BUDAMA ATIKLARINDAN OLUŞTURULAN TARIMFV SİSTEMİNİN MARUL VE GÜÇ ÜRETİMİNE OLAN ETKİSİ

Yasin GÜNHAN

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUDAMA ATIKLARINDAN OLUŞTURULAN TARIMFV SİSTEMİNİN MARUL VE GÜÇ ÜRETİMİNE OLAN ETKİSİ

Yasin GÜNHAN
0009-0001-3521-0513

Doç. Dr. Onur TAŞKIN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2025
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

BUDAMA ATIKLARINDAN OLUŞTURULAN TARIMFV SİSTEMİNİN MARUL VE GÜÇ ÜRETİMİNE OLAN ETKİSİ

Yasin GÜNHAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Onur TAŞKIN

Fosil yakıt kullanımının çevresel etkileri sonucu iklim değişikliği vb. sorunlar ile karşılaşılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş enerjisi, fotovoltaik (FV) paneller aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. TarımFV (Agrivoltaic) sistemler ise yenilikçi bir yöntem olup sınırlı alanlarda hem tarım hem de enerji üretimini aynı anda gerçekleştirmeyi sağlamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi arazisinde taşıyıcı sistemi budama atıklarından oluşturulmuş üç FV panelli TarımFV deneme düzeneği kurulmuştur. Denemede farklı sulama (kontrol %100 sulama (S), TarımFV altında %60 S, %80 S, %100 S ve %120 S) koşullarında 06 Ağustos 2024 – 08 Ekim 2024 tarihleri arasında marul bitkisi yetiştirilmiş ve panel güç üretimi, aydınlık düzeyi, klorofil, bitki sıcaklığı ve marul kalite özellikleri incelenmiştir.

Yapılan tez çalışması sonucunda, FV panellerin ortalama güç üretimleri karşılaştırılmış ve TarımFV koşulunun %2,92 güç kaybına neden olduğu belirlenmiştir. FV panel altındaki ortalama aydınlık düzeyi 6.500 lüks, kontrol grubunda ise 47.700 lüks olarak kaydedilmiştir. Marul bitkisinin ortalama klorofil seviyesi ise TarımFV altındaki bitkilerde 24,94 SPAD, kontrol grubunda ise 32,49 SPAD olarak ölçülmüştür. TarımFV altındaki %100 S koşulunun a renk değeri (-10,39±0,85) ve baş ağırlığı (310,05±44,80 g) açısından en uygun yöntem olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, TarımFV sistemlerinin tarım ve enerji sektörlerinde önemli bir potansiyele sahip olduğu, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğe katkı koyabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Arazi verimliliği, güneş paneli, aydınlık düzeyi, klorofil.
2025, xiii + 40 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

IMPACT OF AN AGRIVOLTAIC SYSTEM CONSTRUCTED FROM PRUNING RESIDUES ON LETTUCE AND POWER PRODUCTION

Yasin GUNHAN

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Onur TASKIN

The environmental impacts of fossil fuel usage have led to issues such as climate change. Solar energy, one of the renewable energy sources, is converted into electricity through photovoltaic (PV) panels. Agrivoltaic systems represent an innovative approach that enables the simultaneous production of both agriculture and energy in limited lands.

Within the scope of this thesis, an Agrivoltaic experimental setup consisting of three PV panels with a support system made from pruning residues was established on the land of Bursa Uludag University Faculty of Agriculture. Lettuce plants were cultivated under different irrigation conditions (control with 100% irrigation (I), 60% I, 80% I, 100% I, and 120% I under the Agrivoltaic) between August 6, 2024, and October 8, 2024. The study examined the panel power generation, light intensity, chlorophyll content, plant temperature, and lettuce quality attributes.

As a result of the thesis study, the average power production of PV panels was compared, and it was determined that the Agrivoltaic system resulted in a 2.92% power loss. The average light intensity under the PV panels was recorded as 6,500 lux, while it was 47,700 lux in the control group. The average chlorophyll content of lettuce plants was measured at 24.94 SPAD under the Agrivoltaic system, compared to 32.49 SPAD in the control group. Among the conditions tested, the 100% irrigation (I) condition under the Agrivoltaic system was found to be the most favorable method in terms of the a color value (-10.39 ± 0.85) and head weight (310.05 ± 44.80 g). In conclusion, Agrivoltaic systems demonstrate significant potential in the agricultural and energy sectors, contributing to environmental and economic sustainability.

Key words: Land productivity, solar panel, light intensity, chlorophyll.
2025, xiii + 40 pages.

TEŞEKKÜR

Yaptığımız çalışmada fikirleri ile bana rehberlik eden, akademik tecrübesinin yanı sıra kişisel gelişimini de naif bir biçimde aktaran ve gelişimime katkıda bulunan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Onur TAŞKIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, değerli katkıları için bölümümüz öğretim üyeleri Prof. Dr. Nazmi İZLİ ve Dr. Öğretim Üyesi Ahmet POLAT'a teşekkür ederim.

Tez sürecinde yardımlarını esirgemeyen Tülin Tuanna TÜRKOĞLU, Ahmet Turan ÖZSOY ve Muhammed KIR'a gönülden teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çok değerli anne ve babam Aynur GÜNHAN ve Ramazan GÜNHAN'a, hayatıma girdikleri andan itibaren bana sevinç ve huzur veren eşim Özge GÜNHAN, çocuklarım Zehra GÜNHAN ve Yavuz Selim GÜNHAN'a en içten saygı ve sevgilerimi sunarım.

Yasin GÜNHAN
17 / 02 / 2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……..……..……..vii
ABSTRACT ……...viii
TEŞEKKÜR……ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xi
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
ÇİZELGE DİZİNİ..... xiii
1. GİRİŞ……..…..1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
3. MATERYAL ve YÖNTEM 17
3.1 Materyal 17
3.1.1 Araştırma alanı 17
3.1.2 Bitkisel materyal 17
3.1.3 İklimsel ölçümler..... 18
3.2 Yöntem 18
3.2.1 Deneme deseni 18
3.2.2 Baş ağırlığı, pazarlanabilir baş ağırlığı ve yaprak sayısı..... 19
3.2.3 Kök uzunluğu, kök genişliği ve kök boğazı çapı 20
3.2.4 Baş boyu ve baş çapı 20
3.2.5 Yaprak renginin belirlenmesi 21
3.2.6 Klorofil ölçümü 21
3.2.7 Bitki sıcaklığı 22
3.2.8 Panel güç ölçümü 22
3.3 İstatiksel analiz 23
4. BULGULAR ve TARTIŞMA..... 24
4.1 İklimsel veriler 24
4.2 Aydınlık düzeyi 25
4.3 Klorofil miktarı 26
4.4 Bitki sıcaklığı 27
4.5 Güç üretimi..... 28
4.6 Baş ağırlığı, pazarlanabilir baş ağırlığı ve yaprak sayısı..... 29
4.7 Kök uzunluğu, kök genişliği ve kök boğaz çapı 30
4.8 Baş boyu ve baş çapı 31
4.9 Renk değerleri 32
4.10 Yabancı ot dağılımı 33
5.SONUÇ 35
KAYNAKLAR 36
ÖZGEÇMİŞ……40

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
a	Rengin kırmızılığı (+) ya da yeşilliği (-)
b	Rengin sarılığı (+) ya da maviliği (-)
C	Renk kroma değeri
L	Parlaklık
m	Numunenin ağırlığı (g)
t	Zaman (dakika)
T	Sıcaklık (°C)
W	Watt
kW	Kilowatt
CO_2	Karbondioksit
ha	Hektar
kg	Kilogram
lüks	Aydınlık düzeyi
SPAD	Klorofil miktarı

Kısaltmalar	**Açıklama**
FV	Fotovoltaik
Agrivoltaic	TarımFV
FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Organizasyonu)

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 3.1.	Çalışmada kullanılan deney düzeneği	17
Şekil 3.2.	Çalışmada kullanılan Sürpriz kıvırcık marul çeşidi	18
Şekil 3.3.	Sıcaklık-nem-rüzgar hızı-rüzgar yönü (sol), ışınım (orta) ve ışık (sağ) ölçümleri	18
Şekil 3.4.	Fide dikim ve hasat esnasında görünüm	19
Şekil 3.5.	Ağırlık ölçümleri	20
Şekil 3.6.	Kök boyutlarının ölçümü	20
Şekil 3.7.	Bitkilerin baş boyu ve çaplarının ölçümü	21
Şekil 3.8.	Bitkilerde klorofil ölçümü	22
Şekil 3.9.	Yaprak sıcaklıkları ölçümü	22
Şekil 3.10.	Panel güç ölçümü	23
Şekil 4.1.	İklimsel verilerin ve ışınımın zamana bağlı değişimleri	24
Şekil 4.2	FV panel altı ve kontrol grubu aydınlık düzeyi değişimleri	25
Şekil 4.3.	Klorofil miktarlarının zamana bağlı değişimleri	26
Şekil 4.4.	FV panel altı ve kontrol grubunun bitki sıcaklık değerleri	27
Şekil 4.5.	FV panel ve TarımFV panel güç üretim değerleri	28
Şekil 4.6.	Kontrol ve FV panel altında bitkilerin ağırlık ve yaprak sayıları	29
Şekil 4.7.	Kök uzunluğu, kök genişliği ve kök boğaz çapı	30
Şekil 4.8.	Baş boyu ve baş çapı	31
Şekil 4.9.	Renk değerleri	33
Şekil 4.10.	Yabancı ot dağılımı	34

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Ülkelerin yıllara bağlı marul üretimi (ton) 3

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji arzı, insanlığın çözmesi gereken en büyük sorunlardan biri haline gelmiştir. Neredeyse kullandığımız her teknoloji enerji tüketirken, fosil yakıtlar dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamakta ancak ciddi çevresel olumsuzluklara yol açmaktadır. Fosil yakıt kullanımı sonucu oluşan karbondioksit (CO_2) de iklim değişikliği ve küresel ısınmanın ana nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. İklim değişikliği sonucunda deniz seviyeleri yükselmekte, ekosistemler bozulmakta ve doğal afetlerin sıklığı artmaktadır (Nunez, 2019). Fosil yakıt kullanımının neden olduğu hava kirliliği ise solunum yolu rahatsızlıkları, kalp hastalıkları ve kanser gibi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Anonim, 2013).

Yenilenebilir enerji kaynakları çeşitli türlere (güneş, rüzgar, dalga, jeotermal, hidrolik ve biyokütle) sahip olsa da, tümü doğrudan veya dolaylı olarak güneş enerjisine dayanmaktadır. Araştırmalar, dünya enerji ihtiyacının yaklaşık 1000 katının güneş enerjisi ile karşılanabileceğini göstermektedir. Güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren Fotovoltaik (FV) paneller ise hücrelerin bir araya gelmesinden oluşur ve güneş fotonlarına maruz kaldığında elektrik akımı üretirler (Durusu ve ark., 2020). FV paneller genellikle silisyum gibi yarı iletken malzemelerden yapılır. Bu hücrelerdeki elektronlar, fotonların enerjisiyle harekete geçirilir ve böylece elektrik akımı oluşturur. Elektrik akımı, panellerin içindeki devreler aracılığıyla yakalanır ve daha sonra kullanıma hazır elektrik enerjisine dönüştürülür (Isen ve Bakan, 2018).

FV paneller, elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her yerde kullanılmakta ve çevre dostu bir teknoloji olarak sunulmaktadır. Bu paneller, fosil yakıtların kullanımını azaltarak karbon salımını düşürür ve böylece enerji üretiminde sürdürülebilirlik sağlar. Ayrıca, maliyet etkinliği ve çevresel faydaları nedeniyle giderek daha popüler hale gelen FV paneller, sürdürülebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamaktadır (Durusu ve ark, 2020).

Ülkemizde güneş enerji santrallerinin kurulumu, 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'na uygun olarak belirli kriterlere dayanmaktadır. Bu kanun, tarım arazilerinin korunması ve toprak verimliliğinin sürdürülebilirliğini amaçlamaktadır.

Güneş enerji santralleri için tahsis edilecek alanların, tarımsal üretime elverişli olmayan (kuru marjinal tarım sınıfında) veya tarım dışı alanlardan seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu alanların güneş ışığı alma kapasitesinin yüksek olması ve enerji üretimi için uygun teknik özelliklere sahip olması gerekmektedir. 5403 sayılı Kanun'a göre, güneş enerji santralleri kurulacak alanların seçimi, ilgili kamu kurum ve kuruluşlarının onayına tabiidir. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) raporlarının hazırlanması ve uygunluk onaylarının alınması gerekmektedir. Bu süreçler, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve doğal kaynakların korunmasını garanti altına almak için önemlidir. Güneş enerji santrallerinin kurulumu, enerji ihtiyacını karşılamanın yanı sıra, çevre dostu bir enerji üretim yöntemi olarak Türkiye'nin enerji politikalarında önemli bir yer tutmaktadır (İldeniz, 2019).

Dünyada ve ülkemizde güneş enerji santrallerinin kısıtlı toprak yüzeyinde kurulması, tarımsal üretim ile rekabetine yol açmış ve bunun sonucunda karma sistemler keşfedilmiştir. TarımFV (Agrivoltaic) olarak adlandırılan bu sistemler, enerji üretimi ve tarımsal üretimi aynı alanda gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. TarımFV sistemler, tarım ve güneş enerjisi üretimini bir arada sağlayan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu sistemler, tarım arazilerinde güneş panellerinin yerleştirilmesiyle hem tarım ürünleri hem de elektrik enerjisi üretimi sağlayarak tarım arazilerinin verimliliğini artırır ve fosil yakıt kullanımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği destekler. Böylece, enerji ve tarım ihtiyacını bir arada karşılamayı hedefler (Zahrawi ve Aly, 2024).

Marul (*Lactuca sativa* L.), yüksek besin değeri ve sağlık açısından sunduğu birçok fayda nedeniyle önemli bir sebzedir. Marul, A ve C vitaminleri, folat ve lif açısından zengindir ve antioksidan özellikler taşır. Bu özellikler, marulun kalp sağlığını desteklemesine, kolesterol seviyelerini düşürmesine ve kanserle savaşmasına yardımcı olur. Marul aynı zamanda sindirim sisteminin düzenli çalışmasını sağlar ve kilo kontrolüne yardımcı olur. Marulun içerdiği beta-karoten gibi antioksidanlar, serbest radikallerin neden olduğu hücre hasarını önleyerek genel sağlığı korumaya katkı sağlar (Aćamović-Djoković ve ark., 2011). Marul tüketimi dünya genelinde yaygındır ve hem gelişen hem de gelişmiş ülkelerde temel besin kaynaklarından biridir. FAO (2024) verilerine göre 2018- 2022

yılları arası ülkelerin marul üretimleri (ton) Çizelge 1.1'de gösterilmiştir. Sıralama yapılırken 2018 yılındaki veriler baz alınmıştır.

