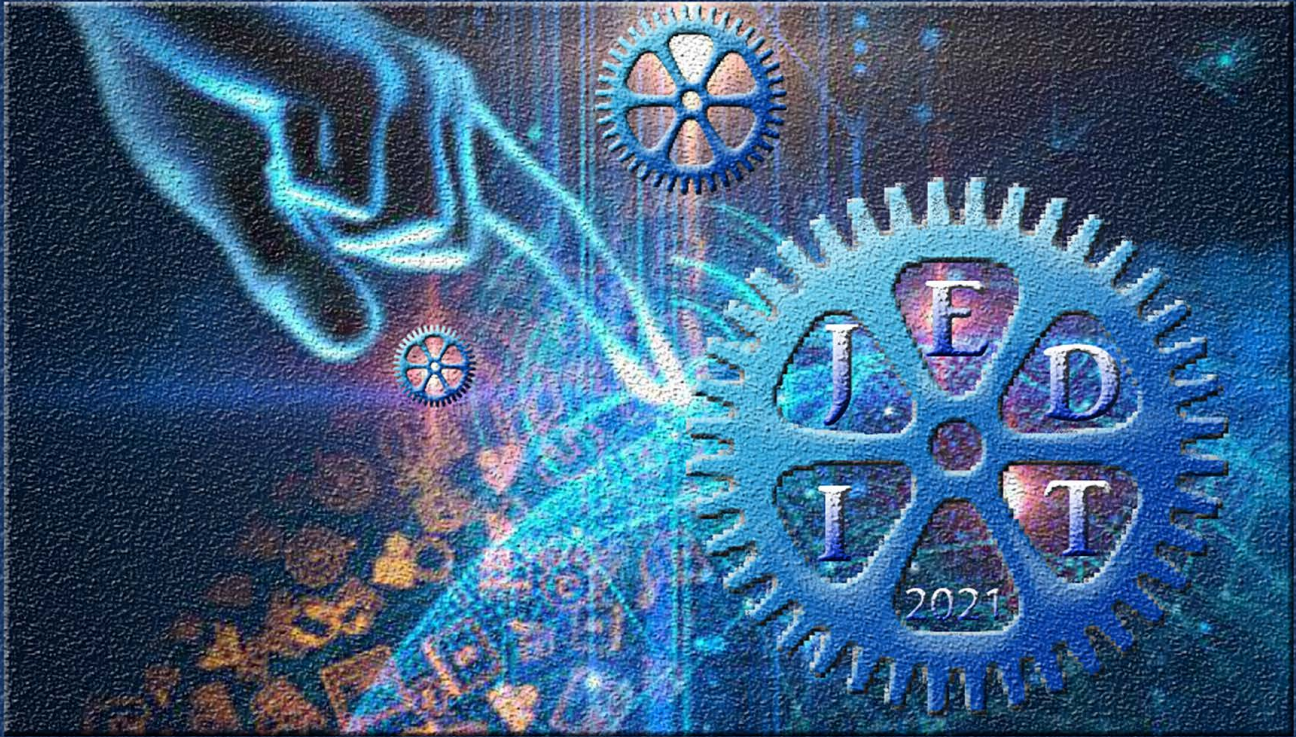


ISSN (E): 2667-5374

IJEDT

International Journal of
Engineering, Design and Technology

Year: 2023 Volume: 5



MAKÜMMF

A periodical of
Faculty of Engineering and Architecture
Burdur Mehmet Akif Ersoy University
dergipark.org.tr/ijedt

Dergi Sahibi

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi adına
Prof. Dr. Hüseyin DALGAR
Rektör

Owner

On behalf of Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Prof. Dr. Hüseyin DALGAR
Rector

Editör

Prof. Dr. Oğuz GÜRSOY

Editor

Prof. Dr. Oğuz GÜRSOY

Editör Yardımcıları

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇİFCİ
Dr. Öğr. Üyesi Hilal TUNCER

Assoc. Editors

Assist. Prof. Dr. Ahmet ÇİFCİ
Assist. Prof. Dr. Hilal TUNCER

Redaktör

Doç. Dr. Ahmet ÇALIK

Proofreader

Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇALIK

İngilizce Dil Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan YILMAZ

English Language Editor

Assist. Prof. Dr. Gökhan YILMAZ

Sekretarya

Dr. Damla BİLECEN ŞEN
Dr. Hilal TUNCER
Arş. Gör. Kadir MERCAN

Secrateriat

Dr. Damla BİLECEN ŞEN
Dr. Hilal TUNCER
R. A. Kadir MERCAN

International Editorial Board

Uluslararası Yayın Kurulu

- Prof. Dr. Mohd Ezree Bin ABDULLAH, Tun Hussein Onn University of Malaysia, Malaysia
Prof. Dr. Tapani ALATOSSAVA, The University of Helsinki, Finland
Prof. Sadık C. ARTUNÇ, Mississippi State University, USA
Prof. Dr. Öner DEMİREL, Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. Nihat DİPOVA, Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Zuhail KAYNAKCI ELİNÇ, Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Oliver GAILING, University of Göttingen, Germany
Prof. Dr. Rodrigo AMORIM GARCIA, University of Rio de Janeiro Federal, Brasil
Prof. Dr. Atila GÜL, Süleyman Demirel Üniversitesi
Prof. Dr. Ayşe Gül MUTLU GÜLMEMİŞ, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. Tayyar GÜNGÖR, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. Oğuz GÜRİSOY, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. Ridvan KARAPINAR, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. Latif Gürkan KAYA, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Ali KAYA, Trakya Üniversitesi
Prof. Dr. Gülden BAŞYİĞİT KILIÇ, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. M. Ilgar KIRZIOĞLU, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU, Düzce Üniversitesi
Prof. Dr. Martin NERUDA, Jan Evangelista Purkyně University, Czech Republic
Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
Prof. Dr. Maria OMASTOVA, Polymer Institute, Slovakia
Prof. Dr. Handan UCUN ÖZEL, Bartın Üniversitesi
Prof. Dr. Joshua M. PEARCE, Michigan Technological University, USA
Prof. Dr. Erol TUTUMLUER, University of Illinois-Urbana-Champaign, USA
Prof. Dr. Cengiz YÜCEDAĞ, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. Murat ZENGİN, Pamukkale Üniversitesi
Assoc. Prof. Sehla ABBASOVA, Azerbaijan
Assoc. Prof. Dr. Zikri ARSLAN, Jackson State University, USA
Doç. Dr. Gültekin BASMACI, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Doç. Dr. Hale SEÇİLMİŞ CANBAY, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Assoc. Prof. Emanuel J. CARTER Jr., SUNY-Environmental Science and Forestry, USA
Doç. Dr. Ali Hakan IŞIK, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Doç. Dr. İsmail KIRBAŞ, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Assoc. Prof. Dr. Waiel MOWRTAGE, Marmara Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet UYUMAZ, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Assist. Prof. Dr. Namıq ABBASOV, Azerbaijan
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇİFCİ, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fatih DEMİRAL, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sertaç GÖRGÜLÜ, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Assist. Prof. Dr. Kinga KIMIC, The Warsaw University of Life Sciences, Poland
Dr. Öğr. Üyesi Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim İskender SOYASLAN, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Assist. Prof. Dr. Dragan VUJADINOVIC, University of East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
Dr. Öğr. Üyesi Altan YILMAZ, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

International Journal of Engineering, Design and Technology is an international peer-reviewed journal and published biannually. The opinions, thoughts, postulations or proposals within the manuscripts are but reflections of the authors and do not, in any way, represent those of the Burdur Mehmet Akif Ersoy University.

Uluslararası Mühendislik, Tasarım ve Teknoloji Dergisi, uluslararası hakemli bir dergidir ve yılda iki sayı yayımlanmaktadır. Yazıların içindeki görüşler, düşünceler, önermeler veya öneriler yazarların görüşlerinin yansımasıdır ve hiçbir şekilde Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi'nin görüşlerini temsil etmemektedir.

