

# Agrivoltaik Sistemler ve Tarım Alanlarının Hibrit Kullanımı

## Agrivoltaic Systems and Hybrid Use of Agricultural Fields

İbrahim Kırbas<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Burdur, Turkey

**ÖZ:** Fosil yakıt fiyatlarının artması ve çevreye olan zararları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Dünya nüfusunun artması ile meydana gelen enerji talebindeki artışa paralel olarak insanların ve hayvanların gıda ihtiyaçları da artmaktadır. Bu durumda tarım alanlarının hem gıda hem de enerji üretmek için kullanılması ile bu sorunlar çözümlenebilir. Agrivoltaik olarak adlandırılan sistemler, gıda ve enerji üretimi için toprak kaynaklarının birlikte kullanımına imkân vermesi ile bilinmekte olup bu iki alan arasında oluşan rekabetin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmada güneş radyasyonunu hem enerjiye hem de gıdaya dönüştürmek için en iyi stratejilerden biri olan agrivoltaik sistemler incelenmiştir. Alandaki en güncel bilgilere dayanan bugüne kadar mevcut olan teknolojik ve mekânsal tasarım seçeneklerini gözden geçirilip, gölgeye dayanıklı birçok ürüne uygulandığı takdirde, tarımsal sistemlerin muazzam potansiyelini gösteren birkaç deneysel çalışma özetlenmiştir. Ayrıca en basit şekliyle yapılabilecek bir agrivoltaik sistemde sadece panel yerleşimi ile yapılacak olan düzenlemeler sonucunda %20-47 oranlarında bir elektrik üretimi artışı olacağı tespit edilmiştir. İnsanlık için önem arz eden enerji ve gıda taleplerinin karşılanmasında gelecekte önemli bir yer bulacak olan agrivoltaik sistemler ile özellikle tarım alanlarının kıt olduğu ülkelerde arazi kullanımının etkinliği artırılmış olacaktır. Sonuç olarak agrivoltaik sistemler gelecek vaat eden sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Agrivoltaik, Enerji, Güneş, Tarım Alanları

**ABSTRACT:** The need for renewable energy sources has increasing day by day due to the increase in fossil fuel prices and their harm to the environment. In parallel with the increase in energy demand that occurs with the increase in the world population, the food needs of humans and animals also increasing. At this point, these problems can be solved by using agricultural lands to produce both food and energy. Systems called agrivoltaic are known for allowing the use of soil resources together for food and energy production, and it is aimed to minimize the competition between these two fields. In this study, agrivoltaic systems, one of the best strategies for converting solar radiation into both energy and food, are examined. A review of the technological and spatial design options available to date based on the most up-to-date information in the expertise, and a summary of several empirical studies that demonstrate the enormous potential of agricultural systems if implemented with many shade-tolerant crops. In addition, in an agrivoltaic system that can be made in the simplest way, it has been determined that there will be an increase in electricity production by 20-47% as a result of the arrangements to be made with only panel placement. Agrivoltaic systems, which will find an important place in the future in meeting the energy and food demands that are important for humanity, will increase the efficiency of land use, especially in countries where agricultural areas are scarce. As a result, agrivoltaic systems appear as promising systems.

**Keywords:** Agrivoltaic, Energy, Solar, Farming areas

## 1. Giriş

İnsanların yaşamları boyunca çeşitli ihtiyaçları olmuştur. Bunların başında temiz hava, temiz su, temiz gıda ve enerji yer almaktadır. Tarihten günümüze bakıldığında zaman insanlık enerjisi en kolay nasıl elde edilebilir ve en kolay nasıl kullanılabilir şeklinde yaklaşmıştır ve tercihlerini daha çok fosil kökenli yakıtlardan enerji elde etmede kullanmışlar. Fakat günümüzde enerji kullanımının rastgele değil de özenle yapılması gerektiği kanısına

varılmıştır. Çünkü fosil kökenli yakıtların çevreye verdiği zararlar her geçen gün artmaktadır (Karaağaç ve ark., 2020). 1970 yıllardan itibaren yapılan çalışmalara bakıldığında fosil yakıtların bitecek olması, yarattığı çevresel sorunlar nedeniyle yeni ve temiz enerji kaynaklarına olan gereksinim aciliyet kazanmıştır. 2000'li yıllarda ise artık bir yol ayrımına gelindiğini, bu yol ayrımının o kadar kolay ve hızlı olmayacağı anlaşılmıştır. Çünkü teknoloji geliştirmekteki hızımız, enerji kaynakları geliştirmekte yetersiz kalmıştır.

\*İletişim Yazarı / Corresponding author. Eposta/Email : ikirbas@mehmetakif.edu.tr

Geliş Tarihi / Received Date: 25.07.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 21.09.2023



Bu andan itibaren özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler yenilenebilir enerji kullanımı konusuna önem vermişlerdir. Bu konuda yapılan çalışmalara, projelere, araştırmalara destekler vermeye başlamışlardır (Sinsel ve ark., 2020; Østergaard ve ark., 2020). Yenilenebilir enerji kullanımı ile ülkelerin yeraltı kaynakları tükenmeyecek, dışa bağımlılıkları ortadan kalkacak veya azalacak ve en önemlisi ihtiyaç duyulan enerjiyi daha temiz üretmiş olacaklardır. Bir başka avantajı da kurulan sistemlerin amortisman süreci sonrasında minimum maliyette enerji üretilen sürdürülebilir sistemler kazanılacaktır (Kuikve ark., 2019; Xu veBuyya, 2020).

Küresel ısınma, iklim değişikliği gibi konularında değerlendirilmesi üzerine yapılan çalıştaylar hazırlanan raporlar gösteriyor ki dünya nüfusunun artması enerji taleplerinin artışında önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneşin geldiği tüm dünya tarafından kabul görmüş bir gerçektir. Fakat güneş enerjisinden elektrik üretmek için kurulan Güneş Enerji Sistemlerinin (GES) sayısının artması arazi kullanımını artıracaktır. Bir süre sonra artan dünya nüfusunun gıda talepleri de artacak ve arazi kullanımı konusunda tekrardan bir çakışma yaşanacaktır. Gelecekte bu tür sorunlar ile karşılaşılması kuvvetli bir olasılıktır. Bunun planlanmasının şimdiden yapılması akıllıca olacaktır. Bu noktada karşımıza agrivoltaik sistemler çıkmaktadır.

Agrivoltaik sistemler, tarım alanlarının üzerine yerleştirilen fotovoltaik paneller ile hem enerji üretimi sağlarken hem de panel altı arazide tarım ürünlerinin yetiştirilmesine izin veren sistemlerdir. Bu şekilde enerji ve mahsulün birlikte üretilmesi tekniği 1980 yıllarda tasarlanmış olsa da agrivoltaik isminin kullanılmasına 2010 yıllardan itibaren başlamıştır.

Elektrik üreten paneller ve yetiştirilmek istenilen ürünün güneşi paylaştıkları bu sistemlerde panellerin yerden belli bir yüksekliğe yapılması yeterli olmaktadır. İlk duyulduğunda mantıklı görülmesi de detaylı incelendiğinde birçok konuya çözüm getiren bir sistemdir. Hangi tür bitkiyi yetiştirecek olursanız olun bitki gün içinde ihtiyacı olduğu kadar foton kullanacaktır. Bitkilerin kullanımından sonra geriye kalan güneş ışınımı mı fotovoltaik paneller (PV) tarafından kullanılabilir. Agrivoltaik istemlerdeki güneş panelleri bitkiler üzerine gölgeleme yaparak toprağın nemini korur, sıcaklığın neden olduğu bitki stresini azaltır ve büyümeye yardımcı olur. Aynı zamanda bitki için gerekli su miktarında da tasarruf sağlar. Bitkiler ise yapmış oldukları buharlaşma ile güneş panellerinin aşırı ısınmasına (aşırı ısınma verim düşüne sebep olmaktadır) engel olmaktadır. Bundan dolayı panellerin verimi artmaktadır. Azalan su kullanımı ve artan üretim ile fayda sağlayan üretici diğer taraftan elektrik enerjisi üreterek ikinci bir fayda daha sağlar.