Çizelge:1.1 Ülkelerin yıllara bağlı marul üretimi (ton)

Sıra	Ülke Adı	2018	2019	2020	2021	2022
1	Çin	14.474.521	14.967.210	15.125.489	14.855.740	14.982.813
2	ABD	3.652.420	3.714.083	3.827.618	3.395.480	3.298.933
3	Hindistan	1.144.583	1.175.194	1.151.476	1.157.084	1.161.251
4	İspanya	938.530	1.009.810	969.060	1.066.010	969.190
5	İtalya	768.060	758.980	735.470	703.910	638.180
6	Japonya	585.600	578.100	563.900	546.800	563.331
7	Belçika	504.060	527.250	538.900	564.850	600.640
8	Türkiye	487.543	499.766	520.151	540.569	561.990
9	Meksika	486.440	515.647	541.804	509.084	558.033
10	İran	445.640	424.187	464.846	466.807	451.947

Marulun sağlık ve beslenme üzerindeki olumlu etkileri, dünya genelinde tüketiminin artmasına ve öneminin vurgulanmasına neden olmaktadır. Hem örtü altı tarım teknikleri hem de açık alan yetiştiriciliği ile yıl boyunca üretilebilmesi, onu her mevsimde tüketilebilir kılmaktadır. TarımFV sistemlerin araştırılmasını hedefleyen denemelerin birkaçında marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisinin olduğu görülmüştür. Marul, düşük ışık koşullarında bile iyi gelişim gösterebilen bir bitki olduğu için TarımFV sistemlerde etkili bir şekilde yetiştirilebilir (Marrau ve ark., 2013). Marul bitkisinin TarımFV sistemlerde yetiştirilmesi, tarım ve enerji üretimi verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Güneş panelleri, marul bitkisine gölge sağlayarak aşırı ısınmayı önlemekte ve toprak neminin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bu, marul bitkisinin su ihtiyacını azaltarak daha sürdürülebilir bir tarım yöntemine olanak tanımaktadır. Ayrıca, TarımFV sistemler sayesinde enerji üretimi, tarım alanlarının etkin kullanımını artmaktadır (Luo ve ark., 2024). Sonuç olarak, marul bitkisinin TarımFV sistemlerde yetiştirilmesi, çevresel sürdürülebilirlik ve tarım verimliliği açısından önemli faydalar sunmaktadır. Bu sistemler, hem enerji üretimini hem de gıda üretimini destekleyerek çiftçilerin gelir kaynaklarını çeşitlendirebilir. Ayrıca, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve karbon salımının düşürülmesi gibi çevresel avantajlar da sağlar (Zahrawi ve Aly, 2024). Bu tez çalışması kapsamında taşıyıcı sistemi budama atıklarından oluşturulmuş TarımFV sistemin, FV panel güç üretimi ile marul bitkisine olan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dupraz ve ark. (2011), fosil yakıtların artan maliyeti nedeni ile, yenilenebilir enerji kaynaklarını geleceğin teknolojisi olarak nitelendirmişlerdir. Fotosentetik sürecin kendine özgü verimliliğinin oldukça düşük (%3 civarında) olduğunu, ticari olarak temin edilebilen monokristal FV panellerinin ise ortalama %15 verime sahip olduğunu ve bu nedenle çok büyük güneş paneli dizilerinin gerekeceğini öngörmüşlerdir. FV panelleri kullanan güneş santrallerinin bu nedenle arazi için tarımla yarışacağını bildirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, aynı arazide güneş panelleri ve bitki kombinasyonunun arazi kullanımını maksimum düzeye çıkarabileceğini önermişlerdir. Buna "Agrivoltaic" (TarımFV) sistemi adını vermişlerdir. Geleneksel seçenekleri ve farklı FV panel yoğunluklarına sahip iki TarımFV sistemini karşılaştırmak için arazi eşdeğer oranlarını kullanmışlardır. Ürün seviyesindeki ışık iletimini bir dizi güneş paneli aracılığıyla modellemişler ve kısmen gölgelenen mahsullerin verimliliğini tahmin etmek için bir ürün modelinden faydalanmışlardır. Bu ön sonuçlara göre, TarımFV sistemlerinin çok verimli olabileceğini ifade etmişlerdir. FV panellerin küresel arazi verimliliğinde %35-73'lük bir artışa sebep olacağını tahmin etmişlerdir. Bu nedenle yeni güneş enerjisi santrallerinin, özellikle ekim alanlarının az olduğu ülkelerde, elektrik üretimini gıda üretimiyle birleştirebileceğini savunmuşlardır.

Malu ve ark. (2017), karada kurulu FV sistemlerin agresif büyümesinin, tarımsal üretim amaçlı arazi kullanımı ile çatışma yaşatabileceğini bildirmişlerdir. Bu sorunun çözümü olarak, hem FV sistemlerin hem de tarım için arazi kullanımının birlikte geliştirilmesi anlamına gelen TarımFV kavramını öngörmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada, tarım üretimine önemli ölçüde zarar vermeden FV üretim potansiyelini araştırmak ve ölçmek için Hindistan'daki mevcut üzüm çiftliklerinde TarımFV sistemlerinin konuşlandırılmasının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bir üzüm çiftliğinde üzümlerin gölge toleransını dikkate alarak, yaptıkları tekno-ekonomik analiz ile elektrik enerjisi üretim potansiyelini birim alan başına belirlediklerini ve yetiştiriciler için ekonomik faydaları bir dizi tasarım seçeneği üzerinden ölçtüklerini belirtmişlerdir. Sonuç olarak, önerilen TarımFV sistemlerini kullanan üzüm çiftliklerinin ekonomik değerinin, geleneksel tarımla karşılaştırıldığında 15 kattan fazla artabileceğini ve üzüm üretiminin ise yaklaşık olarak aynı seviyede tutulabildiğini tespit etmişlerdir. Bu sistemlerin,

Hindistan genelinde uygulandığı takdirde 16.000 GW/h elektrik üretebileceğini ve 15 milyondan fazla insanın enerji ihtiyacını karşılayabileceğini, ayrıca köylerin elektrifikasyonunu sağlamak için kırsal alanlarda üzüm bazlı TarımFV sistemlerinin çözüm olabileceğini öne sürmüşlerdir.

Weselek ve ark. (2021), TarımFV altında yetiştirilen kerevizin (*Apium graveolens* L. var. *rapaceum*) bitki gelişimi, verimi ve kimyasal bileşimi üzerindeki etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. TarımFV sistemlerin bitki üretimi üzerindeki etkilerini ele alan çalışmalar bulunsa da birçok yönü henüz keşfedilmemiştir. Bu çalışmada amaçları, Orta Avrupa'da yaygın olan kereviz yetiştiriciliği üzerindeki TarımFV etkilerini belirlemektir. Kerevizi, TarımFV sistemi altında ve tam güneş ışığı koşullarında organik olarak 2017 ve 2018 yıllarında yetiştirmişlerdir. TarımFV sistemi altında fotosentezde aktif radyasyonun yaklaşık %30 oranında azaldığını ölçmüşlerdir. Bitki gelişiminin izlenmesi sonucunda her iki yılda da TarımFV altında bitki boyunun önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir. Taze yumru veriminin TarımFV altında 2017 yılında yaklaşık %19 oranında azaldığını, 2018 yılında ise yaklaşık %12 oranında arttığını bulmuşlardır; ancak bu değişiklikleri istatistiksel olarak anlamlı bulmamışlardır. Toprak üstü biyokütlenin her iki yılda da TarımFV altında artış gösterdiğini, ancak sadece 2018 yılındaki artışını anlamlı bulmuşlardır. Kereviz yumrularının kimyasal analizi sonucu, TarımFV uygulamasından kaynaklanan herhangi bir belirgin etki göstermediğini bildirmişlerdir. Hasat verimi önemli ölçüde azalmadığı için kerevizin TarımFV altında yetiştirilmeye uygun bir ürün olarak kabul edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Gonocruz ve ark. (2021), Japonya'da TarımFV sistemlerinin altında çeltik yetiştiriciliği üzerine çalışmışlardır. TarımFV, tarımsal ürünlerin üzerine yerleştirilen FV panellerden oluşan ve son zamanlarda artan ilgi gören sistemlerdir. Bu sistemlere olan ilginin artması sonucunda, çeltik üzerindeki etkilerini araştırma gereksinimini duymuşlardır. Çeltiğin verimini etkileyen çeşitli faktörler (gübre uygulamaları, sıcaklık ve güneş ışınımı gibi) olduğunu düşünmüşler ve çeltik tarlaları üzerine kurulan FV sistemlerin gölgeleme oranlarındaki değişiklikleri ölçmüşlerdir. TarımFV sistemleri için maksimum gölgeleme oranının %27 ile %39 arasında olduğunu tespit etmişler ve bu oranın çeltik verimini en fazla %20 oranında azaltacağını göstermişlerdir. Bu tür sistemlerin Japonya'daki çeltik

tarlalarının %28'inde uygulanması durumunda, yıllık 284 milyon MWh enerji üretebileceklerini hesaplamışlardır. Bunun da 2018 yılı verilerine göre Japonya'nın toplam elektrik talebinin yaklaşık %29'una eşdeğer olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma, TarımFV sistemlerinin verimli arazi kullanımı ve sürdürülebilir enerji üretimi potansiyelini göstermiştir.

Juillion ve ark. (2022), elma bahçeleri üzerine dinamik FV panellerin kurulumunun, meyve bahçelerini iklim değişikliğinden korumanın zorluklarını karşılayabileceğinden ve enerjik geçişi tetikleyebileceğinden bahsetmişlerdir. Ancak, FV panellerinin elma performansı üzerindeki gölgeleme etkisinin ticari olarak benimsenmeden önce araştırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Fransa'nın güneyinde 10 yıllık bir 'Golden Delicious' elma bahçesine dinamik bir TarımFV sistem kurulmuş ve üç deneysel sezon (2019–2021) boyunca gözlemlenmiştir. Yaptıkları çalışmada dalgalanan gölgelemenin (FV panellerin optimum ışık alabilmesi için güneş takipli olmasından kaynaklı) ve su ilişkilerinin, yaprak morfofizyolojik özellikleri ve verim belirleyicileri üzerindeki etkisini değerlendirmeyi hedeflemişlerdir. Seçilen FV tasarımı ve stratejisi ile ağaçların ortalama %50-55 oranında gölgelenme (gün içinde %4 ile %88 arasında değişen gölgelenme) altında büyütüldüğünü, gölge koşullarında hava sıcaklığının ortalama 3,8 °C azaldığını ve bağıl nem oranının %14 arttığını belirtmişlerdir. Mevsime bağlı olarak, düşük radyasyon ve stresli mikro iklim ile sulamayı %6 ile %31 arasında düşürülmüştür. Dalgalı gölgeleme, yaprakların fotosentetik kapasitesini düşürmüş ve spesifik yaprak alanını artırarak daha ince yapraklar oluşmasına yol açmıştır. Gölgeleme altında karbonhidrat asimilasyonundaki azalma, sürgünlerde daha düşük nişasta rezervi birikimi (-%7), sürgün ölçeğinde daha düşük çiçek yoğunluğu (-%31) ve 2020'de yüksek tomurcuklanmaya sahip ağaçların oranının daha düşük olması (-%45) ile bağdaştırılmıştır. Bununla birlikte, gölgeleme altında daha az münavebe gözlenmiş ve daha iyi don koruması sebepli 2021 yılında FV paneller altında meyve veren ağaçların oranının (+%31) ve meyve veren ağaç başına meyve sayısının (+%44) daha yüksek olmasıyla neticelenmiştir. Meyve büyüklüğü meyve sayısına göre gölgelenmeden daha az etkilenmiştir. Yapılan çalışmada 2019 yılında meyve büyüklüğü %19 azalırken, 2020 ve 2021 yıllarında gölgelenmeden kaynaklı ağaçların su tutmalarından dolayı herhangi bir değişiklik fark edilmemiştir. Gölgeleme altında meyve kuru madde içeriği ortalama %24 oranında düşmüştür. Sonuç

olarak, TarımFV sistemler elma ağaçlarında alternatif münavebe davranışını azaltabilir, bu da çok yıllık bir çalışmanın yürütülmesinin önemini göstermektedir, şeklinde ifade edilmiştir. Ancak, bu çalışmada test edilen dalgalı gölgeleme stratejisi, üç yıllık çalışma süresince 40 t/ha'nın altında kalan verimlerle yeterli üretim sağlayamamıştır. Bu çalışmada gölgelemenin olumlu ve olumsuz etkilerinin belirlenmesi, sürdürülebilir elma bahçesi gölgeleme stratejilerinin geliştirilmesinde yararlı olacağı gösterilmiştir.

Ciocia ve ark. (2022) zeytin üretimi ve güneş elektriği için güney İtalya'da TarımFV kullanımını uygulamalı olarak incelemişlerdir. Arazilerin çifte kullanım metodu ile güneşten ikili hasada imkân veren ve çevresel etkileri sınırlı olan bir yöntem olarak TarımFV'yi aktarmışlardır. Yöntemin etkilerinin kuvvetli biçimde FV panel dizilimine ve tarımsal arazinin konfigürasyonuna göre belirlendiğini ifade etmişlerdir. Seçime bağlı olarak FV panellerinin sık dizileme sahip olması düşük tarımsal hasada, aralıklı dizilimin ise düşük enerji üretimine sebep olacağını belirtmişlerdir. Mevcut çalışma Güney İtalya'da bir deneme çalışması göstermektedir. Simule edilmiş TarımFV tesisi iki farklı yerleşim planına sahip olasılıkla (7,13 MW veya 5,68 MW nominal güç) ve her hektar başına yaklaşık 900 Arbequina zeytin ağacının ekimini kapsayabilir denilmiştir.