İnline Tip Kare Balya Makinesine Haşbay Sisteminin Eklenmesi ve Kesici Bıçakların Mukavemet Analizi

Addition of Hashbay (Haşbay) System to Inline Type Square Baler and Strength Analysis of Cutting Blades

Soner Duran^{1*}, Selim Çetin¹, Derya Kılıç¹, Ali Ergan², Sertaç Coşman², Ahmet Uyumaz²

¹Kayhan Ertuğrul Makine ARGE Bölümü, Burdur, Türkiye

²Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Burdur, Türkiye

ÖZ: Tarım sektöründe hasat aşamasında kullanılan balyalama, hava koşullarından en az etkilenecek düzeyde yem bitkileri ve hububat saplarının depolanmasını sağlayan bir işlemdir. Balya makineleri kare balya ve yuvarlak balya makineleri olarak iki tipe ayrılabilir. Bu çalışmada mevcut teknolojiye kare balya makinesine opsiyonel şekilde adapte edilebilen haşbay sistemi eklenerek Inline Tip Kare Balya Makinesi (KE520) geliştirilmiştir. Haşbay sistemi kullanılarak daha ince kıyılan mahsulleri hayvanlar daha rahat tüketmekte, verimlilik arttırılmaktadır. Haşbay sistemi ile mahsullerin ince kıyılması için ayrı bir makineye olan ihtiyaç ortadan kaldırılmaktadır. Üretilen makinenin saha denemeleri Burdur ve çevresinde, Konya ve Aydın'da başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte haşbay sistemine sahip makinede en büyük problemlerden biri olan kesici bıçakların hasar görmesidir. Bu amaçla St37, St44, AISI 304 ve AISI 5630 kalite çelik malzemesine sahip kesici bıçaklar Ansys programında modellenmiş, farklı basınçlar ile statik mukavemet analizi gerçekleştirilmiştir. Haşbay sistemine makinede kullanılan kesici bıçakların mukavemet analizi Ansys Workbench programı ile yapılmıştır. Kesici bıçaklar üzerine uygulanan basınç arttıkça gerilme ve toplam deformasyon değerlerinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Balya, Kare Balya Makinesi, Haşbay Sistemi, Bıçak

ABSTRACT: Baling is a process that used during harvesting phase in agricultural sector, ensures the storage of forage crops and grain at the level that will be least affected by weather conditions. Balers can be divided into two types as square balers and round balers. In this study, an Inline Type Square Baler (KE520) was developed by adding the hashbay system to our existing technology square baler. Animals consume more finely chopped crops using the hashbay system, and productivity is increased. The need for a separate machine for finely chopping the crops is eliminated with the hashbay system. Field trials of the produced machine were carried out successfully in Burdur and its surroundings, Konya and Aydın. In addition, one of the biggest problems is the damage of cutting blades. Therefore, cutting blades having St37, St44, stainless steel and 5630 stell material were modelled using Ansys program and static strength analysis was carried out with different pressures. The static strength analysis of the cutting blades that are used in the machine having hashbay system was made with Ansys Workbench program. It was seen that stress and total deformation values increased with the increase of applied pressure on cutting blades.

Keywords: Bale, Square Baler, Hashbay System, Blade

1. Giriş

Türkiye'de tarım sektörünün %67'lik kısmını tarla bitkileri olan buğday, arpa, yulaf, şeker pancarı ekimi oluşturmaktadır. Bu tarla bitkileri hayvan yemleri için de önemli bir yer tutmaktadır (Tan ve Temel, 2017). Beslemede kullanılan mahsulün yetiştirilmesi kadar hasat edilmesi ve depolanması da önemli bir konu olarak öne çıkmaktadır. Üretim zincirinin makineleşmesi, manipülasyon ve nak-

liye kolaylığı, düşük depolama gereksinimleri ve esnekliği, düşük insan gücü gereksinimleri nedeniyle, balyalama tarım sektöründe büyük ilgi görmektedir [(Bautagung ve Pöllinger, 2003), (Shinners ve ark., 2009), Van Soest ve ark., 1991]]. Ayrıca hasat sonrası biokütle kayıplarının önemli ölçüde azaltabilmesi de elzemdir [(D'Amours ve Savoie, 2005),(Maguire ve ark., 2007)]. Balya makineleri, gevşek ot veya samanı toplayan, eşit boyut ve ağırlıktaki balyalar halinde sıkıştırılan ve bunları sicim vasıtasıyla

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

Geliş Tarihi / Received Date: 29.03.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 26.06.2023



la bağlayan, bu işlemleri operatörlerin güvenlik gereksinimlerine uygun olarak gerçekleştiren makinelerdir (Cerruto ve ark., 2018),(Pascuzzi ve ark., 2016), (Pascuzzi ve Santaro, 2015), (Pascuzzi ve ark., 2017)].

Ülkemizde yoğun olarak yetiştirilen buğday, arpa, yulaf, pirinç, tritikale, fiğ, mısır vb. tahılların başaklarından ayrılmasının ardından bitkinin geriye kalan kısımlarının balyalama makinesi aracılığıyla sıkıştırılmasıyla elde edilen saman balyaları çiftçiler/üreticiler tarafından aktif olarak kullanılmaktadır. Besleme yapılacak ürünün raf ömrünün uzun olması, istiflenecek alanı olabildiğince karlı kullanarak depolama masrafının en aza indirgenmesi, beslemede kolaylık sağlanması gibi avantajlara sahip balyalama işleminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar saman ağırlığı 35 kg'a kadar olan küçük dikdörtgen balyalar, saptta 245 ile 400 kg ve 300 ile 400 kg aralığında olan büyük yuvarlak balyalar ve saptta 120 ile 600 kg ve samanda 200 ile 900 kg aralığında olan büyük kare balyalardır (Guerrieri ve ark., 2019).

Köşeli balya veya daha sık kullanılan adıyla Kare balya makineleri sahadaki kullanıcılar tarafından büyük rağbet görmektedir. Özellikle kendi mahsulünü saklayan çiftçi veya küçük çaplı müteahhitlik yapan şirketlerce, kısmen de büyük işletmelerce kullanılmakta olup pek çok kesime hitap etmektedir. Çünkü küçük boyutlarda imalatı yapılan kare balya makinelerini çekmek için gerekli traktör motor gücü azalmakta, yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. Küçük kare balyalar boyutları ve ağırlıkları sebebiyle insan gücüyle istiflenebilmektedir. Dolayısıyla istenilen bölgeye herhangi bir aparat veya makine gereksinimi olmadan istiflenebilirler. Kapladığı hacimsel alan sebebiyle büyük balyalara göre oldukça küçük yer kaplamaktadır [(Shinners ve ark., 2009), (Van Soest ve ark., 1991)]. Bunun yanında küçük kare balya makinelerinde bulunan mekanik sistemler ve parçalar büyük kare balya makinelerine göre daha az kompleks yapıda ve daha küçük boyutlardadır. Küçük kare balya makinelerinde bulunan bu aksamlara bir çiftçinin müdahalesi mesafe ve ağırlık bakımından oldukça kolaydır.

Balya makinelerinde kullanılan materyalin seçimi makinenin verimi ve işlevsellik açısından azami öneme sahiptir. Özellikle kesici, kıyıcı özelliği olan bıçaklar zamanla hasar görmekte ve revize edilme ihtiyacı doğmaktadır. Bu kapsamda uygun malzeme seçimi hem verimlilik hem de maliyet açısından önemlidir. Literatür çalışmaları incelendiğinde kulaklı pulluklara alternatif kullanılan çizelde sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyon ile aletin hasarsız şekilde çalıştığı görülmüştür (Çelik ve ark., 2007). St37 çeliği ile yapılan bir çalışmada 3 mm kalınlığındaki malzeme, Ansys paket programı kullanılarak üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Analiz sonuçlarında mekanik gerilimin ve mesnetlere uygulanan etkinin basınca göre arttığı görülmüştür (Taşkaya, 2017). Bir başka çalışmada balya makinesinde farklı boru kalınlıklarına sahip sarma koluna gelen kuvvet ve gerilme değerleri Ansys programı ile belirlenmiştir. Boru kalınlığı azaldıkça maksimum

gerilme değerlerinin arttığı görülmüştür (Duran ve ark., 2021). Toprak işleme ve tarım aletlerinde yaygın bir şekilde kullanılan 5630 kalite çeliği ile pulluk uç demirinin aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Çelik dolgu kaynak metodu ile oluşturulan sert yüzeyde aşınma direncinde %50 oranında artış sağlandığı görülmüştür (Selçuk, 2014). Tarım aletlerinde kullanılan standart dışı çelik, St52 ve St37 çeliklerinin aşınma özellikleri araştırılmıştır. 10,20 ve 30 N yüklerde yapılan testlerde yük arttıkça aşınma iz derinliğinin ve genişliğinin arttığı görülmüştür (Lüle ve Koç, 2022).

