 906.

[78] **Dashora, H. D.** (2017). Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicle.

[79] **Begwani, A. K., Ustun, T. S., & Selim, T.** (2017). Electric bus migration in Bengaluru with dynamic charging technologies. *AIMS Energy*, *5*(6), 944-959.

[80] **Zheng, Z., Song, R., Huang, X., Xu, J., & Gao, C.** (2019). Simulation of the magnetic coupling phenomena in electric vehicle wireless charging. *The Journal of Engineering*, *2019*(16), 2174-2179.

[81] **Li, J., Hall, A., Chin, K., & Walton, C**. M. Emerging Transportatıon Technology Portfolio.

[82] **Laporte, S., Coquery, G., Deniau, V., De Bernardinis, A., & Hautière, N.** (2019). Dynamic Wireless Power Transfer Charging Infrastructure for Future EVs: From Experimental Track to Real Circulated Roads Demonstrations. *World Electric Vehicle Journal*, *10*(4), 84.

[83] **Diep, N. T., Trung, N. K., & Minh, T. T.** (2019, October). Design and Analysis of Coupling System in Electric Vehicle Dynamic Wireless Charging Applications. In *2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (pp. 1-6). IEEE.

[84] **Crews Jr, C. W.** (1998). *Electric Avenues (No. 301). Cato Policy Report*.

[85] **Patil, D., Miller, J., Fahimi, B., Balsara, P. T., & Galigerkere, V.** (2019*).* A coil detection system for dynamic wireless charging of electric vehicle. *IEEE Transactions on Transportation Electrification.*

[86] **Liu, J., Zou, D., Chu, Z., Chen, Y., Zuo, G., & Lu, L.** (2019, September). Characteristic Monitoring and Assessment Method for Dynamic Wireless Charging System of Electric Vehicle. In *2019 4th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)* (pp. 286-290). IEEE.

[87] **Seward, W. G., Huxtable, R. D., Beynon, B. P., Zvirblys, A., Camacho-Hunt, N. J., Albano, M., & Cipcigan, L. M.** (2019, September). Modelling of Static Wireless Electric Vehicle Charging and its Impact on a Typical GB Distribution Network. In *2019 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)* (pp. 1-6). IEEE.

[88] **Song, S., Zhang, Q., Zhu, C., & Wang, D.** (2017, October). A practical static simulator for dynamic wireless charging of electric vehicle using receiver open circuit voltage equivalent. In *2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)* (pp. 4859-4864). IEEE.

[89] **Wu, M. S., Huang, H. H., Huang, B. J., Tang, C. W., & Cheng, C. W.** (2009). Economic feasibility of solar-powered led roadway lighting. *Renewable energy*, *34*(8), 1934-1938.

[90] **Bobes-Jesus, V., Pascual-Muñoz, P., Castro-Fresno, D., & Rodriguez-Hernandez, J.** (2013). Asphalt solar collectors: a literature review. *Applied Energy*, *102*, 962-970.

[91] **Muench, S. T.** (2010). Roadway construction sustainability impacts: review of life-cycle assessments. *Transportation research record*, *2151*(1), 36-45.

[92] **Papadimitriou, C. N., Psomopoulos, C. S., & Kehagia, F.** (2019). A review on the latest trend of Solar Pavements in Urban Environment. *Energy Procedia*, *157*, 945-952.

[93] **Hossain, M. F. T., & Dessouky, S.** (2019). Development of a Solar Prototype for Roadway. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 271, p. 08007). EDP Sciences.

[94] **Subramanian, R.** (2015). The current status of roadways solar power technology: a review. In *Environmental Sustainability in Transportation Infrastructure* (pp. 177-187).

[95] **Yoomak, S., & Ngaopitakkul, A.** (2019, May). Feasibility Analysis of Different Energy Storage Systems for Solar Road Lighting Systems. In *2019 IEEE/IAS 55th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)* (pp. 1-10). IEEE.

[96] **Mirzanamadi, R., Hagentoft, C. E., & Johansson, P.** (2020). Coupling a Hydronic Heating Pavement to a Horizontal Ground Heat Exchanger for harvesting solar energy and heating road surfaces. *Renewable Energy*, *147*, 447-463.