Kumpanalaisatit ve ark. (2022), zemin montajlı güneş enerjisi üretiminde verimlilik artışı amaçlı FV paneller altında Çin lahanası (*Brassica rapa subsp. chinensis* L.) yetiştiriciliği için TarımFV üzerine araştırma yapmışlardır. TarımFV sistemlerinin, güneş enerjisi üretimi ile bitki üretimini birleştirerek arazinin değerini artırma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Bu sistemi, Tayland'da Chiang Mai Rajabhat Üniversitesi bünyesinde yer alan 25 kW'lık bir güneş enerjisi santralinde uygulamışlardır. Çin lahanasının (*Brassica rapa subsp. chinensis* L.) büyümesi ve verimi ile güneş enerjisi üretimini incelemişler ve kontrol parseli ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca TarımFV sisteminin verimliliğini değerlendirmişlerdir. 35 gün süren deneyler sonrasında kontrol parselindeki bitki boyu 2,1 cm, yaprak sayısı 6, yaprak uzunluğu 2,2 cm ve yaprak genişliği 0,2 cm olan Çin lahanası bitkisinin, güneş panelleri altındaki alanlara kıyasla daha yüksek büyüme sağladığını belirlemişlerdir. Kontrol parselinde Çin lahanasının verimini de 17,31 kg olarak elde etmişlerdir. Çin lahanası veriminin muhtemelen ışık yoğunluğu nedeniyle düşük olmasına rağmen güneş panelleri altında yapılan yetiştiricilik,

panel sıcaklığını 0,18 °C düşürebilmiş ve bunun da yaklaşık %0,09 oranında voltaj ve güç üretimi artışına neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle, TarımFV sistemler yalnızca elektrik üretimine odaklanan güneş enerjisi santralleri yerine, geliri ve arazi eşdeğer oranını artırmak için bir başka seçenek olarak sunmuşlardır. Ancak, FV panellerin altındaki alanlar için uygun bitki türlerinin daha fazla araştırılması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Potenza ve ark. (2022), TarımFV ile İtalya'da soya fasulyesi üzerine uygulamalı bir çalışma yapmışlardır. TarımFV sistemleri kavramı 1982 yılında Goetzberger ve Zastrow tarafından tanıtıldığını, ancak son yıllarda artan çevresel kaygılar ve uygun ekonomik ile politik çerçeveler bu teknolojinin artan ilgi görmesini sağladığını bildirmişlerdir. TarımFV sistemlerinin oluşturduğu mikrometeorolojik koşullarda karlı bir şekilde büyüyebilecek bitkilerin seçilmesinin kritik bir konu olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, geniş ölçekli bir TarımFV sisteminde soya fasulyesi yetiştirilen dört farklı gölge derinliği uygulamasının (TarımFV1 = %27, TarımFV2 = %16, TarımFV3 = %9 ve TarımFV4 = %18) bitki morfolojisi, fizyolojisi ve verimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Saha sonuçlarını GECROS bitki modeli ile gölgelendirme, radyasyon ve ürünle ilgili çıktıları algoritmayla birleştiren bir modeli doğrulamak için kullanmışlardır. Bitki yüksekliği, yaprak alan endeksi ve özgül yaprak alanın, tam ışık (kontrol) koşullarına kıyasla en fazla gölgeli TarımFV bölgelerinde artış göstermişlerdir. Ortalama olarak, TarımFV sistemi altında dane verimi ve bitki başına kapsül sayısı sırasıyla %8 ve %13 oranında azalmış; sadece bir bölgede (TarımFV2) dane veriminde %4,4'lük hafif bir artış olmuştur. Normalleştirilmiş ortalama hata kareleri kökü değerleri, tahmin edilen dane veriminin gözlemlenen dane değerlerinden sapma miktarını göstermektedir ve tam ışık koşullarında %12,9, TarımFV1'de %15,7, TarımFV2'de %16,5, TarımFV3'te %6,71 ve TarımFV4'te %2,82 olarak bulmuşlardır. Verim tatmin edici bir şekilde modellenmiş olmasına rağmen, modelin gölgenin artmasıyla özellikle TarımFV1 ve TarımFV2 koşullarında verimi düşük tahmin etme eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir.

Cossu ve ark. (2023), FV panellerin bulunduğu seraların, aynı arazide enerji ve gıda üretimi yapılmasına olanak sağladığını belirtmişlerdir. Ancak, FV panellerinin fazla gölgelenmesinin ürün veriminde azalmaya neden olabileceğini dile getirmişlerdir.

Yenilikçi mahsul sistemlerinin benimsenmesinin FV panellerin bulunduğu seralarda verimi artırarak, daha üretken ve sürdürülebilir bir tarım sistemi oluşturabileceğini iddia etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, önceden var olan ticari FV panellerin bulunduğu serada, küçük yapraklı marul için yapılan deneysel dikey tarım uygulamasında elde edilen arazi verimliliği artışını değerlendirmişler ve arazi eşdeğer oranının 1,31 olduğunu tespit etmişlerdir. FV panellerin bulunduğu seralarda yapılan dikey tarım faaliyetinde FV panel kullanımının karlılığa olan desteği önemli görmüşlerdir.

Kim ve ark. (2023), yenilenebilir enerji kullanımının artmasıyla birlikte güneş enerjisinin dünya çapında en popüler yenilenebilir enerji kaynağı haline geldiğini açıklamışlardır. Ancak, güneş enerjisi santralinin inşasının geniş arazi gerektirdiği için arazi sıkıntısı çeken küçük ülkeler için bir yük olduğunu ve güneş enerjisi üretiminin potansiyel gıda güvenliği sorunlarına yol açabileceğini belirtmişlerdir. Bu sorunları önlemek için hem mahsul hem de güneş enerjisi üreten bir TarımFV sistem tasarlandığından bahsetmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, çeltik üretiminde kullanılan bir TarımFV sistem için entegre bir çoklu modelleme çerçevesi geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Önerilen çerçeve dört üniteden oluşmaktadır: (1) Toprak, iklim ve iklim değişikliği senaryolarını içeren bir çevresel veri tabanı ünitesi; (2) Polinom regresyon tekniği yoluyla elektrik üretim miktarını tahmin eden bir güneş enerjisi üretimi tahmin ünitesi; (3) Çeltik verimini simüle eden bir mahsul üretimi tahmin ünitesi ve Tarım Politikası/Çevresel Genişletici aracılığıyla FV paneller altındaki etkisi modeli ve (4) İklim değişikliği senaryosu altında bir TarımFV sistemin ekonomik ve çevresel fizibilitesini analiz eden bir "What-if" analiz ünitesi. Önerilen çerçevenin doğrulanması ve kalibrasyonu için, Güney Korede'ki Jeollanamdo Tarımsal Araştırma ve Yayım Merkezi'nde bulunan 107 kW kapasiteli bir TarımFV sistemi altındaki çeltik üretimi saha çalışması verilerini derlemişlerdir. Önerilen çerçevenin tahmin doğruluğunu belirleme katsayısı açısından ortalama %88 bulmuşlardır. Deneysel sonuçlar ile %32 gölgeleme oranına sahip iki yüzeyli TarımFV sisteminin 3,65 ABD Doları m^2/gün ile en yüksek toplam karı elde etme eğiliminde olduğunu göstermişlerdir.

Mohammedi ve ark. (2023), TarımFV sistemlerini, tarımsal ürünlerin üretimini ve güneş enerjisini aynı arazide birleştiren ve farklı sektörler arasındaki arazi kullanım rekabetine

potansiyel bir çözüm sunan sistemler olarak belirtmişlerdir. Ancak, TarımFV altında gölgenin bitki büyümesi üzerindeki etkisine dair endişelerini dile getirmişlerdir. TarımFV sistemlerinin gölgeleme etkisinin tarımsal ürünler üzerindeki etkilerini araştıran çok sayıda çalışma olduğunu, ancak çalışmaların birçoğunun gölgeleye toleranslı bitkiler üzerinde yapıldığını, bunun ise gölgeye toleransı olmayan bitkiler hakkında bir boşluğa sebep olduğunu aktarmışlardır. Yaptıkları çalışmada, İtalya'nın güneyindeki Bari'de geleneksel ve yarı şeffaf paneller kullanılarak iki tip TarımFV tasarlamış ve farklı gölgeleme seviyelerinin domates verimi ve meyve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Domates yetiştiriciliği, Mayıs ve Ağustos ayları arasında geleneksel panel, şeffaf panel ve açık tarla koşullarında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, açık alan koşullarıyla karşılaştırıldığında her iki TarımFV sistemi altında da toprak sıcaklığının azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, fotosentetik olarak aktif radyasyonda şeffaf panel kullanımının %43'e, geleneksel panel kullanımının ise %67'ye varan önemli azalmaya sebep olduğunu, bunlara bağlı olarak şeffaf ve geleneksel panel kullanımlarında sırasıyla %28 ile %58 arasında değişen verim düşüşlerine yol açtığını belirlemişlerdir. TarımFV tasarımının sulama suyu talebine etkisinin, şeffaf paneller kullanıldığında %15'in üzerinde ve geleneksel paneller kullanıldığında %20'nin üzerinde azaltma potansiyeli olduğunu göstermişlerdir. TarımFV sistemlerinin meyve boyutunu küçülttüğünü, ancak meyve aromasıyla yakından ilişkili olan titre edilebilir asitlik gibi belirli meyve kalitesi özelliklerini ise geliştirdiğini ilginç bir özellik olarak tanımlamışlardır. Bu bulguların, Akdeniz ikliminde TarımFV altında gölgeye toleranssız mahsul yetiştirmenin zorluklarını gösterdiğini, ılıman ve kuru koşulların tarımsal üretim için daha olumlu beklentiler sunabileceğini belirtmişlerdir.

Al-agele ve ark. (2023), artan gıda ve enerji talebini karşılarken aynı zamanda iklim değişikliğini hafifletme çabalarının, yenilenebilir teknolojilerin ve yaklaşımlarının benimsenmesini ve geliştirilmesini teşvik ettiğini ifade etmişlerdir. TarımFV sistemlerinin, aynı arazide hem tarımsal hem de elektrik üretimine olanak sağlayan bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir. Bu sistemlerin su talebini azaltma ve belirli mahsullerin genel su verimliliğini artırma potansiyeline sahip olduğunu tahmin etmektedirler. Çalışmalarında, TarımFV'yi üç lokasyonda (kontrol, sıra arası ve alt paneller) ve iki farklı sulama uygulamasıyla (tam ve eksik) yetiştirilen domates

bitkilerinin (*Solanum lycopersicon* var. Legend) mikroklima ve büyüme özellikleri olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, TarımFV sistemlerin, geleneksel olarak gölgeye dayanıklı olduğu düşünülen mahsuller için bile su verimliliğini artırma potansiyelini ortaya koymuştur.

Ramos-Fuentes ve ark. (2023), mısır üretiminin dünya gıda güvenliği için hayati öneme sahip olduğunu belirtmektedirler. İklim değişikliğinin ise su kaynakları üzerindeki baskısını artırması nedeniyle mısır verimini etkileyebileceğini öngörmektedirler. Yaptıkları çalışmada, sabit ve dinamik paneller arasında ayrım yaparak, tarla koşullarında mısır mahsulünün radyasyon iletimi, mahsul gelişimi ve sulama ihtiyaçları arasındaki etkileşimi incelemişlerdir. Ayrıca, mısır mahsulünün hem bağımsız hem de birleşik streslere (gölge ve su eksikliği) yanıt verdiğini, yaprak alanı indeksinde, toplam kuru maddede ve tane veriminde önemli bir azalma olduğunu göstermişlerdir. Su kullanımıyla ilgili olarak, TarımFV sisteminin topraktaki su tüketimini azaltarak ve referans buharlaşma-terleme yoluyla sulama girdilerini (gölgesiz alanlara kıyasla %19-47'ye kadar) azaltma potansiyelini göstermişlerdir. Gölge etkisinin ise, filokronu artırarak ve fenolojide genel bir gecikmeye neden olduğunu belirtmişlerdir. Daha hassas bir zamansal ölçekte, mısır yapraklarının stoma iletkenliğini, CO_2'nin net asimilasyonunu ve yaprak sıcaklığını radyasyonla ilişkili bir şekilde azaltarak gölgeye tepki gösterdiğini, bu davranışın su kullanımını ve gölgeleme stratejilerini optimize etmek için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Prakash ve ark. (2023), iklim değişikliğini hafifletmek için yenilenebilir enerjinin devreye girmesi ve gıda üretimini artırmak için yeterli araziye duyulan ihtiyacın birbiriyle çatıştığını bildirmişlerdir. TarımFV sistemlerinin, tarımsal mahsullerin üretimini ve elektrik enerjisi eldesini aynı arazi parçası üzerinde entegre ettiğini, ancak asıl sorunun, TarımFV sistemlerinin altındaki mahsullere ışık erişiminin azalmasının optimum mahsul büyümesi ve verimini kısıtlayan etken olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, TarımFV sistemleri için kullandıkları üç farklı yoğunlukta FV panelleri altında (tam yoğun, yarı yoğun, kısmi yoğun) yetiştirdikleri ürün yüzeyi üzerindeki radyasyon ve gölge dağılımını incelemişlerdir. TarımFV altında sıralı ekim ve damla sulama ile yetiştirilmek üzere GW 496 buğday çeşidini seçmişlerdir. Üç FV panel yoğunluğu

arasında, ürün yüzeyi üzerindeki gölgeli alanın oranı tam yoğunluk grafiğinde en yüksek, kısmi yoğunluk grafiğinde ise en düşük bulmuşlardır. TarımFV altındaki gölgeli alanın, toplam alana oranının %24,1 ile %75,4 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Farklı yoğunluktaki alanlar altındaki gölgeli alanın, mahsul yüzeyi üzerinde fotosentetik olarak aktif radyasyonun varlığını olumsuz yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. TarımFV altında fotosentetik olarak aktif radyasyon azalması panel yoğunluğundan daha fazla etkilenmiştir. TarımFV altında fotosentetik olarak aktif radyasyonda maksimum azalmayı tam yoğun parselde, minimum azalmayı ise kısmi yoğun parselde gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, tam yoğunluklu paneller altında en düşük buğday verimi gözlemlenirken, kısmi yoğunluklu paneller altında daha yüksek verim elde edilmiştir. Yapılan çalışmada gölgeleme etkisinin buğday verimine etkisini ve arazinin ikili kullanımının mümkün olabileceğini göstermişlerdir.