Bu çalışmada Kayhan Ertuğrul Makina Ar-Ge Merkezi tarafından geliştirilen büyük kare ve rulo balyalarda kullanılan otomatik haşbay tekniği inline küçük kare balya makinelerine uyarlanmış, tasarlanmış ve imal edilmiştir. Büyük kare balya ve rulo balya makinelerinin haricinde inline tipi küçük balya makinelerinde kullanılan bu teknik ile kullanıcı iki farklı makineye ihtiyaç duymadan mahsulünü toplayabilmektedir. Bu noktada yerli pazarda ilk olma özelliği taşımaktadır. Aynı zamanda haşbay tekniğine sahip makinede kullanılan ve makinenin çalışması sırasında hasar görebilen farklı malzemelerdeki (St37, St44, AISI 304 ve AISI 5630 30MnB5 kalite çelik) kesici bıçaklar Ansys Workbench student versiyonu paket programı ile modellenmiş ve farklı basınçlarda mukavemet analizi gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Haşbay Sistemine Sahip Kare Balya Makinesi

Haşbay sistemleri balya makinelerinde, mahsulün parçalanarak balyalanmasını sağlayan sistemlerdir (Saman balyası, 2021). Haşbay sistemleri; bir adet rotor, farklı adetlerde bıçak dizilimleri ve bir adet kontra sistemi gibi mekanik aksamlardan oluşmaktadır. Tasarlanan haşbay sisteminin benzeri yalnız büyük kare balya makinelerinde ve rulo balya makinelerinde kullanılmasına rağmen daha önce inline tip küçük balya makinelerinde denenmediği görülmektedir. Geliştirilen teknikte haşbay sistemleri istenildiğinde devreye alınıp istenildiğinde devre dışı bırakılarak makinenin haşbaylı veya haşbaysız olarak çalışmasına olanak sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada ekonomik ve ergonomik ihtiyaçlar göz önüne alınarak geliştirilen inline tip kare balya makinesi (KE 520) Şekil 1-a'da görülmektedir. Az enerji ve maliyet ile mahsulün toplanabilmesi hedeflenmektedir. Makinenin temel bileşenleri olan haşbay sistemi, toplama sistemi, bağlama sistemi ve arka çeki okudur. Geliştirilen KE520 kare balya makinesinde 26 adet rotor laması, 13 adet değiştirilebilir ve hidrolik açılır kapanır haşbay bıçakları bulunmaktadır (Şekil 1-b).

KE 520 kare balya makinesinde bulunan toplama sistemi 5 tırmıklı olup, genişliği 1940 mm'dir (Şekil 2-a). Geliştirilen makinede opsiyonel olarak iki farklı tipte (cormick ve deering) bağlama grubu bulunmaktadır. Makinenin arka kısmında bulunan arka çeki oku ile toplama kolaylı-

ğı için balya istifleyici takılabilmektedir. Bu durum balyaların istiflenmek üzere taşınması sürecini hafifletir, iş verimini ve mahsulün kalitesini arttırır (Şekil 2-b).

Makinenin şanzıman devirlerinde yapılan iyileştirmeye birim zamanda toplanan mahsul miktarı artırılarak yakıttan tasarruf sağlanmaktadır. Engebeli arazide makinenin çeki oku sisteminde yapılan değişiklikle traktörü devirme durumu oluşturmamaktadır. Ayrıca dingilin sökülüp takılabilir yapılması ile arıza bakım masrafları azaltılmaktadır.

Çalışma Prensipleri

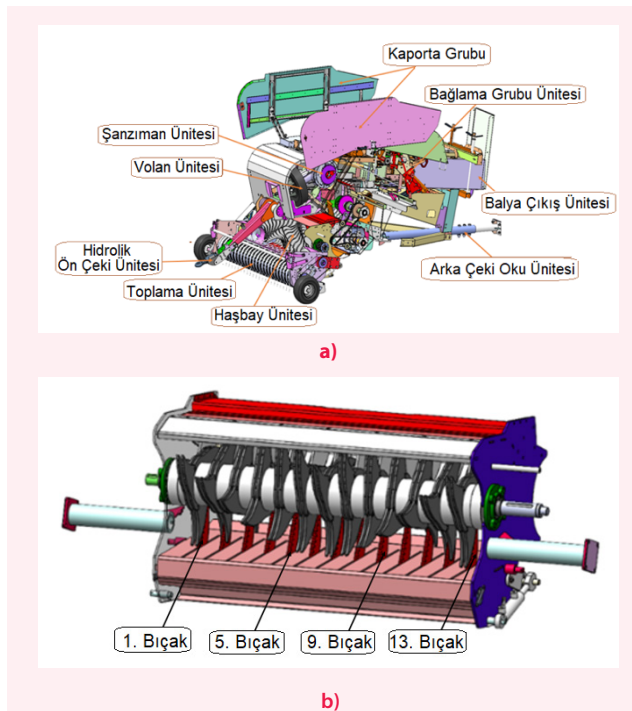
Klasik kare balyalar dikdörtgen prizması şeklinde köşeli tiptir. Köşeli balyalar yaygın olarak 914×355×457 mm (22,7–36 kg), 914×406×457 mm (32–41 kg), 1219×406×610 mm (57–68 kg), 2444×1220×1220 mm (908 kg) boyutlarındadır. İlk 2 boyutta olan balyalar 2 noktadan, üçüncü boyuttaki balyalar 3 noktadan ve son boyuttaki balyalar 6 noktadan bağlanır. Balyaların kütlesi balyalanan otun nemine, cinsine, balyanın boyutuna ve tipine bağlıdır.

Yerden toplama sistemi ile alınan ve tercihe göre haşbay bıçakları ile ince kıyılan mahsul piston hareketleri ile itilerek sıkıştırılır. Dügümlenme sistemi devreye girerek 2 veya 3 (tercihe göre) noktadan düğümler makine arka orta kısımdan kare balya haline gelen ürünü tarla zeminine bırakır. Ot, yonca, sap vb. yemlik bitkiler ve balyalanabilecek malzemeler traktör tarafından çekilen balya makinasının tırmık (pick-up) ünitesi tarafından toplanır. Daha sonra orijinal tasarım olan kıyıcı-kesici ünite- de 4-10 cm uzunluğundaki parçalara ayrılarak aktarma yabalarının olduğu bölüme gönderilir. Buradan yabalar yardımıyla yukarıdaki sıkılaştırma ünitesinin içinde hareket eden pistonun önüne atılır. Atılan mahsul kapalı

bir odada belirli engelleyiciler ile sıkışarak kuyruk ünitesi kısmına doğru itilir. Sıkıştırılarak kare balya haline gelen ürün 2 veya 3 yerden polimer ip ile bağlanarak tarla zeminine bırakılır.

Normalde ortadan sıkıştırma pistonlu in-line balya makineleri traktörün tekerlek izini ortalamak için çekilen tarladaki malzemeleri toplayıp balya haline getiren küçük kare balya makinalarıdır. Ancak bu makineler parçalayıcı kesici üniteleri olmadığı için söz konusu malzemeleri parçalayıcı kesememekte, küçük parçalar haline getirmekte zorlanmaktadır. Yapılan tasarımda in-line makineye Haşbay sistemi eklenmiş olup bu sistemle malzemeler parçalanmakta, küçük parçalar haline getirilmekte, bağlama düzeneği ile bağlanıp balya haline getirilmektedir. Makinenin işlevi açısından en önemli parçalardan biri kesici bıçaklardır. Bu çalışmanın diğer kısmında haşbay sistemine sahip makinede kıyıcı bıçaklar Ansys programı ile modellenmiş, statik mukavemet analizi gerçekleştirilmiştir. Bu noktada bıçaklarda kullanılan çelik malzemelerin bazı mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Malzemelere uygulanan gerilim, basınç ve uygulanan yüzey alanı arasında Eş.1’de belirtildiği gibi bir ilişki bulunmaktadır. gerilmeyi F uygulanan kuvveti, A0 ise kesit alanını göstermektedir. Bununla birlikte malzemeye uy-



Şekil 1. a) KE 520 kare balya makinesinin gösterimi b) KE 520 kare balya makinesinde uygulanan haşbay sistemi gösterimi



