


Tarımsal Arazilerin İkili Kullanımında Gelir-Gider Analizi: Türkiye TarımGES Örneği

Bilge Şentürk^{1,2,3,*} 

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Muğla

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Ankara

³ODTÜ-GÜNAM, Modül Teknolojileri Birimi, Tarıma Entegre Fotovoltaik Sistemler Araştırma Grubu, Ankara

*Sorumlu Yazar: bilges@metu.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.08.2023 Düzeltme Geliş Tarihi: 03.10.2023 Kabul Tarihi: 06.10.2023

ÖZ

Enerji üretimini ve tarımsal üretimi birleştiren Tarıma Entegre Fotovoltaik Sistemler (TarımGES), arazinin ikili kullanımından kaynaklanan faydalar açısından birçok ülkede önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. TarımGES'ler, üretilen elektriğin şebekeye satışıyla çiftçiler için ek gelir ve üretilen elektriğin öz tüketimi yoluyla da sulama giderlerini karşılayarak önemli oranda tasarruf etme olanağı yaratabilmektedir. Bu çalışmanın temel veri kaynağını oluşturan ve Ankara'nın Ayaş ilçesinde kurulan TarımGES, Türkiye'de ilk pilot uygulama alanı olarak 2023 yılında faaliyete başlamıştır. Ayaş TarımGES'e ait temel maliyetlerin belirlenmesi ve gelir dinamiğinin tahmin edilmesini amaçlayan bu çalışma, bu tür sistemlerin Türkiye'deki ekonomik performansına ilişkin bir ön fizibilite niteliği taşımaktadır. Analiz sonuçlarına göre kurulum maliyetleri ve elektrik fiyat politikaları TarımGES'in ekonomik performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Çiftçi refahını dikkate alan fiyat politikalarına ek olarak uygun finans ve iş modelleri de elektriğin satışından elde edilecek geliri arttırarak ve sulama maliyetlerinin önemli ölçüde düşmesini sağlayarak TarımGES'in ekonomik performansını yükseltebilecektir.

Anahtar kelimeler: Tarıma Entegre GES (TarımGES), Tarımsal Üretim, Elektrik Üretimi, Dinamik Gelir-Gider Analizi, Ayaş/Ankara

Revenue-Expenditure Analysis for Dual Use of Agricultural Lands: The Case of Agri-PV System in Türkiye

ABSTRACT

Agricultural Photovoltaic Systems (Agri-PV), which combine energy production and agricultural cultivation, have become a significant research topic in many countries due to the benefits arising from the dual use of land. Agri-PV systems offer the opportunity for farmers to generate additional income by selling the electricity produced to the grid and significantly reduce irrigation expenses through self-consumption of the generated electricity. The primary data source for this study is the Agri-PV, which commenced operations as the first pilot project in Turkey in the Ayaş district of Ankara in 2023. This study, aiming to determine the fundamental costs and predict the income dynamics associated with Ayaş Agri-PV, holds a preliminary feasibility status regarding the economic performance of such systems in Türkiye. According to the analysis results, electricity price policies significantly impact the economic performance of Agri-PV systems. In addition to price policies prioritizing farmer welfare, suitable finance and business models, along with significant cost reductions in irrigation and increased income through the sale of electricity, can enhance the economic performance of Agri-PV systems.

Keywords: Agrivoltaics (Agri-PV), Agricultural Production, Electricity Generation, Dynamic Revenue-Expenditure Analysis, Ayaş/Ankara

GİRİŞ

Dolu, don, güneş yanığı, rekolte ve verim düşüşü gibi küresel ısınmanın ağırlaştırdığı çeşitli problemlerle yüzleşen çiftçiler için aynı alanda hem enerji hem de tarımsal üretim yapılabilen tarıma entegre fotovoltaik sistemler (TarımGES)¹ söz konusu sorunlar için bir çözüm yaklaşımı olmuş ve son dönemlerde birçok ülkede önemli bir araştırma konusu haline dönüşmüştür. TarımGES'ler, arazinin ikili kullanım verimliliğini arttıran ve aynı zamanda kontrollü bir gölgelenme sağlayarak tarımsal yetiştiriciliği bazı şartlar altında olumlu etkileyebilen GES (güneş enerji santrali) tasarımlarıdır. Güneş panellerinin, açık tarım alanlarının üzerine birkaç metre yükseklikte kurulmasına dayanan bu yaklaşım Goetzberger ve Zastrow (1982)'a ait olmakla birlikte uygulamadaki ilk deneysel girişim 2004 yılında gerçekleştirilmiştir. Sınırlı kullanılabilir arazi sorununa karşı hem tarımsal üretimi hem de güneş enerjisinden elektrik üretimini aynı anda gerçekleştirebilmesini amaçlamış ve arazi kullanım verimliliğini maksimize etmek için yere monte edilen fotovoltaik sistemlere (ground-mounted photovoltaics) ya da diğer adıyla geleneksel GES'lere alternatif olacak yenilikçi bir yaklaşım sunmuştur. Son yıllarda TarımGES projeleri hem gelişmiş hem de gelişmekte olan farklı ülkelerde (Almanya, Fransa, Çin, ABD, Japonya, Güney Kore, Hindistan, Şili vd.) yaygınlaşmaya başlamış ve bu gelişmelere paralel olarak ülkemizde ilk TarımGES projesi Ankara'da kurulmuştur. Birçok ülke bu alanda düzenleme yapmakta olsa da Türkiye'deki güncel mevzuat, verimli tarım arazilerinin üzerine GES kurulumu için ancak arazinin %1.5 oranı kadar izin vermektedir. Ancak iklim değişikliğinden dolayı yüksek risk altında olan Türkiye'de yakın gelecekte TarımGES'e ilişkin düzenlemelerin önem kazanabileceği düşünülmektedir.