Agrivoltaik sistemlerin tasarımında ürünlerin güneş ışığına olan ihtiyaçları, sulama ihtiyaçları, çevre koşulları ve iklim koşulları gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksekte kurulacak olan sistemler için ayrıca bazı

parametreler de ortaya çıkmaktadır. Bunlar, yüksekliğin belirlenmesinde tarım makinelerinin geçmesine ve bitkilerin büyüme boyutuna göre tasarım yapılmasıdır. Bu şekilde sistemin toplam veriminin (ürün + enerji) artması mümkündür. Panel dizilimlerinde ise birbirilerini gölgelemeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Zaten bu durum geleneksel PV sistemler içinde geçerlidir. Yapılmış olan bazı çalışmalara ait literatür taraması aşağıda verilmiştir.

Zainol Abidin ve ark. (2021), agrivoltaik sistemlerin kaynakları sürdürmek ve çiftçilere ilave bir ekonomik fayda sağlamak gibi avantajları olduğunu bunun için PV mimarisi ve tarımsal yönetimde bazı planlamalar yapılması gerektiğini söylemektedirler. Planlamalarda ilk olarak kurulacak olan sistemin enerji merkezli, tarım merkezli ve tarımsal enerji merkezli gibi kategorize edilmesi gerekmektedir. İkinci olarak ışık yoğunluğu ve aktif radyasyon açısından güneş radyasyonu niteliklerinin bilinmesini ve üçüncü olarak ışık sınırlaması, güneş yapısının altındaki mikro iklim koşulu ve güneş yapısı kısıtlamaları nedeniyle mahsul seçimi ve yönetimi için birkaç ayarlamaya ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir. Abidin ve ark., PV sistemlerindeki yeniliklerin takip edilmesi gerektiğini, dikey çift yüzeyli fotovoltaik teknolojisi, yarı saydam fotovoltaik teknolojisi ve güneş izleme sistemlerinin kullanımının ile enerji üretiminin artırılabilirliğini söylemektedirler. Aynı zamanda tarım ve su yönetimine de dikkat çeken yazarlar enerji-gıda-su üçlününün birbirleri ile bağlantılı olduğunu, verimlilik artırmak için bu üç faktörün birlikte değerlendirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Sonuç olarak, agrivoltaik sistemlerin teknolojisindeki ilerlemelerin yenilenemeyen yakıt kaynaklarına olan bağımlılığı azaltması ve küresel ısınmanın etkilerini azaltmasının yanı sıra gıda-enerji-su bağlantısının taleplerini karşılaması konusunda önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Adamuccive ark. (2018), İtalya, EmiliaRomagna bölgesinde kurdukları agrivoltaik sistemde yetiştirdikleri mısır verimini, açık alanda yağmur suyu ile yetişen mısır verimiyle karşılaştıran uzun süreli bir simülasyon yapmışlardır. Bu simülasyon ile agrivoltaik sistemlerinde güneş radyasyonunun azaltılması için çeşitli panel yoğunluklarını (çift yoğunluklu %29,5 ve tek yoğunluk %13,4) ortalama toprak sıcaklığını, toprak su dengesini ve bitki büyümesi için tam ışıktan daha uygun koşullar sağlamıştır. Elde etikleri bulgular neticesinde yağmurla beslenen mısırların tane veriminin daha iyi olduğunu fakat kuraklık stresi, iklim değişikliği gibi koşullara dayanıklılık gibi durumlarda agrivoltaik sistemler altında yetiştirilen mısırlarda daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Agrivoltaik sistem ile çiftlik gelirinin çeşitlendirilmesine bağlı ekonomik ve çevresel analizini de yapmışlardır. Sonuç olarak agrivoltaik sistemlerin, özellikle arazi verimliliğini en üst düzeye çıkarmada çok etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

DineshvePearce (2016), agrivoltaik sistemlerinin teknik potansiyelini ölçmek için hem PV ile elektrik üretimi (PV-Syst) hem de tarımsal üretim (STICS: SimulateurmultidisciplinairelesCultures Standard) için birleştirilmiş bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Güneş enerjisiyle

elektrik üretiminin gölgeye dayanıklı mahsul üretimiyle birleştirilmesinin, geleneksel tarım yerine agrivoltaik sistemleri kullanan çiftliklerin ekonomik değerinde %30'un üzerinde bir artış yarattığını bildirmişlerdir.

Bugüne kadar yapılan diğer çalışmalarda, agrivoltaik sistemler ile yetiştirilen lahanaların normal koşullarda yetiştirilen lahanalara göre %33 daha büyük oldukları, enginar ve marullar için %14-%29 oranında sulama ihtiyacının azalması gibi sonuçlar elde edilmiştir (Zheng ve ark., 2021). Bir diğer araştırmaya göre agrivoltaik sistemlerde yetiştirilen biber, domates ve kiraz gibi bitkilerin verimlerinde iyileşme gözlemlenmiştir (NTboxmag, 2019).

Bahsi geçen olumlu yönlerinin yanında ortaya çıkan olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. PV altı yetiştirilmede, yetiştirilen ürüne bağlı olarak %5 ila %20 arasında verim düşüşü olduğu bildirilmektedir. Fraunhofer Enstitüsü tarafından yapılan bir başka deneysel çalışmada ise 3000 metrekaarelik arazi üzerine 194 kW kapasitede PV sisteme sahip agrivoltaik sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan agrivoltaik sistem ile mahsul üretim seviyelerinde %20'lik bir düşüş ile karşılaşmıştır. Mahsul veriminin dışında PV sisteminin yerden yüksekte kurulacak olması taşıyıcı sistem ve kablolama miktarlarında geleneksel PV sistemlerine oranla ek bir maliyet doğuracak olması bir diğer dezavantajdır. Fakat bunun yanında PV sistemden elde edilecek olan elektrik enerjisi ile bu farkın ortadan kalkacağı gibi ek bir gelir kaynağı elde edilmesi planlanmaktadır (Toledo ve Scognamiglio, 2021).

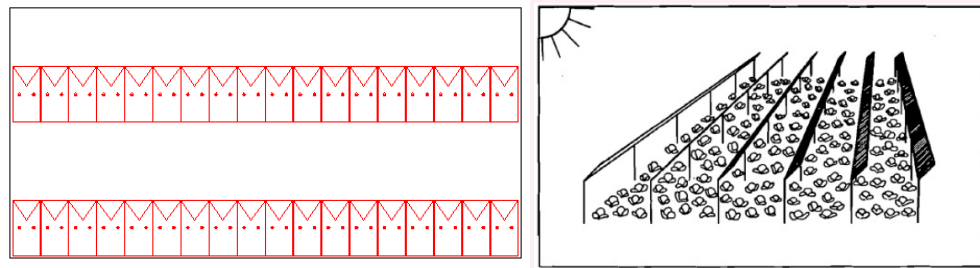
Agrivoltaik uygulamalarının avantajlarını ve dezavantajlarını kısaca özetleyecek olursak; Temiz enerji üretimi ile karbon emisyonlarının azaltılmasında yardımcı olacaktır. Gölgeleme sayesinde ürünlerin su tüketimlerinin azalmasına ve dolayısıyla su kaynaklarının verimli kul-

lanılmasına yardımcı olacaktır. Mahsulü aşırı sıcaklık veya don tehlikesine, dolu ya da şiddetli yağmur hasarına karşı koruyacaktır. Doğru ürünlerin (gölgede yetişen) seçimiyle mahsul alımında artış sağlayacaktır. PV sistemi sayesinde öncelikli olarak arazide kullanılacak olan sulama sistemi ve diğer elektrik enerjisi tüketen sistemlerin ihtiyaçları karşılanabilecektir. Arta kalan enerji satışı ile ek bir gelir sağlayacaktır.

