



Araştırma Makalesi / Research Article

Türkiye’de Tarım ve Enerjinin Kesişimi, TarımFV: Güncel Yazın Işığında Bir Ön Değerlendirme

Seven Ağır¹, Pınar Derin-Güre², Bilge Şentürk³

Öz

İklim değişikliği ve nüfus artışı baskısıyla yükselen gıda güvenliği tehlikesi ekilebilir arazilere olan ihtiyacı artırmakta; aynı zamanda yenilenebilir enerji yatırımlarının hızlanması arazi kullanımı üzerinden enerji üretimi ile tarımsal üretim arasında çatışma olasılığı yaratmaktadır. Son yıllarda güneş enerjisi alanında yenilikçi bir çözüm olarak geliştirilen tarım-fotovoltaik (agri-photovoltaic) sistemler ise aynı arazi üzerinde ikili kullanımı mümkün kılmakta, tarımsal arazi üzerinde yükseltilmiş paneller sayesinde enerji üretimi ve tarımsal faaliyetler eş zamanlı olarak sürdürülebilmektedir. Türkiye’de hem iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkileri ile ortaya çıkması muhtemel üretim ve gelir risklerini hafifletme potansiyeli açısından, hem de tarımsal üretimin sulama gibi ana ihtiyaçların karşılanmasında yüksek düzeyde dışa bağımlı enerji ihtiyacını ikame etme potansiyeli açısından TarımFV’nin etkilerinin değerlendirilmesi önemlidir. Bu çalışma Türkiye’de bu alanda yapılmış ilk çalışmalardan biri olarak literatürün sistematik bir analizi ile TarımFV sistemlerinin ortaya çıkardığı olası fırsat ve zorlukları tartışmakta ve literatür taraması bulguları ışığında Türkiye’deki tarım sektörünün durumu özelinde (özellikle bir tarım girdisi olan enerji ihtiyacının artışı ve iklim değişikliğinin tarım üzerinde yarattığı zorlayıcı etkiler göz önüne alınarak) TarımFV potansiyelini değerlendirmektedir. Ayrıca tarım ve enerji alanındaki aktörlerin henüz pratikte kullanmadıkları TarımFV’ye ilişkin görüşlerine dair bir ön inceleme sunmak amacıyla Türkiye’de TarımFV kapsamında yapılan ilk saha çalışmasının sonuçlarına da yer verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tarıma Entegre GES (TarımFV Güneş Enerji Santrali), Su Enerji Gıda Bağlantısı, Tarımsal Üretim, Güneş Enerjisi, İklim Değişikliği, Yenilenebilir Enerji.

The Intersection of Agriculture and Energy in Türkiye, AgriPV: A Preliminary Evaluation

Abstract

The food security threat, posed by climate change and population growth, increases the need for arable land. At the same time, the expansion of renewable energy in line with the Green Transition creates a tradeoff and conflict over land use between renewable energy generation and food production. Agro-photovoltaic (AgroPV) systems, which have been developed as an innovative solution to the problem of land use conflict, enable dual land use as energy production and agricultural activities can be carried out on the same land due to the PV panels designed and positioned to enable production the farming land. It is crucial to evaluate the effects of AgroPV technology adoption in Türkiye, both in terms of its potential to mitigate the possible production and income risks that may arise given the impact of climate change on agricultural production and its potential to replace the high level of foreign-dependent energy needs in meeting the primary needs of the agricultural output, such as irrigation. This study, as one of the first studies in this field in Türkiye, discusses the potential opportunities and challenges posed by Agri-PV systems with a systematic analysis of the secondary literature as well as an assessment of the peculiar characteristics of agriculture in Turkey (especially the dependence for external energy use as an agricultural input and pressures of climate change). In addition, in order to shed light on the perspectives of the main actors in agriculture, the results of the first fieldwork on Agri-PV in Türkiye will be presented.

Keywords: Agrivoltaic (AgroPV) Systems, Water Energy Food Nexus, Agricultural Production, Solar Energy, Climate Change, Renewable Energy.

¹ Doç. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, sevenag@metu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8106-1504>

² Doç. Dr., ODTÜ, İktisat Bölümü; pderin@metu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6128-5116>

³ Sorumlu Yazar (Corresponding Author), Arş. Gör. Dr; Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, bilges@metu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-7380-7628>

Atıf/Cite as: Ağır, S., Derin-Güre, P., Şentürk, B., (2023) Türkiye’de tarım ve enerjinin kesişimi, tarımFV: güncel yazın ışığında bir ön değerlendirme. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 41 (Tarım Özel Sayısı), 1-22.

GİRİŐ

İklim değişikliği ve gıda güvenliği sorunları küresel çapta yenilenebilir enerji ve tarım sektörlerinde önemli dönüŐümleri de beraberinde getirmektedir. Bu dönüŐümler içinde her iki sektörü de ilgilendiren bir gelişme, yenilenebilir enerji yatırımlarının artması ile birlikte gıda üretimini de doğrudan ilgilendiren arazi kullanımı değişimleridir. Artan enerji talebi ve fosil yakıtlara bağlı enerji üretiminin azaltılması amacıyla benimsenen politikalar yenilenebilir enerji yatırımlarını arttırmakta ve daha fazla arazinin enerji üretimi amacıyla kullanımına neden olmaktadır. Özellikle güneş enerjisi yenilenebilir enerji yatırımları içinde en hızlı büyüyen yatırım sahası olması sebebiyle arazi kullanımını önemli şekilde etkilemektedir (Adeh vd., 2018).

Diğer yandan iklim değişikliği ve nüfus artışı baskısıyla yükselen gıda güvenliği tehlikesi, ekilebilir arazilere olan ihtiyacı arttırmaktadır. Bu yüzden fotovoltaik (FV) panellerin potansiyel olarak tarımsal üretim yapılabilecek araziler üzerine yerleŐtirilmesi, enerji üretimi ile tarımsal üretim arasında çatışma olasılığını ortaya çıkarmaktadır. Fakat 1982 yılında ilk defa Goetzberger ve Zastrow tarafından tasarlanan ve son yıllarda farklı ülkelerde uygulama alanı bulan tarıma entegre yenilikçi fotovoltaik sistemler (Tarıma entegre güneş enerji santrali veya TarımFV) aynı arazi üzerinde ikili kullanımı mümkün kılmakta; tarımsal arazi üzerinde yükseltilmiş paneller sayesinde hem enerji üretimi hem de panellerin altında tarımsal faaliyetler eş zamanlı olarak sürdürülebilmektedir (Şekil 1)¹.

Şekil 1: TarımFV Tasarım Örneği



Kaynak: ODTÜ-GÜNAM (2022), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi Tarıma Entegre GES Örnek Çizimi, Ankara.

TarımFV üzerine yapılan akademik çalışmalar son yıllarda hızla artmış olsa da bu çalışmaların büyük kısmı halihazırda arazi kullanımı üzerinde yenilebilir enerji üretimi baskısının yüksek olduğu gelişmiş ülkeleri ele almaktadır. Bu sebeple TarımFV yazını ağırlıklı olarak bu sistemlerin arazinin ikili kullanımı vasıtasıyla gıda-enerji üretimi ödünleŐimleri ile maliyet baskısının rahatlatılmasına odaklanmaktadır. Öte yandan son dönemde yapılan çalışmalar TarımFV sistemlerinin özellikle iklim değişikliği ile birlikte ortaya çıkan yeni riskler karşısında üretimi koruyucu ve üreticinin gelirini destekleyici işlevlerine de dikkat çekmektedir. Bu anlamda iklim açısından daha kırılgan coğrafyalarda yer alan gelişmekte olan ülkeler için TarımFV potansiyelini değerlendirme çabaları önem kazanmaktadır.

İklim değişikliğinden en çok etkilenecek ölkelerden biri olan Türkiye’de (Dünya Bankası, 2022) henüz bir TarımFV mevzuatı bulunmamakla birlikte 2021 yılında bu sistemlerin uygulamalarına dönük pilot çalışmalar başlamıştır.² Türkiye’de hem iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerinde yaratacağı etki ile ortaya çıkması muhtemel üretim ve gelir risklerini hafifletme potansiyeli açısından, hem de tarımsal üretimin sulama gibi ana ihtiyaçlarının karşılanmasında yüksek düzeyde dışa bağımlı enerji ihtiyacını ikame etme potansiyeli açısından TarımFV’nin etkilerinin değerlendirilmesi önemlidir. Bu çalışma Türkiye’de bu alanda yapılmış ilk çalışmalardan biri olarak önce bu sistemlerin ortaya çıkışı ve işleyişine dair genel bir görünüm sunacak; daha sonra mevcut literatürün sistematik bir analizi ile TarımFV sistemlerinin ortaya koyduğu olası fırsat ve zorlukları tartışacaktır. İkinci bölümde ise literatür taramasının bulguları ışığında Türkiye’deki tarım sektörünün durumu özelinde (özellikle bir tarım girdisi olarak enerji ihtiyacının ve iklim değişikliğinin tarım üzerinde yarattığı zorlayıcı etkiler ele alınarak) TarımFV potansiyeli değerlendirilecektir. Üçüncü bölümde ise Türkiye’de güneş enerjisi özelinde yapılmış saha çalışmasının öncül sonuçlarına yer verilecektir. Bu değerlendirmenin Türkiye’de Tarım FV üzerine ileride yapılacak sosyal bilimler perspektifli nicel ve nitel çalışmalar için yol gösterici olacağını umuyoruz.

1. DÜNYADA TARIM YAZINI

İlk TarımFV uygulaması 2004 yılında Japonya’da desteklenmiş; ilerleyen yıllarda Fransa, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Çin, Güney Kore ve diğer bazı ölkelerde TarımFV uygulamaları teşvik edilmeye başlanmıştır (Schindele vd., 2020). Örneğin ABD, güneş enerjisi alanına aktarmayı planladığı 130 milyon dolar yatırımın 7 milyon dolarını TarımFV için ayırmıştır (DOE-USA, United States Department of Energy, 2020). Şimdiye kadar bu alanda yapılmış çalışmaların büyük çoğunluğu belli bir bölge ve üründe, TarımFV sistemlerinin etkinliği ve üretkenliği ölçümleri üzerinde durmuştur. TarımFV üzerine yapılmış bu simülasyon çalışmalarının ve pilot uygulamaların çoğunda sabit paneller analiz edilmiş olup güneş ışınlarına göre hareketli paneller de son dönemde tasarımlara dahil edilmiş ve analizlere başlanmıştır (Amaducci vd., 2018; Wang ve Sun, 2018). Ayrıca dikey, çift yüzeyli ve özellikle seralar üzerinde yarı saydam paneller için yapılan çalışmalar da bulunmaktadır (Mamun vd., 2022).