Türkiye'de ODTÜ-GÜNAM bünyesinde kurulmuş "Tarıma Entegre Fotovoltaik Sistemler Araştırma Grubu"nun yürüttüğü birçok TarımGES projesi bulunmaktadır. Projelerden ilki, bu makalenin de inceleme konusu olan Ayaş TarımGES projesidir. Proje kapsamında Ayaş ilçesinde tarla ürünlerinin (sebze, meyve, yem bitkisi vd.) TarımGES altındaki verimlilik analizlerinin yapılması amaçlanmaktadır². Bu makale kapsamında ise söz konusu projeden elde edilen verilere dayalı temel bir finansal değerlendirme yapılması planlanmaktadır. Uluslararası literatürde TarımGES saha çalışmalarından elde edilen bilgiler, çalışmaların önemli bir kısmını oluşturan tekno-iktisadi analizlere dayanmaktadır (Elamri ve ark., 2018; Feuerbacher ve ark., 2022; Li ve ark., 2017; Marrou ve ark., 2013; Moreda ve ark., 2021; Poonia ve ark., 2022; Schindele ve ark., 2020; Sojib Ahmed ve ark., 2022; Trommsdorff ve ark., 2023; Trommsdorff ve Johanna, 2016; Valle ve ark., 2017; Willockx ve ark., 2020). Tekno-iktisadi yaklaşımlarda amaç, TarımGES'lerin ikili arazi kullanımından kaynaklanan verimlilik artışı (Arazi Verimlilik Oranı), dinamik üretim süreçlerini içermesi nedeniyle gelir-gider akışları (Dynamic Analysis of Revenues and Expenditures), fayda-maliyet analizleri ve fiyat-performans değerlendirmeleri yaparak bu modelin ekonomik fizibilitesi hakkında bilgi üretmektir.

Türkiye'de TarımGES üzerine güncel ve önemli akademik çalışmalar yapılmış olup genel olarak TarımGES'in potansiyeli üzerine odaklanılan bu çalışmalarda elektrik üretim miktarı (Coşgun, 2021), mahsul üzerindeki etkisi (Turan, 2021), tarımsal üretim alanında yaratacağı olası zorluklar ve olanaklar (Ağır, ve ark., 2023a), kurumsal ve çiftçi perspektiflerinden yola çıkarak toplumsal kabul üzerine analiz gerçekleştiren (Ağır ve ark., 2023b) çalışmalardan oluşmaktadır. Mevcut çalışmanın ise ülkeye özgü yazınsal alana katkısı, faaliyete geçen ilk TarımGES'in ekonomik performansına ilişkin ön bilgi sunmasıdır. Ağır ve ark., (2023b)'nin çiftçilerle yaptıkları derinlemesine görüşmelere göre tarımsal üretimdeki en önemli sorunlardan biri sulama için gerekli enerjiye erişimdeki finansal engellerdir. TarımGES ise elektrik üretiminin öztüketimi yoluyla hem enerji tüketim maliyetlerini ortadan kaldırma hem de üretilen elektriğin şebekeye satışıyla yasal düzenlemelere bağlı olarak çiftçiler için ek gelir yaratabilme potansiyeline sahiptir. Ancak çiftçiler, TarımGES kurulum maliyetlerinin yüksek olmasını yeniliğin kabulü karşısında önemli bir engel olarak görmektedir. Bu çalışmada hem maliyetler hem de yaratılabilecek gelirler hakkında çiftçilerin kaygılarına yanıt verecek ve politik karar alıcılara yol gösterebilecek bilgilerin ortaya konması amaçlanmaktadır. Sonuçlar, yeniliğin kırsal kalkınmaya olan potansiyel katkısı ve riskleri, ayrıca finansal desteklerin ve fiyat politikalarının önemi hakkında fikir edinebilmek açısından önemlidir.

Ayaş TarımGES sahasından elde edilen bilgiler doğrultusunda çalışma kapsamında (i) TarımGES'e ilişkin gelir ve giderler ortaya konmakta (ii) TarımGES'e ait gider kalemlerinin toplam maliyet içindeki ağırlıkları belirlenmekte, (iii) dinamik gelir-gider (nakit akışı) analizi yapılmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın ikinci

¹ İngilizce yayınlarda Agrovoltatics, AgroPV, AgriPV, APV veya AV; Türkçe yayınlarda TarımFV, TarımGES olarak kısaltılabilmektedir.

² ODTÜ-GÜNAM ortaklığında yürütülen diğer projeler arasında ikinci proje; Horizon Europe kapsamında PV4Plants kısa ismi ile destek görmüş ve 2023 yılı başında başlamıştır. Bu proje kapsamında TarımGES'lere özel panel tasarımı geliştirilecek ve biri Bursa ili Mustafakemalpaşa ilçesi TAT Gıda deneme arazisinde, diğerleri İspanya ve Danimarka'da olmak üzere üç adet demo test sistemi kurulumu yapılacaktır. Üçüncü proje; Türkiye ve Yunanistan arasında sektörel gelişimi desteklemek için dört farklı TarımGES tasarımı projelendirilecektir. Dördüncü proje; TÜBİTAK 1004 programı kapsamında Erciyes Üniversitesi öncülüğünde ve aynı kurumun Ziraat Fakültesi deneme arazisindeki kayısı ağaçlarının üzerine, diğeri yine TAT Gıda Mustafakemalpaşa üretim tesislerinde olmak üzere farklı geçirgenliklere sahip panellerle kurulacak iki TarımGES ve buralarda yürütülecek faaliyetlere dayalı analizleri içermektedir.

bölümünde TarımGES'e ait teknik bilgiler ve finansal hesaplamalarda kullanılan materyal ve metodlar hakkında bilgi verilmekte, bir sonraki bölümde analiz bulguları doğrultusunda TarımGES'in ekonomik performansı değerlendirilmekte ve sonuç bölümünde bulgular hem çiftlik hem de elektrik piyasası koşullarına göre yorumlanarak finansal yapılabirlik üzerinden tartışılmaktadır.

MATERYAL ve METOT

Materyal: TarımGES'e İlişkin Teknik Bilgiler, Üretim, Fiyatlar ve Varsayımlar

Ayaş TarımGES projesi, Ankara ili Ayaş ilçesi Akkaya Mahallesi'nde birinci sınıf tarım arazisi üzerine kurulmuştur (Şekil 1). Tamamı çelik yapı üzerine 3,5 metre yükseklikte inşa edilen TarımGES sistemi elektrik şebekesine bağlantılı olarak tasarlanmıştır. TarımGES'in kurulduğu tarım arazisi, çiftçi bir aileye aittir. Aile, TarımGES'in kurulduğu bu arazi ile birlikte toplam 400 da alanda tarımsal üretim yapmaktadır ve çiftlikteki sulanabilir arazi (trafoya bağlı elektrik enerjisi ile) büyüklüğü 100 da'dır. TarımGES, bu sulanabilir arazinin 1,58 da'lık bölümüne kurulmuştur³.