Disciglio ve ark. (2023), yetiştiricilik ve dinamik TarımFV arasındaki ilişkide tıbbi bitkilerin canlılıkları, verimleri ve kalitatif değerlendirmesi hakkında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, dinamik TarımFV sisteminde ve tam güneşe maruz kalan kontrol parselinde altı tıbbi bitki türünün (adaçayı, kekik, biberiye, lavanta, kekik ve nane) karşılaştırmalı yetiştirilmesini araştırmışlardır. Dinamik TarımFV sistemi içinde, panellerin dönüşü nedeniyle iki farklı parsel belirlemişlerdir (biri sürekli olarak güneş panellerinin gölgesinde, diğeri ise dönüşümlü olarak gölgede ve güneş ışığında). Çalışmada, belirlenen parsellerde bitki büyümesi sırasında güneş ışınımı, hava sıcaklığı ve yaprak sıcaklığını ölçmüşlerdir. Ayrıca, hasat zamanı sırasında yabancı ot araştırması yapmışlardır. Sürekli olarak güneş panellerinin gölgesinde olan parselde güneş ışınımı, hava sıcaklığı, yaprak sıcaklığı ve yabancı ot miktarının diğer parsellere kıyasla belirgin şekilde daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, adaçayı, kekik, nane ve biberiye bitkilerinin uçucu yağ verimi tam güneş ışığı altında yetişen örneklerde daha düşük bulunmuştur. Dolayısıyla dinamik TarımFV sistemi içinde belirli tıbbi bitkilerin performansı olumlu yönde etkilenmiştir. Bu bilginin üreticiler ve işleyiciler için ürün kalitesi açısından önem taşıdığını belirtmişlerdir.

Reher ve ark. (2024), 2019 ve 2022 yılları arasında dikey, yatay ve güneş takip kurulumlarına sahip iki tarıma elverişli TarımFV pilot sahayı Belçika'da kurmuşlardır.

Şeker pancarı ve buğday üretimine yönelik tarla denemelerini, iki sezon üst üste yaptıklarını açıklamışlardır. Dikey veya güneş takipli TarımFV sistemleri arasında yetiştirilen pancar, iki sezonda %11 arazi kaybı yaşamış ve 376-560 MWh/ha elektrik verimi ile ekim alanında ortalama %11-19 daha düşük bir hasat kaybına neden olmuştur. Verim kaybını, panellerin inşaatı sırasında meydana gelen toprak sıkışmasına ve bitkinin gölgelenmeye adapte olmasından kaynaklı yapraklarda bulunan pigmentlerinin düşmesine bağlamışlardır. Arazi eşdeğer oranı 2021 ve 2022'de sırasıyla dikey sistem için 1,00 ve 1,18, güneş takipli sistem için 1,17 ve 1,22 olarak not edilmiştir. Buğday bitkisi, 2022 ve 2023 yıllarında yükseltilmiş yatay TarımFV sistemi altında yetiştirilmiştir. 2022'de verimlerin %33, 2023'te ise %46 azaldığını ve buna ek olarak %8 arazi kaybı yaşandığını açıklamışlardır. Ancak TarımFV ve kontrol parselleri arasında tane kalitesi, protein içeriği ve bitki morfolojisi değişmemiştir. TarımFV sisteminin 2022 yılında 1,09 ve 2023 yılında ise 0,97 arazi eşdeğer oranına ulaştığını ifade etmişlerdir. Bulgularının, inşaatın mahsul verimi üzerindeki etkisi gibi pratik zorluklarına rağmen, Belçika'daki ılıman deniz iklimi altında biraz net pozitif bir arazi eşdeğer oranı elde edebileceğini ve ekilebilir arazide yenilenebilir enerji üretimi için fırsatları mümkün kılabileceğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, dikkatli bir TarımFV sisteminin tasarımı ve inşasının, ekonomik ve tarımsal açıdan karlı bir sistem elde etmek için çok önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Andrew ve ark. (2024), TarımFV sistemlerini, güneş enerjisini ve tarımı birleştirerek ikili arazi kullanımını teşvik eden sistemler olarak tanımlamışlardır. Bu sistemlerde koyun otlatmanın yaygın olmasına rağmen, üretimi artırmak için tasarlanmış meralar üzerine yapılan araştırmaların eksik olduğundan bahsetmişlerdir. Oregon'da 2 yıl süren çalışmada, TarımFV sistemdeki basit meralar, çeşitli (karışık) meralar ve baklagil meralarında ot büyümesini ve kuzu üretimini karşılaştırmayı amaçlamışlardır. 2020/2021 yetiştirme sezonunda, çeşitli (karışık) meralardaki yıllık ot üretimi (4.583 kg kuru madde/ha), basit meralarla (4.457 kg kuru madde/ha) benzer düzeylerde olup, baklagil meralarına (4.023 kg kuru madde/ha) göre daha yüksek bulunmuştur. 2021/2022 yetiştirme sezonunda ise, çeşitli (karışık) meraların, baklagil meralarına (3.955 kg kuru madde/ha) benzer bir verim değerine sahip olduğunu, basit meralara (4.052 kg kuru madde/ha) kıyasla ise daha yüksek verim sağladığını tespit etmişlerdir (4.660 kg kuru

madde/ha). Genel olarak mera üretiminin verimliliği, tüm mera türlerinde daha düşük ışık mevcudiyeti nedeniyle büyük ölçüde azalmıştır. TarımFV sistemlerinde otlaklar kullanılarak meraların çeşitlendirilmesinin daha fazla ot üretimi için iyi bir strateji olduğu, ancak baklagil meralarının kalıcılığının zayıf olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, TarımFV sistemlerinin uygun tasarım ve yönetimle ekonomik ve tarımsal açıdan karlı olabileceğini göstermektedir.

Willockx ve ark. (2024), TarımFV sistemlerinin çoğunun ekilebilir alanlar üzerinde inşa edildiğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılara göre, armut bahçeleri gibi çok yıllık bitkilerde, TarımFV sistemlerinin dolu ağlarının koruyucu fonksiyonunun yarı şeffaf FV paneller ile dönüştürülmesi ilginç bir uygulamadır. Yaptıkları çalışmada, elektriğin seviyelendirilmiş maliyeti, elektrik üretimi ve ışınımı açısından optimal TarımFV yerleşimi tasarlamak için teorik bir çerçeve uygulanmıştır. Bu çalışmayı yapmak için mevcut bir armut bahçesi üzerinde dolu ağları yerine %40 ışık geçirimine sahip olan iki yüzeyli FV panelleri kullanılmış, yapılan çalışmada ise %16 verim kaybı oluşsa da meyve kalitesinde herhangi bir düşüş yaşanmadığını beyan etmişlerdir.

Mouhib ve ark. (2024), TarımFV sistemlerini gıda ve enerji üretimi arasındaki arazi rekabetini azaltmak için umut verici bir çözüm olarak değerlendirmektedirler. Yaptıkları çalışmada, güney İspanya'da iki yüzeyli FV teknolojisini üç farklı zeytin çeşidiyle entegre eden bir TarımFV sisteminin performansını araştırmışlardır. FV panellerinin eğim açısı ve yüksekliği gibi farklı konfigürasyonlar değerlendirilmiş, en yüksek enerji verimini enlem derecesine göre eğimli panellerde, en yüksek mahsul verimini ise panellerin 90 derece eğimli olduğu durumlarda tespit etmişlerdir. Maksimum arazi eşdeğer oranı, FV panelleri %20 eğimdeyken %171 olarak belirlenmiş, bu da genel arazi verimliliğini yükseltmiştir. Araştırmalarında, TarımFV sistemlerinde FV panellerin konfigürasyonunu optimize ederek ve tarımsal verimliliği göz önünde bulundurarak çift amaçlı arazi kullanımının önemini belirtmişlerdir.

Scarano ve ark. (2024), TarımFV sisteminin domates (*Solanum lycopersicum* L.) üretimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İklim değişikliği, artan sıcaklıklar, su krizleri ve iklim bozukluklarının sıklığındaki artış, tarımsal ekosistemlerin insanlara gıda erişimini

sağlama yeteneğini tehdit etmektedir. Bu durumun, hem üretimin miktarını hem de kalitesini etkilediğini bildirmişlerdir. TarımFV sistemleri, enerji üretimi için CO_2 emisyonlarından kaynaklanan iklim değişikliğiyle başa çıkmak için doğrudan bir strateji olabileceğini ve tarımsal ekosistemlerin gıda güvenliğini koruma kapasitesini sürdürebileceğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, FV paneller tarafından oluşturulan çevresel koşulların, çeşitli sulama rejimleri altındaki açık alan domates üretimine etkilerini araştırmışlardır. Domatesleri, FV panellerinin altında veya tam güneş ışığında yetiştirmişlerdir. Her iki senaryoda da eşit sayıda bitkinin bulunduğu iki parsel yüksek sulama ve düşük sulama seviyelerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, FV panellerin altında yetiştirilen domateslerin daha az meyve sayısına sahip olduğunu, ancak yüksek su rejimi altında meyve boyutunun ve su içeriğinin arttığını göstermiştir. FV panelin altında yetiştirilen domateslerin Brix derecelerinin, açık alanda güneş ışığı altında yetiştirilen domateslerin Brix derecelerine kıyasla, ticari olarak piyasada bulunan domateslerle daha uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Bu nedenle, TarımFV sisteminden elde ettikleri verilere göre uzun süreli kuraklık ve su kıtlığına karşı domates üretimini sürdürmek için iyi bir strateji olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuçların ıslah programları planlanması açısından önemli olabileceğini ifade etmişlerdir.

Prà ve ark. (2024), TarımFV sistemi altında makarnalık buğday biyokütlesinin yem verimi ve kalite parametrelerinin belirlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. TarımFV sistemleri, gıda, yem ve elektrik için kullanılan arazi arasındaki rekabeti azaltarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada anahtar bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. TarımFV sistemlerinin arazi verimliliğini artırabileceğini ve yenilenebilir enerji üretiminin genişlemesinde rol oynayabileceğini göstermişlerdir. Bu çalışmada, TarımFV sistemi altında yetiştirilen makarnalık buğday biyokütlesinin verim ve besin değerini incelemeyi amaçlamışlardır. İki yıllık kontrollü deneyler sonucunda, ışığın azaltılmasının buğday verimini kısmen sınırladığını, ancak genişletilmiş TarımFV'de verimin tam ışık altındaki kontrol grubuna göre azaldığını ortaya koymuşlardır. Daha fazla gölgelendirilmiş durumlarda, kontrol grubuna kıyasla daha kaliteli ürün elde edilmiştir. Gölgelendirilmiş uygulamalardaki biyokütle, geviş getiren hayvanların beslenmesi için daha iyi bir kalsiyum ve fosfor oranı göstermiştir. Yem üretiminde stratejik olan bu özelliklerin daha esnek bir hasat yöntemi sağlayabileceğini ifade

etmişlerdir. Bu sonuçların biyokütle üretiminin geliştirilmesinde yardımcı olabileceğini ve TarımFV sistemi altında makarnalık buğday hakkında değerli bilgiler verebileceğini bildirmişlerdir.

Juillion ve ark. (2024), gölgelemenin karbonhidrat metabolizması ve elma kalitesi üzerindeki etkisini anlamak için TarımFV sistemi ve kinetik meyve modeli altında saha deneylerini birleştirmişlerdir. Dinamik TarımFV sistemlerinde gölgelenme, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için bir çözüm olabileceğini; ancak bu sistemlerin meyve kalitesi üzerindeki etkilerinin henüz raporlanmadığını açıklamışlardır. Fransa'nın güneyindeki olgun bir "Golden Delicious" meyve bahçesinde dinamik bir TarımFV sisteminde 2019-2021 yılları için değerlendirmişlerdir. Ağaçlar üç farklı ışık uygulamasına (gün boyunca maksimum gölgeleme, sabah gölgeleme ve öğleden sonra gölgeleme) maruz bırakılmıştır. Sonuçları kontrol grubu ağaçları ile karşılaştırmışlardır. Gölgelemenin, meyve olgunluğunu ve dolayısıyla hasat tarihini değiştirmediğini belirlemişlerdir. Gün boyunca maksimum gölgeleme, kuru madde içeriğini (%24) ve çözünür karbonhidrat konsantrasyonlarını (%23) azaltmış, ancak 3 yılın 2'sinde malik asit konsantrasyonlarını koruduğunu bildirmişlerdir. Şeker-asit oranı, gün boyunca maksimum gölgeleme altında önemli ölçüde düşmüştür. Kinetik model ile çözünür şekerler, nişasta ve diğer bileşenlerin (organik asitler, hücre duvarları ve proteinler) konsantrasyonlarını ve bunların çok sayıda parametre tarafından yönlendirilen reaksiyon hızlarıyla olan etkileşimlerini modellemişlerdir. Bu parametrelerin deneysel verilerle kalibrasyonu, farklı deneysel yılların ve uygulamaların karbonhidrat dinamiklerini ortak bir parametre seti ile modellemeyi mümkün kılmıştır. Bu ortak parametre seti, gölgelemenin elma metabolizmasını önemli ölçüde değiştirmediğini göstermiştir. Model, gölgelemenin gelen karbon akışını azalttığını ve meyveye giren suyu artırdığını, bunun da iç kalite değişikliklerinin ana nedeni olduğunu göstermiştir. TarımFV sistemler ile gölgelemenin, gelecekteki daha yüksek sıcaklıklar için meyve kalitesini değiştirmek adına yararlı bir araç olduğunu beyan etmişlerdir. Dinamik TarımFV, kalite kontrolü için kritik dönemlerde karbon alımını optimize etmek üzere güneş panellerinin eğim açısını ayarlamada fırsat sunduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Araştırma alanı

Bu tez çalışması 2024 yılı yaz döneminde Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Arazisinde kurulan ve Şekil 3.1'de gösterilen deney düzeneğinde yürütülmüştür. Taşıyıcı sistem Bursa Uludağ Üniversitesi orman budama atıklarından olan ağaç dallarının şekillendirilmesi ile oluşturulmuştur. Taşıyıcı sistemin ön ayakları yerden 185 cm, arka ayakları ise 245 cm yükseklikte olacak şekilde oluşturulmuştur. Ayaklar arası mesafe 130 x 290 cm'dir. FV panelleri (SFP250, Solarfield, Türkiye) ~ 25° açı ile konumlandırılmıştır. Ayrıca su kaybını ölçmek amacıyla A sınıfı buharlaşma kabı kullanılmıştır. Yapılan ölçümler saat 13:00'da gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan deney düzeneği

3.1.2 Bitkisel materyal

Çalışmada bitkisel materyal olarak Sürpriz kıvırcık marul *(Lactuca sativa* L.) çeşidi kullanılmıştır. Çeşit özelliği olarak geç sapa kalkan, orta yeşil yaprak renkli, kalın yapraklı, sulu, gevrek, lezzetli ve yaprak sayısı fazla olup yaz aylarında açık saha yetiştiriciliğine uygun olarak tanımlanmıştır (Anonim, 2024).