[97] **Vizzari, D., Chailleux, E., Lavaud, S., Gennesseaux, E., & Bouron, S.** (2020). Fraction Factorial Design of a Novel Semi-Transparent Layer for Applications on Solar Roads. *Infrastructures*, *5*(1), 5.

[98] **Liu, Z., Yang, A., Gao, M., Jiang, H., Kang, Y., Zhang, F., & Fei, T.** (2019). Towards feasibility of photovoltaic road for urban traffic-solar energy estimation using street view image. *Journal of Cleaner Production*, *228*, 303-318.

[99] **Saad, H. E., Kaddah, K. S., Sliem, A. A., Rafat, A., & Hewhy, M. A.** (2019). The effect of the environmental parameters on the performance of asphalt solar collector. *Ain Shams Engineering Journal*, *10*(4), 791-800.

[100] **Taruna, C., Halim, L., & Arthaya, B. M.** (2019, December). Initial Concept for Increasing Polycrystalline Fixed Solar Panel Efficiency with Water Treatments. In *2019 International Conference on Mechatronics, Robotics and Systems Engineering (MoRSE)* (pp. 180-185). IEEE.

[101] **Danping, Z., Yuchun, C., Yuhang, L., & Zhongjian, C.** (2019, September). Research on Electric Energy Metering and Charging System for Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicle. In *2019 4th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)* (pp. 252-255). IEEE.

[102] **Zheng, Z., Ruya, S. O. N. G., Yuqin, W. A. N. G., Qiu, X., & Huang, X.** (2019, November). Research on Compensation Network of Wireless Charging System for Electric Vehicles. In *2019 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC)* (pp. 604-609). IEEE.

[103] **Huang, Z., Iam, I. W., Hoi, I. U., Lam, C. S., Mak, P. I., & Martins, R. P.** (2019, December). Self-Contained Solar-Powered Inductive Power Transfer System for Wireless Electric Vehicle Charging. In *2019 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)* (pp. 1-6). IEEE.

[104] **Wang, Q., Li, W., Kang, J., & Wang, Y.** (2018). Electromagnetic safety evaluation and protection methods for a wireless charging system in an electric vehicle. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*.

[105] **Chiarelli, A., Al-Mohammedawi, A., Dawson, A. R., & Garcia, A.** (2017). Construction and configuration of convection-powered asphalt solar collectors for the reduction of urban temperatures. International Journal of Thermal *Sciences*, *112*, 242-251.

[106] **Tang, N., Wu, S. P., Chen, M. Y., Pan, P., & Sun, C. J.** (2014). Effect mechanism of mixing on improving conductivity of asphalt solar collector. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *75*, 650-655.

[107] **Junhui, L., & Jianqiang, W.** (2010, August). Road surface condition detection based on road surface temperature and solar radiation. In *2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering* (Vol. 4, pp. 4-7). IEEE.

[108] **Comello, S., Reichelstein, S., & Sahoo, A.** (2018). The road ahead for solar PV power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *92*, 744-756.

[109] **Wisniewski, D.** (2010). Solar flair: An open-road challenge. *IEEE potentials, 29*(1), 6-9.

[110] **Zhou, Z., Hu, S., Zhang, X., & Zuo, J.** (2013). Characteristics and application of road absorbing solar energy. *Frontiers in Energy*, *7*(4), 525-534.

[111] **Ali, Q. I.** (2015). Security issues of solar energy harvesting road side unit (RSU). *Iraqi Journal for Electrical And Electronic Engineering*, *11*(1), 18-31.

[112] **Paul, P.** (2015). Land Use for Photovoltaic Solar Electric System Siting Rating Metrics.

[113] **Mehta, A., Aggrawal, N., & Tiwari, A.** (2015). Solar Roadways-The future of roadways, *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET)*, *2*(1).

[114] **Cui, Q., & Zhu, X.** (2011). Green contracting in highway construction: state of the practice, *Transportation Research Record, 2228*(1), 11-18.

[115] **Barakat, E., & Sinno, N.** (2015). Design of an intelligent energy harvesting road using solar panels and piezoelectric harvesters, In *9th International Conference on Material Sciences (CSM9), ENSIC, Nancy, France August* (pp. 26-28).