Şekil 1. Ankara'nın Ayaş ilçesi, Akkaya Mahallesinde kurulu TarımGES.

a) TarımGES alanının parsel üzerindeki konumu, b) TarımGES altında yürütülen tarımsal faaliyet

Ayaş TarımGES'e ait teknik özellikler Çizelge 1'de sunulmuştur. Sistemin ürettiği enerji öncelikli olarak (eğer sulama sistemi çalışıyor ise) tarımsal sulamadaki enerji ihtiyacını karşılamakta kullanılmaktadır. Ancak sulamanın olmadığı zamanda üretilen fazla enerji, şebekeye yönlendirilmekte veya üretimden daha fazla enerji ihtiyacı olduğu dönemlerde ise şebekeden desteklenebilmektedir⁴. Ay sonunda ise üretilen ve tüketilen enerji arasında mahsuplaşma yapılarak abone için fatura oluşturulmaktadır⁵.

Çizelge 1. Ayaş TarımGES Projesine Ait Teknik Bilgiler

Özellikler	Açıklama
GES kurulu arazinin büyüklüğü ve vasfı	15820 m ² , Tarla
GES kurulu gücü (doğru akım)	122,08 kWp
Santralin kurulduğu toplam alan (a)	1580 m ² (19.5m x 81m) / 1580 m ²
Panellerin kapladığı toplam alan (b)	580 m ²
Kaplama oranı (b/a x 100)	%36,7
Panel teknolojisi	Tek eksen güneş takipli (doğu/batı yönünde)
Kullanılmayan tarım alanı	24 m ²
Santral yüksekliği	3,5 m

³ TarımGES altındaki tarımsal üretim 24 yıldır tarımla uğraşan ve aynı zamanda projenin yararlanıcısı olan çiftçi aile tarafından sürdürülmekte ve İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü'ne bağlı ziraat mühendislerince izlenmekte; GES faaliyetleri ise ODTÜ-GÜNAM uzman ekibi tarafından takip edilmektedir.

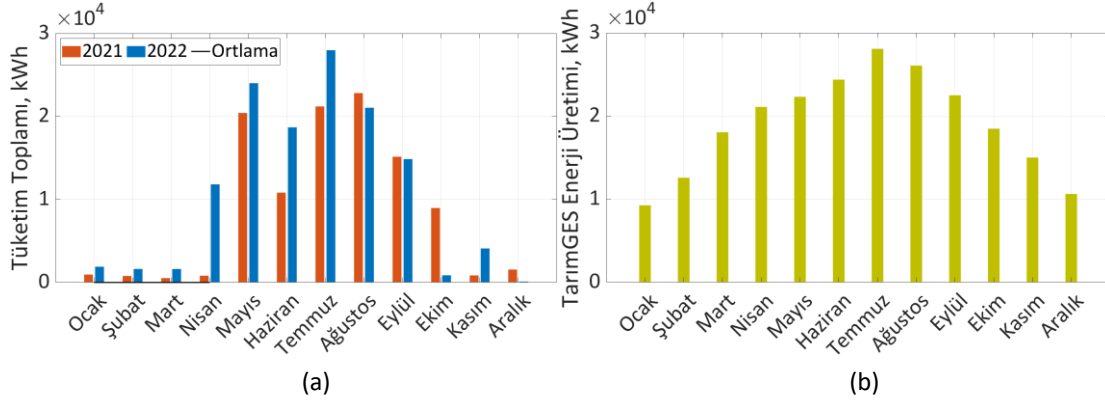
⁴ Şebekeden desteklenme: Elektrik şebekesine herhangi bir üretim kaynağı (Örneğin: GES) ile birlikte bağlı olan abone, öncelikli olarak tüketimini üretim kaynağından karşılar. Üretimin olmadığı veya yetmediği (Örneğin: GES'ler için geceleri) zamanlarda abonenin tüketimi, var olan şebeke bağlantısı üzerinden karşılanır. Abone için bu durum, "şebekeden desteklenme" olarak tanımlanır. Ters durumda ise (üretimin fazla, tüketiminin az olduğu) ürettiği fazla enerjisi şebekeye doğru iletir. Bu durum ise "şebekeyi destekleme" olarak tanımlanır.

⁵ Elektrik şebekesine üretim kaynağı ile bağlı bir abone, gün içinde üretiminin yetmediği veya üretiminin tüketiminden fazla olduğu durumlarda birçok kez şebekeden desteklenebilir veya şebekeyi destekleyebilir. Abonenin bağlı olduğu enerji dağıtım firması bu durumu çift yönlü elektrik sayacı ile kayıt altına alır ve her ay aboneye şebekeyi desteklemesi ve şebekeden desteklenmesi durumlarını dikkate alan bir mahsuplaşma hesabı ile faturalandırma yapar. Oluşan bu fatura (eğer abonenin üretimi tüketiminden çoksa) aboneye ödeme yapılması yönünde olabileceği gibi (eğer abonenin tüketimi üretiminden çoksa) abonenin ödeme yapması yönünde de olabilir (fiyatlar için bakınız Çizelge 2).

Santral konumu (enlem, boylam)

40.076950, 32.148690

Ayaş TarımGES, kapsamında 2023 yılı Haziran ayında hem elektrik hem de tarımsal üretim faaliyetleri başlamıştır. Çiftliğin 2021 ve 2022 yıllarındaki sulamaya dayalı elektrik tüketimleri Şekil 2a'da sunulduğu gibi gerçekleşmiştir ve çiftçinin çalışmada kullanılan aylık tüketim değerleri, bu iki yıldaki tüketim ortalamaları alınarak belirlenmiştir. TarımGES'in yıllık elektrik üretimi ise hareketli panel teknolojisi ve kapasitesi dikkate alınarak hesap edilmiştir (EC, 2023). Elde edilen sonuçlar, Şekil 2b'de sunulmuştur.



Şekil 2. Aylara göre çiftliğin toplam enerji tüketimi ve TarımGES enerji üretimi
a) Sulamaya bağlı enerji tüketimi, b) TarımGES enerji üretimi

TarımGES altında 6 çeşit (sofralık domates, biber, salatalık, havuç, ıspanak ve kırmızı lahana) ürün üretilmekte olup çalışma boyunca yalnızca "sofralık domates" ekildiği varsayılmaktadır⁶. TarımGES altında dekar başına ortalama 5 ton domates üretileceği (çiftçinin ekim yaptığı diğer açık alan arazilerde son 5 yıllık sofralık domates üretiminin ortalaması alınarak) tahmin edilmiştir. Domates veriminin, panellerin yaratacağı gölgelemeden hareketle verim kaybına uğrama riski ise, literatürde açık alanda domates yetiştiriciliği üzerine yapılan iki çalışmadan elde edilen bilgilere göre yeniden değerlendirilmiş ve çalışmalardan birinde domates veriminin değişmemekte olduğu (Hudelson ve Lieth, 2021), diğerinde ise kuraklıktan dolayı verimde artış olduğu görülmüştür (Barron-Gafford ve ark., 2019).