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan Sürpriz kıvırcık marul çeşidi

3.1.3 İklimsel ölçümler

Çalışmanın yürütüldüğü ve ölçüm alınan günlere ait bazı iklimsel parametrelerin (Sıcaklık, nem, rüzgar hızı rüzgar yönü, ışınım ve ışık) ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Sıcaklık-nem-rüzgar hızı-rüzgar yönü (sol), ışınım (orta) ve ışık (sağ) ölçümleri

3.2 Yöntem

3.2.1 Deneme deseni

Çalışmada, A sınıfı buharlaşma kabından belirli bir zaman diliminde oluşan buharlaşmanın farklı pan katsayıları ile hesaplanması sonucu bulunan 4 farklı sulama konusu denenmiştir. 4 farklı bitki-pan katsayısı (Kpc1= 0.60; Kpc2=0.80, Kpc3=1.00 ve Kpc4=1.20) olmak üzere toplam 4 deneme konusu 3 tekerrürlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre yürütülmüştür. Ayrıca, kontrol grubunu temsil etmesi amacıyla

TarımFV alanı dışına Kpc3=1.00 sulama oranıyla denemeler gerçekleştirilmiştir. Sıra arası 0,50 m ve sıra üzeri 0.25 m olacak şekilde 06.08.2024 tarihinde marul fidesi ekimleri yapılmıştır. Deneme süresi boyunca herhangi bir ilaçlama ve gübreleme uygulaması yapılmamıştır. Hasat ise 08.10.2024 tarihinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Fide dikim ve hasat esnasında görünüm

Araştırma konularına göre parsellere uygulanan su miktarları A sınıfı buharlaşma kabındaki buharlaşma miktarlarına göre aşağıdaki eşitlikten yararlanarak hesaplanmıştır (Al-Bayati, 2018).

$$I = E_{pan} \times K_{pc} \times A \quad (1)$$

Eşitlikte;

I: Sulama suyu miktarı (litre/bitki)

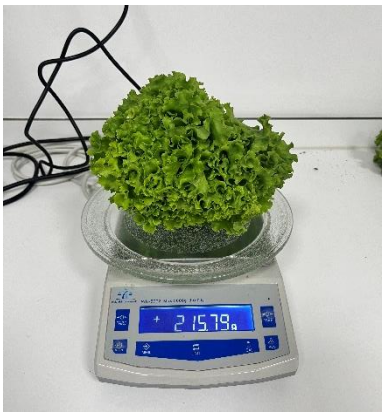
A: Bir bitkinin alanı (m^2/bitki)

E_{pan}: Buharlaşma kabından oluşan buharlaşma miktarı (mm)

K_{pc}: Buharlaşma kabı katsayısı

3.2.2 Baş ağırlığı, pazarlanabilir baş ağırlığı ve yaprak sayısı

Hasat edilen bitkilerin baş ağırlıkları kökleri kesildikten sonra hassas terazi ile tartılarak belirlenmiştir (Şekil 3.5). Pazarlanabilir baş ağırlık ise kalitesiz yapraklar alındıktan sonra hassas terazi ile tartılarak ölçülmüştür. Hasat edilen marul bitkilerinin yaprakları dıştan içe doğru sayılarak ise bitki başına yaprak sayıları bulunmuştur (Al-Bayati, 2018; Mohamoud, 2019).



Şekil 3.5. Ağırlık ölçümleri

3.2.3 Kök uzunluğu, kök genişliği ve kök boğazı çapı

Kök uzunluğu, hasat sırasında kökler zarar görmeyecek şekilde dikkatlice çıkarılıp yıkandıktan sonra kök boğazından itibaren ölçülerek belirlenmiştir (Şekil 3.6). Ayrıca, hasat edilen bitkilerin kök genişlikleri bir cetvel ile ölçülmüştür. Hasat edilen marul bitkilerinin kök boğazı çapı iki yerden olmak üzere dijital kumpas ile belirlenmiştir (Şekil 3.6) (Al-Bayati, 2018; Mohamoud, 2019).



Şekil 3.6. Kök boyutlarının ölçümü

3.2.4 Baş boyu ve baş çapı

Hasat edilen bitkilerin baş boyları kök boğazı bölgesinden yapraklarını en uç noktasına kadar ölçülerek belirlenmiştir. Hasat edilen bitkilerin baş çapları bir cetvel ile ölçülmüştür (Şekil 3.7) (Al-Bayati, 2018).



Şekil 3.7. Bitkilerin baş boyu ve çaplarının ölçümü

3.2.5 Yaprak renginin belirlenmesi

Hasat edilen marul bitkilerinde dıştan içe doğru üçüncü yapraklarda renk analiz cihazı ile L*, a* ve b* olarak renk ölçümleri yapılmıştır. L* açıklığı veya koyuluğu, a* yeşil (−) ve kırmızı (+) arasındaki dengeyi, b* ise mavi (−) ve sarı (+) arasındaki dengeyi ifade etmektedir. Kontrol grubu örnekleri referans değerler L_0*, a_0* ve b_0* olarak belirlenmiştir. Renklerdeki değişiklikleri değerlendirmek için, renk doygunluğunu (C), renk tonu açısını (α) ve toplam renk farkını (ΔE) hesaplamak için Denklemler (2), (3) ve (4) kullanılmıştır (Fontana ve ark., 2018).

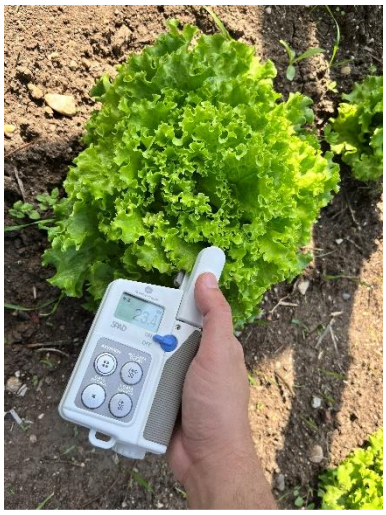
$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \tag{2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}(\frac{b}{a}) \tag{3}$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \tag{4}$$

3.2.6 Klorofil ölçümü

Bitkilerin üretim sezonu boyunca kontrol ve TarımFV altındaki %100 S grubu yapraklarından (Konica Minolta, SPAD 500 Plus) klorofil ölçüm cihazıyla toplam klorofil miktarı belirlenmiştir (Şekil 3.8) (Mohamoud, 2019).



Şekil 3.8. Bitkilerde klorofil ölçümü

3.2.7 Bitki sıcaklığı

Bitkilerin üretim sezonu boyunca kontrol ve TarımFV altındaki %100 S grubu yapraklarından infrared termometre (Fluke, 62 Max Plus) ile sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9) (Ghorbanzadeh ve ark., 2021).



Şekil 3.9. Yaprak sıcaklıkları ölçümü

3.2.8 Panel güç ölçümü

Zeminde ve TarımFV koşullarında çalışan FV panellerin üretebildiği güç değerleri güneş paneli analizörü (Prova, 210) ile belirlenmiştir (Şekil 3.10) (Taşkın, 2019).



Şekil 3.10. Panel güç ölçümü

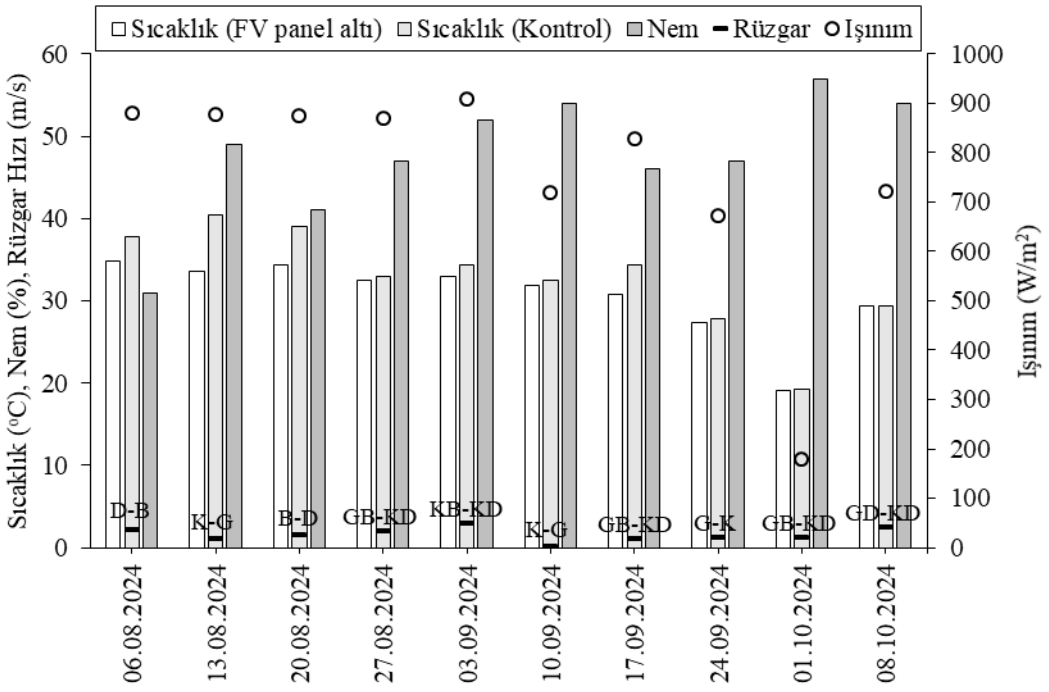
3.3 İstatiksel analiz

Deneysel veriler, istatistik yazılım ürünü JMP (Sürüm 7.0, SAS Institute Inc., Cary, NC, ABD) kullanılarak karşılaştırılmış ve varyans analizi (ANOVA) tek yönlü varyans analizi ile yapılmıştır. Değerlendirilen parametreler içinde örnekler arasındaki anlamlı farkları belirlemek için %95 güven seviyesinde ($P < 0,05$) En Küçük Anlamlı Fark testi (LSD) kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 İklimsel veriler

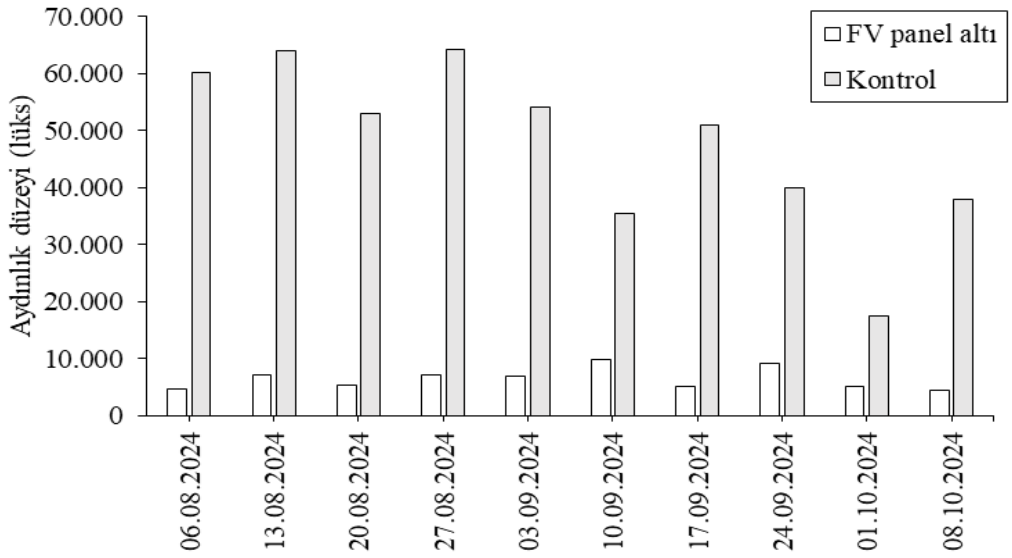
Şekil 4.1'de çalışma süresince elde edilen iklimsel veriler (sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve yönü ile ışınım) değerlerini kapsamaktadır. Çalışma süresince elde edilen veriler arasında en yüksek sıcaklık değeri 6 Ağustos 2024'te kontrol grubunda 40,4°C olarak kaydedilmiştir. En düşük sıcaklık değeri ise 1 Ekim 2024'te FV panel altında 19,1°C olarak ölçülmüştür. Genel olarak FV panellerinin altındaki sıcaklıklar, kontrol grubuna göre daha düşük seyretmiştir. Nem oranı zamanla artış göstererek 6 Ağustos 2024'te %31 iken, 8 Ekim 2024'te %54'e yükselmiştir. 01 Ekim 2024 tarihi %57 ile en yüksek nem oranının kaydedildiği tarih olmuştur. Rüzgar hızları düşük olup, en yüksek rüzgar hızı 3 Eylül 2024'te 3 m/s olarak ölçülmüştür. Hakim rüzgar yönünün Güneybatı-Kuzeydoğu (GB-KD) olduğu belirlenmiştir. Işınım değerleri ise 1 Ekim 2024'te 180 W/m² ile en düşük seviyede ölçülmüştür.