Çalışmalar TarımFV tasarımlarının, sürdürülen tarımsal aktiviteye (ekili/dikili arazi, hayvancılık vb.) bağılı olarak farklılıklar göstereceğini ortaya koymaktadır (Tablo 1). Genel olarak bu sistemlerden elde edilen elektrik, depolama sistemlerinin mevcudiyeti durumunda depolanabilmekte; depolanamaması durumunda da çiftlik tüketimi için kullanılabilen veya şebeke bağlantısı kurularak çevredeki abonelere (konutlara ve sanayiye) enerji sağlayabilmektedir. Ayrıca mahsuplaşma usulü ile çiftçi, ürettiği elektriğin fazlasını şebekeye satabilmekte; ihtiyaç duyduğunda da şebekeden elektrik satın alabilmektedir. Elbette bu tür avantajlardan faydalanma potansiyeli, ölkelerin özellikle enerji ve tarım alanlarındaki yasal düzenlemelerine bağılı olarak değişebilmektedir.

Tablo 1: TarımFV Türleri ve Tarımsal Faaliyet Alanları

TarımFV Türü	Tarımsal Faaliyet Türü
Zemine yerleştirilen FV	Otlatma, arıcılık, bahçecilik
Dikey FV	Otlatma, bahçecilik
Sabit gölgelendirme (yükseltilmiş paneller)	Tarla bitkileri, bağcılık, fidancılık, besicilik, otlatma
Hareketli gölgelendirme (yükseltilmiş paneller)	Bağcılık, fidancılık, bahçecilik, çiçekçilik
Sera FV	Fidancılık, bahçecilik, çiçekçilik
Çatı üstü FV	Besicilik, balık çiftliği, depolama, tarımsal alet ve makine
Yüzen FV tesisi	Balık çiftliği
Diğer TarımFV çözümleri	Sulama rampaları, makine/teçhizat

Kaynak: SolarPower Europe (2020), Solar Power Summit 2020: Agricultural photovoltaics: Solar at the service of sustainable rural development, 30 Temmuz 2022 tarihinde www.solarsummit.org adresinden alınmıştır.

Böyle bir sistemden umulan başlıca fayda, nüfus yoğunluğunun yüksek ve tarım alanlarının kıt olduğu bölgelerde aynı arazi üzerinde hem gıda hem de enerji üretimi yapılarak arazi verimliliğinin arttırılmasıdır. Yapılan çalışmalar, uygun koşullarda (gölgeye toleranslı bitki seçimi, güneş ışınım miktarı, enerji fiyatları, panel sisteminin maliyeti gibi değişkenlerin uygun olduğu durumlarda) arazi verimliliğinin (Land Equivalent Ratio) yükseldiğini göstermektedir (Dupraz vd., 2011; Valle vd., 2017). Dinesh ve Pearce, 2016 konvensiyonel çiftlik gelirine göre TarımFV sistemiyle sağlanacak çiftlik gelirinin yaklaşık %30 daha fazla; Amaducci vd. (2018) iki kat daha fazla olduğunu saptamıştır.

Literatürde ayrıca TarımFV'nin, maliyet ve gelir yaklaşımlarına ek olarak ekolojik, agronomik, sosyo-ekonomik, iklim değişikliği, gıda güvenliği ve kırsal kalkınma gibi perspektiflerden de değerlendirilerek farklı fayda alanlarına dikkat çekilmektedir (Tablo 2). Weselek'in ekolojik bir yaklaşım altında "*sinerjik yan etkiler*" olarak adlandırdığı bu alanlardan biri "su verimliliği"dir. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde fazla güneşlenme ve su kaybı, tarımsal üretimin başlıca sorunlarıdır. İklim değişikliği göz önünde bulundurulduğunda ise bu bölgelerde ihtiyaç duyulan sulama ve toprağın su kaybını önlemeye yönelik gölgeleme ihtiyacının artacağı tahmin edilmektedir (Hannah vd., 2013). Tarımsal arazi üzerine kurulan güneş panelleri ise aşırı güneşlenmeyi ve buna bağlı olarak toprağın su kaybını düşürerek sulama ihtiyacını azaltabilmektedir (Amaducci vd., 2018). Ancak toprak neminde artış, zararlı kontrolünün zorlaşmasına ve daha fazla pestisit kullanılmasına da yol açabilir (Trommsdorff, 2016). Genel olarak hem sulamada sağlanan verimlilik hem de aşırı yağmur ve rüzgâra karşı koruma sağlama potansiyeli ile birlikte TarımFV erozyon riskini de düşürebilecektir (Mamun vd., 2022; Turan, 2021). Konvensiyonel güneş enerji santralleri ile karşılaştırıldığında TarımFV, panellerin alt kısmında bitkisel üretimin gerçekteşmesine imkân sağlayarak bir yandan gıda üretimi ile enerji üretimi arasındaki ödünleşimi ortadan kaldırmakta (ya da azaltmakta) iken bir yandan da özellikle biyoçeşitlilik ve diğer ekosistem hizmetleri kapsamında olası olumlu çevresel dışsallıklar üzerine yapılacak araştırmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır (EU, 2022).

Tarımsal faaliyetlerin yoğun biçimde fosil yakıtlara dayalı olması (traktör kullanımı, sulama, gübre, hayvancılık, taşıma, dağıtım vb.) küresel karbon emisyonu üretiminde tarım sektörünü %24'lük pay ile ikinci sıraya koymaktadır (IPCC, 2019). Tarımsal arazilere kurulan

güneş enerjisi panelleri tarımsal üretimin gerektirdiği enerji tüketiminin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması sağlayarak tarım sektörünün karbon emisyonunu azaltma ve iklim değişikliği ile mücadele etmesinde de avantaj sağlayabilir (EU, 2022). Buna ek olarak bazı çalışmalar, TarımFV sistemlerinin iklim değişikliğinden kaynaklanan aşırı hava şartlarına (yağış, aşırı rüzgâr, don, dolu riskleri) karşı koruma sağlayabileceğine dikkat çekmekte (BayWa-re, 2022), böylece mahsul kaybının önlenebileceği ve ayrıca doluya karşı sigorta maliyetlerinin düşebileceği öne sürülmektedir (Trommsdorff, 2016). Yerel koşullara bağlı olarak bu beklentilerin ne ölçüde gerçekleşeceğine dair daha fazla deneysel çalışmaya ihtiyaç vardır.

Kaynak etkinliği ve sinerjik yan etkiler gibi olası iktisadi ve çevresel faydaların yanı sıra TarımFV'nin birtakım ödünleşmelere yol açması da muhtemel görülmektedir. Tablo 3'ten görülebileceği üzere TarımFV alanında yaşanabilecek olası ödünleşme alanlarından biri, panellerin yaratacağı gölgelenmeden kaynaklı olarak bazı tarımsal ürünlerde kısmi bir verim kaybının (miktar ve kalite olmak üzere) oluşabilmesidir. Genel olarak tahıllar güneşlenmeye fazla ihtiyaç duyduğu için mahsul miktarında düşüş gözlenebilmektedir. Ancak Tablo 2'de görüleceği üzere özellikle kurak dönemlerde TarımFV sistemlerinin, örneğin buğday verimini arttırdığı saptanmıştır (Trommsdorff vd., 2021). Diğer çalışmalara bakıldığında bazı meyve ve sebzelerde farklı coğrafi bölgelere göre verim düşüşü saptanmışken, bazılarında ise verim artışı görülebilmektedir. Williockx vd. (2020), TarımFV sistemlerinde uygun panel kullanımı (örneğin yarı saydam paneller) ve panellerin arazi üzerinde kaplayacağı alanı tarımsal üretimi en az etkileyecek biçimde tasarlayan mevzuatların oluşturulması sayesinde gıda güvenliğini tehdit edebilecek kayıpların önüne geçilebileceğini vurgulamıştır. Kısaca tarımsal üretimin öncelendiği fakat çiftçilerin enerji ihtiyaçlarının ve refah düzeylerinin de gözetildiği bir düzenleme ile TarımFV'nin tüm açılardan fayda sağlaması beklenmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, panel sistemlerinin halen geliştirilme aşamasında olduğu ve birçok farklı bölgede ve farklı tarımsal ürünlerle denenmesi sonucunda elde edilecek veriler ışığında geliştirilecek uygun sistemin, yine uygun politika ve mevzuatlarla beraber etkin bir şekilde uygulanabileceğidir. Bu nedenle TarımFV alanında yapılacak araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin desteklenmesine büyük ihtiyaç vardır.

Tablo 2: TarımFV'nin Farklı Coğrafi Bölgelere Göre Ürün Miktarı Üzerindeki Etkisi

Ürün Çeşidi	Ürün miktarında artış yaşanan bölgeler	Ürün miktarında değişimin olmadığı bölgeler	Ürün miktarında azalış yaşanan bölgeler
Domates	Kuzey Tuscon, AZ, ABD ¹ *Agadır, Fas ⁵	Davis, CA, ABD ² *Almeria, İspanya ³ *Almeria, İspanya ⁴ *Agadir, Fas ⁶	*Sardunya, İtalya ⁷
Marul	*Almeria, İspanya ³	Montpellier, France ⁸ *Sardunya, İtalya ⁷ *Güney Batı Yunanistan ¹¹	
Biber	Kuzey Tuscon, AZ, ABD ^{1***} *Selanik, Yunanistan ⁹	Kuzey Tuscon, AZ, ABD ^{1****} *Sardunya, İtalya ⁷ *Güney Batı Yunanistan ¹¹	Davis, CA, ABD ²
Salatalık		*Sardunya, İtalya ⁷ *Mora Yarımadası, Yunanistan ¹²	Montpellier, Fransa ⁸
Kereviz	**Baden-Württemberg, Almanya ¹⁰		Baden-Württemberg, Almanya ¹⁰
İspanak			Davis, CA, ABD ²
Patates	**Baden-Württemberg, Almanya ¹⁰		Baden-Württemberg, Almanya ¹⁰
Kışlık Buğday	**Baden-Württemberg, Almanya ¹⁰		Baden-Württemberg, Almanya ¹⁰
Yonca			Baden-Württemberg, Almanya ¹⁰
Çilek	*Kunming, Çin ¹³		

Kaynak: Literatürdeki çalışmaların bulgularına göre derlenmiştir.

¹Barron-Gafford vd. (2019), ²Hudelson ve Lieth (2021), ³Urena-Sanchez vd. (2012), ⁴Perez-Alonso vd. (2012), ⁵Ezzaeri vd. (2018), ⁶Ezzaeri vd. (2020), ⁷Cossu vd. (2014, 2020), ⁸Marrou vd. (2013a, 2013b), ⁹Zisis et al (2019), ¹⁰Trommsdorff vd. (2021), ¹¹Kavga et al (2019), ¹²Trypanagnostopoulos vd. (2017), ¹³Tang et al (2020).