[116] **Andriopoulou, S.** (2012). A review on energy harvesting from roads.

[117] **Kulkarni, A. A.** (2013). Solar Roadways–Rebuilding our Infrastructure and Economy. *International Journal of Engineering Research and Applications*, *3*(3), 1429-1436.

[118] **Chaname, J.** (2016). " The Power of the Sun Gods": Future of Solar Energy. *UC Merced Undergraduate Research Journal*, *8*(2).

[119] **Qin, X., Shen, Y., & Shao, S.** (2015). The Application study in solar energy technology for highway service area: A case study of west Lushan highway low-carbon service area in China. *International Journal of Photoenergy*, 2015.

[120] **Qiao, W., Sharma, A., Hudgins, J. L., Jones, E. G., & Rilett, L.** (2011, July). Wind/solar hybrid generation-based roadway microgrids. In *2011 IEEE power and energy society general meeting* (pp. 1-7). IEEE.

[121] **Jiao, Y., & Qiao, W.** (2013, July). A hierarchical power management strategy for multiple single-phase roadway microgrids. In *2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting* (pp. 1-5). IEEE.

[122] **Nussbaum, J. H., Lake, R. A., & Coutu, R. A**. (2016, July). Standardized testing of non-standard photovoltaic pavement surfaces. In *2016 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON) and Ohio Innovation Summit (OIS)* (pp. 1-8). IEEE.

[123] **Shekhar, A., Kumaravel, V. K., Klerks, S., de Wit, S., Venugopal, P., Narayan, N., ... & Zeman, M.** (2018). Harvesting roadway solar energy—performance of the installed infrastructure integrated PV bike path. *IEEE Journal of Photovoltaics*, *8*(4), 1066-1073.

[124] **Liu, J., Zhao, S., & Li, P.** (2015). Environmental Sustainability in Transportation Infrastructure. ASCE.

[125] **Booker, C. J.** (2018). Analysis of Temperature and Humidity Effects on Horizontal Photovoltaic Panels.

[126] **Mallick, R. B., Chen, B. L., Bhowmick, S., & Hulen, M.** (2008, August). Capturing solar energy from asphalt pavements. In *International symposium on asphalt pavements and environment, international society for asphalt pavements, Zurich, Switzerland* (pp. 12-29).

[127] **Roshani, H., Dessouky, S., Montoya, A., & Papagiannakis, A. T.** (2016). Energy harvesting from asphalt pavement roadways vehicle-induced stresses: A feasibility study. *Applied Energy*, *182*, 210-218.

[128] **Nair, A. M., Surya, V., Apoorva, R., Singh, K. G., Chandan, K., & Nidha, B. H.** (2018, May). Harvesting Energy from Pavements. In *GeoShanghai International Conference* (pp. 408-415). Springer, Singapore.

[129] **Duarte, F., Casimiro, F., Correia, D., Mendes, R., & Ferreira, A.** (2013, December). Waynergy people: a new pavement energy harvest system. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer* (Vol. 166, No. 4, pp. 250-256). Thomas Telford Ltd.

[130] **Mahmud, M. S., WazedurRahman, M., Lipu, M. H., Al Mamun, A., Annur, T., Islam, M. M., ... & Islam, M. A.** (2018, July). Solar Highway in Bangladesh Using Bifacial PV. In *2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCA)* (pp. 1-7). IEEE.

[131] **Muench, S. T., Anderson, J., & Bevan, T.** (2010). Greenroads: A Sustainability Rating System for Roadways. *International Journal of Pavement Research & Technology*, *3*(5).

[132] **Titus, A.** Investigating the Feasibility of using Amorphous Computing Techniques to Dynamically Draw Roadway Markings.

[133] **Ramesh, N. K.** (2014). *Investigating the Impact of Solar Highways on Driver's Safety and Road Maintenance* (Doctoral dissertation, Colorado State Univeristy-Pueblo).