Çizelge 2. TarımGES Yıllık Temel Ekonomik Göstergeler

Gösterge	Değer	Veri Kaynağı
Elektrik Üretimi (1 yıl)	228.436,00 kWh	EC (2023)'de yer alan ve Ayaş'ta kurulan TarımGES'in koordinatlarına göre ışımaya potansiyeli üzerinden hesaplanan elektrik üretim miktarı
Elektrik Tüketimi (1 yıl)	116.698,00 kWh	2021-2022 yılları kWh cinsinden ortalama elektrik tüketimi (çiftçiye ait elektrik faturalarından elde edilmiştir, çiftçi 100da'lık alanda sulama yapmaktadır)
Elektrik Satış Birim Fiyatı	2,03891 TL/kWh	Dönem: 2023/3, EPDK (2023)
Mahsuplaşma Sonrası Elektrik Üretiminden Elde Edilen Net Gelir (1 yıl)	173.155,00 TL	Yazar tarafından aşağıdaki bilgilere göre TarımGES'in faaliyete geçtiği ilk yıl için hesaplanmıştır: Besleme bedeli (feed in tariff) 1.28 TL/kWh; Dağıtım bedeli 0.6 TL/kWh; KDV %18
Mahsul Üretim Miktarı (1 yıl)	5 ton/da	Çiftçinin açık alanda bir yılda dekar başına ürettiği domates miktarının son 5 yıla göre ortalaması
Mahsulün Toptan Satış Fiyatı	12 TL/kg	İlçe sebze halinde çiftçiye 1 kg domates için ödenen 2023 Ağustos ayı toptan fiyatı
Tarımsal Üretimden Elde Edilen Net Gelir (1 yıl)	72.585,36 TL/yıl	Yazar tarafından hesaplanmıştır

Projede görevli ziraat mühendislerinin ve çiftçinin saha gözlemleri de henüz meyve vermeyen domates fidelerinde verim kaybına ilişkin bir etki olmadığı yönündedir. Bu bilgilere göre domates veriminin bu çalışmada

⁶ Bunun bir nedeni, Ayaş yöresine ait başlıca tarımsal ticari ürünün domates olması, ayrıca uluslararası literatürde çalışmaların (endüstriyel ölçeğinden dolayı) domates üzerinde yoğunlaşmış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu seçim, karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşmayı ve yöreye özgü dinamikleri dikkate almayı kolaylaştıracaktır.

değişmediği varsayılmıştır⁷. Hem tarımsal alandaki üretim hem de enerji alanlarındaki üretim, tüketim ve bunlara bağlı satış faaliyetleri doğrultusunda Çizelge 2’de TarımGES’e ilişkin bazı temel ekonomik göstergeler özetlenmektedir.

İlerleyen aşamada finansal hesaplama amacıyla yukarıdaki bilgilere ek olarak bazı varsayımlar yapılması gerekmektedir. TarımGES’e ilişkin teknik ve finansal koşullara ilişkin varsayımlar ve ek bilgiler şu şekilde özetlenebilir:

- TarımGES’in kurulu olduğu arazinin ve burada yer alan derin sulama kuyusunun sahibi olan çiftçi ve ailesine ait olan çiftlik “orta büyüklükte aile işletmesi” olarak kabul edilmiştir.
- TarımGES kapsamındaki tarımsal faaliyetler tamamen çiftçinin özkaynaklarıyla yürütülmektedir.
- TarımGES altında gölgelenmeden kaynaklı ürün kaybı olmadığı ve mahsulün tümünün pazarlanabilir ve aynı kalitede olduğu varsayılmıştır.
- Ürün rotasyonu (nöbetleşe ekim) yapılmadığı varsayılmıştır.
- Panel sisteminin ömrünün 25 yıl olduğu varsayılmıştır.
- TarımGES için güvenlik ve sigorta giderleri 0 (sıfır) TL olarak alınmıştır.
- GES'lere ilişkin yasal düzenlemeler, Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği⁸ ve YEKDEM⁹ kapsamında değerlendirilmektedir. Bu düzenlemelere göre mahsuplaşma sonrası elde edilen gelir hesaplamasında GES'in mahsuplaşma düzeyi, alternatif akım gücü ile sınırlı olsa da bu çalışmada sözkonusu sınırlama dikkate alınmamıştır.
- Çiftçi için elektrik satış fiyatı 1.28 TL/kWh, alış fiyatı 2.04 TL/kWh¹⁰. Üretilen fazla elektriğin, 25 yıl boyunca çiftçi tarafından elektrik birim fiyatı üzerinden satılabileceği varsayılmıştır.
- TarımGES kurulumu için gerekli sermaye yatırımının %100 özkaynak ile sağlandığı varsayılmıştır.

Metot: Dinamik Gelir-Gider Analizi

Bu çalışma kapsamında Ayaş TarımGES’e ait tekno-iktisadi veriler (i) gelirler ve (ii) giderler olmak üzere iki farklı kategoride dinamik olarak (zamana bağlı değişimlerin etkisine göre) analiz edilmektedir. TarımGES hem mahsul hem de elektrik üretimini birleştirmesinden dolayı finansal parametreler her iki sektör (tarım ve enerji) için ayrı ayrı ve tüm gelir ve giderler, dekar başına masraf olarak (TL/da) hesaplanmıştır¹¹. Bir sonraki aşamada TarımGES’in teknolojik ömrü olan 25 yıl süresince tarımsal ve enerji üretiminden kaynaklanan gelir ve gider akışları tespit edilmekte ve yatırımın net bugünkü değeri (NBD) ortaya konmaktadır. Bu amaçla tarım ve enerji üretim alanlarındaki maliyetler CAPEX (sermaye maliyetleri) ve OPEX (operasyonel maliyetler) olmak üzere sınıflandırılmış ve gelirler de hesaba katılarak NBD aşağıdaki denkleme (1) göre hesaplanmıştır.