Bu çalışmada agrivoltaik sistemlerin tasarımında dikkate alınması gereken güneş panellerinin açısı, dizilimi, yerden yüksekliği ve taşıyıcı sistemler gibi ana değişkenler hakkında, ayrıca yetiştirilmesi mümkün olan bitkiler, bölgenin güneş potansiyeli ve iklimi gibi diğer değişkenlerin sistem verimine etkisi hakkında bilgiler verilmektedir. Çalışmanın asıl amacı Burdur ilinde 1000 m<sup>2</sup> arazi üzerine kurulacak olan bir agrivoltaik sistemin optimum koşullarının belirlenmesidir. Literatür bilgisi ve yapılmış olan uygulamalar göz önüne alınarak üç farklı sistem tasarımı yapılmıştır. Bu sistemler panel yerleşiminde yapılan düzenlemeler ve güneş takip mekanizması kullanımı sonucunda elektrik üretim miktarları bakımından incelenmiştir.

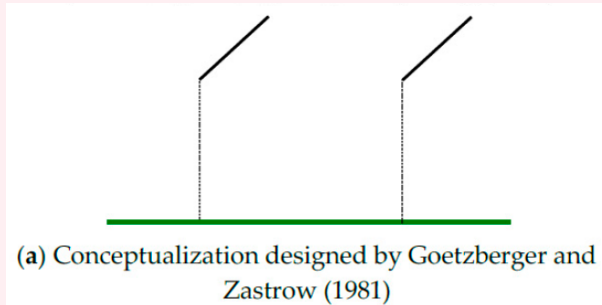
## 2. Yapılmış Çalışmalar ve Uygulamalar

Goetzberger ve Zastrow tarafından 1981 yılında geliştirilen Şekil 1abc'deki model aynı zamanda agrivoltaik sistemin ilklerindedir. Geliştirilen sistem tek sıra dizi şeklindeki panel grubundan oluşmaktadır (Şekil 1a) ve paneller doğrudan zemine kurulmaz (Şekil 1b). PV panel sıraları arasındaki mesafe panellerin yüksekliğinin üç katı olacak şekilde ve yerden en az 2 m yüksekte olması durumunda hemen hemen tek tip radyasyon elde edileceğini bildirmişlerdir (Şekil 1c). Bu yükseklik değerinin gün boyunca direk radyasyon miktarının üçte ikisi ka-

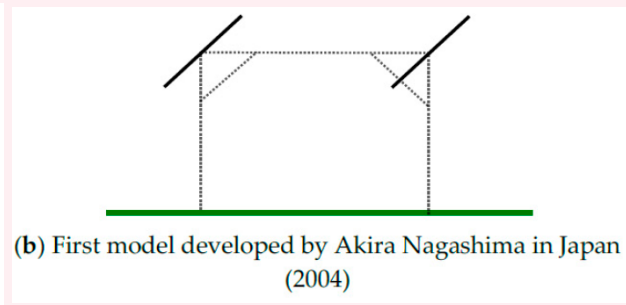


a)

b)



(a) Conceptualization designed by Goetzberger and Zastrow (1981)



(b) First model developed by Akira Nagashima in Japan (2004)

c) Goetzberger ve Zastrow tarafından geliştirilen model (1981)

d) Nagashima tarafından geliştirilen model (2004)

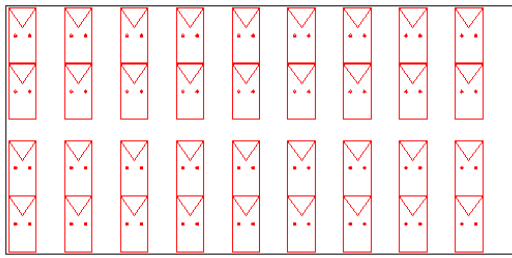
Şekil 1. Agrivoltaik sistemin ilk örnekleri

dar olacağını ve yarı gölge alan oluşturmak için yeterli olduğunu söylemişlerdir. Yarı gölge ortamda yetiştirilecek ürünler için ideal olan bu sistemin elektrik enerjisi üretimini mümkün kılması ile avantajlı olduğunu söylemişlerdir (Goetzberger ve Zastrow, 1982).

Nagashima (2020), benzer bir sistem tasarlayarak panel orta noktasından bağlantı yapmıştır (Şekil 1d). Bitkilerin maksimum fotosentez oranlarını elde etmeleri için toplam güneş radyasyonunun %3 ila %6'sı arasında bir değeri kullandıklarını bildiren Nagashima güneş radyasyonunun fazlasını ise elektrik üretimi için paylaşılması fikriyle tasarlamış olduğu sisteme güneş paylaşımı (Solar Sharing) adını vermiştir.

Sistem tasarım ve konstrüksiyon şekilleri incelendiğinde Goetzberger ve Zastrow'a ait sisteminin sabit PV modül dizilimine uygun olduğu, Nagashima ya ait sistemde hem sabit hem de tek eksen güneş takibi yapılabilen bir sistemin uygulanabileceği görülmektedir.

Elamrive ark. (2018), Fransa'da Montpellier bölgesinde yapmış oldukları deneysel çalışmalarında agrivoltaik sistem ile marul yetiştirmişlerdir. Şekil 2'de görüldüğü gibi çift sıra dikey yerleştirdikleri panellerin aralarında bıraktıkları boşluklar ile %50 gölge (yarı gölge) oluşturmuşlardır. Sonuç olarak bitki su ihtiyacında %20 oranında bir azalma tespit etmişlerdir. Bitki büyüme süresinde ise 5-7 günlük bir gecikmenin olduğunu bununda tarımsal verimde %15 ila %25 oranında bir azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Fakat her iki etkinin de aynı anda değerlendirilmesi sonucu bu gecikme bir dezavantaj olmayacağı kanısına varmışlardır. Elektrik üretiminden elde edilen gelirin ise tamamen artı bir katkı sağladığı sonucuna varmışlardır.

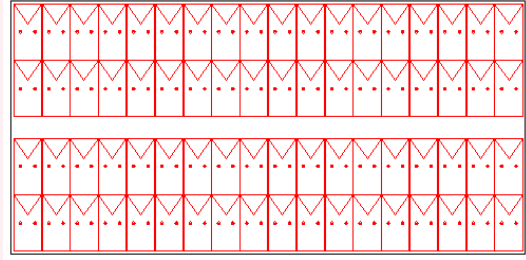


Şekil 2. Fransa'da Montpellier bölgesinde yapılan uygulama

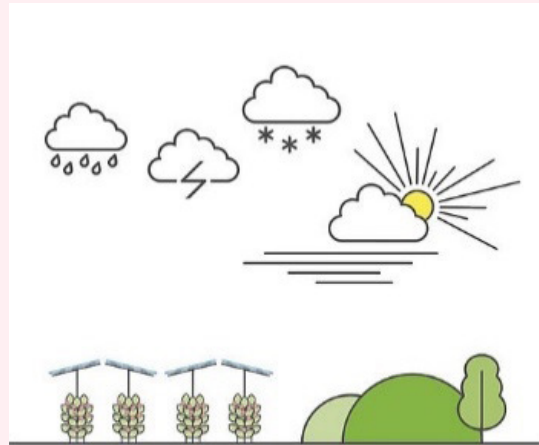
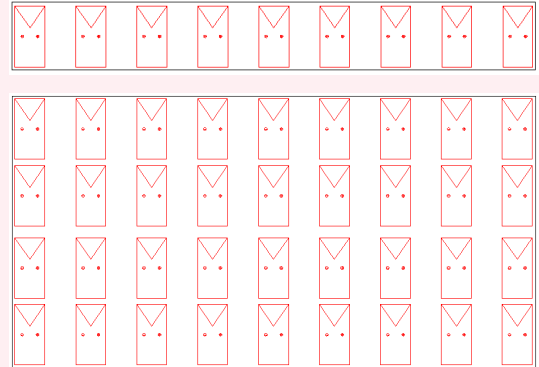
Fransa'da Montpellier bölgesinde kurulmuş olan sistemin sonuçları üzerine Sun'Agri firması tarafından yine Fransa'nın Doğu Pyrenean bölgesinde 4,5 ha üzüm bağı üzerine 2,2 MWp kapasiteli olarak inşa edilmiştir (Sun'Agri, 2022). Sistemin tam gölge oluşturması planlanmış, istenildiği takdirde tek eksen güneş takip sistemi ile birlikte uygulanabilir. Sisteme ait panel yerleşimi ve uygulama görüntüsü Şekil 3'te görülmektedir.