Tablo 1. Mukavemet analizinde kullanılan malzemelerin bazı mekanik özellikleri [(Selçuk, 2014), (Taşkaya, 2017), (Çelik ve ark., 2007), (AISI 304 1.4301, 2023), (Technical Data Sheet, 2023), (Aminzadeh ve ark., 2020), (Defence metal; AMS 5630, 2023), (St44 S275JR Çelik Özellikleri, 2023), (Steel Grades, 20239, (Material Data Sheet, 2023),(Data Table for:Carbon Steel:St44-2, 2023), (AMS 5630, 2023),(Tuğan ve ark.,2019), (Material Data Sheet Steel Grade, 2023)]

	St37	St44	AISI 304	AISI 5630
Yoğunluk [g/cm ³]	7,85	7,865	7,75	7,8
Young modülü [MPa]	2x10 ⁵	2,1x10 ⁵	1,93x10 ⁵	2,22x10 ⁵
Poisson oranı	0,3	0,285	0,31	0,3
Akma dayanımı [MPa]	235	275	210	363
Termal iletkenlik [W/mK]	42,7	40-45	17,2	24,2

gülenen gerilim ile şekil değişimleri meydana gelmektedir. Bu durum Hooke kanunu ile açıklanmaktadır (Eş.2). [(Gere ve Goodno, 2014), (Potter ve Nash, 2019), (Outokumpu Oyj., 2017)].

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2)$$

Burada sırasıyla malzemedeki elastisite modülünü ve şekil değişimini ifade etmektedir. Malzemedeki birim şekil değiştirme Eş.3'deki gibi ifade edilebilir.

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (3)$$

Bu eşitlikte e birim şekil değiştirme miktarını, L deformasyondan sonraki boyu, L₀ ise deformasyondan önceki boyu göstermektedir (Gere ve Goodno, 2014; Potter ve Nash, 2019; Outokumpu Oyj., 2017).

3. Bulgular ve Tartışma

Saha Testleri

KE 520 makinesinin çekilir tip olması avantajı kullanılarak arkasına balya baron veya balya istifleyici makineler takılması sayesinde kare balya makinesi, kombine bir makine haline de getirilebilmektedir. Bu durum iş, zaman ve yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Ülkemizde üretilen ve sıklıkla kullanılan çekilir tip makinaların çoğu mahsulü traktörün sağ arkasından toplamaktadır. Operatörün makineyi otların hizasında tutmak için traktörün gidiş yönünü doğru bir şekilde ayarlamasını gerektirmektedir. Bu durum özellikle tecrübesi az operatörleri zor durumda bırakmaktadır. KE 520 ise mahsulü orta kısımdan alıp kare balya haline getirmektedir. Makine traktörün tekerlek izlerini takip edeceğinden operatörün ekstra çaba harcamadan mahsulün toplanması sağlanabilmektedir.

Tasarlanan ve imal edilen makinenin (KE520) saha çalışmaları günde 8 saat çalıştırılmak üzere Burdur, Konya ve Aydın çevrelerinde Tablo 2'de verildiği gibi yonca, yulaf ve tritikale mahsulleri ile yapılmıştır. Haşbay Sistemine sahip İnline Tip Kare Balya Makinesinin saha denemeleri 90 HP Erkunt traktör ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan saha denemelerinde 9 litre yakıt ile 1000 adet balya yapıldığı görülmüştür. Kullanılan traktörün teknik özellikleri Tablo 3 de belirtilmiştir.

Tablo 2. Burdur, Konya ve Aydın çevrelerinde yapılan saha denemeleri

Yer	Burdur Askeriye Köyü		Konya ve çevresi	Aydın ve çevresi
	Cinsi	Yonca	Yonca	Tritikale ve Yulaf
Ürün	Yaş/Kuru	Kuru/Yaş	Kuru	Kuru

Saha çalışmalarında tritikale mahsulü yarı kuru iken deneme yapılmış olup rotorda sıkışmaların meydana geldiği

Tablo 3. Saha denemelerinde kullanılan traktörün teknik özellikleri

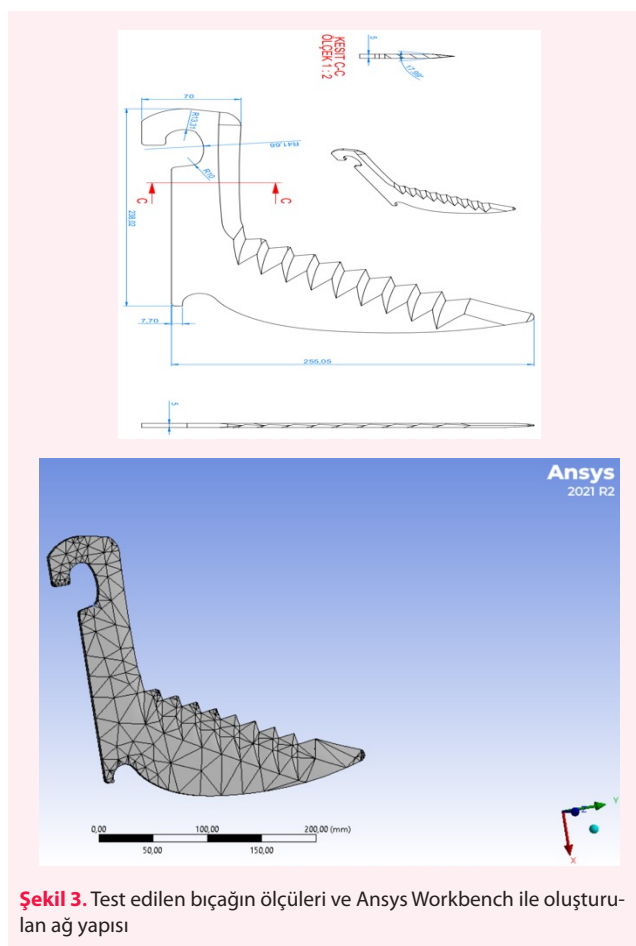
Model	Kıymet
Seri	Lüks
Çekiş	4 WD (Dört Çeker)
Beygir Gücü	92,5 HP @ 2200 dev/dk
Arazi Tipi	Tarla Tipi
Vites Sayısı	16 İleri / 16 Geri- Mekanik
Silindir Hacmi / Sayısı	4,4 Litre / 4
Motor Tipi	Perkins 1104 D- 44TA
Maksimum Tork	393 Nm @ 1400 dev/dk
Kaldırma Kapasitesi	3900 kg

görülmüş, rotor zincirinde kırılmalar meydana gelmiştir. Şanzıman zincir dişlisi üzerinde bulunan 3 adet civatanın kesildiği görülmüş, şanzıman mili ile sigorta flanşı arasına kama vazifesi görece M8 civata ile sorun çözülmüştür. Denemelerde tırmık takılı olmamasından kaynaklı belirli yoğunlukta mahsul rotora giremeyip sıkışmalar ve yığılmalar görülmüştür. Ayrıca 1 seri vites ileri yonca mahsulünde makinede herhangi bir sorun gözlemlenmemiş, sorunsuz biçimde 45 balya yapılmıştır. Yapılan saha çalışmaları incelendiğinde, karşılaşılan problemler neticesinde makine konstrüksiyonun da farklı tasarım denemeleri yapılmıştır. Özellikle mahsulün akış yolunda yaşanan problem, yabaların ve rotorun çalışmasında birbiri ile uyumsuz konumda ve açıda olması, sıkışma ve sigorta civatalarının çok sık kesilmesine sebep olduğu görülmüştür. Bu problem, krank açısı ve rotorun konumu değiştirilerek çözülmüştür. Yapılan revizyon ile ana şasi, yaba krankı ve kaynak aparatı yeniden üretilmiştir. Bununla birlikte rotor bıçaklarının ve rotorun yapısının çok sık olması sıkışmalara ve ürün akıcılığının yavaşlamasına neden olmuştur. Bu noktada rotor bıçak sayısı 19 adetten 13 âdete indirilmiştir. Rotor yaprakları da bu bıçak sayısına göre tekrar revize edilmiş ve haşbay ünitesi komple yeniden tasarlanarak üretilmiştir. Ayrıca makinenin bağlama grubunda mukavemeti arttırmak için sac kalınlığı 3 mm'den 4 mm'ye çıkarılmıştır. Burdur, Konya ve Aydın çevrelerinde günlük 8 saatlik kuru/yaş yonca, yulaf ve tritikale ile yapılan saha çalışmalarında makinenin çalışma performansının ürünün cinsine ve kuru ya da yaş olmasına bağlı olduğu görülmüştür. Kuru mahsullerin balyalanmasının yaş mahsullere oranla daha kolay olduğu yapılan saha çalışmalarında ortaya çıkmıştır. Haşbay ünitesi kullanımı ile ürün boyutu ürün cinsine göre değişiklik göstermektedir. Buğdayda haşbay ünitesi kullanılarak kıyılan buğday boyutu 8-17 cm aralığında olmaktadır. Arpada bu boyut 5-15 cm aralığındadır. İnline Tip Kare Balya makinelerinde yerden toplama sistemi ile alınan ve tercihe göre haşbay bıçakları ile ince kıyılan mahsul piston hareketleri ile itilerek, sıkıştırılarak balya yapılmaktadır. Haşbay sistemi toplama ünitesinden sonra gelmektedir. Tarladaki ürün toplama sistemi ile kaldırıldığından haşbay ve haşbaysız kullanımda tarlada kalan ürün miktarının aynı olduğu görülmektedir. Tarımsal mekanizasyonda balyalama işleminin yanında yükleme ve taşıma amaçlı araçların tasarımları göze çarpmaktadır. Bu amaçla farklı atıkları toplayabilen, taşıyabilen, römör-