* Sera sistemlerinde yapılan deneysel sonuçları ifade etmektedir. ** Ürün miktarındaki artış, kurak yıllarda gerçekleşmiştir. ***Acı biber (chiltepin pepper). ****Meksika biberi (jalapeño)

Kırsal kalkınma perspektifinden ise TarımFV'nin faydaları olarak çiftçi gelirlerinin çeşitlenmesi ile artışına (Dinesh ve Pearce, 2016) ve elektrik üretimine bağlı olarak kırsal bölgelerin ya da çiftçilerin enerji bağımlılıklarının azaltılmasına (Hernandez vd., 2019) dikkat çekilmiştir. Kırsal kesimin enerjiye erişiminin kolaylaşması sulamayı verimli hale getirebilecek ve bu yolla tarımsal üretimi arttırarak kırsal kalkınmaya katkı sunabilecektir (Weselek vd., 2021). Çiftçi gelirinde çeşitlenme ve artış ise üretilen elektriğin -mevcut yasal düzenlemelere ve altyapı olanaklarına bağlı olarak- şebekeye satışı ile mümkün olabilmektedir. Ayrıca TarımFV'nin özellikle yeni iş olanakları yaratabilme (panel kurulumu ve bakımına yönelik) potansiyeli üzerinden kırsal kesimde sosyo-ekonomik anlamda önemli bir katkı sağlayabileceği de öne sürülebilir.

Tablo 3: TarımFV Sistemlerinin Ortaya Çıkaracağı Fırsat ve Zorluklar

Etki Alanı	Fırsatlar	Zorluklar	Kaynak
İklim Değişikliği	Temiz enerji üretimi ile karbon emisyonunun azaltılması		EU (2022), Munoz-Garcia vd. (2022)
	Aşırı hava olaylarından koruması (fazl güneşlenme, sıcak hava dalgası, dolu, don, aşırı rüzgâr vb.)		Barron-Gafford vd. (2019), BayWa-re (2022), Williockx vd. (2020)
Ekoloji/Çevre	Suyun korunması (sulama verimliliğinin artması)		Amaducci vd. (2018), Elamri vd. (2018), Hannah vd. (2013), Ott vd. (2020)
	Erozyonun önlenmesi		Al Mamun vd. (2022), Hernandez vd. (2019), Turan (2021)
Agronomi	Gölgelemeden faydalanan bitkilerin mahsul miktarında ve kalitesinde artış	Gölgelemeden zarar gören bitkilerin mahsul miktarında ve kalitesinde azalış	Barran-Gafford vd. (2019), Trommsdorf vd. (2021)
	Mikroklimatik etkiler ile toprak nemi, sıcaklık vb. koşulların iyileşmesi	Mikroklimatik etkiler altında zararlı kontrolünün zorlaşması ve pestisit kullanımının artması	Trommsdorff (2016)
		Bitkinin olgunlaşma zamanının gecikme olasılığı	Ağır vd. (2023)
Sosyo-Ekonomi	Arazi verimliliğinin artması (uygun verim ve mâli koşullarda)		Dupraz vd (2011), Elamri vd. (2018), Valle vd. (2017), Trommsdorff (2016)
	Tarımsal üretim maliyetlerinin (enerji, sulama, dolu sigortası vb.) düşmesi	Panel kurulum ve bakım maliyetleri	Trommsdorff (2016)
	Çiftçi gelirinde artış (mahsul artışı ve/veya elektrik satışına bağlı olarak)		Amaducci vd. (2018), Dinesh ve Pearce (2016), Trommsdorff (2016)
	Hasat zamanının gecikmesinden kaynaklanan piyasa boşluğunda “geç hasat” gelirinde artış	Hasat zamanının gecikmesinden kaynaklanan “erken hasat (erkenci ürün)” gelirinde azalma	Ağır vd. (2023)
	Yeni iş olanakları		Ağır vd. (2023)
Gıda Güvenliği	Gölgelemeden faydalanan bitkilerin mahsul miktarında artış	Gölgelemeden zarar gören bitkilerin mahsul miktarında azalış	Barran-Gafford vd. (2019), Trommsdorf vd. (2021)
	Tarımsal üretimde sürdürülebilirlik	Tarımsal üretimden vazgeçme (enerji satışını tercih etme)	Williockx vd. (2019)
	Üretilen elektrik ile kurulacak depolar sayesinde ürün kaybında azalma		Ağır vd. (2023)
Kırsal Kalkınma	Enerjiye erişimin kolaylaşması/sağlanması		Hernandez vd. (2019), Irie vd. (2019)
	Pazarlama olanaklarında artış (depolamada, gelir kaynaklarında artış gibi nedenlerle)		Ağır vd. (2023)

Kaynak: Literatürdeki çalışmalara göre yazarlar tarafından derlenmiştir.

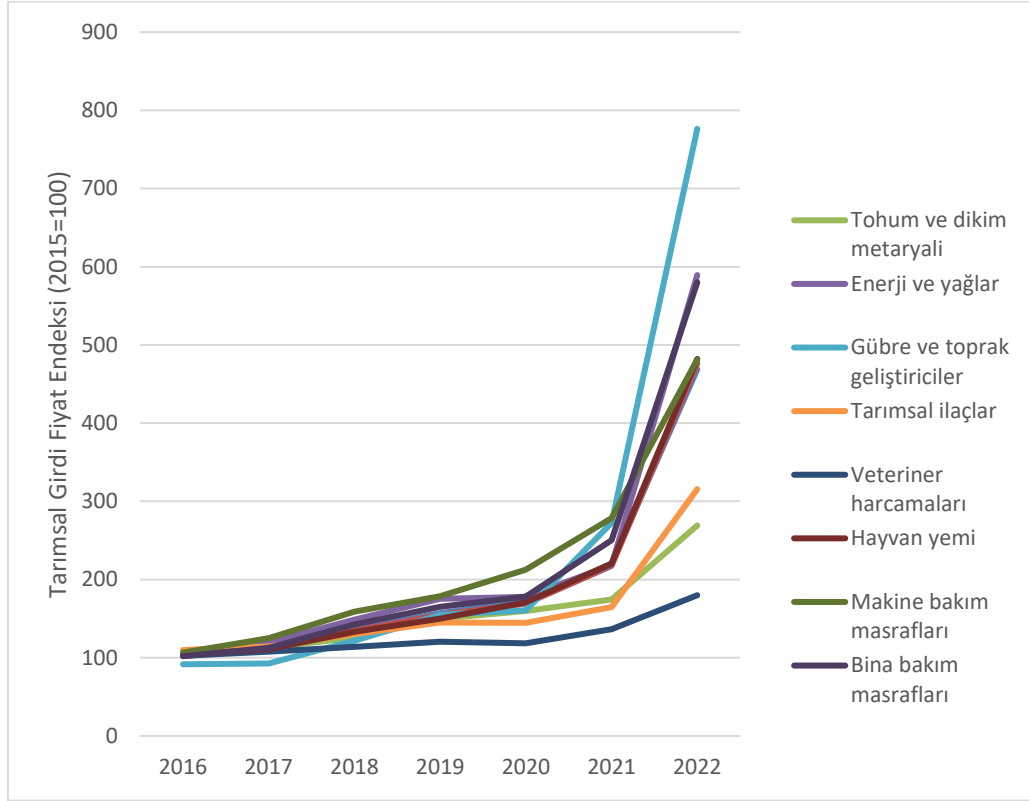
Yine, gelişmiş ülkelerdeki görece küçük toprak sahipliği / işletmeciliği sebebiyle tek tip endüstriyel tarım yerine farklı ürünlerin ekiminin daha yaygın olması tarımsal üretimin devamlılığını biyoçeşitlilik ve buna bağlı olarak gıda güvenliği açısından da daha önemli kılmaktadır. İklim değişikliğine bağlı riskler göz önünde bulundurulduğunda ise kurak ve Akdeniz iklimi gibi yarı kurak koşulların hâkim olduğu bölgelerde tarımsal üretimin daha da kırılgan hale geldiği söylenebilir. Bu nedenle hem iklim değişikliğine bağlı risklerin hem de ekonomik risklerin yüksek olduğu gelişmekte olan ülkelerde küçük ve orta ölçekli çiftçilerin kendine yeterliliklerine odaklanan daha yenilikçi tarım politikalarının geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu anlamda henüz ülkemizde mevzuatı oluşturulmamış olsa da araştırma ve geliştirme faaliyetleri başlatılan TarımFV'nin Türkiye tarım sektörünün yapısal özellikleri göz önüne alınarak taşıdığı potansiyelin araştırılmasına; yaratacağı fırsat ve zorlukların ortaya konmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

2. TÜRKİYE'DE TARIMIN GENEL SORUNLARI

Tarım sektörünün 2021 yılı Türkiye GSYİH içindeki payı %5.5 olarak gerçekleşmiştir ve güncel rakamlara göre toplam istihdamın %17.2'si tarım sektöründe çalışmaktadır (TÜİK, 2022). Tarımsal üretimin salt ekonomik rolünün yanı sıra Türkiye'ye özgü yapısal özellikleri kırsal kalkınma, iklim değişikliği, gıda güvenliği gibi birçok konuda tarım sektörüne stratejik önem yüklemektedir. Ancak çiftçiliğin küçük ve orta ölçekli yapısıyla beraber girdi bağımlılığının yüksek olması, artan girdi maliyetleri karşısında tarımsal üretimi zorlaştıran başlıca sorunlar olarak öne çıkmaktadır (Yeni ve Teoman, 2022).

Toplam tarım girdi fiyatları endeksine (Tarım-GFE) göre, Aralık 2022'de Türkiye'de girdi fiyatlarının 2015 baz yılına göre yaklaşık beş katına çıktığı saptanmıştır (TÜİK, 2023). Alt gruplar bazında 2015'ten 2022'ye en önemli artış, ağırlıklı olarak ithal edilen ve kur artışından yüksek düzeyde etkilenen gübre ve toprak düzenleyicilerde görülmektedir. 2015 yılından bu yana fiyat artışlarının en yüksek olduğu ikinci sektör ise enerji ve madeni yağlardır. 2022 yılı Ekim ayında bir önceki yılın aynı ayına göre %134.8 artan tarımsal girdi fiyatı endeksi (Tarım GFE, 2015=100)'ne göre en yüksek enflasyona sahip olan girdi sınıfları “enerji ve yağ (%196.9)” ve “gübre ve toprak geliştiriciler (%192.5) olmuştur. Şekil 2'de görüleceği üzere tüm girdi sınıflarında (özellikle gübre ve enerjide) 2021 yılı itibarıyla ciddi düzeyde yükselme yaşanmaktadır (TÜİK, 2023). Girdi fiyatlarındaki bu artışın tarımsal üreticiler için zorlayıcı olduğu ve özellikle küçük üreticilerin maliyet artışı karşısında üretimi bırakma riskini arttırdığı söylenebilir.