Amaduccive ark., (2018), İtalya da yapmış oldukları çift eksenli güneş izleme sistemi ile donatılmış bir agrivoltaik tesisten (Şekil 5) elde ettikleri sonuçlar ile simülasyon

sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Agrivoltaik sistemin arazi verimliliğini en üst düzeye çıkarmada çok etkili olduğu sonucuna varmışlardır.



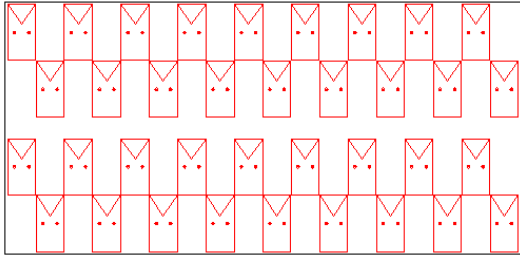
Şekil 3. Fransa'nın Doğu Pyrenean bölgesinde yapılan uygulama



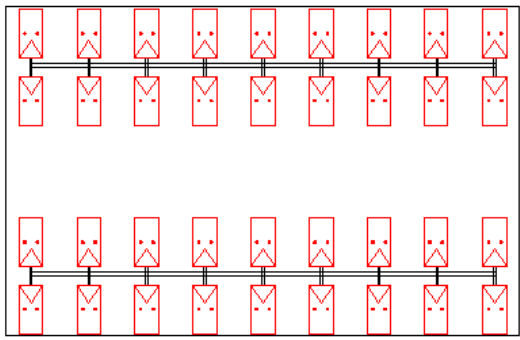
Şekil 4. Hollanda'nın Babberich kasabasında yapılan uygulama

İtalya'nın kuzeyinde CastelvetroPiacentino bölgesinde 7 hektarlık bir alan üzerine 1,3 MWp, Monticellid'Ongina bölgesinde 20 hektarlık bir alan üzerine 3,2 MWp kapasitede çift sıra yarı gölge oluşturacak sistem yerden yüksek

olarak inşa edilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi paneller yatay çift sıra şeklinde güney-kuzey doğrultuda ve orta kısımlarından bağlantı yapılmıştır (REM Tec., 2022).



Şekil 5. İtalya'da yapmış olan ve çift eksen güneş takipli sistem



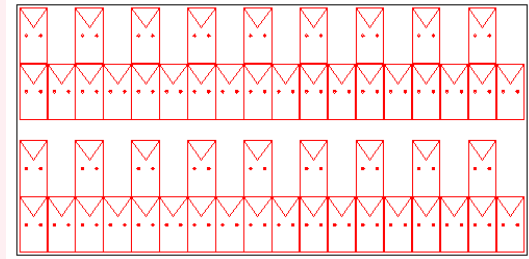
Şekil 6. İtalya'da yapmış olan ve çift sıra yarı gölgeli sistem

Aynı arazi üzerinde hem mahsul hem de enerji üretimin sağlayan bir başka uygulama şeklide yere monte uygulamalarıdır. Yere monte edildiklerinden yükseklik için gereken ayak malzemelerine ihtiyaç duymazlar. Bu yüzden yüksekte yapılan agrivoltaik sistemlerden daha düşük maliyetle kururlar. Fakat bitkilerin yüksekliğine bağlı olarak büyümeleri için gerekli alan, günlük ışık ihtiyacı

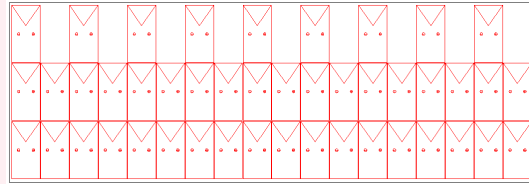
ve tüm bunları kapsayan mikro iklimin oluşturulması için birçok tasarım kriterinin göz önünde bulundurulması gerekir. Yere monte (zemin üstü) uygulamalarda panel dizilimlerini artırmak ya da azaltmak suretiyle istediğiniz gibi gölge oranını oluşturmak mümkündür. Yere monte uygulamaların en büyük dezavantajı panel altı bölgenin tarım için kullanılması her zaman mümkün olmamaktadır.

Yere monte uygulamalara örnek olarak Hindistan ve Malezya'da java çayı (kedi bıyığı otu), aloe vera ve ispanak gibi türleri test etmek için bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda panel altı konumdaki bitkilerin panel sıcaklığını %0,85 oranında düşürdüğünü, bu da yıllık enerji üretimini %2,8'e kadar artırabileceği sonuçları elde edilmiştir (Toledo ve Scognamiglio, 2021).

Şekil 7. görülen uygulama Hindistan'ın Jodhpur'daki Central Arid Zone Araştırma Enstitüsü tarafından kurulan 105 kWp agrivoltaik sisteme aittir (PV Magazine, 2022). Pilot sistemin ilk tasarımları Santra ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu pilot sistem ayrıca ülkenin de ilk agrivoltaik tesisi unvanını taşımaktadır (Santra ve ark., 2017).



%75 gölge

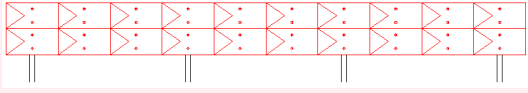


%84 gölge

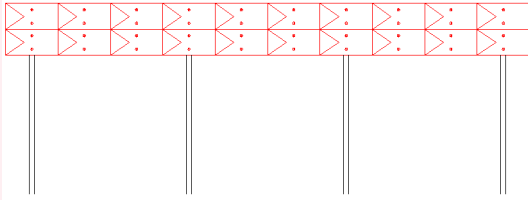


Şekil 7. Hindistan'ın Jodhpur'daki yere monte uygulaması

Agrivoltaik sistemlerde daha fazla arazi kullanımına imkân veren yenilikçi tasarımlar yapılmıştır. Bu tasarımlarda daha fazla arazi ve daha az PV sistem alanı yapılması gerektiği için yüksek verimli teknolojilere yer verilmiştir. Çiftliklerde iki yüzeyli PV panelleri kullanılmıştır. Paneller doğu–batı yönünde dikey olarak yerleştirilmiş iki sıra arasında 10 m mesafe bırakılmıştır. Bu sistemlere örnek olarak Avusturya’da yapılan 22 kWp kapasiteli uygulama Şekil 8a’da görülmektedir. Bir başka uygulamada ise, Almanya’da Donaueschinger bölgesi Aasen’de yaklaşık 14 hektarlık bir alan üzerine 11000 adet çift yüzeyli güneş paneli ve 4,1 MWp kurulu güce sahip santral ile 1200 haneye yetecek elektrik üretimi gerçekleşiyor (Şekil 8b). Avusturya ve Almanya’daki bu projelerde elektrik üretimi ile birlikte, mahsul olarak patates, saman ve silaj ekimi yapılmaktadır (Next2Sun GmbH, 2022; Campana ve ark., 2021).



a) Guntramsdorf (Austria)



b) Donaueschingen (Germany)

Şekil 8. Dikey yerleştirilmiş çift yüzeyli panel uygulaması

### 3. Materyal ve Metot

Bu çalışmada tarım alanlarından mahsul elde etmek ve enerji üretmek üzere iki farklı şekilde üretimin gerçekleştirildiği bir sistem olan agrivoltaiklerin tasarım kriterlerinden bahsedilmektedir. Çalışmanın asıl ama-

cı ise daha önce uygulaması ya da tasarımı yapılmamış bir sistem olan yatay çift sıra panel dizilimi ile yapılan agrivoltaik sistemin performans değerlerinin belirlenmesidir. Bunun için 1000 metrekairelik alan üzerine kurulması planlanan agrivoltaik sistem için üç farklı şekilde tasarım yapılacaktır. Bunlar sırası ile dikey yerleşim, yatay yerleşim ve güneş takip sistemli tasarımlardır. Daha sonra bu üç farklı sistemden elde edilecek elektrik üretim miktarları belirlenecektir.