ka yüklemeye yapabilen hidrolik ünitelerle desteklenen araç tasarımları görülmektedir (Uzun ve Kayacan, 2019). Hasat işlemi için mekanizasyon kullanılmaya imkânlarının araştırıldığı bir çalışmada hasat ekiplerini ihtiva eden bir matematiksel model geliştirilmiş, ele alınan sebzelerden mekanizasyona en uyumlu olanların pırasa ve marul olduğu ifade edilmiştir. Yapılan çalışmada pırasa hasadı yapabilen bir makine tasarlanmış ve üretilmiştir (Uğurluay, 2008). Farklı bir çalışmada traktöre önden bağlanabilecek çatallı bir istiflecinin tasarımı ve yükleyici sisteminin özelliklerinin ortaya konması amaçlanmıştır. 5880 N kaldırma kapasitesine sahip bir çatallı yükleyicinin yapıldığı çalışmada 0° ve 10° zemin eğiminde test edilmiş, 10° eğime kadar sistemin dengesini kaybetmediği görülmüştür. Üretilen sistemde yükler farklı şekillerde taşınmış ve istiflenmiştir (Arslan ve Aydın, 2015).

Kesici Bıçakların Mukavemet Analizi

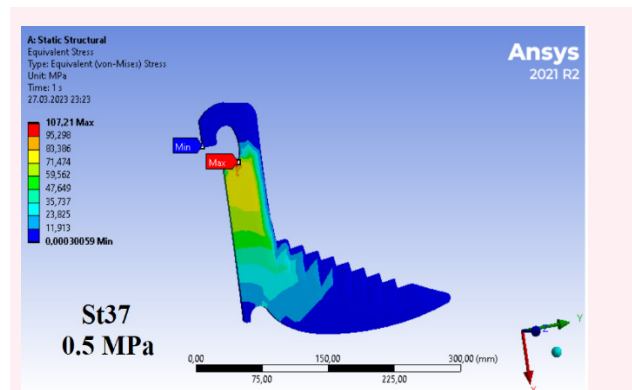
Haşbay sisteminde en önemli fonksiyonu üstlenen parçalardan biri kesici bıçaklardır. İşlem esnasında taş, sert madde vb. cisimlerin kesici bıçaklara çarpması kesici bıçakların ömrünü azaltmaktadır. Bu kapsamda çalışmanın diğer aşamasında haşbay sistemi eklenen inline tipi kare balya makinesinde kıyıcı bıçakların mukavemet analizi gerçekleştirilmiştir. St37, St44, AISI 304 ve AISI 5630 malzemesine sahip kesici bıçakların kesici yüzeylerine 0,3, 0,5, 0,7 ve 0,9 MPa değerlerinde basınçlar uygulanarak statik mukavemet analizi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modelde 2382 düğüm noktası ve 994 eleman bulunmaktadır. Test edilen bıçağın ölçüleri ve



Şekil 3. Test edilen bıçağın ölçüleri ve Ansys Workbench ile oluşturulan ağ yapısı

Ansys Workbench ile oluşturulan ağ yapısı Şekil 3'te görülmektedir. Maksimum gerilme ve toplam deformasyon değerleri incelenerek en uygun bıçak malzemesi belirlenmeye çalışılmıştır.

St37, St44, AISI 304 ve AISI 5630 test malzemelerine ait gerilme değerleri değişimleri Şekil 4'de görülmektedir.



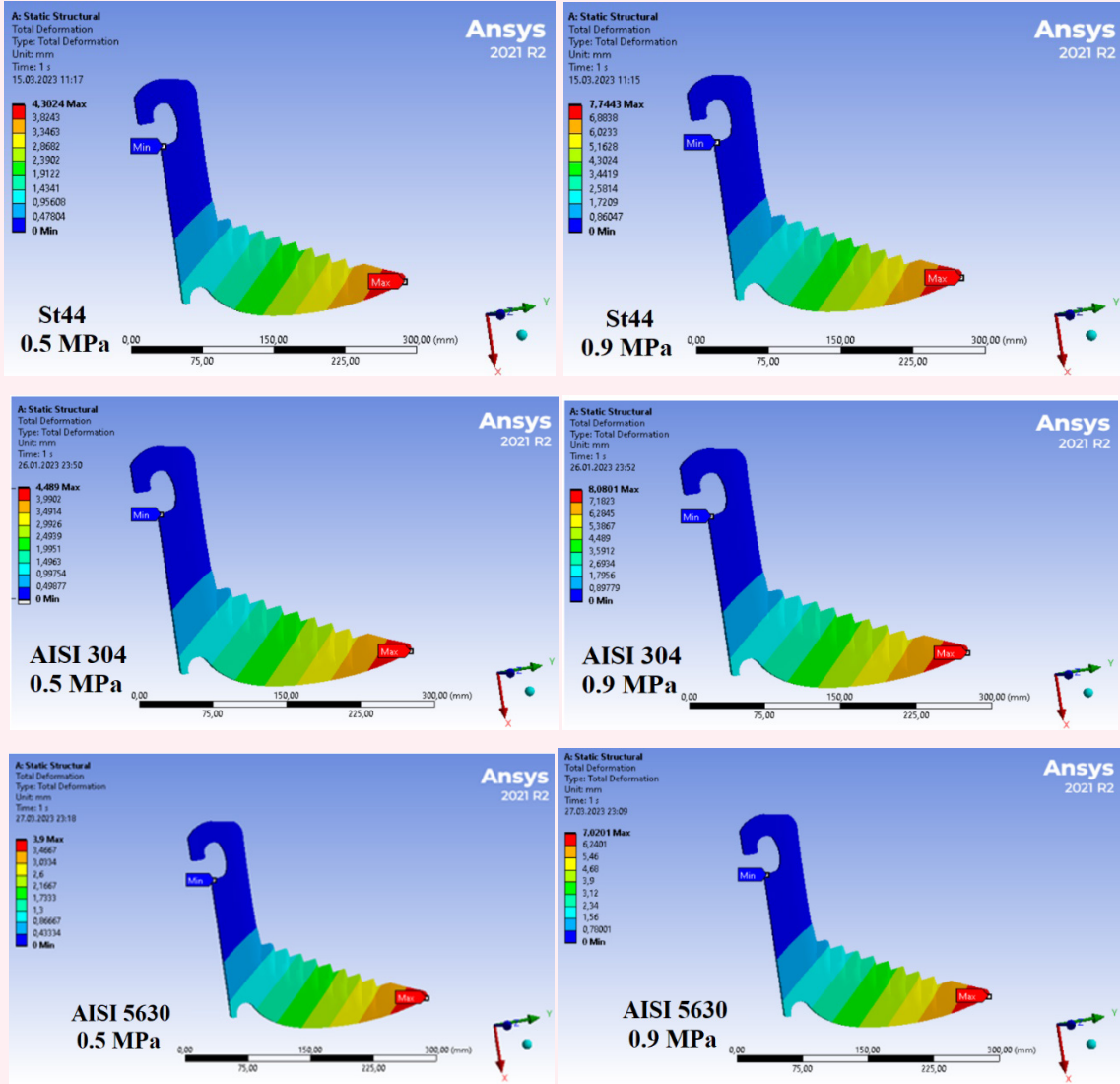
Şekil 4. St37, St44, AISI 304 ve AISI 5630 test malzemelerine ait gerilme değerleri değişimleri

St37, St44, AISI 304 ve AISI 5630 test malzemelerine ait toplam deformasyon değerleri değişimleri Şekil 5'de görülmektedir.