**EKLER**

**EK A:** Güneşlenme süreleri ve elektrik üretimleri ile ilgili veriler

## EK A

**Çizelge A.1:** Türkiye illerinin ortalama güneşlenme süreleri ve üretilen elektrik enerjisi miktarları.

| İller | Aylar (saat) | | | | | | | | | | | | Ortalama güneşlenme süresi (sa) | Üretilen elektrik enerjisi miktarı (kWsa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | | |
| Adana | 4.67 | 5.65 | 6.97 | 7.84 | 9.72 | 11.29 | 11.77 | 11.22 | 10.15 | 7.78 | 5.86 | 4.21 | 8.09 | 4178.90 |
| Adıyaman | 4.51 | 5.49 | 6.74 | 8.08 | 9.70 | 11.78 | 12.25 | 11.52 | 10.17 | 7.56 | 5.56 | 4.01 | 8.11 | 4189.22 |
| Afyonkara-hisar | 3.91 | 5.17 | 5.64 | 7.05 | 9.27 | 10.71 | 11.36 | 10.73 | 9.39 | 6.82 | 5.12 | 3.74 | 7.41 | 3825.24 |
| Ağrı | 4.10 | 5.43 | 6.25 | 7.62 | 9.08 | 10.82 | 11.32 | 10.79 | 9.45 | 7.14 | 5.42 | 3.96 | 7.62 | 3931.51 |
| Aksaray | 4.11 | 5.40 | 6.80 | 7.97 | 9.36 | 11.27 | 12.12 | 11.53 | 9.81 | 7.36 | 5.45 | 3.73 | 7.91 | 4083.38 |
| Amasya | 3.57 | 4.65 | 5.48 | 6.60 | 8.16 | 9.58 | 10.14 | 9.70 | 8.11 | 6.11 | 4.51 | 3.19 | 6.65 | 3433.30 |
| Ankara | 3.73 | 4.89 | 6.16 | 7.21 | 8.76 | 10.21 | 11.06 | 10.45 | 8.83 | 6.48 | 4.73 | 3.35 | 7.16 | 3694.02 |
| Antalya | 4.95 | 6.10 | 7.24 | 8.29 | 9.70 | 11.55 | 11.84 | 11.29 | 9.80 | 7.68 | 5.97 | 4.55 | 8.25 | 4257.63 |
| Ardahan | 3.75 | 4.31 | 6.01 | 6.93 | 7.12 | 8.76 | 8.85 | 8.94 | 7.33 | 5.90 | 4.68 | 3.42 | 6.33 | 3269.81 |
| Artvin | 3.49 | 4.13 | 5.56 | 6.61 | 7.12 | 8.10 | 7.65 | 7.64 | 6.86 | 5.38 | 4.27 | 3.14 | 5.83 | 3009.51 |
| Aydın | 5.16 | 5.98 | 7.00 | 8.09 | 9.76 | 11.79 | 12.09 | 11.45 | 9.85 | 7.67 | 5.76 | 4.45 | 8.25 | 4261.50 |
| Balıkesir | 4.05 | 5.05 | 5.92 | 7.26 | 9.23 | 10.99 | 11.44 | 10.65 | 8.84 | 6.53 | 4.69 | 3.64 | 7.36 | 3798.57 |
| Bartın | 3.31 | 4.30 | 5.29 | 6.66 | 7.81 | 9.94 | 10.79 | 9.94 | 7.64 | 5.41 | 4.08 | 2.96 | 6.51 | 3361.45 |
| Batman | 3.92 | 5.02 | 6.16 | 7.64 | 9.71 | 11.72 | 12.09 | 11.34 | 10.05 | 7.33 | 5.48 | 3.92 | 7.87 | 4060.58 |
| Bayburt | 3.53 | 4.63 | 5.63 | 6.72 | 8.22 | 9.42 | 9.49 | 9.14 | 8.37 | 6.03 | 4.46 | 3.20 | 6.57 | 3391.99 |
| Bilecik | 3.31 | 4.45 | 4.77 | 6.27 | 8.75 | 9.86 | 10.48 | 9.75 | 8.48 | 5.86 | 4.44 | 3.31 | 6.64 | 3430.28 |
| Bingöl | 4.08 | 4.93 | 6.02 | 7.18 | 9.08 | 11.01 | 11.51 | 10.87 | 9.54 | 6.87 | 4.89 | 3.45 | 7.45 | 3847.61 |