Şekil 2: Sınıflarına Göre Tarımsal Girdi Fiyat Endeksi (2015=100)

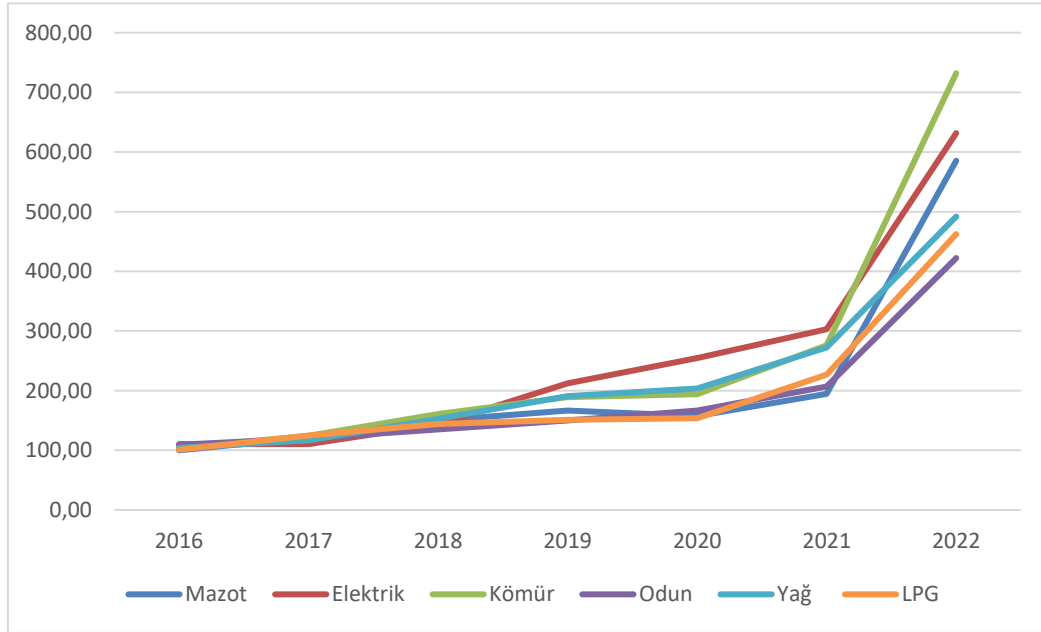


Kaynak: TÜİK (2023), Tarımsal Girdi Fiyat Endeksi, İstatistiksel Tablolar sayfasından 28 Aralık 2022 tarihinde alınan verilere göre yazarlar tarafından düzenlenmiştir.

*Her bir yıla ait endeks göstergesi aylık verilerin ortalaması alınarak oluşturulmuştur. 2022 yılına ait veriler ise Aralık ayı haricinde 11 aylık ortalamadan oluşmaktadır.

TarımFV'nin önde gelen katkılarından biri enerji girdi maliyetlerinde sağlayacağı olası düşüştür. Son yıllarda Türkiye'de enerji girdilerinde yaşanan fiyat artışlarına Tarım-GEF endeksine ait alt kategoriler itibariyle bakıldığında 2015 yılına göre 2022 yılında en yüksek fiyat artışları %632 ile kömür, %531 ile elektrik ve %485 ile mazot girdilerinde yaşanmıştır (TÜİK, 2023). Şekil 3'te ise alt kategorilere göre tarımsal enerji fiyat endeksi görülmektedir. En fazla fiyat artışı başta kömür olmak üzere tarımsal girdiler arasında önemli yeri olan elektrik ve mazot fiyatları da ciddi düzeyde artış göstermiştir. Dolayısıyla fotovoltaik sistemler, yerli kaynakları tarımda kullanılabilir kılmaları ve yerli elektrik üretimini fosil yakıtlardan (kömür gibi) daha ucuz hale getirebilmesi açısından önemli olabilir. Bu nedenle veriler, TarımFV sistemlerinin tarımda girdi maliyetlerini azaltmak açısından destekleyici olabileceğini göstermektedir.

**Şekil 3: Alt Kategorilere Göre Tarımsal Enerji Fiyat Endeksi (2015=100)
(Yıllık Ortalama Enerji Endeksindeki Gelişme)***



Kaynak: TÜİK (2023) Tarımsal Enerji Fiyat Endeksi, İstatistiksel Tablolar sayfasından 28 Aralık Ocak 2022’de alınan verilere göre yazarlar tarafından düzenlenmiştir.

*Her bir yıla ait endeks göstergesi, aylık verilerin ortalaması alınarak oluşturulmuştur. 2022 yılına ait veriler ise, Aralık ayı haricinde 11 aylık ortalamadan oluşmaktadır.

Politik belirsizlik/plansızlık ve çiftçilerin finansal kaynaklara erişim zorlukları da Türkiye tarımında temel yapısal sorunlar olarak sıralanabilir (TÜSİAD, 2020). Ayrıca son yıllarda arazi kullanımı üzerinde inŐaat ve enerji sektörüyle artan tarım-dışı baskılar ve bununla birlikte tarımsal arazinin spekülatif mülkiyetinin yaygınlaşması tarımsal üretim ve gıda güvenliği açısından önemli bir sorundur. Tüm bu sorunlara arazilerin mülkiyet yapısı (mirasla bölünme, çok parçalılık vb.) da eklenince, çiftçilerin uzun vadeli sermaye yoğun teknolojilere yatırım yapması zorlaŐmakta, kısa vadeli ‘günü kurtarmaya dayalı’ stratejilere yönelim artmaktadır.

Türkiye’nin iklim değişikliği açısından en riskli alanlarından olan Akdeniz iklim kuŐađında yer alması ise hem tarımsal verimlilikte düşüŐe yol açarak hem de kırsal kesimdeki gelir eŐitsizliklerini çoğaltarak tarımsal üretimdeki belirsizliği arttırmaktadır (Dünya Bankası, 2022). TOB (2021)’a ait iklim değişikliği ve tarım sektörünün değerlendirildiği raporda son 10 yılda özellikle erozyon sebebiyle Türkiye’de tarımsal alanlarda toprak verimliliği %23 azalmıŐtır. Dolu, don gibi aşırı hava olaylarına bağlı mahsul kayıplarına ek olarak artan kuraklığın sulama ihtiyacını arttırması beklenmektedir (Türkeş, 2020). Ayrıca pazar olanakları nedeniyle mısır, Őeker pancarı gibi fazla su tüketen ürünlerin yaygınlaşması özellikle Konya Havzası gibi kuraklık tehlikesi altında olan bölgelerde yer altı su kaynaklarının kullanımına olan ihtiyacı arttırmaktadır. Meyve ve sebzeçiliğin önemli bir payı olduğu ölkemizde, güneş yanıkları da ciddi sorunlardan biridir. Özellikle örtüleme, gölge tozu, kanolin kili gibi yöntemlerle aşırı sıcaktan korunmaya çalıŐılan bitkiler için, gölgeleme özelliği ile paneller önemli bir ihtiyacı karŐılamıŐ olabilecektir.

Kısaca hem iklim hem de piyasa yapısı sulama üzerinde ciddi bir baskı yaratmakta, tarımsal sulamanın enerjiye olan bağımlılığı ise çiftçi maliyetleri ve çevresel sorunlar (tuzlanma, erozyon, çölleşme vb.) üzerinden gıda güvenliği tehlikesini derinleştirmektedir. Yapılan iklim değerlendirme çalışmaları kuraklığın Türkiye için kronikleşmekte olduğunu göstermekte ve bu nedenle tarımsal üretimde ve su kullanımında uzun dönemli ve planlı bir sisteme geçilmesi önem taşımaktadır (Şahin ve Kurnaz, 2014). Su krizlerinin, başta önemli tarım alanları olmak üzere ülkedeki temel makroekonomik göstergeleri de etkileyeceği (Dudu vd., 2010); orta ve uzun vadede en çok da kuraklığa dayalı nedenlerle tarımsal üretimde önemli kayıplar olacağı tahmin edilmektedir (Dellal vd., 2011; Dudu ve Çakmak, 2018). Özellikle su, enerji ve gıda ekseninde yoğunlaşan söz konusu sorunlar Türkiye tarımında gündeme oturmuş durumdadır. Yukarıda sunduğumuz yazın taraması TarımFV sisteminin bu sorunlar karşısında birtakım potansiyel çözüm olanakları sağlayabileceğini göstermektedir. Bu amaçla öncelikle ülkemizde tarımda enerji ihtiyacının tanımlanması ve artan enerji maliyetleri karşısında çiftçilerin alternatif eğilimlerinin belirlenmesi TarımFV gibi yenilikçi teknolojilerin ülkemiz potansiyeli içinde değerlendirilmesi için yol gösterici olabilir.

2.1. Türkiye Tarımında Enerji ve Sulama

Türkiye tarımında enerji; sulama başta olmak üzere seracılık, hayvancılık ya da gıdaların depolanma ve işleme aşamalarındaki ısıtma ve soğutma, ayrıca genel olarak makine kullanımı (traktör vb.), taşıma ve dağıtım gibi faaliyetler için temel bir girdi kaynağıdır. 2018 yılında toplam enerji tüketiminin %4'ü tarım ve ormancılık (çok azı balıkçılık olmakla beraber) alanına aittir (IEA, 2021: 68). Bu girdi en fazla, fosil yakıt olan mazot ile karşılanmaktadır (Sayın vd., 2005). Örneğin buğday ve pamuk üretiminde kullanılan toplam enerji (MJ/ha) sırasıyla %39 ve %41'lik payla mazottan oluşmaktadır (Ören ve Öztürk, 2006). Domates üretim maliyetlerinin ise %60'ı mazot kullanımından ileri gelmektedir (Erdal, 2019).