Agrivoltaik sistemler arazi üzerine bir gölgeleme yapmaktır. Tam gölge ya da yarı gölge alanlarda bitki yetiştirmek için ya bitkiye uygun sistem tasarlanmalı ya da sisteme uygun bitki seçilmelidir. Ülkemizde tam güneş, yarı gölge ve tam gölge alanlarda yetiştirilebilen bitki çeşitliliği vardır. Güneşe maruz kalma oranı, gölge ortamlarda yetiştirilebilecek bitkilerin özellikleri ve fotovoltaik sistemlerin modellenmesi hakkında bilgiler bu kısımda verilmektedir.

### 4. Yetiştirilecek Bitki Seçimi

Türkiye oldukça zengin tarım alanlarına sahip olmakla birlikte coğrafi konumu itibarıyla oldukça yüksek güneş potansiyeline de sahiptir. Bu potansiyel ortalama olarak yıllık 2640 saat ve günlük 7,2 saat güneşlenme süresi olarak tespit edilmiştir (Kırbaş ve ark., 2013). Tarım alanları bakımından ise 2021 yılı itibarıyla 38.063 bin hektar alana sahiptir (Tablo 1). Bu alanlardan çayır, mera ve nadasa bırakılan alanlar çıkarıldığında işlenen alanların oranı %53,56’lık bir alana karşılık gelmektedir.

Mahsul yetiştirme mevsimi boyunca güneş miktarını tanımlamak için kullanılan üç temel güneş ışığı koşulu vardır. Tam Güneş, 10.00-18.00 saatleri arasında veya gün içinde 6 saat ve üzeri güneş ışığına maruz kalan alanlar için kullanılan ifadedir. Yarı Gölge, kısmi güneş veya kısmi gölge de denilen, her gün ortalama 3-6 saat güneş alan ve geriye kalan zamanı gölge olarak geçiren alanları ifade eder. Tam Gölge, gün boyunca doğrudan veya dolaylı olarak güneş ışığı almayan alanlardır.

Toprağın güneş alma durumuna göre ekeceğiniz bitkiye karar vermek gerekmektedir. Domates, salatalık, patlıcan, biber, kabak ve kavun gibi çiçekten meyve veren ve doğrudan meyvesi yenilen bitkilerin olgunlaşması için günde altı ila sekiz saat güneş almaları gerekir. Bu bitkileri az güneş alan toprakta yetiştirmek kolay olmayabilir. Pancar, havuç ve patates gibi kök sebzeler, doğrudan güneş ışığına daha az sahip olan kısmen gölgeli alanlarda yetişebilse de en az yarım gün tam güneşe ihtiyaç duyarlar. Lahana, pazı, ıspanak ve salata yeşillikleri gibi yapraklı sebzeler gölgeye en fazla toleransı olan sebzelerdir. Aslında, mevsim ısındıkça bu sebzeleri gölgede tutmak daha uzun süre dayanmalarına yardımcı olacaktır (E-kamkat, 2021).

Kısmen güneş alan, günün büyük kısmını gölgede geçiren bir arazi için uygun olan sebze meyvelerden bazıları ve ülkemizde yetiştirilme miktarları aşağıdaki Tablo

2'de verilmiştir. Bunun yanında üretim miktarı belli olmamakla birlikte yaban çileği, kuş üzümü, mürver gibi meyveler ile biberiye, limon otu, frenk soğanı, fesleğen gibi aromatik bitkiler de gölgede yetiştirilebilmektedir.

## 5. Fotovoltaik Sistem Modellemesi

Güneş enerjisinden elektrik üretimi genellikle şebekeyle bağlantılı ve şebekeden bağımsız (on-grid ve off-grid) olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir (Mamur ve ark., 2019). Güneş enerjisi sitemlerinden elde edilen gerilim doğru akımdır ve gerektiğinde alternatif akıma dönüştürülerek kullanılabilirler (Çıfci ve ark., 2014). Fotovoltaik panellerden uygulamada bugüne kadar elde edilen verim değerleri %30 seviyelerinden daha düşüktür (Kabul ve Yaşar, 2017). ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL: National Renewable Energy Laboratory) tarafından yapılan verimlilik grafiklerinde ise araştırma için üretilen fotovoltaikler için verim değerinin %47,1 seviyelerine ulaştığını göstermektedir (NREL, 2022).

Agrivoltaik sistemler için tasarlanacak olan güneş enerjisi sistemi şebeke ile bağlantılı olması daha uygundur. Sistemlerin geniş tarım arazileri üzerine kurulacak olması yüksek miktarda enerji üretebileceği anlamına gelmektedir. Bu enerji off-grid sitemlerle üretildiği zaman büyük depolama alanları gerekli olacak ve dolayısıyla kurulum maliyetinin artmasına sebep olacaktır. Ayrıca depolanan enerji daha sonra nerede ve ne kadar kullanılacaktır. Bir çiftçinin tarım arazisinde ne kadar

enerjiye ihtiyacı olabilir. Bütün bunlar düşünüldüğünde on-grid yani şebekeye bağlı sistemlerin kurulması üretilen elektriğin direkt olarak şebekeye aktarılması hem maliyetsiz hem de daha verimli olacaktır.

Agrivoltaik sistemlerde kullanılacak olan PV panel sıraları, arasında tarım ekipmanlarının geçişine izin verecek mesafede tasarlanmalıdır. Modüllerin konumu ise yere monte (Şekil 9) ya da ayaklar üzerinde olabilir (Şekil 10). Şekil 9 de gösterilen A iki panel sırası arasındaki mesafeyi (m) tarım için kullanılacak alanı + tarım ekipmanlarının kullanacağı alanı, B tarım için kullanılabilir alanı (m), H sütun yüksekliğini (m) ve  $\theta$  derece cinsinden eğim açısını ifade etmektedir. Şekil 2'de ise görüldüğü gibi panellerin altındaki tüm alan tarım için ve tarım ekipmanları için kullanılabilir. Ayak yüksekliği ve ayaklar arasındaki mesafe tarım ekipmanlarının kullanımı sırasında PV modüllere zarara vermeyecek şekilde mahsulün hasat işlemine ve bakımına (sulama, ilaçlama, gübre dağıtımı vb.) izin vermelidir.

Şekil 10'deki tasarım yere monte olan Şekil 9'deki tasarıma göre daha etkin arazi kullanımı sağladığı için tercih edilebilirliğini artırmaktadır. Çünkü yere monte olarak kurulacak olan sistemde PV panellerin altındaki arazi ya kullanılamaz ya da kısıtlı ürün çeşitliliğinde (kök sebzeler veya yerden yüksekliği düşük olan marul, lahanalar gibi sebzeler) kullanılabilir. Bu yüzden yetiştirilecek ürün seçimi ile PV panel montaj şekli birlikte optimize edilmelidir. Tam gölge seven, yarı gölge seven mahsul,

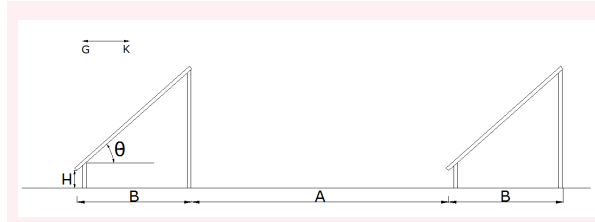
**Tablo 1.** Türkiye'nin tarım alanları (Bin Ha) (Tüik, 2022)

Yıllar	Toplam tarım alanı	Tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin alanı		Sebze bahçeleri alanı	Süs bitkileri alanı	Meyveler, içecek ve baharat bitkileri alanı	Çayır ve mera arazisi
		Ekilen alan	Nadas				
2017	37.964	15.498	3.697	798	5	3.348	14.617
2018	37.797	15.421	3.513	784	5	3.457	14.617
2019	37.716	15.398	3.387	790	5	3.519	14.617
2020	37.762	15.628	3.173	779	5	3.559	14.617
2021	38.063	16.031	3.059	755	5	3.595	14.617