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

NBD, bir yatırımın faydalı ömrü boyunca sağlayacağı gelir ve gider akışının belirli bir iskonto oranı ile bugüne indirgenmiş değerleri arasındaki farkı ifade etmektedir. Formülde hesaplanacak net gelirin (R_t) bugünkü değerini belirlemek için şu varsayım ve işlemler yapılmıştır: elektrik üretim miktarının ve TarımGES’e bağlı net gelirlerin (hem elektrik hem de tarımsal üretim gelirleri) zamana göre değişimini dikkate almak için 25 yıl süresince (n) santraldeki yıllık elektrik üretim performansındaki kaybın %0.6 olacağı tahmin edilmiştir. Maliyetlerdeki ve satış fiyatlarındaki artışların ise son on yıla ait enflasyon rakamlarının ortalamasına göre %11.9 olacağı varsayılmıştır (TÜİK, 2023). Sermayenin ağırlıklandırılmış ortalama maliyeti ise iskonto oranı (i) ile aynı kabul edilerek TarımGES yatırımının yapıldığı dönemdeki Merkez Bankası faiz oranları (borç alma ve verme faiz oranları)’na göre %8.5 olarak belirlenmiştir (TCMB, 2023). Enflasyon oranı, maliyetlere yansıtıldığı için

⁷ Hem literatüre hem de çalışmanın gerçekleştirildiği dönemdeki gözlemlere dayanarak yapılan bu varsayımın, sezon sonunda değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Panellerden dolayı domateste meyve sayısı farklılaşabileceği gibi, meyve boyutunda ya da meyve kalitesinde de değişiklik gözlenebilir. Hatta üretim sezonunun uzaması beklenebilir ve mahsul verimi bu yolla da değişebilir. İlerleyen çalışmalarda, bu gözlemler sonucunda elde edilecek verimlilik değişimlerinin finansal çalışmalara yansıtılması önemlidir.

⁸ Bu Yönetmelik 14/3/2013 tarihli ve 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu’nun 14. maddesi ile 10/5/2005 tarihli ve 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun 6/A maddesine dayanılarak hazırlanmıştır ve yönetmelik değişiklikleriyle (en son 23 Temmuz 2023 tarihinde olmak üzere) sık sık güncellenmektedir.

⁹ Yenilenebilir Enerji Kaynakları Detekleme Mekanizması (YEKDEM), 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında düzenlenmektedir.

¹⁰ **2.04 TL/kWh = 1.28 TL** (eneji birim fiyatı) + **0.60 krş** (dağıtım bedeli) + [1.28 TL (eneji birim fiyatı) + 0.60 krş (dağıtım bedeli)] + **%8** (KDV)

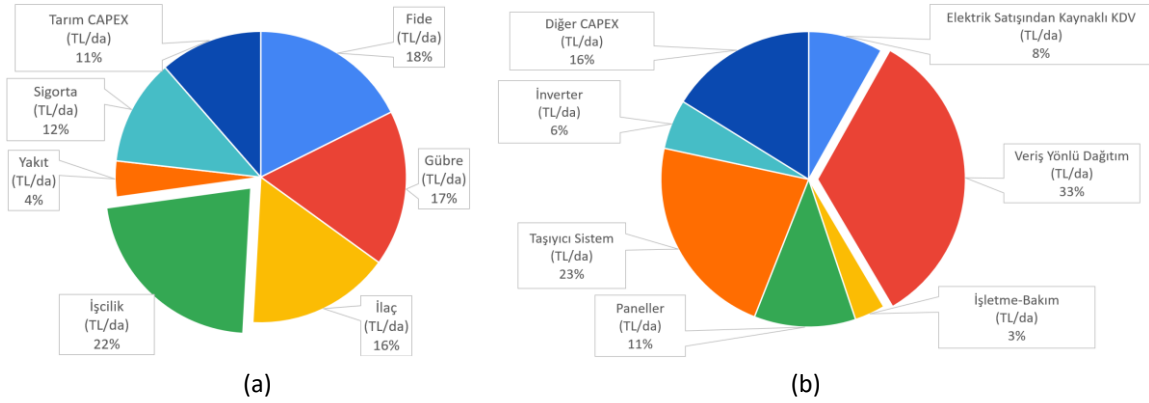
¹¹ TarımGES, arazinin ikili kullanımına bağlı etkiler sonucunda bazı ortak parametrelerin değişebileceğini, yeni parametrelerin oluşumunu ya da bazı parametrelerin ortadan kalkmasını göz önünde bulundurarak santral özelinde ve iş modeli çerçevesinde ölçüm yapılmasını gerektirir. Örneğin Ayaş TarımGES, orta büyüklükte bir tarım işletmecisi (çiftçi) modeli varsayımına dayanmaktadır ve arazinin ikili kullanımından dolayı GES kurulumu için arazi maliyeti ya da sulamada öz tüketime bağlı elektrik kullanım olanağından dolayı tarımsal üretimde sulama maliyeti ortadan kalkmaktadır. Değişen parametrelere bir başka örnek ise mahsul verimliliğidir. Gölgelemeden dolayı mahsul verimliliği azalabilmekte, bazen ise artabilmektedir. Bu çalışmada mahsul veriminin değişmediği varsayılmıştır.

iskonto oranına yansıtılmamıştır. Hem tarımsal hem de enerji üretimine ilişkin sermaye harcamalarının 100% özkaynakla karşılandığı varsayılmaktadır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

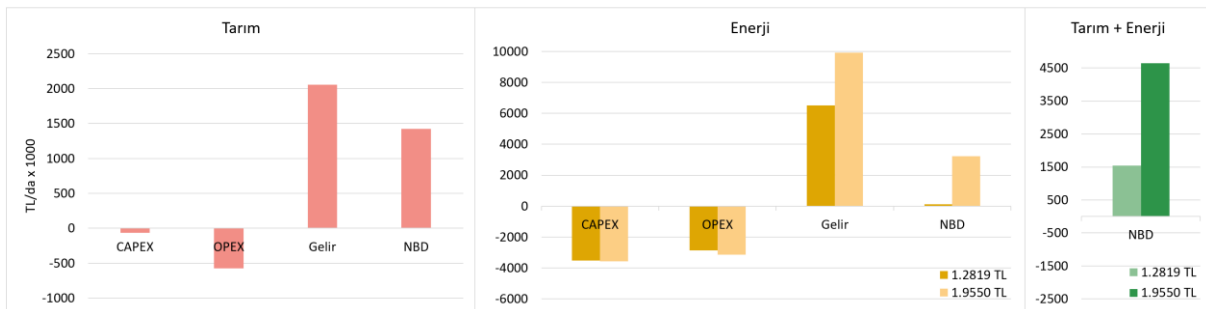
TarımGES sahasında elektrik üretimi alanındaki maliyetler “(i) CAPEX_{TarımGES-enerji} (taşıyıcı sistem, güneş panelleri, çevirici (inverter), GES panosu, kablolar vb.); (ii) OPEX_{TarımGES-enerji} (onarım/bakım giderleri, trafo dağıtım bedeli, enerji satış vergisi vb.) ikiye ayrılmaktadır. Tarımsal üretim alanında ise halihazırda TarımGES kurulan arazide tarımsal üretim yapıldığı için bu kapsamdaki CAPEX_{TarımGES-tarım} yalnızca “25 yıl boyunca iki kez yenilenmesi gereken sulama teçhizatı”ndan oluşmaktadır. OPEX_{TarımGES-tarım} ise (i) işçilik, (ii) gübre, (iii) tohum/fide, (iv) ilaç, (v) yakıt ve (vi) sigorta olarak kalemlendirilmiştir (Şekil 3).