**Çizelge A.1 (devam):** Türkiye illerinin ortalama güneşlenme süreleri ve üretilen elektrik enerjisi miktarları.

| İller | Aylar (saat) | | | | | | | | | | | | Ortalama güneşlenme süresi (sa) | Üretilen elektrik enerjisi miktarı (kWsa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | | |
| Bitlis | 3.46 | 4.72 | 5.56 | 7.13 | 9.27 | 10.95 | 11.31 | 10.62 | 9.81 | 6.86 | 5.19 | 3.59 | 7.37 | 3806.31 |
| Bolu | 3.28 | 4.41 | 5.19 | 6.53 | 8.31 | 9.73 | 10.44 | 9.74 | 8.15 | 5.78 | 4.26 | 3.12 | 6.58 | 3396.29 |
| Burdur | 4.74 | 5.82 | 6.98 | 7.97 | 9.61 | 11.40 | 11.85 | 11.25 | 9.78 | 7.45 | 5.72 | 4.23 | 8.07 | 4164.70 |
| Bursa | 3.71 | 4.51 | 5.64 | 6.96 | 8.90 | 10.11 | 10.78 | 9.98 | 8.49 | 5.84 | 4.35 | 3.40 | 6.89 | 3556.77 |
| Çanakkale | 4.21 | 5.50 | 6.28 | 7.77 | 9.54 | 11.56 | 11.85 | 11.01 | 9.00 | 6.81 | 4.93 | 3.83 | 7.69 | 3970.66 |
| Çankırı | 3.69 | 4.75 | 6.24 | 7.08 | 8.27 | 9.90 | 10.70 | 10.09 | 8.23 | 6.05 | 4.47 | 3.21 | 6.89 | 3557.20 |
| Çorum | 3.60 | 4.79 | 5.92 | 6.99 | 8.29 | 9.91 | 10.66 | 10.16 | 8.32 | 6.19 | 4.57 | 3.21 | 6.88 | 3554.19 |
| Denizli | 4.88 | 5.75 | 6.86 | 7.90 | 9.64 | 11.36 | 11.83 | 11.19 | 9.73 | 7.35 | 5.61 | 4.23 | 8.03 | 4144.48 |
| Diyarbakır | 3.73 | 4.89 | 6.16 | 7.21 | 8.76 | 10.21 | 11.06 | 10.45 | 8.83 | 6.48 | 4.73 | 3.35 | 7.16 | 3694.02 |
| Düzce | 3.17 | 4.25 | 5.20 | 6.37 | 8.21 | 9.71 | 10.40 | 9.67 | 7.96 | 5.60 | 4.03 | 3.04 | 6.47 | 3339.07 |
| Edirne | 3.93 | 5.31 | 5.94 | 7.69 | 9.54 | 10.96 | 11.73 | 10.71 | 8.88 | 6.03 | 4.56 | 3.37 | 7.39 | 3814.06 |
| Elazığ | 4.13 | 5.14 | 6.37 | 7.56 | 9.39 | 11.45 | 12.01 | 11.33 | 9.86 | 7.14 | 5.12 | 3.56 | 7.76 | 4003.79 |
| Erzincan | 3.73 | 4.85 | 6.15 | 7.14 | 8.63 | 10.29 | 10.67 | 10.23 | 9.12 | 6.52 | 4.71 | 3.27 | 7.11 | 3670.36 |
| Erzurum | 3.85 | 4.71 | 5.82 | 6.95 | 8.28 | 9.86 | 10.30 | 9.91 | 8.50 | 6.24 | 4.57 | 3.31 | 6.86 | 3540.85 |
| Eskişehir | 3.23 | 4.74 | 4.37 | 6.18 | 8.78 | 10.16 | 10.75 | 10.10 | 8.85 | 6.25 | 4.73 | 3.37 | 6.79 | 3506.87 |
| Gaziantep | 4.60 | 5.78 | 6.82 | 8.10 | 9.93 | 11.63 | 11.74 | 11.07 | 10.03 | 7.80 | 5.98 | 4.38 | 8.16 | 4210.30 |
| Giresun | 3.29 | 4.49 | 5.15 | 6.56 | 8.04 | 9.00 | 8.87 | 8.60 | 7.91 | 5.82 | 4.37 | 3.05 | 6.26 | 3233.23 |
| Gümüşhane | 3.02 | 4.60 | 5.54 | 6.74 | 8.17 | 9.25 | 9.30 | 8.99 | 8.28 | 5.95 | 4.43 | 2.99 | 6.44 | 3324.01 |