Analiz edilen malzemelere ait farklı basınçlardaki maksimum gerilme ve deformasyon değerleri sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmektedir. Analiz malzemelerine ait fiziksel değerler Ansys programına girilmiş ve St37, St44, AISI 304 ve AISI 5630 malzemeleri oluşturulmuştur. Elde edilen malzemeler farklı basınçlarda yüke maruz bırakılarak gerilme ve deformasyon değerleri incelenmiştir. St37 çelik ile yapılan çalışmada malzemeye orta bölgeden 50 MPa basınç uygulanarak mekanik analiz gerçekleştirilmiştir. Basınca göre mekanik dağılımların mesnetlere uygulamış oldukları etkinin arttığı görülmüştür (Taşkaya, 2017). Bununla birlikte çelik konstrüksiyona sahip yapılarda meydana gelen deformasyon ve gerilmeler incelenmiştir. Ansys Workbench ile gerçekleştirilen bir çalışmada dikdörtgen ve T profil malzemelerin teorik ve sayısal hesabı yapılmıştır. Dikdörtgen profilin en düşük eğilme gerilmesinin 60 MPa ve sehim miktarının 0,201 mm, T profilin en fazla eğilme gerilmesinin 215,77 MPa ve sehim miktarının 0,539 mm olduğu belirtilmiştir (Korucu ve ark., 2019). Yem karma ve dağıtma makinesinin tasarlandığı bir çalışmada makinenin aksı, şa-

Tablo 4. Analiz malzemeleri ile farklı basınçlarda elde edilen maksimum gerilme değerleri (Von-Mises)

Basınç (MPa)	0,3	0,5	0,7	0,9
St-37	64,326	107,21	150,09	192,98
St-44	65,772	109,62	153,47	197,32
AISI 304	63,325	105,54	147,76	189,97
AISI 5630	64,336	107,23	150,12	193,01



Şekil 5. St37, St44, AISI 304 ve AISI 5630 test malzemelerine ait toplam deformasyon değerleri değişimleri

Tablo 5. Analiz malzemeleri ile farklı basınçlarda elde edilen maksimum gerilme değerleri (Von-Mises)

Basınç (MPa)	0,3	0,5	0,7	0,9
St-37	2,5974	4,3291	6,0607	7,7923
St-44	2,5814	4,3024	6,0233	7,7443
AISI 304	2,6934	4,489	6,2845	8,0801
AISI 5630	2,3400	3,900	5,4600	7,0201

Tablo 6. Analiz malzemeleri ile farklı basınçlarda elde edilen emniyet katsayıları

Basınç (MPa)	0,3	0,5	0,7	0,9
St-37	3,8864	2,3319	1,6656	1,2955
St-44	4,1811	2,5087	1,7919	1,3937
AISI 304	3,2689	1,9613	1,4009	1,0896
AISI 5630	5,6422	3,3853	2,4181	1,8807

sisi ve karıştırıcı helezonu sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda aksın, şasinin ve karıştırıcı helezonun emniyet katsayılarının sırasıyla

17, 2,9 ve 1,9 olduğu görülmüştür (Şeflek, 2018). Tablo 6'da ise analiz malzemeleri ile elde edilen emniyet katsayıları görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada Kayhan Ertuğrul Makina Ar-Ge Merkezi tarafından geliştirilen İncine Tıp Kare Balya makinesine haşbay sistemi eklenmiştir. KE 520'de opsiyonel olarak kullanılabilen haşbay bıçakları istenilen durumlarda başka makinelere ihtiyaç kalmadan mahsulü gereken şekilde daha ince kıyarak balya haline getirebilmektedir. Normalde kıyılması gereken ürünlerde yem kırma/karma makineleri kullanılmaktadır. KE 520'de bulunan bu sistem başka bir makineye olan ihtiyacı ortadan kaldırarak kullanıcının maddi anlamda kar etmesini sağlamakta ve iş verimliliğini artırarak zamandan tasarruf sağlamaktadır. Saha denemelerinde 1000 adet balyanın yaklaşık 9 litre yakıt ile yapıldığı görülmüştür. Haşbay ünitesi kullanıldığında kıyılan buğday boyutunun 8-17 cm, arpada 5-15 cm aralığında olduğu görülmüştür. Bununla birlikte haşbay sisteminde kullanılan kesici bıçaklar farklı basınçlarda (0,3, 0,5, 0,7 ve 0,9 MPa) ve malzemelerde (St37,


St44, AISI 304 ve AISI 5630 kalite çelik) Ansys programı ile modellenmiş, statik mukavemet analizi gerçekleştirilmiştir. Bıçaklara uygulanan basınç arttıkça gerilme değerleri ve toplam deformasyon değerleri artmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde genel olarak tarım makineleri ve tarım aletlerinde kullanılan AISI 5630 kalite çeliğin bıçak malzemesi olarak verimli bir şekilde kullanılabilceği görülmektedir. Ayrıca basıncın artışı ile birlikte emniyet katsayılarının azaldığı görülmektedir.

Teşekkür


Bu çalışma ve proje Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tara-

findan Ar-Ge faaliyetleri 5746 sayılı kanun kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na teşekkür eder.