Şekil 4.1. İklimsel verilerin ve ışınımın zamana bağlı değişimleri

4.2 Aydınlık düzeyi

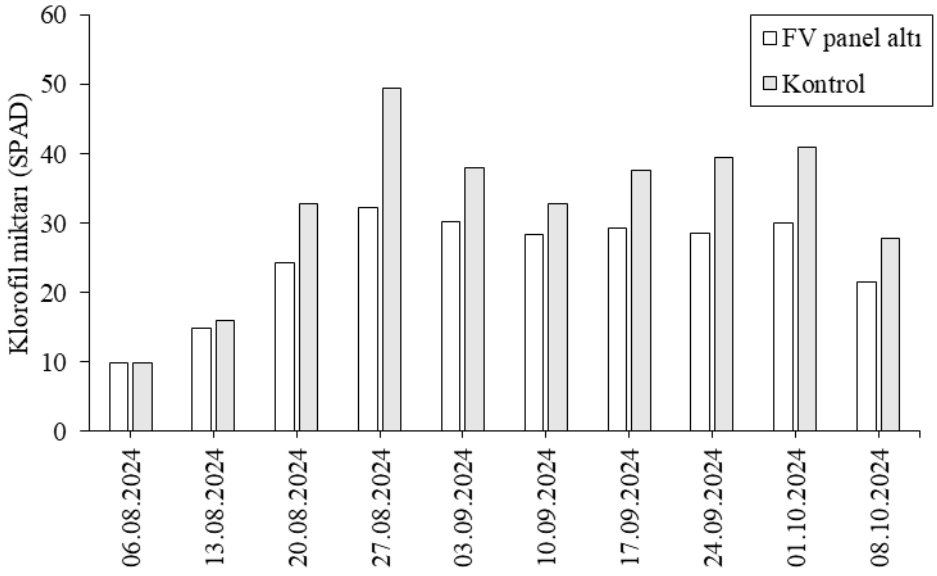
Şekil 4.2'de çalışma süresince elde edilen aydınlık düzeyi verileri gösterilmiş ve FV panellerinin altındaki ile kontrol grubundaki aydınlık düzeyinin karşılaştırılması yapılmıştır. FV panel altındaki en yüksek aydınlık düzeyi 10 Eylül 2024'te 9.760 lüks olarak ölçülmüştür. Kontrol grubunda ise en yüksek aydınlık düzeyi 13 Ağustos 2024'te 64.000 lüks olarak kaydedilmiştir. En düşük aydınlık düzeyi ise FV panel altında 8 Ekim 2024'te 4.340 lüks, kontrol grubunda ise 1 Ekim 2024'te 17.500 lüks olarak ölçülmüştür. 27 Ağustos 2024 tarihinde FV panel altı ile kontrol grubu arasındaki en büyük fark kaydedilmiştir. Bu tarihte FV panel altındaki aydınlık düzeyi 7.200 lüks iken, kontrol grubunda 64.200 lüks olarak ölçülmüştür; aradaki fark 57.000 lüks'tür. Patel ve Chauhan (2009) 153,88 m^2'lik alanda ve her sırada 12 adet paneli (çıkış gücü 150 W) güney yöne bakacak şekilde yerleştirmiştir. Toplam 48 adet panel üzerinden yapılan deneysel süreçte açık alan koşullarındaki ortalama ve maksimum aydınlık düzeyini FV paneller altındakine göre daha yüksek bulmuşlardır. Benzer biçimde, Ko ve ark. (2023) TarımFV kurulumunda ışık yoğunluğunun sürekli dalgalandığını ve ortalama ışık yoğunluğunun açık alan koşullarına kıyasla daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.2. FV panel altı ve kontrol grubu aydınlık düzeyi değişimleri

4.3 Klorofil miktarı

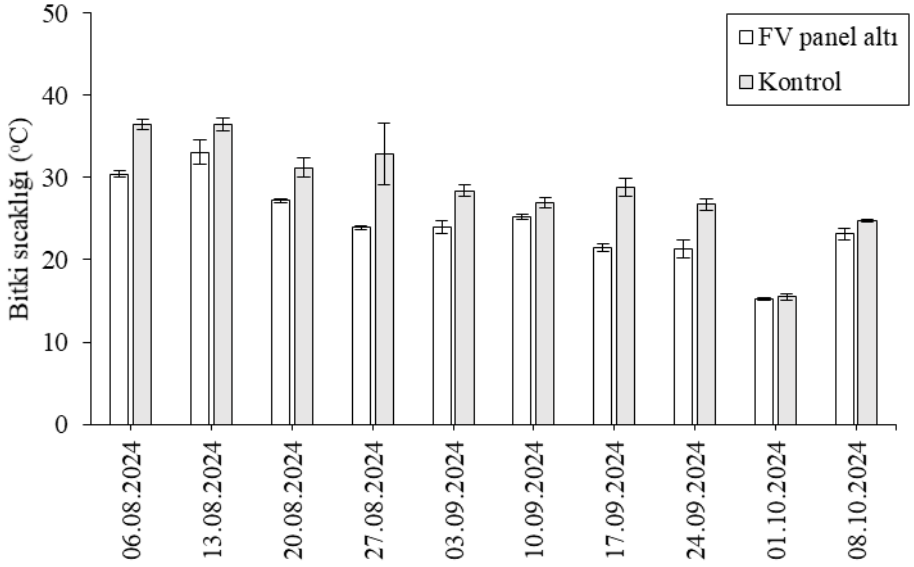
Şekil 4.3'te çalışma süresince elde edilen klorofil verileri gösterilmiş ve FV panellerinin altındaki ile kontrol grubundaki marul bitkilerinin klorofil seviyelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Klorofil seviyesi, FV panel altındaki bitkilerde genel olarak daha düşük seyretmiştir. En yüksek klorofil seviyesi FV panel altında 1 Ekim 2024'te 29,95 SPAD olarak ölçülürken, kontrol grubunda en yüksek klorofil seviyesi 24 Eylül 2024'te 40,9 SPAD olarak kaydedilmiştir. 27 Ağustos 2024 tarihinde FV panel altı ile kontrol grubu arasındaki en büyük fark kaydedilmiştir. Bu tarihte FV panel altındaki klorofil seviyesi 32,3 SPAD iken, kontrol grubunda 49,5 SPAD olarak ölçülmüştür; aradaki fark 17,2 SPAD olmuştur. Potenza ve ark. (2022) İtalya'da soya fasulyesi üzerinde yaptıkları çalışmada, kontrol grubu SPAD değerini (43,58), %16 gölgeleme düzeyli (AV2) TarımFV uygulamasında ölçülen değerden (41,87) istatistiksel olarak daha yüksek bulmuşlardır. Diğer üç gölgeleme uygulamasının (%27, %9, %18) ise kontrol grubu ile karşılaştırıldığında SPAD değerlerini (AV1=43,41, AV3=42,87 ve AV4=42,33) etkilemediğini belirlemişlerdir. Diğer yandan, Liu ve ark. (2023) ise ışık şiddeti arttıkça fotosentezin artacağını, ancak ışık şiddetinin maksimuma ulaştığında ışık doygunluğuna bağlı olarak fotosentez veriminin artmayı bırakacağını ve hatta azalabileceğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.3. Klorofil miktarlarının zamana bağlı değişimleri

4.4 Bitki sıcaklığı

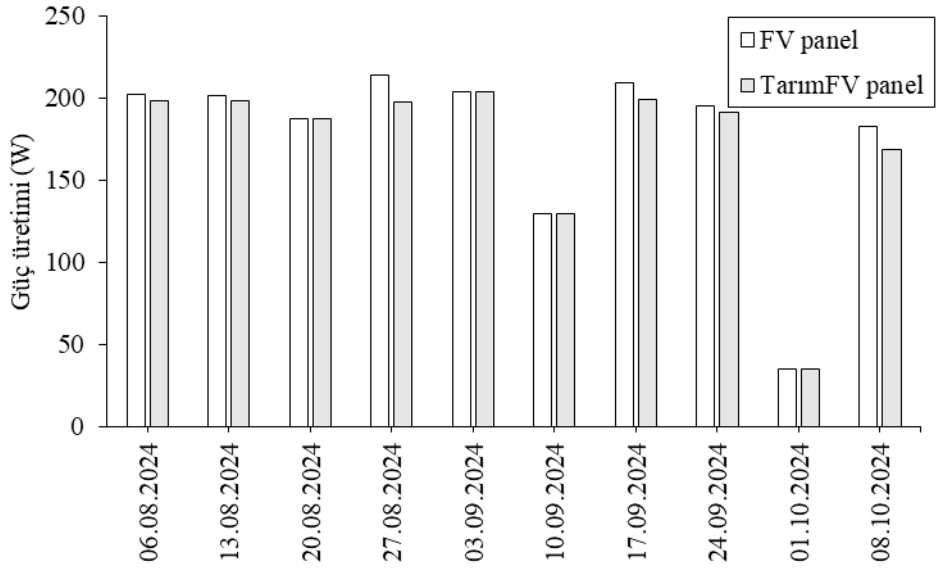
Şekil 4.4'de FV panel altındaki marul bitkilerinin sıcaklık değerleri ile kontrol grubunda yer alan marul bitkilerinin sıcaklık değerlerine yer verilmiştir. FV panel altındaki marul bitkilerinin sıcaklıkları genel olarak daha düşük seyretmiştir. En yüksek sıcaklık seviyesi FV panel altında 13 Ağustos 2024'te 33,03°C olarak ölçülürken, kontrol grubunda en yüksek sıcaklık seviyesi 06 Ağustos 2024 ve 13 Ağustos 2024'te 36,40°C olarak kaydedilmiştir. 27 Ağustos 2024 tarihinde FV panel altı ile kontrol grubu arasındaki en büyük fark kaydedilmiştir. Bu tarihte FV panel altındaki sıcaklık seviyesi 23,90°C iken, kontrol grubunda 32,87°C olarak ölçülmüş, aradaki fark 8,97°C olmuştur. En düşük sıcaklık seviyelerine bakıldığında, FV panel altındaki en düşük sıcaklık 01 Ekim 2024'te 15,23°C, kontrol grubunda ise aynı tarihte 15,47°C olarak kaydedilmiştir. Disciglio ve ark. (2023) kontrol grubu ile dinamik TarımFV sisteminde sürekli gölgede ve kısmı olarak gölgede kalan tıbbi bitkiler üzerine çalışma yapmışlardır. Her ölçüm tarihinde, sürekli gölgede kalan örneklerin en düşük değerlere (28,1 ile 32,2°C arasında değişen) sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Kısmı olarak gölgede kalan bitkiler de (30,0 ile 35,1 °C arasında değişen) önemli ölçüde farklı olmasa da kontrol grubu örneklerin sıcaklıklarından (30,1 ile 38,9°C arasında değişen) daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Oleskewicz (2020) Lahana ve brokoli yetiştiriciliği için TarımFV sistemini incelemiş ve düşen yaprak sıcaklığının fotosentez performansına olumlu etkisini belirlemiştir.



Şekil 4.4. FV panel altı ve kontrol grubunun bitki sıcaklık değerleri

4.5 Güç üretimi

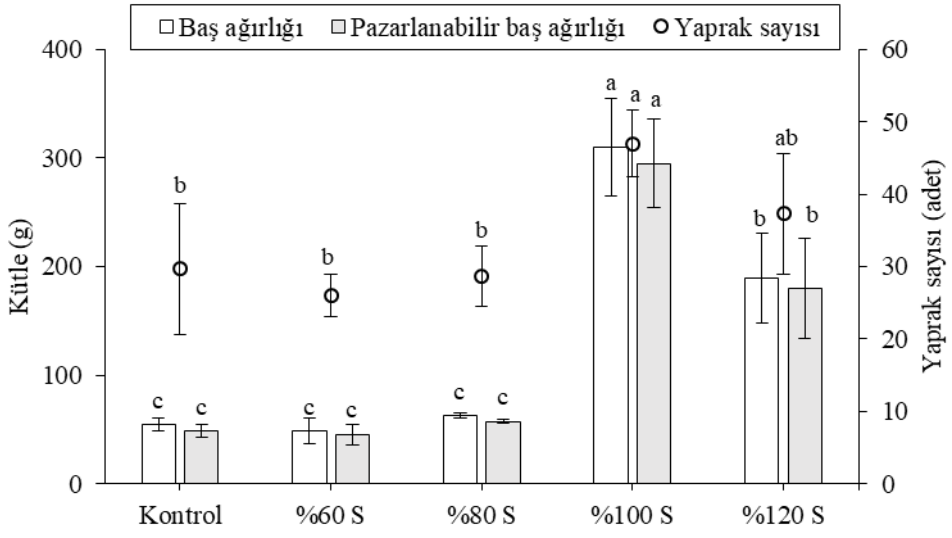
Şekil 4.5'te çalışma süresince elde edilen güç değerleri gösterilmiş ve zeminde bulunan FV panel ile TarımFV panellerinin güç üretim seviyelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Zeminde bulunan FV paneli, genel olarak daha yüksek güç üretim seviyelerine sahip olmuştur. En yüksek güç seviyesi, zeminde bulunan FV panel için 27 Ağustos 2024'te 214,1 W olarak ölçülmüştür. TarımFV panelleri için en yüksek güç seviyesi ise 17 Eylül 2024'te 198,7 W olarak kaydedilmiştir. 27 Ağustos 2024 tarihinde zeminde bulunan FV panel ile TarımFV panelleri arasındaki en büyük fark gözlemlenmiştir. Bu tarihte zeminde bulunan FV panel için güç seviyesi 214,1 W iken, TarımFV panelleri için 197,3 W olarak ölçülmüştür; aradaki fark 16,8 W olmuştur. En düşük güç seviyelerine bakıldığında, zeminde bulunan FV panel için en düşük güç değeri 01 Ekim 2024'te 34,65 W, TarımFV panelleri için ise aynı tarihte 34,75 W olarak kaydedilmiştir. Trommsdorff ve ark. (2021) Almanya'da yaptıkları çalışmada, TarımFV sisteminin elektriksel verimini referans duruma göre yaklaşık %17 daha düşük bulmuştur. Modi ve Patel (2024) 0,91 m, 1,83 m ve 3,2 m yüksekliğindeki FV panellerin enerji üretimini karşılaştırmıştır. 0,91 m yüksekliğinde dizinin çalışma süresince toplam 6757 kWh üretim ile en uygun yükseklik olduğunu belirtmişlerdir. Literatürdeki sonuçların farklı olmasının sebebi ise panellerin şebekeye bağlanması nedeniyle ısınması ya da tasarımsal veya iklimsel farklılıklardan dolayı olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.5. FV panel ve TarımFV panel güç üretim değerleri