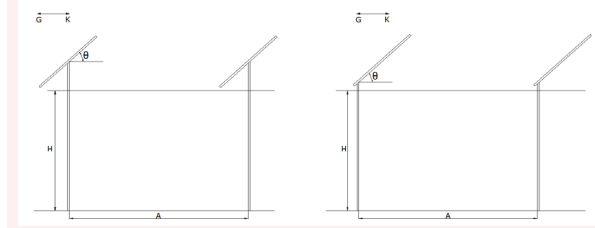
**Tablo 1.** Gölgede yetişen ürünler ve 2021 yılı üretim miktarları (Tüik, 2022; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022)

Kök Sebzeler (ton)	Yeşil Sebzeler (ton)	Diğer Sebzeler (ton)	Meyveler (ton)	Aromatikler (ton)
Pancar (18.250.000)	Lahana (860.123)	Kabak (609.622)	Kızılcık (13.745)	Nane (26.438)
Patates (5.100.000)	Marul (540.569)	Fasulye (510.366)	Böğürtlen (2.714)	Maydanoz (108.604)
Havuç (590.483)	Ispanak (218.355)	Karnabahar (234.717)	Yaban mersini (2.496)	Kekik (17.965)*
Turp (229.096)	Taze soğan (126.185)	Pırasa (213.192)	Kuş üzümü	Kışniş (253)*
Sarımsak (179.071)	Roka (27.350)	Bezelye (111.625)	Mürver	Biberiye
Kereviz (24.402)	Pazı (7.726)	Brokoli (104.614)	Yaban çilekleri	Limon otu
Şalgam (2.359)				Frenk soğanı
Kuşkonmaz (1.156)				Fesleğen

yeraltı ya da yerüstü yetişen mahsul, yeraltı yetişen fakat yerüstü uzantısı yüksek olan (sarımsak vb.) mahsul gibi etkenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.



Şekil 9. Yere monte (zemine oturan) PV panel yerleşimi



Şekil 10. Yerden yüksek (ayaklar üzerine) PV panel yerleşimi

Bu alanlardan çayır, mera ve nadasa bırakılan alanlar çıkarıldığında işlenen alanların oranı %53,56'lık bir alana karşılık gelmektedir. Agrivoltaik uygulamalarda öncelik sırasının belirlenmesi gerekmektedir. Yetiştirilecek ürün için gerekli gölge miktarının ayarlanması ile üretim verimliliğini artırmak mı, ya da elektrik üretiminin maksimum olması mı istenilmektedir. Buna göre çeşitli parametreler belirlenmeli ve gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.

Ekilecek bölgenin gölge seviyesinin ayarlanması: Panel dizileri arasındaki mesafe, diziler üzerine panel yerleşimi ve miktarı, panellerin zeminden yüksekliği, güneş izleme sistemleri, yarı saydam PV panelleri kullanılarak ayarlanabilmektedir.

Elektrik enerjisi üretimini en üst düzeye çıkarmak: Çevredeki elemanlardan (yapılar, binalar, ağaçlar, PV panellerinin birbirlerini gölgelemesi vb.) kaynaklanacak güneş paylaşım kayıplarının önlenmesi, PV panel eğiminin kurulum yapılacak olan bölgeye en uygun şekilde ayarlanması ile sağlanabilir. Ayrıca yüksek verimli sistemler (ör. Güneş takip sistemleri, Gündoğdu ve ark., 2016) veya yüksek verimli paneller veya teknolojiler (ör. iki yüzeyli panel teknolojisi) kullanılarak elektrik enerjisi üretim verimi artırılabilir.

## 6. Yeni Tasarlanan Sistem

Güneş paneli verimliliklerindeki son gelişmeler sayesinde aynı büyüklükteki panellerden daha fazla elektrik üretim gerçekleştirilmektedir. Ayrıca literatürde kabul görmüş bazı tasarım programlarının sürekli kendilerini geliştirmeleri de yeni tasarımlar için farklı kombinasyonların denemesine imkân sağlamıştır. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında şimdiye kadar yapılmış olan çalışmalar bir temel oluşturmuş fakat verimliliklerin artırılmasına yönelik yeni sistem tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Sonuç olarak yukarıdaki istemler incelenerek sistem verimliliğini artırmak için Goetzberger ve Zastrow'a ait sistem ile Nagashima ya ait sistemden yola çıkarak yeni bir sistem tasarlanmıştır. Mevcut uygulamalarda paneller dikey tek sıra ve doğu-batı doğrultuda yerleştirilmiş (Şekil 11c) ve iki dizi arasında 6 m boşluk bırakılarak 4 m ayak üzerine monte edilmiştir (Şekil 11a). Yeni tasarlanan sistemde ise panellerin yatay pozisyonunda ve çift sıra olacak şekilde yapılması düşünülmüştür. Hem literatür bilgisi olarak hem de uygulama olarak böyle bir panel yerleşimine rastlanmamıştır. Sistem tasarım parametreleri olarak, her iki sistem de eşit uzunluktaki (20 m) profil üzerine yapılacak olup eşit arazi kullanımı sağlanacaktır. Sistem performansının belirlenmesi için PVsyst 7.2 programı kullanılmıştır. Güneş ışınım değerleri için PVsyst 7.2 programı kütüphanesinde bulunan Meteorom 8.0 verileri (Burdur; 37.72 oK, 30.29 oD 964 m yükseklik) kullanılmıştır.

Arazi olarak 20 x 50 m (1000 m<sup>2</sup>) bir arazi düşünülmüştür. 20 m uzunluğundaki diziler arası 6 m boşluk bırakıldığı takdirde 9 dizi yapılacağı Şekil 11b'de görülmüştür.

PV panel olarak Generic marka monokristal 300W 60 hücreli ve 1640 x 992 x 35 mm (Şekil 11f) boyutlarında 2020 yılı üretimli paneller tercih edilmiştir.

**Dikey yerleşim:** 20 m uzunlukta 20 adet panel (her biri 992 mm olan) yerleşebilecek olup 9 dizi ile bu miktar 180 adet olarak belirlenmiştir (Şekil 11c).

**Yatay yerleşim:** Yeni tasarlanan bu sistemde ise panellerin yatay çift sıra yerleşimi ile aynı uzunluk (20 m) üzerine 24 adet panel yerleşimine izin vermektedir. 9 dizide toplam 216 adet panel yerleştirmek mümkün olmuştur. Yeni tasarlanan sistem sabit yerleştirme açısı  $\theta = 20^\circ$  ile doğu-batı doğrultuda yerleştirilerek test edilmiş (Şekil 11d).