Türkiye'de tarımsal sulamada kullanılan su miktarı, toplam su kaynaklarının dörtte üçünü oluşturmaktadır (DSİ, 2021). Bunun en önemli sebebi tarımsal sulamanın çok büyük bir kısmının kontrolsüz (salma) sulama şeklinde yapılmasıdır. Şebekeye bağlı tarımsal işletmelerde ise sulama gibi önemli faaliyetlerin bir kısmı elektrik ile karşılanmaktadır. Tarımda sulama faaliyeti Türkiye çapında faturalandırılan toplam elektrik tüketiminin %3.2'sini oluşturmaktadır (EPDK, 2021). Özellikle su tasarrufu için önemli bir avantaj sağlayan damlama ve yağmurlama sistemleri yaygınlaşmaya başlamış, bu da tarımsal sulamada elektrik kullanımını arttırmıştır. Ancak yukarıda da belirttiğimiz gibi halen DSİ kanaletlerinden sağlanan ya da pompa yoluyla kuyulardan çıkarılan yer altı sularıyla birlikte vahşi sulama yöntemi ağırlığını korumaktadır.

Bu anlamda sulama verimliliğinin artmasını sağlayacak tasarruflu sulama sistemlerine geçişin enerji talebine etkisi göz önüne alınmalıdır. Türkiye için yapılan bir çalışmada mazotla çalışan basınçlı sulama sistemlerinin işlem maliyetlerinin, fotovoltaik sistemle çalışan sulama sistemlerine göre 4.5 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Şenol, 2012). Son yıllarda fosil yakıt ve elektrik fiyatlarındaki hızlı yükseliş karşısında tarımsal ürün fiyatları bu maliyet artışını karşılayabilecek kadar yükselmemiş ve bunun sonucunda tarımsal arazi ve yapılar da güneş panelleri yoluyla enerji üretimine yönelim artmıştır. Bu maliyet sorunlarına ek olarak 2022 sulama sezonunda yaşanan elektrik kesintileri de çiftçilerin gereksinim duydukları enerjiyi kendilerinin üretmesi yönündeki ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Bu alandaki krize kısa dönemli bir çözüm olarak tarımsal sulamaya dayalı elektrik borçlarının ödenmesi için Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından düşük faizli kredi verilmeye başlanmıştır ve ek olarak güneş enerji santrallerine dayalı sulama sistemlerinin desteklenmesine çalışılmıştır (18 Ağustos 2022 Tarihli

ve 31927 Sayılı Resmî Gazete). Tüm bu bilgiler ışığında tarımsal üreticilerin yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine erişiminin hem iktisadi-mali hem de verimlilik açısından olumlu etkileri açıkça anlaşılmaktadır. Ancak bu desteklerden faydalanabilmek, yine birtakım ağır şartlara bağlanmıştır (Madde 1/c)³ ve bu destekleyici kredilerle birlikte aşağıda daha ayrıntılı bahsedeceğimiz üzere tarım arazileri üzerinde GES kurulumuna ilişkin bazı ciddi kısıtlar da getirilmiştir.

2.2. Türkiye Tarımında Güneş Enerjisi

Ülkemizde güneşlenme potansiyeli göz önüne alındığında, enerji bağımlılığını en aza indirecek ve Yeşil Dönüşüm ile uyumlu biçimde karbon emisyonlarını azaltacak en elverişli enerji kaynakları içinde güneş enerjisi öne çıkmaktadır. Güneş enerji üretimi hızla yükselen Avrupa ile karşılaştırıldığında Türkiye, Avrupa'da görece yüksek ışıma miktarına sahip Fransa ve İspanya'ya göre dahi yaklaşık %30 daha yüksek ışıma miktarına sahiptir. Toplam ışımaya göre, ülkemizdeki elektrik talebinin %75'inin güneş enerjisi ile karşılanması mümkündür (Uğuz vd., 2019). Mevcut haliyle lisanslı ve lisanssız⁴ olmak üzere GES'ler Türkiye çapındaki kurulu güç kapasitesinin %9'unu, toplam enerji üretiminin ise %4.87'sini oluşturmaktadır (EPDK, 2022a).

Güneşlenme miktarına bölgesel olarak bakıldığında Türkiye'de en yüksek potansiyel Güney Doğu Anadolu Bölgesi'ne aittir. Bölgeyi sırasıyla Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Karadeniz takip etmektedir. Karadeniz, Güney Doğu Bölgesi'ne göre yalnızca %23 daha az güneş enerjisi potansiyeli göstermektedir (GEPA, 2022) ve birçok Avrupa ülkesine göre daha fazla ışımaya sahiptir (Coşgun, 2021). Özellikle güney ve iç kesimlerdeki güneşlenme miktarının fazlalığı ve söz konusu bölgelerde Şanlıurfa, Konya gibi kuraklık tehlikesi altında olan önemli tarım alanlarının yer alması⁵, TarımFV'nin bu tür bölgelerdeki potansiyelini hem enerji hem de sulama verimliliği açılarından arttırmaktadır. Ülkemizde seracılığın yaygın olması da seralarda kullanılan enerji ihtiyacını arttırmaktadır. Fernández vd. (2022) tarafından İspanya, İtalya, Meksika ve Türkiye üzerinde yapılan çalışmaya göre mevcut seraların üzerine kurulacak paneller ile üretilecek en yüksek elektrik potansiyelinin Türkiye'de olduğu tespit edilmiştir. Üstelik ikinci sırada olan Meksika'ya göre sera başına ürettiği enerji miktarı 2 kat daha fazladır. Çalışmanın diğer önemli bir bulgusu ise, seralarda üretilecek enerji ile her bir seranın %95 ila %114 oranında enerjide kendine yetebilir duruma gelmesidir. Örneğin Antalya'da bulunan seralar, Türkiye'nin elektrik arzını %6 oranında karşılayabilecek seviyededir. Bu oran İspanya, Meksika ve İtalya'da bulunan önemli sera bölgelerine göre önemli bir farkla (sırasıyla %2.5; %2.3; %3.4) önde yer almaktadır.

TarımFV'nin mikroklima etkisi ile fotovoltaik enerji üretimi üzerinde verimlilik artışı sağlayabileceği düşünüldüğünde, tarımsal üretim ve enerji üretiminin birleştirilmesi, tarımsal arazilerden sağlanabilecek enerji verimliliğini önemli ölçüde arttırabilecektir (Coşgun, 2021). Tarımsal üretim ile güneş enerjisinin birleştirilmesi durumunda diğer sinerjik faydalar da dahil olmak üzere önemli bir enerji arzının ortaya çıkabileceği, çiftçilerin ve kırsal kesimin enerji bağımlılığının ciddi ölçüde azaltılabileceği söylenebilir. Ayrıca arazi fiyatlarındaki artış ve diğer yapısal sorunlara bağlı olarak ekilen alanların azalma eğiliminde olması karşısında TarımFV tarımsal üretimin sürdürülebilmesi açısından çekici bir yatırım olanağı sunabilmektedir. Bununla birlikte TarımFV'nin amacına uygun kullanılmaması ('pseudo-tarım', tarım yapar görünümlü enerji yatırımları) tarımsal arazi üzerindeki enerji yatırımı amaçlı baskıyı arttırırken, gıda arzını olumsuz etkileyebilir. Bu anlamda TarımFV'nin hem kırsal kalkınma hem de gıda güvenliği açısından toplumsal faydasını gözetilen bir mevzuat oluşturmak son derece önem taşımaktadır.

Türkiye’de henüz TarımFV’ye özel bir mevzuat olmasa da tarımsal arazilerde güneş enerjisi kullanımı, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve 5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu ve bunlara bağlı yönetmelikler ve uygulama talimatları aracılığıyla düzenlenmektedir. En güncel haliyle tarım arazileri üzerinde ölkemizde paneller yoluyla iki şekilde elektrik üretilebilmektedir. Bunlardan ilki, çiftçilerin tarımsal üretim faaliyetlerinde arazi ya da çatı üzerinde (sulama, seralarda ve besi çiftliklerinde ısıtma/soğutma, soğuk hava deposu vb.) girdi olarak kullanabilmeleri için şebekeden bağımsız biçimde elektrik üretmelerine dayanmaktadır. Diğeri ise kuru (kıraç) marjinal tarım arazileri üzerine kurulan paneller aracılığıyla şebekeye satış amacıyla üretilen elektriktir. 21 Temmuz 2011 Tarihli 28001 Sayılı Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, özel ve tüzel kişilerin kendi elektriğini kendilerinin üretmelerini sağlayan ilk düzenleme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yönetmelik kapsamında lisanssız olarak kurulan ilk güneş enerji sistemi (GES), 2013 yılında Muğla Büyükşehir Belediyesi tarafından kurulan mezbaha tesisi olmuştur. Çatıya kurulan bu sisteme ek olarak ilk tarımsal sulama GES ise aynı yıl Ankara’nın Beypazarı ilçesinde bir çiftçi tarafından kurulmuştur (Güven, 2020; TRT, 2012). 2021 yılı itibarıyla Türkiye’de lisanssız olarak üretilen elektriğin %96.6’sı, GES’lerce üretilmektedir (EPDK, 2021).

2022 yılına dek saatlik mahsuplaşma yapılarak lisanssız üreticilerce üretilen elektriğin satışına izin veren düzenleme, yurt çapında tarımsal üretimin suistimal edilmesi eğilimi karşısında (hayvan bulunmayan besi çiftlikleri, mahsul üretilmeyen seralar vb. örneklerle) 11 Ağustos 2022 tarihli Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği’nde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile yeniden düzenlenmiş ve aylık olarak mahsuplaşmaya izin vermeye başlamıştır.⁶ Bu yeni düzenlemelere göre 2013-2019 dönemine göre lisanssız elektrik satışından elde edilecek gelir düşmüştür. Buna ek olarak son yıllarda GES talebindeki artışın ise panel fiyatlarının yükselmesine yol açarak her iki gelişme sonucunda GES yatırımlarının çiftçi için yatırımın geri dönüş süresini uzattığı söylenebilir.

Esasında devletin, bu düzenlemeler ile elektrik üretiminde satış gelirinden ziyade “öz tüketim” modelini (Güven, 2022) ya da EPDK (2022b)’nin kamuoyu duyurusunda ifade ettiği şekilde “tüketime özgüleşmiş” üretimi yeniden kurgulamak istediği görülmektedir. Benzer bir ihtiyatlı yaklaşım sonucunda Tarım ve Orman Bakanlığı’na bağlı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü görüşleri doğrultusunda hazırlanan tebliğlere dayanarak 26 Nisan 2022 tarihinde “Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Uygulama Talimatı”nda değişiklik yapılarak GES kurulabilecek arazi ve yapılar yeniden düzenlenmiştir. Buna göre GES kurulabilecek alanlar i) marjinal tarım arazisi ve ii) mutlak, özel ürün, dikili tarım araziler olarak ikiye ayrılmış ve 16 Haziran 2022 tarihinde bazı alanlarda yalnızca tarımsal amaçlı yapıların çatılarına ya da arazinin %1.5 oranında yere kurulabilmek suretiyle sınırlama getirilmiştir (bkz. Tablo 4). Sera üzerine GES kurulumu ise tamamen yasaklanmıştır. Marjinal tarım arazilerinde kurulan seralarda ise GES’in proje alanının %1.5 oranı kadar yalnızca yere kurulmasına izin verilmiştir (TAGEM, 2022).