4.6 Baş ağırlığı, pazarlanabilir baş ağırlığı ve yaprak sayısı

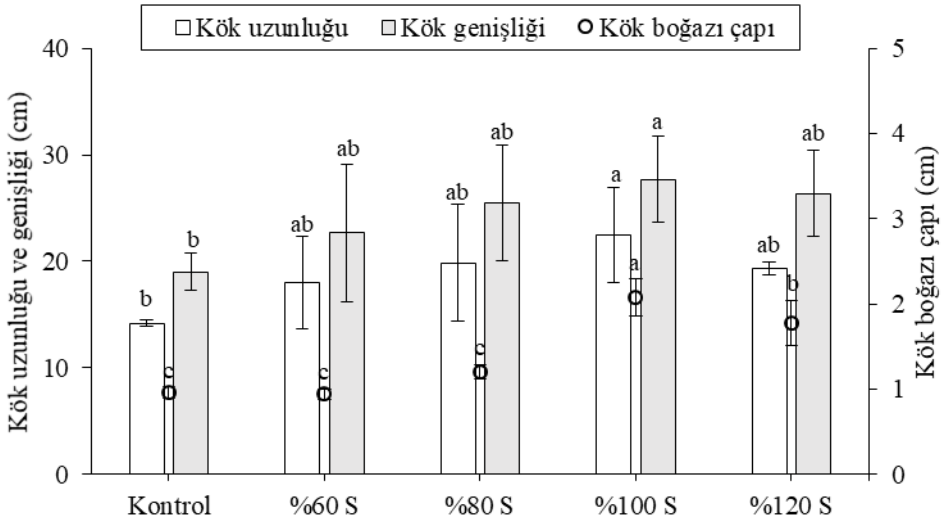
Şekil 4.6' da kontrol grubu ile %60 S, %80 S, %100 S ve %120 S gruplarının baş ağırlığı, pazarlanabilir baş ağırlık ve yaprak sayısı değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Baş ağırlığı açısından, %100 S grubu en yüksek ortalama baş ağırlığına sahip olup, 310,05±44,80 g olarak ölçülmüştür ($p<0,05$). %120 S grubu ise 189,43±41,70 g ile ikinci sırada yer alırken, %60 S grubu en düşük baş ağırlığına sahip olup, 48,41±11,57 g olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda baş ağırlığı 54,68±5,93 g olarak belirlenmiştir. Pazarlanabilir baş ağırlık açısından, %100 S grubu yine en yüksek değere sahip olup, 295,03±40,99 g olarak ölçülmüştür ($p<0,05$). %120 S grubu 180,20±46,29 g ile ikinci sırada yer alırken, %60 S grubu en düşük pazarlanabilir baş ağırlığa sahip olup, 45,27±9,53 g olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda pazarlanabilir baş ağırlık 48,53±6,07 g olarak belirlenmiştir. Yaprak sayısı açısından, %100 S grubu en yüksek yaprak sayısına sahip olup, 47±4,58 olarak ölçülmüştür ($p<0,05$). %120 S grubu 37,33±8,33 yaprak ile ikinci sırada yer alırken, %60 S grubu en düşük yaprak sayısına sahip olup, 26±3 olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda yaprak sayısı 29,67±9,07 olarak belirlenmiştir. Elamri ve ark. (2018) marul üretiminde farklı TarımFV koşullarını kontrol grubu ile karşılaştırmıştır. Test edilen TarımFV koşullarının bitki su talebini -%20, verimi ise -%15 ila -%25 oranında azalmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, TarımFV'nin yaklaşık 5-7 günlük bir olgunlaşma gecikmesine neden olduğunu ancak bunun stratejik ticari avantaj olarak düşünülebileceğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.6. Kontrol ve FV Panel altında bitkilerin ağırlık ve yaprak sayıları

4.7 Kök uzunluğu, kök genişliği ve kök boğaz çapı

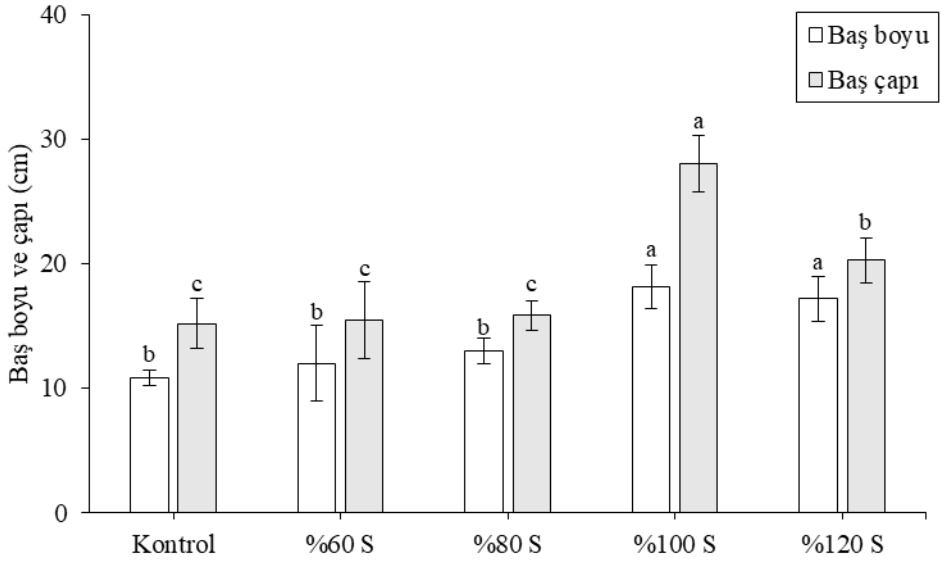
Şekil 4.7' de kontrol grubu ile %60 S, %80 S, %100 S ve %120 S gruplarının kök uzunluğu, kök genişliği ve kök boğazı çapı değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Kök uzunluğu açısından, %100 S grubu en yüksek ortalama kök uzunluğuna sahip olup, 22,50±4,44 cm olarak ölçülmüştür ($p<0.05$). %120 S grubu 19,33±0,58 cm ile ikinci sırada yer alırken, %60 S grubu en düşük kök uzunluğuna sahip olup, 18,00±4,36 cm olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda kök uzunluğu 14,17±0,29 cm olarak belirlenmiştir. Kök genişliği açısından, %100 S grubu en yüksek ortalama kök genişliğine sahip olup, 27,67±4,04 mm olarak ölçülmüştür ($p<0.05$). %80 S grubu 25,50±0,72 mm ile ikinci sırada yer alırken, %60 S grubu en düşük kök genişliğine sahip olup, 22,67±0,06 mm olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda kök genişliği 19,00±1,58 mm olarak belirlenmiştir. Kök boğazı çapı açısından, %100 S grubu en yüksek değere sahip olup, 2,08±0,21 mm olarak ölçülmüştür ($p<0.05$). %120 S grubu 1,78±0,27 mm ile ikinci sırada yer alırken, %60 S grubu en düşük kök boğazı çapına sahip olup, 0,94±0,06 mm olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda kök boğazı çapı 0,96±0,06 mm olarak belirlenmiştir. Kostik ve ark. (2020) TarımFV koşullarının kök yoğunluğu az ve gölgeye dayanıklılığı yüksek olan bitkiler için tercih edilmesi gerektiğini önermişlerdir.



Şekil 4.7. Kök uzunluğu, kök genişliği ve kök boğaz çapı

4.8 Baş boyu ve baş çapı

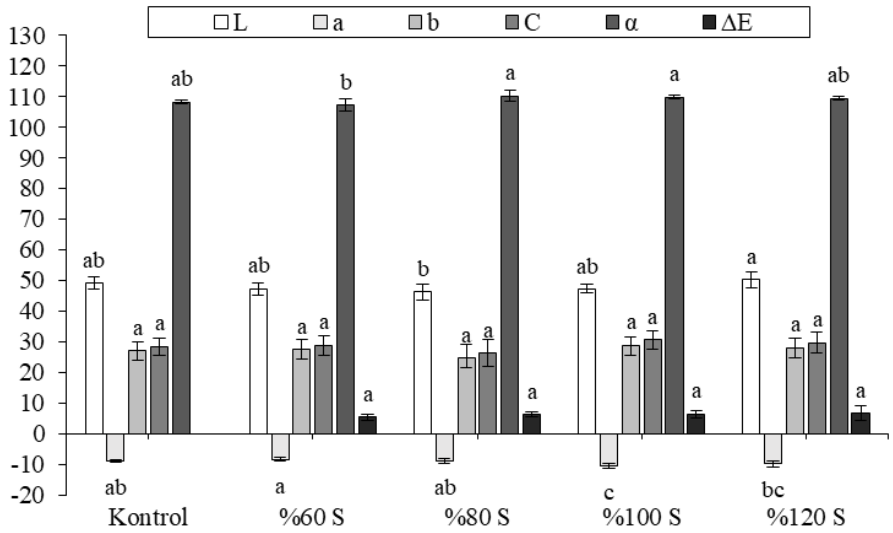
Şekil 4.8'de kontrol grubu ile %60 S, %80 S, %100 S ve %120 S gruplarının baş boyu ve baş çapı değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Baş boyu açısından, %100 S grubu en yüksek ortalama baş boyuna sahip olup, 18,17±1,76 cm olarak ölçülmüştür ($p<0,05$). %120 S grubu 17,17±1,76 cm ile ikinci sırada yer alırken, %80 S grubu en düşük baş boyuna sahip olup, 13,00±1,00 cm olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda baş boyu 10,83±0,58 cm olarak belirlenmiştir. Baş çapı açısından, %100 S grubu en yüksek ortalama baş çapına sahip olup, 28,03±2,24 cm olarak ölçülmüştür ($p<0,05$). %120 S grubu 20,27±1,78 cm ile ikinci sırada yer alırken, %80 S grubu en düşük baş çapına sahip olup, 15,83±1,15 cm olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda baş çapı 15,17±2,02 cm olarak belirlenmiştir. Marrau ve ark. (2013) dört farklı marul çeşidi üzerinde deneyler yapmışlardır. Bir marul başının zemin izdüşümünü, yarıçapı olgun yaprakların ortalama uzunluğuna eşit olan bir disk olarak tahmin etmişlerdir. Bu yaprakların TarımFV koşullarında tam güneşli kontrol grubuna göre hem daha geniş hem de daha uzun olduğunu bulmuşlardır. Yaprak açısı yatay yönelime yakın olan marul çeşitlerinde, zeminin büyük bölümünü kaplayabildiği ve dolayısıyla daha fazla ışık yakalayabildiğini açıklamışlardır.



Şekil 4.8. Baş boyu ve baş çapı

4.9 Renk değerleri

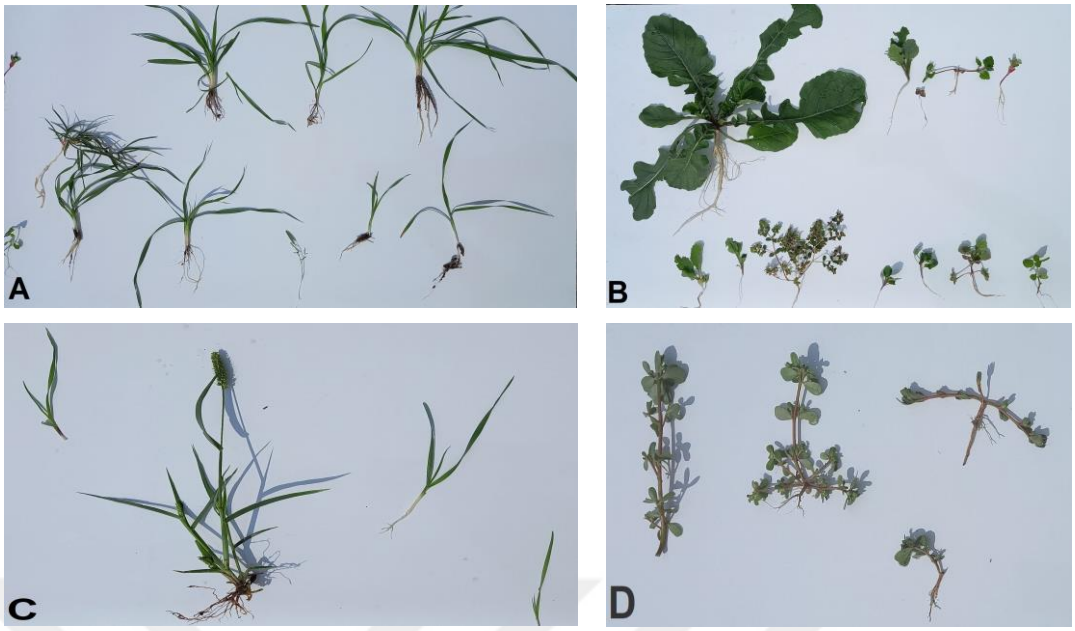
Şekil 4.9'da kontrol grubu ile %60 S, %80 S, %100 S, %120 S gruplarının L, a, b, C, α ve ΔE değerlerinin karşılaştırılmaları yapılmıştır. L değeri açısından, %120 S grubu en yüksek ortalama L değeri olan 50,29±2,69 olarak ölçülmüştür ($p<0,05$). %60 S grubu 47,26±2,12 ile ikinci sırada yer alırken, %80 S grubu en düşük L değeri olan 46,24±2,63 olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda L değeri 49,09±1,97 olarak belirlenmiştir. a değeri açısından, %100 S grubu -10,39±0,85 ölçülmüştür ($p<0,05$). %120 S grubu -9,87±0,86 ile ikinci sırada yer almıştır. %80 S grubu -8,99±0,79 ile üçüncü sırada olup, %60 S grubu -8,45±0,62 değeriyle son sıradadır. Kontrol grubunda a değeri -8,87±0,53 olarak belirlenmiştir. b değeri açısından, %100 S grubu en yüksek ortalama b değeri olan 28,79±2,75 olarak ölçülmüştür ($p<0,05$). %120 S grubu 28,06±3,22 ile ikinci sırada yer alırken, %80 S grubu en düşük b değeri olan 24,64±4,37 olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda b değeri 27,04±2,76 olarak belirlenmiştir. C değeri açısından, %100 S grubu en yüksek ortalama C değeri olan 30,61±2,87 olarak hesaplanmıştır ($p<0,05$). %120 S grubu 29,75±3,32 ile ikinci sırada yer alırken, %80 S grubu en düşük C değeri olan 26,23±4,36 olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda C değeri 28,46±2,78 olarak belirlenmiştir. α değeri açısından, %80 S grubu en yüksek ortalama α değeri olan 110,25±1,87 olarak ölçülmüştür ($p<0,05$). %120 S grubu 109,42±0,53 ile ikinci sırada yer alırken, kontrol grubu en düşük α değeri olan 108,20±0,70 olarak kaydedilmiştir. ΔE değeri açısından, %120 S grubu en yüksek ortalama ΔE değeri olan 6,69±2,47 olarak ölçülmüştür ($p<0,05$). %100 S grubu 6,40±1,11 ile ikinci sırada yer alırken, %60 S grubu en düşük ΔE değeri olan 5,35±1,13 olarak kaydedilmiştir. Fontana ve ark. (2020) farklı koşullarda (Konvansiyonel, hidrofonik ve organik) yetiştirdikleri marul bitkisinin yapraklarında renk analizi yapmışlardır. Deneyde değerlendirdikleri sırasıyla üç marul örneğinin L (65,3, 67,7 ve 60,6), a (-14,6, -17,3 ve -16,5), b (31,8, 36,1 ve 34,3), α (114,7, 115,6 ve 115,7) ve C (34,9, 40,0 ve 38,1) olarak bulmuşladır. Bu tez çalışmasında uygulanan TarımFV koşulu ile uyumlu sonuçlar sunmuşlardır.