**Çizelge A.1 (devam):** Türkiye illerinin ortalama güneşlenme süreleri ve üretilen elektrik enerjisi miktarları.

| İller | Aylar (saat) | | | | | | | | | | | | Ortalama güneşlenme süresi (sa) | Üretilen elektrik enerjisi miktarı (kWsa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | | |
| Hakkari | 6.65 | 8.17 | 8.92 | 9.95 | 11.31 | 12.71 | 12.61 | 11.85 | 10.70 | 8.69 | 7.42 | 6.42 | 9.62 | 4964.94 |
| Hatay | 5.09 | 6.22 | 7.17 | 8.28 | 10.23 | 11.14 | 10.89 | 10.47 | 9.80 | 7.86 | 6.37 | 4.99 | 8.21 | 4238.27 |
| Iğdır | 5.88 | 7.34 | 8.43 | 9.64 | 10.87 | 12.34 | 12.59 | 11.65 | 10.25 | 8.33 | 6.86 | 5.61 | 9.15 | 4723.58 |
| Isparta | 4.38 | 5.46 | 6.82 | 7.77 | 9.42 | 11.10 | 11.70 | 11.13 | 9.64 | 7.17 | 5.44 | 3.95 | 7.83 | 4043.37 |
| İstanbul | 3.46 | 4.43 | 5.32 | 6.85 | 8.61 | 10.51 | 11.17 | 10.14 | 7.83 | 5.22 | 3.85 | 2.96 | 6.70 | 3456.96 |
| İzmir | 4.86 | 5.86 | 6.96 | 8.03 | 9.77 | 11.89 | 12.20 | 11.48 | 9.67 | 7.61 | 5.55 | 4.27 | 8.18 | 4222.78 |
| Kahraman-maraş | 4.21 | 5.47 | 6.61 | 7.85 | 9.57 | 11.49 | 12.07 | 11.43 | 10.13 | 7.55 | 5.56 | 3.86 | 7.98 | 4121.68 |
| Karabük | 3.41 | 4.40 | 5.62 | 6.75 | 7.97 | 9.77 | 10.58 | 9.83 | 7.84 | 5.60 | 4.20 | 3.02 | 6.58 | 3398.45 |
| Karaman | 4.46 | 5.85 | 7.14 | 8.44 | 9.84 | 11.51 | 12.02 | 11.47 | 10.11 | 7.77 | 5.95 | 4.31 | 8.24 | 4253.76 |
| Kars | 3.82 | 4.74 | 6.24 | 7.04 | 7.90 | 9.89 | 10.55 | 10.36 | 8.15 | 6.46 | 4.82 | 3.44 | 6.95 | 3588.61 |
| Kastamonu | 3.39 | 4.44 | 5.45 | 6.65 | 7.86 | 9.82 | 10.66 | 9.87 | 7.67 | 5.58 | 4.26 | 3.10 | 6.56 | 3388.12 |
| Kayseri | 4.08 | 5.31 | 6.37 | 7.59 | 9.21 | 11.22 | 12.03 | 11.47 | 9.84 | 7.39 | 5.39 | 3.55 | 7.79 | 4020.57 |
| Kırıkkale | 3.79 | 4.99 | 6.57 | 7.48 | 8.66 | 10.32 | 11.17 | 10.63 | 8.84 | 6.57 | 4.76 | 3.31 | 7.26 | 3746.94 |
| Kırklareli | 3.68 | 5.09 | 5.43 | 7.37 | 8.93 | 11.47 | 12.50 | 11.23 | 8.30 | 5.32 | 4.22 | 2.87 | 7.20 | 3717.68 |
| Kırşehir | 3.97 | 5.18 | 6.61 | 7.72 | 9.02 | 10.78 | 11.73 | 11.15 | 9.32 | 6.98 | 5.07 | 3.51 | 7.59 | 3916.88 |
| Kilis | 4.70 | 5.92 | 6.80 | 8.12 | 10.15 | 11.48 | 11.43 | 10.86 | 9.81 | 7.86 | 6.14 | 4.58 | 8.15 | 4209.87 |
| Kocaeli | 3.29 | 4.17 | 5.20 | 6.55 | 8.56 | 9.79 | 10.44 | 9.59 | 7.96 | 5.40 | 3.95 | 3.06 | 6.50 | 3354.13 |
| Konya | 4.19 | 5.51 | 6.88 | 8.03 | 9.46 | 11.28 | 11.97 | 11.36 | 9.79 | 7.35 | 5.53 | 3.93 | 7.94 | 4099.30 |