Tablo 4: Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Uygulamalar

Marjinal Arazilerde	Mutlak, Özel Ürün, Dikili Tarım Arazilerde
“Tarımsal amaçlı yapılar”ın çatısına tüketimi karşılayacak kadar GES kurulabilir. Yetmemesi durumunda ise proje alanının %1.5 kadar yere GES kurulabilir.	“Tarımsal amaçlı yapıların yalnızca çatısına tüketimi karşılayacak kadar GES kurulabilir. Yere kurulmasına izin yoktur.
“Sera” üzerlerine fotovoltaik panellerin kurulumu bitki yetiştiricilik tekniğine uygun olmadığı gerekçesiyle yasaklanmıştır. Ancak sera içlerinde (proje alanında) yere %1.5 oranında panel kurulabilir.	“Sera” üzerlerine ve sera içinde yere fotovoltaik panellerin kurulumuna izin verilmemiştir.
“Tarımsal sulama” amaçlı yapılarda kuyunun sulama kapasitesine göre gereken enerjiyi sağlayacak GES, en fazla %1.5 alanı kapsayacak şekilde kuyunun bulunduğu yere kurulabilir.	“Tarımsal sulama” amaçlı yapılar için arazi 20 ha ve üzerinde ise yere GES kurulabilir. 20 ha’dan az ise mobil GES kullanımı serbesttir.
“Tarımsal amaçlı entegre tesisleri”nin çatısına tüketimi karşılayacak güçte GES kurulabilir, yetmemesi durumunda ise yine yere kurulmasına izin verilmektedir.	“Tarımsal amaçlı entegre tesisleri” yalnızca çatısına tüketimi karşılayacak kadar GES kurulabilir. Yere kurulmasına izin yoktur.
“Tarım dışı amaçlı kullanım”larda ise yine çatı ve yere GES kurulabilir.	“Tarım dışı amaçlı kullanımlarda ise yine yalnızca çatıya GES kurulabilir.

Kaynak: Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Uygulama Talimatı’na Yönelik Tebliği kapsamında düzenlenen Tarım ve Orman Bakanlığı’na ait 16.06.2020 tarihli talimata göre düzenlenmiştir.

Yukarıdaki düzenlemelere göre GES kurulması durumunda çiftçinin, tarımsal üretime devam etmesi taahhüt ile garanti altına alınmaktadır. Buna rağmen çiftçilerin tarımsal üretimden vazgeçmesi durumunda GES’e el konması, kurulumun sökülmesi vb. yaptırımlar mevzuatta bulunsa da yaptırımları uygulayacak altyapı ve ödenek bulunmamakta (yıkım ekibi vb. hizmetlerin düzenlenmesi yoktur) ve denetimsel mekanizmanın çalışmasının mümkün olmadığı anlaşılmaktadır. Yönetmelik, GES kurulumlarını enerji tüketim miktarına göre sınırlamış olsa da üretilen enerjinin satışını sınırlandıran bir mevzuat da yürürlükte yoktur. Bu açılarından mevcut yasal düzenlemeler, birtakım eksiklikler içermekte ve sistemi suistimale açık bırakabilmektedir. Bu nedenle Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı ve Sanayi Bakanlığı arasında koordinasyon bulunmaması önemli bir kurumsal problem olarak karşımıza çıkmaktadır

Söz konusu kısıtlama ve sorunlara rağmen tarımsal sulamada GES’lerin yaygınlaştırılması amacıyla Hazine ve Maliye Bakanlığı tarafından geçtiğimiz günlerde açıklanan kredi desteğinin (HMB, 2022) özellikle küçük ve orta ölçekli çiftçilerin enerjide kendine yeterliliklerine katkı sunabilecek önemli bir gelişme olarak gündeme gelmiş bulunmaktadır. 22 Aralık 2022 tarihinde Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği’nde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelikte yapılan son düzenlemeyle başvuru sürelerinde uzatıma gidilerek bürokratik zorlukların kısmen giderilmeye çalışıldığı söylenebilir.

TarımFV özelinde herhangi bir yasal düzenleme henüz bulunmamasına rağmen, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından 2022 yılında iki adet bilgi notu yayınlanmış ve dikili tarım arazileri ve seralar üzerinde TarımFV uygulamaları yönünde görüş bildirilmiştir. Buna göre güneş panellerinden kaynaklanan gölgelenmenin bitkisel gelişime uygun olmayabileceği, panellerin bertarafı konusunda çevresel endişe duyulduğu ve TarımFV için henüz yeterli veri bulunmadığından hareketle ülkemizde TarımFV uygulamalarının dikili araziler ve sera üzerleri için Genel Müdürlükçe uygun bulunmadığı ifade edilmiştir (TAGEM'e ait 8 Nisan 2022 ve 30 Mayıs 2022 tarihli bilgi notları). Henüz Türkiye'de bir pilot uygulama tamamlanmadığı düşünüldüğünde burada bildirilen görüşlerin ilgili literatüre veya başka ülkelerde benzer uygulama sonuçlarına dayanarak yapılmamış olması bir eksiklik olarak görülebilir. Özellikle AB ve ABD'de TarımFV'ye dair uygulamalar ve bu uygulamalara dair bilimsel çıktıların artışı Türkiye'deki değerlendirmelerin en azından bu ilk aşamada faydalı olabileceğini düşündürmektedir. Takip eden dönemde ise ülkemizde TarımFV'ye dönük pilot projelere hız kazandırılması ve desteklenmesi, elde edilecek verilerin değerlendirilmesi ve kamu kurumlarıyla paylaşılması yoluyla TarımFV'nin ülkemiz için gerçek potansiyelin ortaya konması açısından önem taşıyacaktır.

3. TARIMFV SAHA ARAŞTIRMASI SONUCU

Türkiye Fotovoltaik Platformu içerisinde TÜBİTAK 1004 projesi çerçevesinde "Araştırma Programının Toplumsal Etkisi (SOLARSOS)" projesi kapsamında 7-14 Aralık 2022 tarihleri arasında Manisa'nın Akhisar ilçesinde yapılan saha çalışmasında katılımcılara TarımFV özelinde sorular sorulmuştur⁷. Araştırmada, kamu ve özel sektör kuruluşlarından, aralarında tarım sektörü ve kuruluşlarında çalışan (çiftçi, ziraat mühendisi vb.) paydaşlara ek olarak elektrik piyasasında çalışanlar da dahil olmak üzere toplam 20 uzman kişi ile görüşülmüştür. TarımFV hakkındaki görüşlerin sorulduğu bu saha araştırmasında, uzmanların neredeyse yarısı (%45) TarımFV sistemlerini tarımsal üretim açısından faydalı bulmuştur. Üç uzman ise görüş belirtmemiş, bir kişi kararsız olduğunu ifade etmiştir.

Olumlu görüşe sahip olanlar (2 çiftçi, 4 kamu kurumu uzmanı, 3 özel sektör uzmanı) çoğunlukla, TarımFV'nin hem tarımsal maliyetler hem de agronomik etkiler açısından üreticiye fayda sağlayabileceğini düşünmektedirler. Bu faydalar arasında ürün çeşitliliğinin artması ve katma değeri yüksek ürünlerin yetiştirilebilmesi yoluyla çiftçi gelirlerinin artması öngörülmektedir. Yöreye özgü ürünler açısından düşündüklerinde hasat gecikmesinden kaynaklanacak gelir artışı, yaş üzümde beklenmektedir). Zeytin üretiminde ise gölgelenmeden (%20-30 dolaylarında olmak koşulu ile) faydalanabilecekleri; bu sayede ürün kaybında azalma ve kalitesinde yükselme olabileceği ifade edilmiştir. Yine yörede yaygın biçimde kullanılan "örtü" maliyetlerinde azalma sağlanabileceği ve panellerin doluya karşı koruma işlevi görebileceği düşünülmüştür. Ayrıca hem teknik olarak hem de enerji maliyetleri bakımından sulama faaliyetlerinin tamamen bu sistem ile sağlanabilmesinin çiftçiler açısından faydalı olacağı ifade edilmiştir.

TarımFV üzerinde olumsuz görüş bildiren 9 kişi (8 elektrik sektörü uzmanı, 1 çiftçi) arasında öne çıkan yaklaşım ise maliyetlerin yüksekliği dolayısıyla TarımFV sistemlerinin finansal açıdan uygulanabilir olmayabileceği (kurulum ve bakım/operasyonel maliyetler) ve çiftçilerin bu maliyetleri üstlenemeyecekleridir. Bu uzmanların önemli bir kısmı, TarımFV yerine özellikle marjinal arazilere GES kurulumunu önermektedirler. Ülke genelinde ve yörede verimsiz boş arazilerin çok olması ikili kullanımı bu uzmanlar açısından anlamsız kılmaktadır. Her ne kadar bazı

uzmanlar tarımsal üretimin panellerin yaratacağı gölgelemeden dolayı zarar göreceğini ifade etmiş olsa da; uzmanların tarımsal üretimden çok, kendi uzmanlık alanlarına odaklanarak elektrik üretimine ilişkin faaliyetleri değerlendirmeyi önceliklendirdikleri düşünülebilir. Çünkü olumsuz görüş bildiren hiçbir uzman, tarımsal üretim sürecinde farklı sinerjik fayda alanlarına değinmemiştir. Oysa yazında görölen bulgular, sulama verimliliği başta olmak üzere TarımFV'nin birçok farklı alanda (maliyet ve gelir yaklaşımlarına ek olarak agronomik, sosyo-ekonomik, kırsal kalkınma açılarından) olumlu etkisi olabileceği ve çiftçi geliri ve arazi verimliliğini arttırabileceğini göstermektedir (Weselek vd., 2019). Nitekim Ağır vd. (2023)'ne ait öncül çiftçiler ile TarımFV özelinde yapılan saha araştırmasında, katılımcıların neredeyse tamamı TarımFV sistemleri üzerine olumlu fikir beyan etmişler ve elde edebilecekleri faydaları (özellikle maliyet düşüşü ve gölgelemeden kaynaklı agronomik faydaları) göz önünde bulundurarak mümkün olursa bu sistemleri belirli şartlar altında arazilerine kurmak istediklerini belirtmişlerdir.