Şekil 4.9. Renk değerleri

4.10 Yabancı ot dağılımı

Şekil 4.10'da marul üretimi esnasında karşılaşılan dar ve geniş yapraklı yabancı ot türleri gösterilmektedir. Şekil 4.10'da A ve B resimlerinde panel altını, C ve D resimleri ise kontrol grubundaki yabancı otları göstermektedir. Deney süresince herhangi bir herbisit uygulaması yapılmamış olup, gözlemler sonucunda; panel altındaki deneme parselinde hem geniş yapraklı hem de dar yapraklı yabancı otların kontrol grubuna kıyasla daha yüksek yoğunluklarda bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca panel altı parselde farklı türlerde geniş yapraklı yabancı otlara rastlanılmıştır. Dupraz (2024) hem TarımFV sistemlerde hem de kontrol gruplarında yabani ot/hastalık etkisine dair verileri incelemiştir. Arpa üzerine yaptığı araştırmada kontrol alanının yabani otlarla kaplandığını ancak panellerin altında bulunan alanın yabani otlardan arınmış olduğunu bildirmiştir. Panellerin altında yabancı otların bulunmamasının panellerin olumlu etkisinden kaynaklandığını farklı noktalarda tekerrür yapmadığı için kanıtlayamamıştır. Bu tez çalışmasından farklı olarak bulunan sonuçların nedeni bitkisel materyal, toprak yapısı veya sıcaklık toleransının olabileceğini değerlendirmiştir.



Şekil 4.10. Yabancı ot dağılımı

5. SONUÇ

Bu tez çalışması, 6 Ağustos 2024 - 8 Ekim 2024 tarihleri arasında Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde gerçekleştirilen ve budama atıklarını kullanarak tasarlanan TarımFV sisteminin marul bitkisi (*Lactuca sativa* L.) gelişimi ile FV panel güç üretimi üzerindeki etkilerini inceleyen bir araştırmayı kapsamaktadır.

TarımFV sisteminde %100 sulama oranı uygulaması, verim kriterleri olan baş ağırlığı, pazarlanabilir baş ağırlığı, yaprak sayısı ve kök parametreleri açısından en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu sonuçlar, uygun sulama yönetimi ve TarımFV tasarımının bitki gelişimi üzerindeki kritik önemini vurgulamaktadır.

TarımFV sistemi altındaki sıcaklık, nem, rüzgar ve ışık gibi mikroklimatik koşulların bitki gelişimi üzerinde bazı olumsuz etkileri gözlemlenmiş olmasına rağmen, %100 sulama oranında elde edilen değerler, bitkilerin sağlıklı ve yeşil yapraklarla geliştiğini ortaya koymuştur.

Güç üretimi açısından, zeminde bulunan FV panel, TarımFV panellerine kıyasla daha yüksek güç üretim seviyelerine ulaşmıştır. Bu durum, zeminde bulunan FV panelin güç verimliliği açısından daha avantajlı olduğunu gösterse de TarımFV sistemlerinin tarım ve enerji üretimini aynı alanda gerçekleştirme potansiyeli ile tarımsal üretimi destekleyerek çiftçilere sürdürülebilir bir gelir kaynağı sağlayabilecektir.

Sonuç olarak, TarımFV sistemlerinin ikili arazi kullanımı sayesinde üretim verimliliğini artırma potansiyeli bulunduğu tespit edilmiştir. Bu sistemler, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji bağımsızlığı açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Ülkemizde mevcut mevzuat çerçevesinde, mutlak tarım arazilerinin tarım ve enerji sistemlerini bir arada kullanıldığı bir yapı için uygun olmadığı değerlendirildiğinde, gelecek çalışmalarda bu sistemlerin optimizasyonu ve farklı bitki türleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu, tarım ve enerji entegrasyonunun daha verimli ve sürdürülebilir hale getirilmesine katkıda bulunabilecektir.

KAYNAKLAR

Aćamović-Djoković, G., Pavlović, R., Mladenović, J., & Djurić, M. (2011). Vitamin C content of different types of lettuce varieties. *Acta Agriculturae Serbica*, 16(32), 83-89.

Al-Agele, H. A., Proctor, K., Murthy, G., & Higgins, C. (2021). A case study of tomato (*Solanum lycopersicon* var. Legend) production and water productivity in agrivoltaic systems. *Sustainabilit*y, 13(5), 2850.

Al-Bayati, Y. F. A. (2018). Konya koşullarında marul bitkisinin su-verim ilişkileri. *Yüksek Lisans Tezi,* Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Konya.

Andrew, A. C., Higgins, C. W., Smallman, M. A., Prado-Tarango, D. E., Rosati, A., Ghajar, S., & Ates, S. (2024). Herbage and sheep production from simple, diverse, and legume pastures established in an agrivoltaic production system. *Grass and Forage Science*, 79, 294-307

Anonim, (2013). https://www.who.int/docs/default-source/environment-climate-change-and-health/sustainable-development-indicator-energy.pdf?sfvrsn=468084e7_2 (Erişim Tarihi 17.01.2025).

Anonim, (2024). www.serene.com.tr/marul (Erişim Tarihi 19.01.2025).

Ciocia, A., Enescu, D., Amato, A., Malgaroli, G., Polacco, R., Amico, F., & Spertino, F. (2022). Agrivoltaic system: a case study of pv production and olive cultivation in Southern Italy. *57th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 1-6.

Cossu, M., Tiloca, M. T., Cossu, A., Deligios, P. A., Pala, T., & Ledda, L. (2023). Increasing the agricultural sustainability of closed agrivoltaic systems with the integration of vertical farming: A case study on baby-leaf lettuce. *Applied Energy*, 344, 121278.

Dal Prà, A., Miglietta, F., Genesio, L., Lanini, G. M., Bozzi, R., Morè, N., & Fabbri, M. C. (2024). Determination of feed yield and quality parameters of whole crop durum wheat (*Triticum durum Desf*.) biomass under agrivoltaic system. *Agroforestry Systems*, 98, 2861-2873.

Disciglio, G., Frabboni, L., Tarantino, A., & Stasi, A. (2023). Association between dynamic agrivoltaic system and cultivation: viability, yields and qualitative assessment of medical plants. *Sustainability*, 15(23), 16252.

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.

Dupraz, C. (2024). Assessment of the ground coverage ratio of agrivoltaic systems as a proxy for potential crop productivity. *Agroforestry Systems*, 98, 2679-2696

Durusu, A., Erduman, A., & Yıldız, F. (2020). Comparative study of photovoltaic array optimum tilt angle and orientation with multi-objective consideration. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1031-1041.

Elamri, Y., Cheviron, B., Lopez, J. M., Dejean, C., & Belaud, G. (2018). Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems: Application to irrigated lettuces. *Agricultural Water Management, 208*, 440-453.

Fontana, L., Rossi, C. A., Hubinger, S. Z., Ferreira, M. D., Spoto, M. H., Sala, F. C., & Verruma-Bernardi, M. R. (2018). Physicochemical characterization and sensory evaluation of lettuce cultivated in three growing systems. *Horticultura Brasileira*, 36(1), 20-26.

Ghorbanzadeh, P., Aliniaeifard, S., Esmaeili, M., Mashal, M., Azadegan, B., & Seif, M. (2021). Dependency of growth, water use efficiency, chlorophyll fluorescence, and stomatal characteristics of lettuce plants to light intensity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 2191-2207.

Gonocruz, R. A., Nakamura, R., Yoshino, K., Homma, M., Doi, T., Yoshida, Y., & Tani, A. (2021). Analysis of the rice yield under an Agrivoltaic system: A case study in Japan. *Environments*, 8(7), 65.

Isen, E., & Bakan, A. F. (2018). Highly efficient three-phase grid-connected parallel inverter system. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 6, 1079-1089.

İldeniz, E. (2019). Ges tesislerinin keşif-inşa aşamalarında kullanılan metodların incelenmesi ve kabul. *Tezsiz Yüksek Lisans*, Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Amasya.

Juillion, P., Lopez, G., Fumey, D., Lesniak, V., Génard, M., & Vercambre, G. (2022). Shading apple trees with an agrivoltaic system: Impact on water relations, leaf morphophysiological characteristics and yield determinants. *Scientia Horticulturae*, 306, 111434.

Juillion, P., Lopez, G., Fumey, D., Lesniak, V., Génard, M., & Vercambre, G. (2024). Combining field experiments under an agrivoltaic system and a kinetic fruit model to understand the impact of shading on apple carbohydrate metabolism and quality. *Agroforestry Systems*, 98, 2829-2846.

Kim, S., Kim, S., & An, K. (2023). An integrated multi-modeling framework to estimate potential rice and energy production under an agrivoltaic system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, 108157.

Ko, D. Y., Chae, S. H., Moon, H. W., Kim, H. J., Seong, J., Lee, M. S., & Ku, K. M. (2023). Agrivoltaic farming insights: A case study on the cultivation and quality of kimchi cabbage and garlic. *Agronomy,* 13(10), 2625.

Kostik, N., Bobyl, A., Rud, V., & Salamov, I. (2020). The potential of agrivoltaic systems in the conditions of southern regions of Russian Federation. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 578(1), 012047.

Kumpanalaisatit, M., Setthapun, W., Sintuya, H., & Jansri, S. N. (2022). Efficiency improvement of ground-mounted solar power generation in agrivoltaic system by cultivation of bok choy (*Brassica rapa subsp. chinensis* L.) under the panels. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(1), 103-110.

Liu, W., Omer, A. A. A., & Li, M. (2023). Agrivoltaic: challenge and progress. *Agronomy*, 13(7), 1934.

Luo, J., Luo, Z., Li, W., Shi, W., & Sui, X. (2024). The early effects of an agrivoltaic system within a different crop cultivation on soil quality in dry–hot valley eco-fragile areas. *Agronomy*, 14, 584.

Malu, P. R., Sharma, U. S., & Pearce, J. M. (2017). Agrivoltaic potential on grape farms in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23, 104-110.

Marrou, H., Wéry, J., Dufour, L., & Dupraz, C. (2013). Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *European Journal of Agronomy*, *44*, 54-66.

Modi, V. V., & Patel, S. K. (2024). Performance evaluation of agrivoltaic system for the synergy among greengram (*Vigna radiata* L. Wilczek) production and solar electric power generation. *Energy Science & Engineering*, 12(12), 5385-5397.

Mohammedi, S., Dragonetti, G., Admane, N., & Fouial, A. (2023). The ımpact of agrivoltaic systems on tomato crop: a case study in southern Italy. *Processes*, 11(12), 3370.

Mohamoud, S. S. (2019). Farklı su stresi koşullarının bazı kıvırcık (*Lactuca sativa* var. erispa) ve göbekli (*Lactuca sativa* var. longifolia) marul çeşitlerinde verim ve kalite üzerine etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Antalya.

Mouhib, E., Fernández-Solas, Á., Pérez-Higueras, P. J., Fernández-Ocaña, A. M., Micheli, L., Almonacid, F., & Fernández, E. F. (2024). Enhancing land use: Integrating bifacial PV and olive trees in agrivoltaic systems. *Applied Energy*, 359, 122660.

Nunez, S., Arets, E., Alkemade, R., Verwer, C., & Leemans, R. (2019). Assessing the impacts of climate change on biodiversity: is below 2° C enough?. *Climatic Change*, 154, 351-365.

Oleskewicz, K. (2020). The effect of gap spacing between solar panel clusters on crop biomass yields, nutrients and the microenvironment in a dual-use agrivoltaic system. *Yüksek Lisans Tezi*, Plant and Soil Sciences, University of Massachusetts Amherst: Amherst.

Patel, U. R., & Chauhan, P. M. (2009). Studies of climatic parameters under agrivoltaic structure. *Renewable and Sustainable Energy: An International Journal*, 1(1), 87-97.

Potenza, E., Croci, M., Colauzzi, M., & Amaducci, S. (2022). Agrivoltaic system and modelling simulation: a case study of soybean (*Glycine max* L.) in Italy. *Horticulturae*, 8(12), 1160.

Prakash, V., Lunagaria, M. M., Trivedi, A. P., Upadhyaya, A., Kumar, R., Das, A., & Kumar, Y. (2023). Shading and PAR under different density agrivoltaic systems, their simulation and effect on wheat productivity. *European Journal of Agronomy*, 149, 126922.

Ramos-Fuentes, I. A., Elamri, Y., Cheviron, B., Dejean, C., Belaud, G., & Fumey, D. (2023). Effects of shade and deficit irrigation on maize growth and development in fixed and dynamic AgriVoltaic systems. *Agricultural Water Management*, 280, 108187.

Scarano, A., Semeraro, T., Calisi, A., Aretano, R., Rotolo, C., Lenucci, M. S., & De Caroli, M. (2024). effects of the agrivoltaic system on crop production: the case of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Applied Sciences*, 14(7), 3095.

Taskin, O. (2019). Kusurlu güneş panelinde (PV) verimlerin ölçülmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1), 289-298.

Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., Bopp, G., Ehmann, A., & Obergfell, 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, 110694.

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, 733.

Willockx, B., Reher, T., Lavaert, C., Herteleer, B., Van de Poel, B., & Cappelle, J. (2024). Design and evaluation of an agrivoltaic system for a pear orchard. *Applied Energy*, 353, 122166.

Zahrawi, A. A., & Aly, A. M. (2024). A review of agrivoltaic systems: addressing challenges and enhancing sustainability. *Sustainability*, 16, 8271.