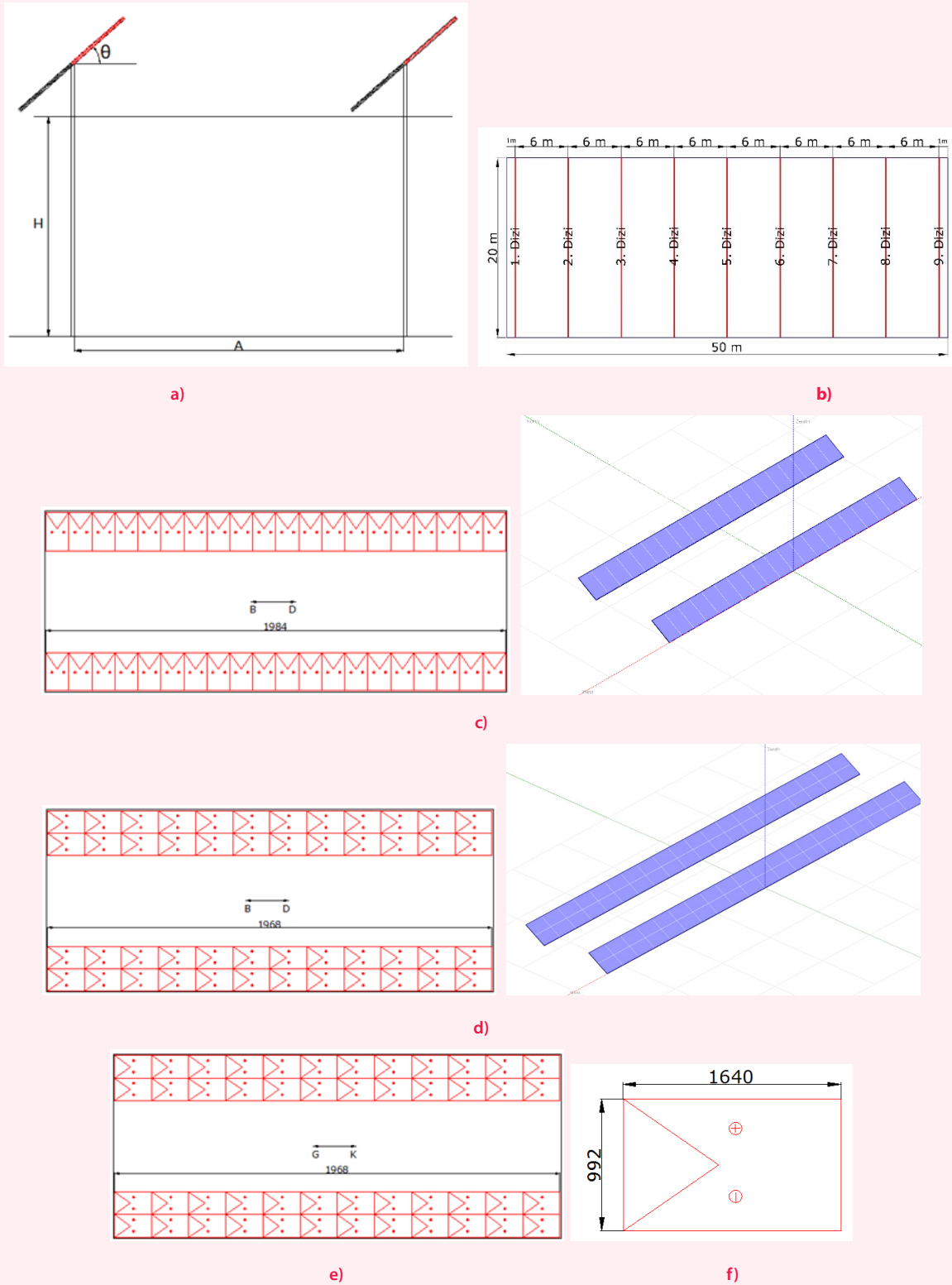
**Güneş takip sistemi:** Paneller (216 adet) yatay çift sıra kuzey-güney doğrultuda yerleştirilerek tek eksen güneş takip istemi olması durumunda sistem test edilmiştir (Şekil 11e). Şekildeki  $\theta$  açısı güneş takip sisteminde ise  $-45^\circ$  ile  $+45^\circ$  arasında olacak şekilde belirlenmiştir.

Türkiye oldukça zengin tarım alanlarına sahip olmakla birlikte coğrafi konumu itibarıyla oldukça yüksek güneş potansiyeline de sahiptir. Bu potansiyel ortalama olarak yıllık 2640 saat ve günlük 7,2 saat güneşlenme süresi olarak tespit edilmiştir (Kırbaş ve ark., 2013). Tarım alanları bakımından ise 2021 yılı itibarıyla 38.063 bin hektar alana sahiptir (Tablo 1). Bu alanlardan çayır, mera ve nadasa bırakılan alanlar çıkarıldığında işlenen alanların oranı %53,56'lık bir alana karşılık gelmektedir.

## 7. Bulgular ve Tartışma

Programdan elde edilen sonuçlar ise (Tablo 3), sabit tek sıra dikey yerleşimli sistem için yıllık 74.336 kWh, sabit çift sıra yatay yerleşimli sistem için 89.372 kWh ve tek eksen güneş takipli çift sıra yatay yerleşimli sistem için 109.536 kWh elektrik üretimi olacağı şeklindedir.





**Şekil 11.** (a) sistem kurulum şeması, (b) panellerin araziye yerleşimi, (c) dikey tek sıra doğu-batı yerleşimli sabit  $\theta=20^\circ$ , (d) yatay çift sıra doğu-batı yerleşimli sabit  $\theta=20^\circ$ , (e) yatay çift sıra yerleşimli tek eksen güneş takip sistemli, (f) kullanılan panel boyutu

Yarı gölge oluşturulması planlanan sitemlerde eşit uzunluktaki arazi kullanımı için elde edilen elektrik üretimleri incelendiğinde sabit ve tek eksen güneş takipli yatay çift sıra yerleşimli sistemlerde üretilen elektrik miktarında sırasıyla %20,22 ve %47,35 oranlarında bir artış söz konusudur.

Bakır ve Yılcı (2022), Türkiye'deki farklı iller için şebekeye bağlı arazi ve çatı tipi lisanssız fotovoltaik güç santrallerinin tekno-ekonomik analizi isimli güncel çalışmaları incelendiğinde, araştırmacılar Türkiye'de bulunan farklı bölge ve iklime sahip 7 adet şehirde 1215 kWp/1000 kW güçlerinde santral kurulmasını planlamışlardır. Kurulumu tasarlanan santralleri amortisman

**Tablo 3.** Sistemlerden üretilen enerji (kWh)

	Panel dikey yerleşim	Panel yatay yerleşim	Panel yatay yerleşim + Güneş takip sistemi
Ocak	4.568	5.526	5.513
Şubat	4.784	5.765	6.215
Mart	6.831	8.204	9.576
Nisan	7.587	9.063	11.349
Mayıs	8.802	10.566	13.950
Haziran	9.095	10.931	15.084
Temmuz	9.455	11.354	15.768
Ağustos	8.856	10.643	13.847
Eylül	8.195	9.842	12.344
Ekim	6.422	7.727	8.631
Kasım	5.031	6.075	6.296
Aralık	3.996	4.851	4.653
Toplam	83.628	100.544	123.228

süreci bakımından farklı senaryolar (öz kaynak kullanımı veya öz kaynak + kredi kullanımı vb.) ile değerlendirilmişlerdir. Tüm farklı senaryolara göre yatırımların proje geri dönüşlerini hesaplamışlardır. Arazi kurulumlarında ve %100 öz kaynak kullanılan yatırımlarda amortisman süresini Antalya için 4,21 yıl ve Samsun için 6,91 yıl olduğunu bildirmişlerdir.

Güzeller ve ark. (2020), yaptıkları çalışmalarında 1500 V DC beslemeli raylı sistemlerde güneş enerjisinin kullanılabilirliğini ve amortisman sürecini hesaplamışlardır. İstanbul ili Alibeyköy Cep Otogarı Viyadük üzerine yapılması tasarlanan sistemde 4o, 7o ve 38o ile yerleştirdikleri panellerden elde edilen enerjiler ve yıllık üretimler belirlendikten sonra amortisman süreçlerini hesaplamışlardır. 7 derece ile yapılan yerleştirme ile üretilen güç 45,7

MWh/yıl ve amortisman süreci olarak 6,75yıl olduğunu bildirmişlerdir.

Tasarlanan sistemin amortisman süreci olarak ayrıca bir hesaplama yapılmamıştır. Fakat yapılan güncel çalışmalardan yola çıkarak sistemin kurulacağı bölge ya da ile göre 4 ila 7 yıl arasında olabileceği tahmin edilmektedir.