TarımGES kapsamındaki tarımsal üretim alanında 25 yıl boyunca dekar başına düşen en büyük giderin “işçilik” olduğu saptanmış ve tüm tarımsal faaliyetlere ilişkin maliyetler içindeki oranı %22 olarak bulunmuştur. İşçiliğe ek olarak diğer OPEX maliyetlerinden fide %18, gübre %17, ilaç %16, tarım sigortası %12, traktöre bağlı faaliyetlerden kaynaklanan yakıt %4; sulama teçhizatı (CAPEX)’in ağırlığı %11’dir (Şekil 3a). TarımGES’e ait elektrik üretim maliyetlerinin dağılımında ise en büyük ağırlığı %33 ile elektriğin satış, alış ve mahsuplaşma faaliyetlerinden kaynaklanan “veriş yönlü dağıtım” oluşturmaktadır. OPEX maliyetlerine ek olarak elektrik satışından kaynaklı KDV %8, işletme bakım giderleri ise %3 ile çok küçük bir yük oluşturmaktadır. CAPEX maliyetleri arasında ise taşıyıcı sistemin dekar başına düşen toplam maliyetler içindeki payı %23, GES panosu ve kablolar gibi ürünler %16, güneş panelleri %11, evirici (inverter) %6 ağırlığa sahiptir (Şekil 3b).



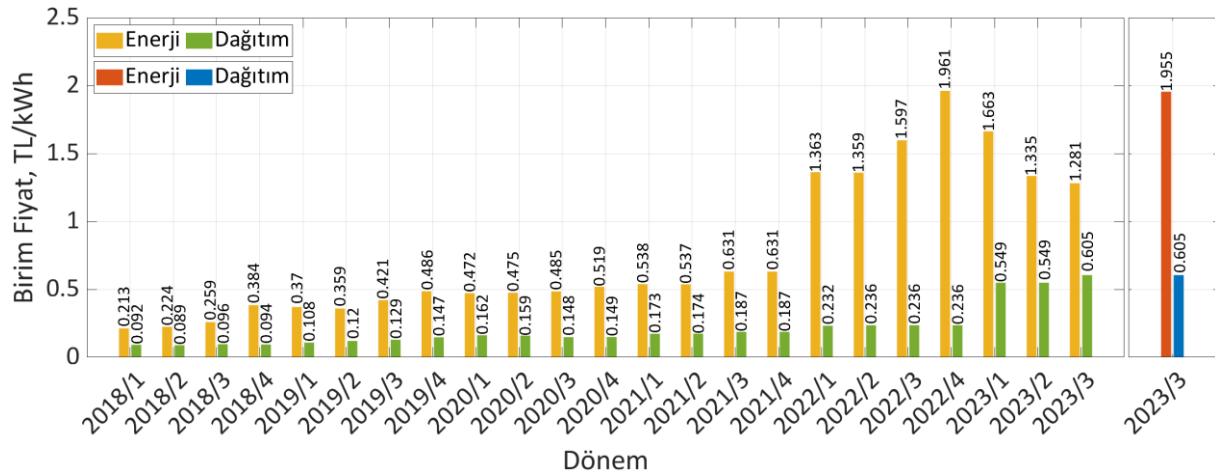
Şekil 3: TarımGES Maliyetlerinin Dağılımı
a) Tarım üretim maliyetleri, b) Elektrik üretimi maliyetleri

Şekil 4’te sunulan dinamik gelir-gider analizi sonuçlarına göre projenin 25 yıllık ömrü boyunca toplam maliyeti 7.066.430 TL/da; toplam geliri ise 8.568.870 TL/da’dır. Enerji alandaki sermaye maliyetleri CAPEX_{TarımGES(enerji)}=3.560.390 TL/da, tarımsal üretim alanındaki sermaye maliyetleri ise CAPEX_{TarımGES(tarım)}=62.250 TL/da bulunmuştur. İşletme giderleri ise OPEX_{TarımGES(enerji)}=2.869.780 TL/da ve OPEX_{TarımGES(tarım)}=574.000 TL/da olmak üzere enerji alandaki işletme maliyetlerinin tarımsal üretime ilişkin işletme maliyetlerinden yaklaşık 5 kat fazla olduğunu göstermektedir. Enerji üretiminden sağlanan gelir 6.509.440 TL/da olup, tarımsal üretim gelirinden 3,2 kat daha yüksektir. TarımGES’in genel ekonomik performansına göre projenin net bugünkü değeri yaklaşık 1,5 milyon TL/da bulunmuştur ve bu değer içinde tarımın payı %94,7 iken enerjinin payı yalnızca %5,3’tür. Bu dağılımın temel nedeni, TarımGES panel kurulum maliyetlerinin yüksekliğidir.