**Çizelge A.1 (devam):** Türkiye illerinin ortalama güneşlenme süreleri ve üretilen elektrik enerjisi miktarları.

| İller | Aylar (saat) | | | | | | | | | | | | Ortalama güneşlenme süresi (sa) | Üretilen elektrik enerjisi miktarı (kWsa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | | |
| Kütahya | 3.71 | 4.78 | 5.50 | 6.65 | 8.91 | 10.29 | 10.77 | 10.09 | 8.90 | 6.26 | 4.75 | 3.51 | 7.01 | 3619.16 |
| Malatya | 4.23 | 5.30 | 6.59 | 7.86 | 9.41 | 11.43 | 12.09 | 11.44 | 9.96 | 7.28 | 5.26 | 3.64 | 7.87 | 4065.31 |
| Manisa | 4.60 | 5.45 | 6.57 | 7.62 | 9.49 | 11.32 | 11.77 | 11.06 | 9.26 | 7.11 | 5.22 | 3.94 | 7.78 | 4018.85 |
| Mardin | 4.35 | 5.45 | 6.74 | 7.90 | 10.01 | 12.52 | 12.84 | 12.03 | 10.07 | 7.59 | 5.83 | 4.43 | 8.31 | 4292.05 |
| Mersin | 4.99 | 6.04 | 7.35 | 8.38 | 9.94 | 11.18 | 11.45 | 11.03 | 10.02 | 7.91 | 6.15 | 4.64 | 8.26 | 4262.79 |
| Muğla | 5.13 | 6.20 | 7.12 | 8.18 | 9.91 | 11.73 | 11.90 | 11.31 | 9.92 | 7.85 | 6.01 | 4.67 | 8.33 | 4299.36 |
| Muş | 3.66 | 4.80 | 5.56 | 7.25 | 9.13 | 10.83 | 11.42 | 10.76 | 9.60 | 6.89 | 4.98 | 3.47 | 7.36 | 3801.15 |
| Nevşehir | 4.07 | 5.32 | 6.43 | 7.65 | 9.16 | 11.17 | 12.05 | 11.48 | 9.68 | 7.27 | 5.35 | 3.57 | 7.77 | 4009.81 |
| Niğde | 4.41 | 5.48 | 6.74 | 7.85 | 9.51 | 11.39 | 12.16 | 11.57 | 10.06 | 7.61 | 5.65 | 3.90 | 8.03 | 4144.48 |
| Ordu | 3.44 | 4.40 | 4.77 | 6.24 | 7.96 | 9.06 | 8.92 | 8.60 | 7.72 | 5.80 | 4.34 | 3.11 | 6.20 | 3199.25 |
| Osmaniye | 4.57 | 5.66 | 6.76 | 7.87 | 9.83 | 11.39 | 11.79 | 11.19 | 10.15 | 7.78 | 5.92 | 4.24 | 8.10 | 4179.76 |
| Rize | 3.38 | 4.21 | 5.21 | 6.40 | 7.47 | 8.19 | 7.75 | 7.54 | 7.19 | 5.37 | 4.17 | 3.02 | 5.83 | 3007.36 |
| Sakarya | 3.20 | 4.23 | 5.01 | 6.33 | 8.39 | 9.72 | 10.35 | 9.56 | 8.01 | 5.53 | 4.05 | 3.09 | 6.46 | 3333.05 |
| Samsun | 3.60 | 4.41 | 5.17 | 6.43 | 7.92 | 9.15 | 9.52 | 8.97 | 7.61 | 5.72 | 4.32 | 3.22 | 6.34 | 3271.53 |
| Siirt | 3.84 | 5.00 | 6.04 | 7.38 | 9.64 | 11.52 | 11.78 | 11.07 | 9.99 | 7.19 | 5.53 | 4.02 | 7.75 | 4001.21 |
| Sinop | 3.46 | 4.42 | 5.35 | 6.62 | 7.80 | 9.44 | 10.08 | 9.32 | 7.57 | 5.56 | 4.32 | 3.21 | 6.43 | 3319.28 |
| Sivas | 3.76 | 5.02 | 5.99 | 7.20 | 8.73 | 10.50 | 11.09 | 10.65 | 9.23 | 6.80 | 4.97 | 3.30 | 7.27 | 3753.39 |
| Şanlıurfa | 4.68 | 5.62 | 6.92 | 8.14 | 9.96 | 12.24 | 12.42 | 11.66 | 10.11 | 7.71 | 5.87 | 4.40 | 8.31 | 4290.76 |