5. Orcid

Soner Duran  <https://orcid.org/0000-0001-7531-909X>

Selim Çetin  <https://orcid.org/0000-0002-6237-4986>

Derya Kılıç  <https://orcid.org/0000-0002-2018-0657>

Ali Ergan  <https://orcid.org/0009-0009-5552-1157>

Sertaç Coşman  <https://orcid.org/0009-0005-9360-216X>

Ahmet Uyumaz  <https://orcid.org/0000-0003-3519-0935>

Kaynaklar

- AISI 304 1.4301, Erişim Tarihi: 26 Mart 2023, <https://bircelik.com/tr/kategori/304-1-4301->
- Aminzadeha, A., Parvizi, A., Moradi M., (2020). Multi-objective topology optimization of deep drawing dissimilar tailor laser welded blanks; experimental and finite element investigation. *Optics and Laser Technology*, 125, 106029.
- AMS 5630 | Steel, Corrosion-Resistant, Bars, Wire, and Forgings, Erişim Tarihi: 26 Mart 2023, <https://titanium.com/ams-5630-specification/>
- Arslan, S., Aydın, İ., (2015). Küçük Tarım İşletmeleri İçin Basit Bir Önden Asılır Tip Çatallı Yükleyici. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 18(2):40-51.
- Bautagung, G., & Pöllinger, A. (2003). 63 Stallbau-Stallklima-Tierhaltung in biologischen Betrieben-Genehmigungsverfahren Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irdning Vergleich unterschiedlicher Heutrocknungsverfahren.
- Cerruto, E., Manetto, G., Santoro, F., & Pascuzzi, S. (2018). Operator Dermal Exposure to Pesticides in Tomato and Strawberry Greenhouses from Hand-Held Sprayers. *Sustainability*, 10, 2273; doi:10.3390/su10072273.
- Çelik, H.K., Topakçı, M., Yılmaz, D., Akıncı, İ., (2007). Çizelin Yapısal ve İşlevsel Elemanlarında Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Mukavemet Analizi. *Tarım Makineleri Bilimi Dergisi*, 3(2), 111-116.
- Data Table for:Carbon Steel:St44-2, Erişim Tarihi:26 Mart 2023, <https://www.steelss.com/Carbon-steel/st44-2.html>
- Defence metal, AISI 440C (1.4125),Erişim Tarihi: 26 Mart 2023, <https://www.defencemetal.com/aisi-440c-1-4125-2/>
- Duran, S., Coşkun, Y., Kılıç, D., Uyumaz, A., Zengin, B., (2021). Determination of the Load Applied to Bale Wrapping Machine Rotary Arm and Performing of Design Optimization, *Engineering Perspective*, 1(4):110-114.
- D'Amours, L., Savoie, P., S.(2005). Density profile of herbage silage in bunker silos. E library. Asabe.Org. Paper number 051051, 2005 ASAE Annual Meeting, doi: 10.13031/2013.19791.
- Gere, J.M., Goodno, B.J., (2014). Mukavemet. Nobel akademik Yayıncılık, Çevirmen: Okay, F., Sönmez, M., Kahraman, S., Özakça, M., Çuhadaroğlu, S.P., Özyazıcıoğlu, M., Ekmekyapar, T., Kahya, V., Cetişli, F., Özakça, M., Fırat, F.K.
- Guerrieri, A. S., Anifantis, A. S., Santoro, F., & Pascuzzi, S. (2019). Study of a large square baler with innovative technological systems that optimize the baling effectiveness. *Agriculture (Switzerland)*, 9(5), 86. doi:10.3390/agriculture9050086.
- Korucu, S., Gök, K., Tümsek, M., Soy, G., Gök, A., (2019). Farklı Profillere Sahip Kirişlerde Meydana Gelen Eğilme Gerilmesi ve Sehim Miktarının Teorik ve Nümerik Yöntemler ile Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*. 21(62):469-482.
- Lüle, F., Koç, V., (2022). Tarım Makineleri İmalatında Kullanılan ST52 -ST37 ve Standart Dışı Çeliğinin Pin On Disk Aşınma Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 538, S. 191-197.
- Maguire, S., Godwin, R., O'Dogherty, M.J., Blackburn, K., (2007). A dynamic weighing system for determining individual square bale weights during harvesting. *Biosystem Engineering*, 98,2, 138-145.
- Material data sheet, S275JR, Erişim Tarihi: 26 Mart 2023, <https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/s275jr/>
- Material data sheet steel grade, 30MnB5, Erişim Tarihi: 27 Mart 2023, <https://steelnavigator.ovako.com/30mnb5/pdf>
- Outokumpu Oyj., (2017). Handbook of Stainless Steel. Outokumpu Oyj Salmisaarenranta 11 00180 Helsinki, Finland.
- Pascuzzi, S., Blanco, I., Anifantis, A.S., Scarascia-Mugnozza, G., (2016). Hazards assessment and technical actions due to the production of pressured hydrogen within a pilot photovoltaic-electrolyser-fuel cell power system for agricultural equipment. *Journal of Agricultural Engineering*. XLVII:507, 88-93.
- Pascuzzi S, Santoro F., (2015). Exposure of farm workers to electromagnetic radiation from cellular network radio base stations situated on rural agricultural land. *Int J Occup Saf Ergon*. 21(3):351-8. doi: 10.1080/10803548.2015.1081774.
- Pascuzzi, Simone, Cerruto, E., & Manetto, G. (2017). Foliar spray deposition in a "tendone" vineyard as affected by airflow rate, volume rate and vegetative development. *Crop Protection*, 91, 34-48. doi:10.1016/j.cropro.2016.09.009
- Potter, M., Nash, W., (2019). Schaum's Outline of Strength of Materials. Seventh Edition (Schaum's Outlines) 7th Edition, McGraw Hill.
- Saman balyası, Erişim Tarihi: 26 Mayıs 2021, https://tr.wikipedia.org/wiki/Saman_balyası
- Selçuk, N., (2014). Toprak İşleme Tarım Makinelerinde Kullanılan 5630 Kalite Çeliğinin Aşınma Direncinin Değişik Yüzey Prosesleri İle İyileştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 27,28,56,57.
- Shinners, K. J., Huenink, B. M., Muck, R. E., & Albrecht, K. A. (2009). Storage Characteristics of Large Round And Square Alfalfa Bales: Low-Moisture Wrapped Bales. *Transactions of the ASABE*, 52(2), 401-407.
- St44 S275JR Çelik Özellikleri, Erişim Tarihi:26 Mart 2023, <https://>

- www.chncelik.com.tr/st-44-s275jr-celik-ozellikleri/
Steel Grades, Erişim Tarihi: 26 Mart 2023, <https://www.steel-grades.com/Steel-Grades/Carbon-Steel/St44-2.html>
- Şeflek, S., (2018). 1.5 m3 Hacimli Kendi Yürür Yem Karma ve Dağıtma Makinasının İmalatı ve İş Kalitesinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 1, 10-14, 38.
- Taşkaya, S., (2017). St 37 Çeliğinin Ansys Programında Basınca Bağlı Olarak Mekanik Gerilmelerinin İncelemesi. The Journal Of International Manufacturing and Production, Technologies. 39-46.
- Technical Data Sheet; Erişim Tarihi:26 Mart 2023 <https://www.spacematdb.com/spacemat/manudatasheets/440c.pdf>
- Tan, M., Temel, S., (2017). Doğu Anadolu Bölgesinin Farklı Ekolojilerinde Yetiştirilebilecek Ot ve Tohum Tipi Kinoa (Chenopodium quinoa Willd.) Genotiplerinin Belirlenmesi. Tübitak 1001 Projesi, Proje no:214O232.
- Tuğan, Ş., Ahlatçı, H., Türen, Y., Sun, Y., Özçelik, S., Gökalp, Y., Akkuş, A., Demirci, E., (2019). Effect of the Heat Treatment on the Severe Abrasive Wear Behavior of the 5630 Steel Anchor Used in Agricultural Area. UDCS'19 Fourth International Iron and Steel Symposium, 4-6 April, Karabük, 184-187p.
- Uğurluay, Ş., (2008). Çukurova Bölgesi'nde Bazı Sebzelerin Hasadında Teknik Başarıların Belirlenmesi ve Prototip Pırasa Hasat Makinası Geliştirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1,2,10,11,31,32, 135, 136.
- Uzun, O., Kayacan, R., (2019). Katı Atık Yükleme ve Taşıma Amaçlı Çok Fonksiyonlu Modüler Römorklu Araç Tasarımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23,(3):687-700.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. Journal of Dairy Science, 74(10), 3583–3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.

Agrivoltaik Sistemler ve Tarım Alanlarının Hibrit Kullanımı

Agrivoltaic Systems and Hybrid Use of Agricultural Fields

İbrahim Kırbas^{1*} 

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Burdur, Turkey

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

Anahtar Kelimeler: Agrivoltaik, Enerji, Güneş, Tarım Alanları

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

Keywords: Agrivoltaic, Energy, Solar, Farming areas

1. Giriş

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

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

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

Geliş Tarihi / Received Date: 25.07.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 21.09.2023



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

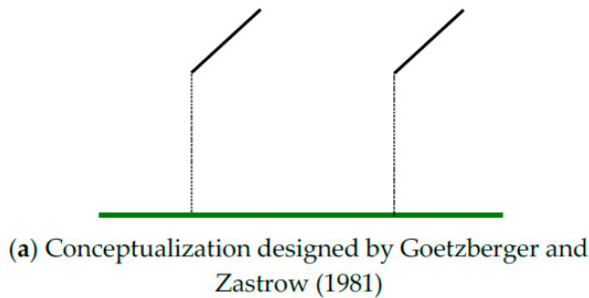
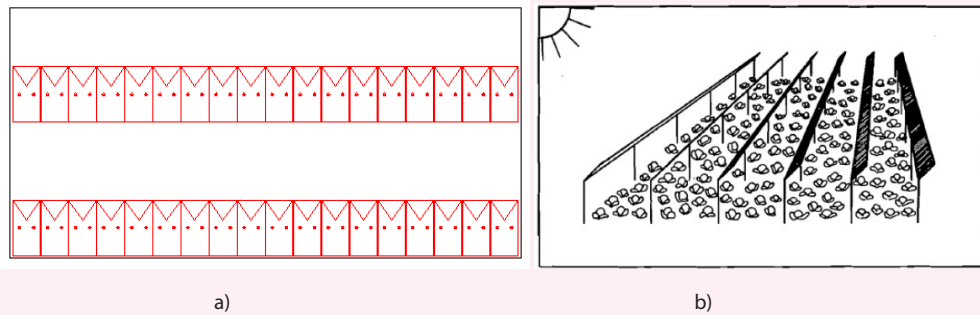
Agrivoltaik uygulamalarının avantajlarını ve dezavantajlarını kısaca özetleyecek olursak; Temiz enerji üretimi ile karbon emisyonlarının azaltılmasında yardımcı olacaktır. Gölgeleme sayesinde ürünlerin su tüketimlerinin azalmasına ve dolayısıyla su kaynaklarının verimli kul-