Şekil 4: TarımGES Nakit Akışı ve Net Bugünkü Değer

NBD değerine göre finansal olarak yapılabilir görünen TarımGES'in ekonomik performansının, çiftçi gelirini önceliklendiren bir enerji fiyat politikası altında çok daha güçlü hale gelebileceği söylenebilir. Diğer GES santrallerine göre TarımGES'e özel olan durum, (i) tarımsal üretim yoluyla gelir elde edilmesi, (ii) sulamanın yol açtığı elektrik tüketiminin çoğunlukla santralden karşılanması yoluyla elektrik masraflarının düşmesidir. TarımGES olmadığı durumda çiftliğin sulama maliyetleri, kurulumun yapıldığı 25 yıl sonunda yaklaşık 91.500 TL/da olması gerekirken, TarımGES bu maliyetin tümü üzerinden çiftçiye tasarruf sağlamaktadır. Aynı zamanda 2 milyon 60 bin TL/da domates satış gelirin ek olarak elektrik satışı da yaklaşık 6,5 milyon TL/da gelir yaratmaktadır. Fakat TarımGES'lerin ağırlıklı olarak öz tüketime dayanması, geleneksel GES'lere göre elektrik üretiminden elde edilebilecek geliri kısıtlamaktadır. Çiftçi TarımGES kapsamında ürettiği elektrikle ya sulanabilir arazi büyüklüğünü genişletecek ve daha fazla tarımsal üretim yapacak ve/veya kullanmadığı elektriği satarak elektrik satış fiyatıyla orantılı bir gelir elde edecektir. Birinci senaryo TarımGES'in ekonomik performansı açısından önemli bir analiz konusu olmakla beraber bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Fakat bu çalışmanın odaklandığı ikinci senaryoya göre TarımGES'e özel besleme fiyatı (FiT) belirlemek, TarımGES'in finansal yapılabilirliği açısından kritik bir kamu politikası olarak durmaktadır. 1 Temmuz 2023 tarihinden itibaren uygulanacak tarifeler arasında tarımsal faaliyet alanında FiT, 1,28 TL/kWh olarak belirlenmiştir (EPDK, 2023). Projede elde edilecek gelirler de bu tarife üzerinden hesaplanmıştır. Ancak elektrik fiyatlarındaki seyir bakıldığında fiyatların son beş yıldır, düzenleme politikalarından (elektrik dağıtım bedelleri üzerindeki değişikliklerden) önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir (bkz. Şekil 5). 2018-2021 yılları arasındaki dağıtım bedellerinin, enerji birim fiyatı içindeki ağırlıklarının ortalaması %24 olarak saptanmıştır. Mevcut dönemdeki enerji fiyatları bu ortalama dağıtım bedeline göre hesaplandığında 2023/3 döneminde elektrik birim satış fiyatının 1.28 TL/kWh yerine yaklaşık 1.96 TL/kWh olabileceği tahmin edilmiştir (bkz. Şekil 5). TarımGES'in enerji satış geliri bu fiyata göre yeniden hesaplandığında, gelirler neredeyse 1,5 kat; NBD değeri ise yaklaşık üç kat artmaktadır (bkz. Şekil 4). Bu durum, fiyat politikalarının TarımGES'ten kaynaklanacak gelirleri önemli ölçüde etkileyeceğini göstermektedir.



Şekil 5. Enerji Birim Fiyatı ve Dağıtım Bedelleri (EPDK (2023) verilerine göre düzenlenmiştir.

Fiyat politikalarına ek olarak, çiftçinin hibe desteği ya da mevcut politikalara göre daha uygun borçlanma maliyetleri ile yatırımın finansal fizibilitesinin de artması beklenmektedir. Ayrıca Ayaş TarımGES, ARGE nitelikli ve küçük ölçekli bir yatırımdır. TarımGES'in daha büyük ölçeklerde kurulumunun, birim başına düşen elektrik maliyetini düşürerek ekonomik performansı arttırabileceği ve farklı bir perspektiften ise sulama olanakları artan çiftçilerin tarıma açılacak yeni araziler üzerinden tarımsal üretimlerini arttırabilecekleri göz önünde bulundurulmalıdır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

TarımGES projelerinin finansal olarak değerlendirilmesi, bu tür yeniliklerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasında önemli bir ön koşuldur. Temel bir tekno-iktisadi yaklaşımla gelir ve maliyetlerin zamana göre değişimini dikkate alarak ülkemizdeki ilk TarımGES projesine ilişkin finansal bir ön değerlendirme yapan bu çalışmada, Ayaş TarımGES 25 yıl ömrü süresince net bugünkü değerlere göre finansal olarak yapılabilir bulunmuştur. Ancak kurulum sermayesinin yüksekliği, TarımGES'in potansiyel ekonomik performansını önemli ölçüde düşürmektedir. Bu performansın yükselmesi ise başta enerji fiyat politikaları olmak üzere finansal koşullara, TarımGES ölçeğine, çiftlik yapısına ve hızla gelişen panel teknolojilerine bağlıdır.

Çalışmada, Ayaş TarımGES projesinin ekonomik performansı mevcut mahsuplaşma senaryosu ve alternatif bir fiyat politikası üzerinden değerlendirilmiştir. Besleme fiyatlarının (FIT, elektriğin mahsuplaşma usulü satış bedelinin) 1,28 TL/kWh'dan 1,96 TL/kWh'a çıkması durumunda TarımGES'ten elde edilecek gelirler neredeyse 1,5 kat; NBD değeri ise yaklaşık üç kat artmaktadır. Böylece çiftçilere özel olarak uygulanabilecek tarifeler aracılığıyla mahsuplaşmaya bağlı edinilen gelirlerin önemli düzeyde iyileştirilebileceği tespit edilmiştir. Temel bir finansal senaryo ile bu çalışmada çiftçinin tüm sermaye yatırımını öz kaynak ile gerçekleştirdiği varsayılmış olsa da, gelecek dönem çalışmalarında mevcut piyasa risk koşullarına göre çiftçi refahını gözeterek makul bir destek mekanizması ve kredi faiz oranları ile TarımGES'in ekonomik performansının yükselebileceğini gösteren finansal modellere dayalı çalışmaların yapılması da faydalı olabilecektir.

Bunlara ek olarak TarımGES'e ilişkin iş modelinin yapısı da ekonomik performans göstergesini etkileyeceği göz önünde bulundurulmalı fakat Türkiye'nin kırsal yapısına uygun (örneğin küçük aile çiftçiliğini) ve sosyo-demografik yapıyı destekleyecek (örneğin genç çiftçileri) iş modelleri kurulmalıdır. Yatırımın mülkiyet hakkının çiftçiye ait olması ve sulama olanakları üzerinden, fakat çevresel koşulları da göz ardı etmeden, tarımsal üretimin artırılması önceliklendirilmelidir. TarımGES sayesinde enerjiye erişimin artması da teknolojik aletlerin kullanımını kolaylaştırması bakımından tarımsal verimliliğin artışı sağlayabilecek ve böylece TarımGES'ten üretilen enerjinin optimal kullanımı yoluyla ekonomik performansı yükseltebilecektir.