## 8. Sonuç

Bu çalışmada agrivoltaik sistemlerin kullanılabilirliğinin araştırılması yapılmış olup olumlu ve olumsuz yönleri ortaya konulmuştur. Daha önceki çalışmalar ve uygulamalar incelenmiş sistem tasarımında dikkat edilecek hususlar, sistem tasarım parametreleri belirlenip açık bir şekilde sıralanmıştır. Sonuç olarak agrivoltaik sistemler sayesinde gıda ve enerji bakımından direkt olarak, su kullanımı ve hava kirliliği bakımından dolaylı olarak faydalar sağlanmanın mümkün olduğu belirlenmiştir. Agrivoltaik sistemlerin geliştirilmesiyle gıda, enerji ve su arasında karşılıklı olarak sağlanacak yararlanma miktarının artması mümkündür. En basit şekliyle tasarlanacak olan sistemlerde bile hem gıda hem de enerji üretimi gerçekleşeceği için üretici bakımından her zaman artı bir kazanç elde edeceği görülmektedir. Analizi gerçekleştirilen sistemlerde panel yerleşiminin dikey yerine yatay şekilde değiştirilmesiyle bile ek bir maliyet (güneş takip sistemi gibi) gerektirmeden %20,22 oranında elektrik üretiminde avantaj sağlanması mümkündür. Yatırım maliyetini biraz üzerine çıkılarak yapılacak olan güneş takipli sistemde ise bu oran %47,35 olarak belirlenmiştir. Elektrik üretimin yanı sıra PV panellerin sağladığı gölge; geleneksel açık gökyüzü dikim sistemine göre gündüzleri daha soğuk ve geceleri daha sıcak bir alan sağlaması ile bitkiler için olumlu yönde bir katkı sağlayacaktır.

## Orcid

İbrahim Kırbaş <https://orcid.org/0000-0002-5560-638X>

## Kaynaklar

- Amaducci, S., Yin, X., Colauzzi, M. (2018). Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied Energy* 220: 545–561. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.081>
- Bakır, C. ve Yılcı, A. (2022). Türkiye'deki Farklı İller İçin Şebekeye Bağlı Arazi ve Çatı Tipi Lisanssız Fotovoltaik Güç Santrallerinin Tekno-Ekonomik Analizi. *Mühendis ve Makina* 63(709): 560-584. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.114780>
- BayWa, r.e., (2022). Agri-PV. <https://www.baywa-re.de/en/agri-pv/> (Son erişim tarihi: 18.03.2022).
- Campana, P.E., Stridh, B., Amaducci, S., Colauzzi, M. (2021). Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems. *Journal of Cleaner Production* 325: 129091. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129091>
- Çifci, A., Kırbaş, İ., İşyarlar, B. (2014). Güneş Pili Kullanılarak Burdur'da Bir Evin Ortalama Elektrik İhtiyacının Karşlanması. *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5(1): 14-17.
- Dinesh, H. ve Pearce, J.M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54: 299–308. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
- E-kamkat, (2021). Tam ve Yarı Gölgede Yetişen 21 Sebze. <https://www.e-kamkat.com/blog/icerik/tam-ve-yari-golgede-yetisen-21-sebze>. (Son erişim tarihi: 19.01.2023).
- Elamri, Y., Cheviron, B., Lopez, J.M., Dejean, C., Belaud, G. (2018). Water Budget and Crop Modelling for Agrivoltaic Systems: Application to Irrigated Lettuces. *Agricultural Water Management* 208: 440–453. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.001>
- Goetzberger, A. ve Zastrow, A. (1982). On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation. *International Journal of Solar Energy* 1(1): 55-69.
- Gündoğdu, K., Kabadayı, H.S., Öztürk, A. (2016). Fotovoltaik Paneller İçin Güneş Takip Edebilen Basit ve Ekonomik Bir Sistem Tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 4(2): 634-639.
- Güzeller, E., Akçay, M.T. Albayrak B.B. (2020). 1500 V DC Beslemeli Raylı Sistemlerde Solar Hücre Sisteminin Modellenmesi ve Fizibilitesi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 3(1): 19-34.

- Kabul, A.ve Yaşar, E. (2017). Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sistemlerin Soğutma Tekniklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *SDU International Journal of Technological Science* 9(1): 17-32.
- Karaağaç, M.O., Oğul, H., Bardak, S. (2020). Kanatlı Hayvan Çiftliği İçin Güneş Enerji Sisteminin Tasarımı ve Maliyet Hesabı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 8(1): 711-722.
- Kırbaş, İ., Çıfci, A., İşyarlar, B. (2013). Burdur İli Güneşlenme Oranı ve Güneş Enerjisi Potansiyeli. *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 4(2): 20-23.
- Kuik, O., Branger, F., Quirion, P. (2019). Competitive advantage in the renewable energy industry: Evidence from a gravity model. *Renewable Energy* 131: 472-481. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.046>
- Mamur, H., Yakar, M.C., Zerafet, A. (2019). Bir Kamu Binası İçin Hibrit Enerji Sistemi Fizibilitesi. *International Journal of Technological Sciences* 11(1): 51-58.
- Nagashima, A. (2020). Solar Sharing: Changing the World and Life, <https://www.amazon.com/Solar-Sharing-Changing-world-life-ebook/dp/B0881JWZ8G> (Son erişim tarihi: 18.03.2022).
- Next2Sun GmbH, (2022). Bifacial Solar Fences. <https://www.next2sun.de> (Son erişim tarihi: 19.03.2022).
- NREL, (2022). Best Research-Cell Efficiency Chart. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> (Son erişim tarihi: 14.03.2022)
- NTboxmag, (2019). Gıda, Su ve Enerji Arasında Karşılıklı Yarar Agrivoltaikler Sayesinde Sağlanıyor. <https://www.ntboxmag.com/gida-su-ve-enerji-arasinda-karsilikli-yarar-agrivoltaikler-sayesinde-saglaniyor/> (Son erişim tarihi: 19.01.2023)
- PV Magazine., (2022). Jodhpur agrivoltaic pilot project replicated. <https://www.pv-magazine-india.com/2019/09/30/jodhpur-agrivoltaic-pilot-project-replicated/> (Son erişim tarihi: 20.03.2022).
- Østergaard, P.A., Duic, N., Noorollahi, Y., Mikulcic, H., Kalogirou, S. (2020). Sustainable development using renewable energy technology. *Renewable Energy* 146: 2430-2437. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.094>
- REM Tec., (2022). Agrovoltaico. <https://remtec.energy/en/agrovoltaico> (Son erişim tarihi: 20.03.2022).
- Santra, P., Pande, P.C., Kumar, S., Mishra, D., Singh, R.K. (2017). Agri-Voltaics or Solar Farming: The Concept of Integrating Solar PV Based Electricity Generation and Crop Production in a Single Land Use System. *International Journal of Renewable Energy Research* 7: 694–699.
- Sinsel, S.R., Riemke, R.L., Hoffmann, V.H. (2020). Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources-a review. *Renewable Energy* 145: 2271-2285. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.147>
- Sun'Agri., (2022). Agrivoltaism. <https://sunagri.fr/en/> (Son erişim tarihi: 20.03.2022).
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Tarla ve Bahçe Bitkileri, Ürünler ve Üretim (2022). <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Tarla-Ve-Bahce-Bitkileri/Urunler-Ve-Uretim> (Son erişim tarihi: 11.03.2022)
- Toledo, C.ve Scognamiglio, A. (2021). Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns). *Sustainability* 13: 6871. <https://doi.org/10.3390/su13126871>
- Tüik (2022), Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2021-37249> (Son erişim tarihi: 11.03.2022)
- Xu, M. veBuyya, R. (2020). Managing renewable energy and carbon footprint in multi-cloud computing environments. *Journal of Parallel and Distributed Computing* 135: 191-202. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2019.09.015>
- Zainol Abidin, M.A., Mahyuddin, M.N., Mohd Zainuri, M.A.A. (2021). Solar Photovoltaic Architecture and Agronomic Management in Agrivoltaic System: A Review. *Sustainability* 13: 7846. <https://doi.org/10.3390/su13147846>
- Zheng J, Meng S, Zhang X, Zhao H, Ning X, Chen F, et al. (2021). Increasing the comprehensive economic benefits of farmland with Even-lighting Agrivoltaic Systems. *PLoS ONE* 16(7): e0254482. <https://doi.org/10.1371/journal>