Akhisar, Manisa'da olumsuz görüş bildiren uzmanlar ayrıca tarımsal üretim süreci dışında da çiftçilerin elektrik üretip satabilmelerinin çiftçiler için yeni bir gelir kaynağı yaratabileceği üzerinde durmamış; üretilen elektriğin yerel paylaşım olanağına odaklanmamıştır. Yalnızca bir uzmanın yörede kooperatifleşmenin zayıf olduğunu belirterek elektriğin ortak kullanımının yerel iş birliği yoluyla pek mümkün olmadığını öne sürdüğü söylenebilir. Fakat bu tür yorumlar yereldeki kurumsal kapasitenin (örneğin kooperatif veya üretici örgütlerinin işlevselliğinin) ne şekilde TarımFV adaptasyonunu etkileyebileceğine dair önemli bir araştırma alanı için yol gösterici niteliktedir.

Olumsuz görüş bildiren uzmanlardan biri (gıda sektörü uzmanı), TarımFV gibi uzun dönemli bir yatırımın tarım arazisinin farklı kullanım imkanlarını engelleyebileceğini öne sürmüştür. Örneğin arazi sahibi kendi ekim yapmak istemediği zamanlarda arazisini kiraya verebilmekte ya da başka yatırımlar için kullanabilmektedir. Bu uzman görüşüne göre söz konusu kısıtlayıcılık TarımFV yatırımına adaptasyonu düşürebilir. Uzmanlardan bir diğeri, bu tür yatırımların "hırsızlık riski"ne karşı koruma gerektirdiğini fakat böyle bir koruma sistemi sağlamanın zor olabileceğini ifade etmiştir. Bu risk karşısında "mobil solar sistemlerin" adaptasyonunun daha kolay olabileceğini düşünen uzman, bu basit hareketli sistem üzerinde de mevcut sigorta sorunlarının varlığına dikkat çekmiştir.

Hem olumlu hem de olumsuz görüş bildirenlerin önemli bir kısmı maliyetlerin yüksekliğini TarımFV sistemlerinin yaygınlaşması konusunda önemli bir engel olarak görmektedir. Bu nedenle tüm uzmanların görüşleri değerlendirildiğinde, TarımFV'nin yaygınlaştırılması konusunda geliştirilecek yeni teşvik mekanizmalarına olan ihtiyaç öne çıkmaktadır. Her iki görüşe sahip uzmanların vurguladığı diğer bir ortak sorun da TarımFV hakkında daha çok bilgiye ihtiyaç olduğudur. Bu nedenle, uygulamaya dayalı çalışmaların üreteceği veriler, TarımFV konusundaki toplumsal görüşe ışık tutabilmesi ve paydaş yaklaşımlarının tarımsal sorunların çözümünde rol oynayabilmesi açısından önemli olacaktır.

4. DEĞERLENDİRME: TÜRKİYE'DE TARIMFV'NİN KATKI POTANSİYELİ

Yukarıdaki yazın incelemesi TarımFV'nin Türkiye'nin karşı karşıya kaldığı sorunlar ve riskler açısından olumlu etkileri olabileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte TarımFV'nin birtakım alanlarda ödünleşimler doğurması da muhtemeldir. Bunların en başında gölgelemeden kaynaklanan mahsul kaybı gelmektedir. Fakat Türkiye özelinde hem iklimin genel yapısı (yüksek ışınlanma oranları), hem de iklim değışikliği ve sulama maliyetlerinden kaynaklanan ve ekili arazinin küçölmesine sebep olan sorunlar nedeniyle TarımFV bu konularda avantajlı

görünmekte; ödünleşimlerden ziyade sinerjik etkilerin baskın olacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte Türkiye bağlamında tarımda yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin mevzuat 'kurumsal' bir sorunun varlığına işaret etmektedir.

Son yıllarda sera üzerinde dahi güneş paneli kurulması uygun bulunmadığı için engelleyici düzenlemeler yapılmıştır: Bürokrasi perspektifinden ikili sistemlerde üreticinin elektrik satışından elde edeceği gelirin görece yüksekliği ve/veya tarımsal üretimin çeşitli örtük maliyetleri nedeniyle ise çiftçilerin enerji yatırımları olanaklarında 'usulsüz' de olsa bir ikameye gitmeleri ve tarımsal faaliyetlerden vazgeçme eğilimi politika yapımcılar tarafından gıda güvenliğini tehlikeye atabilecek olası bir gelişme olarak görülebilmektedir. Bu yüzden bu tür sistemlerin yaygınlaştırılabilmesi için hem üreticinin tarımsal üretim kazançlarını gözetken, hem de devletin denetleyici kapasitesini güçlendiren kapsamlı bir 'tarım politikası' çerçevesine ihtiyaç vardır. GES yatırımlarını kısıtlayan düzenlemeler yerine, GES yatırımları aracılığıyla tarımsal üretimi özendirilen (cazip hale getiren) ve garanti altına alan bir yapının oluşturulması hem enerji üretimi hem de tarımsal üretim açısından faydalı olabilecektir.

TarımFV'nin faydalı olabilmesi için bir yandan pilot çalışmalarla Türkiye için gölgeye toleranslı ürünler belirlenerek gıda güvenliğinin gözetildiği kapsamlı bir TarımFV planlaması yapılmalı; bir yandan da kırsal kesimin refahının ve gıda üretiminin önceliklendirildiği güçlü bir mevzuat oluşturulmalıdır. TarımFV ile ilgili yapılan ön saha çalışmasında TarımFV özelinde olumlu görüşler belirtilmiş de olsa olumsuz görüşler daha çok yüksek maliyet beklentisi ve çoklu kullanımlar üzerinde engellere yoğunlaşmış; bu da maliyet azaltımı için teşviklerin önemli olabileceğini ortaya koymuştur.

NOTLAR

¹ Şekil 1'de görüldüğü üzere yükseltilmiş FV güneş enerjisi sistemleri altında tarımsal üretim ve hayvancılık devam edebilmektedir. Hayvansal ve tarımsal atıklar yakınlardaki bir biyoenerji tesisinde işlenip enerji üretimi artabilir ve döngüsel ekonomiye katkıda bulunulabilir. Üretilen güneş enerjisi ile tarlada kullanılacak tarım makineleri çevreye zarar vermeden şarj edilebilir. Ayrıca üretilen elektriğin fazlası şebekeye verilerek çevredeki konutların enerji ihtiyacının karşılanmasına destek olabilir. Çevrede bulunan su kaynakları üzerine de yüzen fotovoltaik sistemlerin konulması gibi yeni yöntemlerle de güneş enerjisi üretimi mümkün olabilmektedir.

² ODTÜ-GÜNAM koordinasyonunda, Ankara Kalkınma Ajansı desteği ile "Tarımsal Arazinin Çift Yönlü Kullanımına Uygun Yenilikçi GES Uygulaması" projesi kapsamında Ankara İli Ayaş İlçesinde, TÜBİTAK 1004 desteği ile "Tarımda Yeşil Enerji Dönüşümü" projesi kapsamında Kayseri ve Bursa'da ve Horizon Europe desteği ile "AgriPV system with climate, water and light spectrum control for safe, healthier and improved crops production" projesi kapsamında Bursa İli Mustafakemalpaşa ilçesinde birer adet olmak üzere 4 adet açık alan üzerine farklı tasarımlara sahip tarıma entegre GES (TarımFV) kurulumları başlamıştır. Birbirinden farklı iklim koşulları ve ürün desenleri ile yürütülecek olan analizler bölge iklimi açısından tarım ve FV etkileşimini analiz imkânı sunacaktır. Bununla birlikte, bazı özel sektör girişimcilerinin basit açık alan tarıma entegre tasarımları ve örtülü tarımsal alanlar üzeri tasarımlar (ArveTec firmasının koordinatörlüğünde "SusMedHouse Projesi" kapsamında) 2022 yılında hayata geçmiştir.

³ Madde 1/c: "Tarımsal Elektrik Bedeli başlığından yararlanmak isteyen sulama kooperatifleri ve sulama birlikleri ile gerçek ya da tüzel kişi tarımsal üreticilerin yeni faturalarını ödemek amacıyla

bu krediden yararlanabilmesi için birikmiş, normal ödeme günü geçmiş, ödenmemiş, taksitlendirilmemiş tarımsal elektrik borcunun bulunmaması ve taksitlendirilerek ödenen, ödenecek borçları varsa bununla ilgili gecikmiş taksitin bulunmaması gerekir”

⁴ 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu’nun 14’üncü maddesi kapsamında lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf kişilerin ihtiyaç fazlası olarak sisteme verdikleri üretimdir.

⁵ 2021 yılında Türkiye çapında tarımsal sulama faaliyeti için faturalanan elektrik tüketimi içinde, Şanlıurfa %27,3 pay ile birinci; Konya %14,2’lik pay ile ikinci sırada yer almaktadır. Her iki il de, tarımsal üretimi yüksek fakat iklim değişikliğinden en fazla etkilenen bölgelerdendir. Sulamaya ilişkin veriler de bu durumu doğrular niteliktedir.

⁶ 12/5/2019 tarihinden sonra yapılan başvurular neticesinde bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu almaya hak kazanan kişilerin, ihtiyacının üzerinde satışa konu edilebilecek üretim miktarı, ilişkili tüketim tesisinin toplam elektrik enerjisi tüketimini geçemez. Bu miktarın üzerinde sisteme verilen enerji YEKDEM’e bedelsiz katkı olarak dikkate alınır. Bu fıkra hükmü, kurulu gücü 50 kW ve altındaki mesken abone grubundaki tüketim tesisleri ile ilişkilendirilen üretim tesisleri için uygulanmaz (Madde 16).

⁷ Bu araştırma için Orta Doğu Teknik Üniversitesi Etik Kurulu’nun 26 Temmuz 2021 tarih ve 28620816 sayılı kararı ile etik kurul onayı alınmıştır.

YAZAR BEYANI

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Bu çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır.

Etik Kurul Onayı

Bu araştırma için Orta Doğu Teknik Üniversitesi Etik Kurulu’nun 26 Temmuz 2021 tarih ve 28620816 sayılı kararı ile etik kurul onayı alınmıştır.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar açısından ya da üçüncü taraflar açısından çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Destek Beyanı

Bu çalışma TÜBİTAK 1004: Türkiye Fotovoltaik Teknoloji Platformu” 20AG002 numaralı Araştırma Programının Toplumsal Etkisi - SOLARSOS” isimli alt projesi kapsamında desteklenmiştir. .