Farklı iş modelleri çerçevesinde TarımGES'lerin daha büyük ölçeklerde inşası ise birim başına maliyetleri düşürerek fizibiliteyi arttırabilecek; hızla gelişen panel teknolojisi ve düşme eğilimindeki panel fiyatları ise finansal yapılabirliğe katkı sunabilecektir. Fakat ekonomideki genel durum, panel kurulum maliyetlerini bu eğilimlere rağmen yukarı çekmektedir. Yine de ülkemizdeki kamu politikaları, yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması konusunda çeşitli destekler sağlamayı sürdürmektedir. Mevcut desteklerin tarımsal faaliyetlerin artırılması adına kırsal kesime yönlendirilebilmesi için TarımGES özelindeki akademik çalışmaların ve pilot araştırmaların artırılması ve özellikle geleneksel GES'ler ile TarımGES'lerin fizibilitesine yönelik çeşitli finansal araçlarla (örneğin seviyelendirilmiş elektrik ve tarımsal üretim maliyetleri, LCOE-LCOA) karşılaştırılması kamu politikaları için önemli bir yol gösterici olabilir.

Teşekkür: Bu yayında sunulan veriler Ankara Kalkınma Ajansı tarafından desteklenen, Ayaş İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü ve ODTÜ-GÜNAM ortaklığında yürütülen TR51/21/KIRSAL/0018 numaralı "Tarımsal Arazinin Çift Yönlü Kullanımına Uygun Yenilikçi GES Uygulaması - Ayaş TarımGES" isimli projesinden alınmıştır.

YAZAR ORCID NUMARALARI

Bilge ŞENTÜRK  <https://orcid.org/0000-0002-7380-7628>

KAYNAKLAR

- Ağır, S., Derin-Güre, P., Şentürk, B. 2023a. "The Intersection of Agriculture and Energy in Türkiye, AgriPV: A Preliminary Evaluation". Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 41 (Tarım Özel Sayısı), 1–22.
- Ağır, S., Derin-Güre, P., Şentürk, B. 2023b. "Farmers' perspectives on challenges and opportunities of agrivoltaics in Türkiye: An institutional perspective". Renewable Energy, 212, 35–49.
- Barron-Gafford, G. A., Pavao-Zuckerman, M. A., Minor, R. L., Sutter, L. F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D. T., Macknick, J. E. 2019. "Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands". Nature Sustainability, 2(9), 848–855.
- Coşgun, A. E. 2021. "The potential of Agrivoltaic systems in Turkey". Energy Reports, 7, 105–111.
- EC. 2023. "Photovoltaic Geographical Information System". 20 Ağustos 2023 tarihinde adresinden erişildi https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#api_5.2
- Elamri, Y., Cheviron, B., Lo, J. M., Dejean, C., Belaud, G. 2018. "Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems: Application to irrigated lettuces". Agricultural Water Man., 208, 440–453.
- EPDK. 2023. "Elektrik Piyasası Tarifeler Listesi". 2. 8. 2023 tarihinde erişildi <https://www.epdk.gov.tr/detay/icerik/3-0-1/tarifeler>
- Feuerbacher, A., Herrmann, T., Neuenfeldt, S., Laub, M., Gocht, A. 2022. "Estimating the economics and adoption potential of agrivoltaics in Germany using a farm-level bottom-up approach". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 168, 112784.
- Goetzberger, A., Zastrow, A. 1982. "On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation". International Journal of Solar Energy, 1(1), 55–69.

- Hudelson, T., Lieth, J. H. 2021. "Crop production in partial shade of solar photovoltaic panels on trackers". İçinde AIP Conference Proceedings (C. 2361). American Institute of Physics Inc.
- Li, C., Wang, H., Miao, H., Ye, B. 2017. "The economic and social performance of integrated photovoltaic and agricultural greenhouses systems: Case study in China". *Applied Energy*, 190, 204–212.
- Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., Dupraz, C. 2013. "Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels". *Europ J of Agronomy*, 44, 54–66.
- Moreda, G. P., Muñoz-García, M. A., Alonso-García, M. C., Hernández-Callejo, L. 2021. "Techno-economic viability of agro-photovoltaic irrigated arable lands in the eu-med region: A case-study in southwestern spain". *Agronomy*, 11(3).
- Nakata, H., & Ogata, S. (2023). Integrating Agrivoltaic Systems into Local Industries: A Case Study and Economic Analysis of Rural Japan. *Agronomy*, 13(2), 513.
- Poonia, S., Jat, N. K., Santra, P., Singh, A. K., Jain, D., Meena, H. M. 2022. "Techno-economic evaluation of different agri-voltaic designs for the hot arid ecosystem India". *Renewable Energy*, 184, 149–163.
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Oberfell, T., Bopp, G., Reise, C., ... Weber, E. 2020. "Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications". *Applied Energy*, 265.
- Sojib Ahmed, M., Rezwani Khan, M., Haque, A., Ryyan Khan, M. 2022. "Agrivoltaics analysis in a techno-economic framework: Understanding why agrivoltaics on rice will always be profitable". *Applied Energy*, 323.
- TCMB (2023), Para Politikası Kurulu Kararları, MB Faiz Oranları, <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Temel+Faaliyetler/Para+Politikasi/Merkez+Bankasi+Faiz+Oranlari/faiz-oranlari>, erişim tarihi: 2.07. 2023.
- Trommsdorff, M., Hopf, M., Hörnle, O., Berwind, M., Schindele, S., & Wydra, K. (2023). Can synergies in agriculture through an integration of solar energy reduce the cost of agrivoltaics? An economic analysis in apple farming. *Applied Energy*, 350, 121619.
- Trommsdorff, Maximilian, Johanna, F. 2016. "An Economic Analysis of Agrophotovoltaics: Opportunities, Risks and Strategies towards a More Efficient Land Use*". University of Freiburg. Tarihinde adresinden erişildi www.wipo.uni-freiburg.de
- Turan, N. 2021. "Agrivoltaics and Their Effects on Crops: A review". *Journal of Muş Alparslan University Agricultural Production and Technologies (C. 2)*.
- TÜİK. 2023. Tüketici Fiyat Endeksi, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Enflasyon-ve-Fiyat-106>, Er. tarihi:16.08 2023.
- Valle, B., Simonneau, T., Sourd, F., Pechier, P., Hamard, P., Frisson, T., Christophe, A. 2017. "Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops". *Applied Energy*, 206, 1495–1507.
- Willcockx, B., Herteleer, B., Cappelle, J. 2020. "Techno-economic study of agrivoltaic systems focusing on orchard crops". İçinde 37th EU PVSEC.