**Çizelge A.1 (devam):** Türkiye illerinin ortalama güneşlenme süreleri ve üretilen elektrik enerjisi miktarları.

| İller | Aylar (saat) | | | | | | | | | | | | Ortalama güneşlenme süresi (sa) | Üretilen elektrik enerjisi miktarı (kWsa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | | |
| Şırnak | 4.32 | 5.52 | 6.65 | 7.61 | 9.87 | 12.12 | 12.42 | 11.67 | 9.90 | 7.38 | 5.86 | 4.50 | 8.15 | 4208.58 |
| Tekirdağ | 3.69 | 4.96 | 5.54 | 7.26 | 9.05 | 11.21 | 11.92 | 10.83 | 8.32 | 5.66 | 4.15 | 3.13 | 7.14 | 3688.00 |
| Tokat | 3.60 | 4.72 | 5.50 | 6.71 | 8.27 | 9.74 | 10.12 | 9.79 | 8.40 | 6.33 | 4.62 | 3.20 | 6.75 | 3484.92 |
| Trabzon | 3.17 | 4.29 | 4.88 | 6.16 | 7.64 | 8.35 | 7.90 | 7.62 | 7.43 | 5.42 | 4.20 | 2.99 | 5.84 | 3013.81 |
| Tunceli | 4.02 | 4.99 | 6.25 | 7.27 | 9.00 | 10.88 | 11.43 | 10.86 | 9.49 | 6.85 | 4.88 | 3.41 | 7.44 | 3843.31 |
| Uşak | 4.60 | 5.33 | 6.46 | 7.48 | 9.37 | 10.83 | 11.42 | 10.76 | 9.38 | 6.93 | 5.14 | 3.98 | 7.64 | 3944.42 |
| Van | 5.27 | 6.40 | 7.39 | 8.50 | 10.11 | 11.55 | 11.65 | 10.97 | 10.31 | 7.65 | 6.16 | 4.93 | 8.41 | 4340.67 |
| Yalova | 3.27 | 4.25 | 5.41 | 6.84 | 8.78 | 9.96 | 10.70 | 9.75 | 8.15 | 5.53 | 4.05 | 3.04 | 6.64 | 3430.28 |
| Yozgat | 3.80 | 5.12 | 6.10 | 7.29 | 8.72 | 10.60 | 11.41 | 10.92 | 9.10 | 6.85 | 4.99 | 3.33 | 7.35 | 3795.99 |
| Zonguldak | 3.27 | 4.25 | 5.37 | 6.62 | 8.10 | 9.83 | 10.59 | 9.79 | 7.84 | 5.54 | 4.02 | 3.07 | 6.52 | 3368.33 |

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Sernaz ENGİN ŞİMŞEK

**Doğum Tarihi ve Yeri** : 04.06.1994 / İstanbul

**E-posta** : sernazengin@gmail.com

**ÖĞRENİM DURUMU:**

- **Lisans** : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği
- **Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği

**MESLEKİ DENEYİMLER:**

- 2017-2020 YILLARI ARASINDA Emlak Konut'un Ebruli Ispartakule projesinde Sıtar İnşaat firmasında teknik ofis inşaat mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.