KAYNAKÇA

- Adeh, E. H., Selker, J. S., & Higgins, C. W. (2018). Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *PLoS ONE*, 13(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203256>
- Ağır, S., P. Derin-Güre, & B. Sentürk. (2023). Farmers' Perspectives on Challenges and Opportunities of Agrivoltaics in Türkiye: An Institutional Perspective. *Renewable Energy* 212, 35-49. doi:10.1016/j.renene. 2023.04.137.
- 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>
- BayWa r.e. (2022), 10 Eylül 2022 tarihinde <https://www.baywa-re.com/en/solar-projects/agri-pv#conceal> adresinden erişilmiştir.
- Coşgun, A. E. (2021). The potential of agrivoltaic systems in TURKEY. *Energy Reports*, 7, 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.06.017>
- Dellal, D., Mccarl, B. A., & Butt, T. (2011). The economic assessment of climate change on Turkish agriculture. İçinde *Article in Journal of Environmental Protection and Ecology* (C. 12, Sayı 1). <https://www.researchgate.net/publication/288760540>
- Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. İçinde *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299-308. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
- DSİ (2021), DSİ 2020 Yılı Resmi Su Kaynakları İstatistikleri, 12 Ağustos 2022 tarihinde <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/1499> adresinden erişilmiştir.
- Dudu, H., Çakmak, E. H., & Saraçoğlu, D. Ş. (2010). Climate change and irrigation in Turkey: A CGE approach. *Iktisat Isletme ve Finans*, Bilgesel Yayıncılık, 25(286), 9-33.
- Dudu, H., & Çakmak, E. H. (2018). Climate change and agriculture: An integrated approach to evaluate economy-wide effects for Turkey. *Climate and Development*, 10(3), 275-288. <https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1372259>
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36 (10), 2725-2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
- Dünya Bankası (2022). *Country Climate and Development Report: Türkiye*, June 2022.
- EPDK (2021). Elektrik Piyasası 2021: Piyasa Gelişim Raporu, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara 2022. 30 Ekim 2022 tarihinde <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24-3/elektrikyillik-sektor-raporu> adresinden erişilmiştir.
- EPDK (2022a). Elektrik Piyasası Sektör Raporu Kasım 2022, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara 2022. 20 Ocak 2023 tarihinde <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23-3/elektrikaylik-sektor-raporlar> adresinden erişilmiştir.

- EPDK (2022b). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nde Değişiklik Yapılmasına İlişkin Kamuoyu Duyurusu. 20 Ocak 2023 tarihinde <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-92/elektriklisanssiz-uretim> adresinden erişilmiştir.
- EU (2022). Agri-photovoltaics (Agri-PV): How multi-land use can help deliver sustainable energy and food, European Commission, Agri-Voltaics Workshop. Joint Research Center.
- Erdal, B. (t.y.). Energy use in agricultural production in Turkey: A study on tomato production *CONSUMER TRENDS FOR ORGANIC PRODUCTS: THE CASE OF THE MARMARA REGION IN TURKEY* View project. <https://www.researchgate.net/publication/338695827>
- Fernández, E. F., Villar-Fernández, A., Montes-Romero, J., Ruiz-Torres, L., Rodrigo, P. M., Manzaneda, A. J., & Almonacid, F. (2022). Global energy assessment of the potential of photovoltaics for greenhouse farming. *Applied Energy*, 309. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118474>
- GEPA (2022), Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA). 3 Eylül 2022 tarihinde <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> adresinden erişilmiştir.
- Goetzberger, A., & A. Zastrow (1982) On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation. *International Journal of Solar Energy*, 1(1), 55-69, DOI: 10.1080/01425918208909875
- Güven (2020). 15 Ekim 2022 tarihinde <https://www.enerjiportali.com/tarimsal-sulamanin-g-e-ve-ssi/> adresinden erişilmiştir.
- Hannah, L., Roehrdanz, P.R., Ikegami, M., Shepard, A.V., Shaw, M.R., Tabor, G., Zhi, L., Marquet, P. A., & Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proc Natl Acad Sci, U S A* 110:6907–6912. <https://doi.org/0.1073/pnas.1210127110>
- Hernandez, R. R., Armstrong, A., Burney, J., Ryan, G., Moore-O'Leary, K., Diédhiou, I., Grodsky, S. M., Saul-Gershenz, L., Davis, R., Macknick, J., Mulvaney, D., Heath, G. A., Easter, S. B., Hoffacker, M. K., Allen, M. F., & Kammen, D. M. (2019). Techno–ecological synergies of solar energy for global sustainability. İçinde *Nature Sustainability* (C. 2, Sayı 7, ss. 560-568). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0309-z>
- HMB (2022). Hazine ve Maliye Bakanlığı, 15 Ekim 2022 tarihinde <https://www.hmb.gov.tr/haberler/hazine-ve-maliye-bakani-nureddin-nebati-ziraat-bankasi-tarim-ekosistemi-bulusmasinda-konustu> adresinden erişilmiştir.
- IEA (2021). International Energy Agency, World Energy Outlook 2021. 4 Ekim 2022 tarihinde <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf> adresinden erişilmiştir.
- IPCC (2019). IPCC PRESS RELEASE, Intergovernmental Panel on Climate Change, 8 Ağustos 2019. 25 Ekim 2022 tarihinde https://www.ipcc.ch/2019/08/08/land-is-a-critical-resource_srccl/ adresinden alınmıştır.
- Mamun, M. A. al, Dargusch, P., Wadley, D., Zulkarnain, N. A., & Aziz, A. A. (2022). A review of research on agrivoltaic systems. İçinde *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (C. 161). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112351>.

- ODTÜ-GÜNAM (2022), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi Tarıma Entegre GES Örnek Çizimi, Ankara.
- Ören, M. N., & Öztürk, H. H. (2006). An analysis of energy utilization for sustainable wheat and cotton production in Southeastern Anatolia region of Turkey. *Journal of Sustainable Agriculture*, 29(1), 119-130. https://doi.org/10.1300/J064v29n01_09.
- Sayın, C., Mencet, M. N., & Ozkan, B. (2005). Assessing of energy policies based on Turkish agriculture: current status and some implications. *Energy Policy*, 33(18), 2361-2373.
- SolarPower Europe (2020), Solar Power Summit 2020: Agricultural photovoltaics: Solar at the service of sustainable rural development, 30 Temmuz 2022 tarihinde www.solarsummit.org adresinden alınmıştır.
- Şahin, Ü. ve Kurnaz, L. (2014). İklim Değişikliği ve Kuraklık, İstanbul Politikalar Merkezi Yayınları, İstanbul.
- TAGEM (2022). Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Müdürlüğü Bilgi Notu (08.04.2022 ve 30.05.2022). (Resmi evrak olarak edinilmiştir).
- Tang, Y., Ma, X., Li, M., & Wang, Y. (2020). The effect of temperature and light on strawberry production in a solar greenhouse. *Solar Energy*, 195(2020), 318-328.
- Trommsdorff, M., & Johanna, F. (2016). *An Economic Analysis of Agrophotovoltaics: Opportunities, Risks and Strategies towards a More Efficient Land Use*. 2 Ekim 2022 tarihinde www.wipo.uni-freiburg.de adresinden erişilmiştir.
- Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., Bopp, G., Ehmann, A., Weselek, A., Högy, P., & Oberfell, T. (2021). Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110694>
- TRT (2012), 15 Ekim 2022 <https://www.trthaber.com/haber/yasam/iste-ornek-tarimcilik-67544.html> adresinden alınmıştır.
- Trypanagnostopoulos, G., Kavga, A., Souliotis, M., & Tripanagnostopoulos, Y., (2017). Greenhouse performance results for roof installed photovoltaics. *Renew. Energy*, 111, 724e731. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.066>
- Turan, N. (2021). Agrivoltaics and Their Effects on Crops: A review. *Muş Alparslan Üniversitesi Tarımsal Üretim ve Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 39-47,2021.
- TÜİK (2022). Türkiye İşgücü İstatistikleri, 17 Aralık 2022 tarihinde <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=%C4%B0%C5%9Fg%C3%BCc%C3%BC-%C4%B0statistikleri-2021-45645vedil=1#:~:text=2021%20y%C4%B1%C4%B1nda%204%20milyon%20948,ki%C5%9Fi%20hizmet%20sekt%C3%B6r%C3%BCnde%20istihdam%20edildi> adresinden alınmıştır.
- TÜİK (2023), Tarımsal Girdi Fiyat Endeksi, İstatistiksel Tablolar. 28 Aralık 2022 tarihinde <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Tarımsal-Girdi-Fiyat-Endeksi-Kasim-2022-49561#:~:text=T%C3%9C%C4%B0K%20Kurumsalvetext=Tar%C4%B1m%20DGE'de%202015,%112%20art%C4%B1%C5%9F%20ger%C3%A7ekle%C5%9Fti> adresinden erişilmiştir.

- Türkeş, M. (2020). İklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliğine etkileri: Bilimsel bir değerlendirme. *Ege Coğrafya Dergisi*, 29(1), 125-149.
- TÜSİAD (2020). Sürdürülebilir Büyüme Bağlamında Tarım ve Gıda Sektörünün Analizi. Mart 2020. Gökhan Özertan. Yayın No: TÜSİAD-T/2020-03/613. 3 Ocak 2022 tarihinde <https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/10544-tarim-ve-gida-2020-surdurulebilir-buyume-baglaminda-tarim-ve-gida-sektorunun-analizi> adresinden erişilmiştir.
- Uğuz, S., Oral, O., & Çağlayan, N. (2019). Estimation of energy to be obtained from PV Power plants using machine learning methods. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, 769-779. <https://doi.org/10.29137/umagd.514933>
- Wang, D., & Sun, Y. (2018). Optimizing light environment of the oblique single-axis tracking agrivoltaic system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 170(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/170/4/042069>
- Weselek, A., Bauerle, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., & Högy, P. (2021). Effects on crop development, yields and chemical composition of celeriac (*Apium graveolens* L. var. rapaceum) cultivated underneath an agrivoltaic system. *Agronomy*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy11040733>
- Willockx, B. Herteleer, B., Ronsijn, B., Uytterhaegen, B., & Cappelle, J. A. (2020). Standardized Classification and Performance Indicators of Agrivoltaic Systems. *EU PVSEC Proc. 2020*, 1995–1998.
- Valle, B., Simonneau, T., Sourd, F., Pechier, P., Hamard, P., Frisson, T., Ryckewaert, & M., Christophe, A. (2017). Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Appl Energy*, 206, 1495–1507.
- Yeni, O., Teoman, Ö. (2022). The agriculture-environment relationship and environment-based agricultural support instruments in Turkey. *European Review*, 30(2), 194-218. <https://doi.org/10.1017/S1062798720001015>.
- Zisis, C, Pechlivani E, Tsimikli S, Mekeridis E, Laskarakis A, & Logothetidis S. (2019). Organic photovoltaics on greenhouse rooftops: Effects on plant growth. *Mater Today Proc*, 19, 65–72.