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

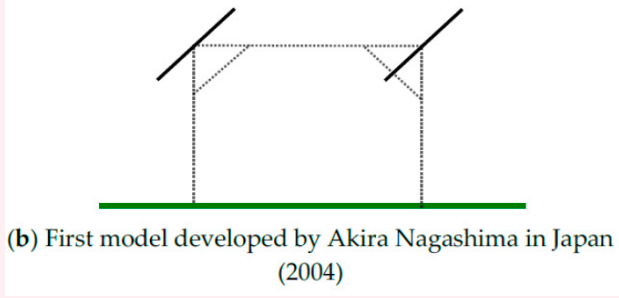
Bu çalışmada agrivoltaik sistemlerin tasarımında dikkate alınması gereken güneş panellerinin açısı, dizilimi, yerden yüksekliği ve taşıyıcı sistemler gibi ana değişkenler hakkında, ayrıca yetiştirilmesi mümkün olan bitkiler, bölgenin güneş potansiyeli ve iklimi gibi diğer değişkenlerin sistem verimine etkisi hakkında bilgiler verilmektedir. Çalışmanın asıl amacı Burdur ilinde 1000 m² arazi üzerine kurulacak olan bir agrivoltaik sistemin optimum koşullarının belirlenmesidir. Literatür bilgisi ve yapılmış olan uygulamalar göz önüne alınarak üç farklı sistem tasarımı yapılmıştır. Bu sistemler panel yerleşiminde yapılan düzenlemeler ve güneş takip mekanizması kullanımı sonucunda elektrik üretim miktarları bakımından incelenmiştir.

2. Yapılmış Çalışmalar ve Uygulamalar

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



c) Goetzberger ve Zastrow tarafından geliştirilen model (1981)



d) Nagashima tarafından geliştirilen model (2004)

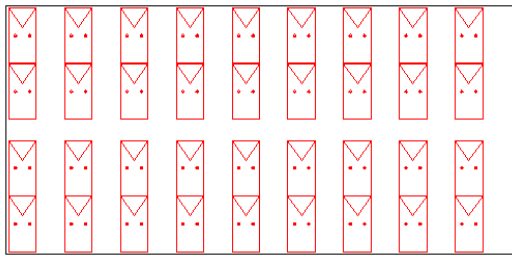
Şekil 1. Agrivoltaik sistemin ilk örnekleri

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

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

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

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

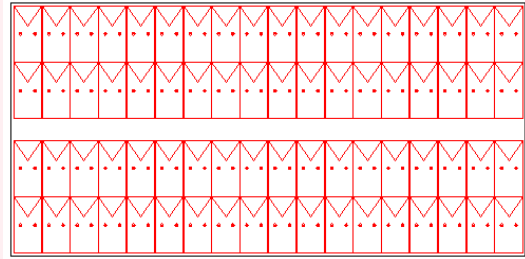


Şekil 2. Fransa'da Montpellier bölgesinde yapılan uygulama

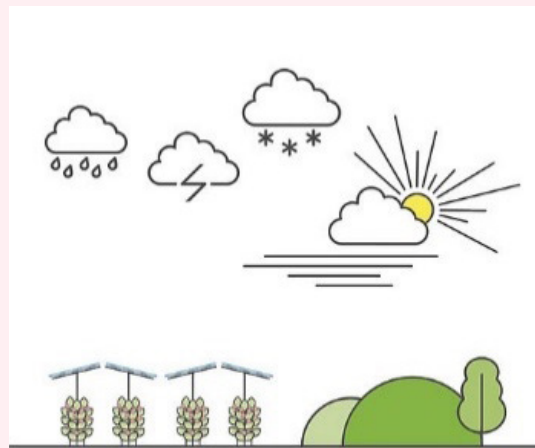
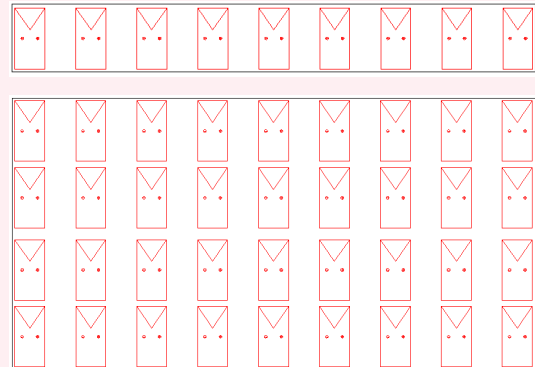
Fransa'da Montpellier bölgesinde kurulmuş olan sistemin sonuçları üzerine Sun'Agri firması tarafından yine Fransa'nın Doğu Pyrenean bölgesinde 4,5 ha üzüm bağı üzerine 2,2 MWp kapasiteli olarak inşa edilmiştir (Sun'Agri, 2022). Sistemin tam gölge oluşturması planlanmış, istenildiği takdirde tek eksen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

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

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



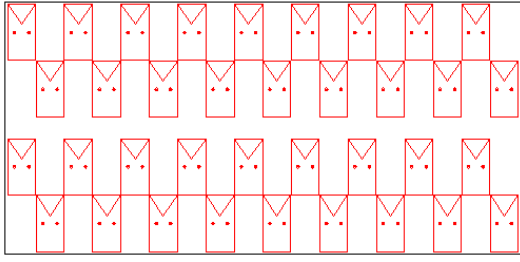
Şekil 3. Fransa'nın Doğu Pyrenean bölgesinde yapılan uygulama



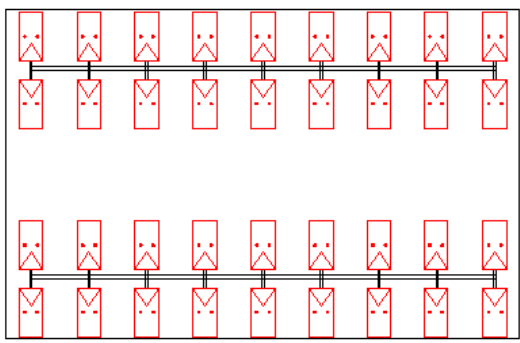
Şekil 4. Hollanda'nın Babberich kasabasında yapılan uygulama

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

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



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



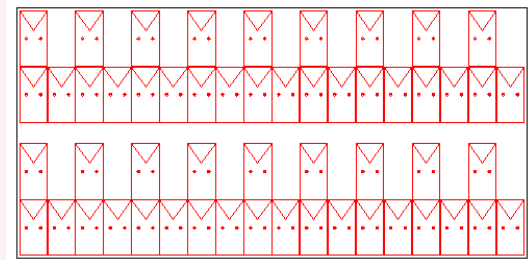
Şekil 6. İtalya'da yapmış olan ve çift sıra yarı gölgeli sistem

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

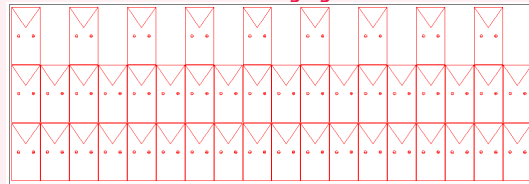
ve tüm bunları kapsayan mikro iklimin oluşturulması için birçok tasarım kriterinin göz önünde bulundurulması gerekir. Yere monte (zemin üstü) uygulamalarda panel dizilimlerini artırmak ya da azaltmak suretiyle istediğiniz gibi gölge oranını oluşturmak mümkündür. Yere monte uygulamaların en büyük dezavantajı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

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

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



%75 gölge

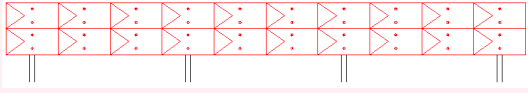


%84 gölge

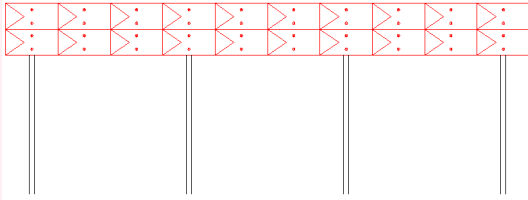


Şekil 7. Hindistan'ın Jodhpur'daki yere monte uygulaması

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



a) Guntramsdorf (Austria)



b) Donaueschingen (Germany)

Şekil 8. Dikey yerleştirilmiş çift yüzeyli panel uygulaması

3. Materyal ve Metot

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

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

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

4. Yetiştirilecek Bitki Seçimi

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

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

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

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

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

5. Fotovoltaik Sistem Modellemesi

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

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

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

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

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

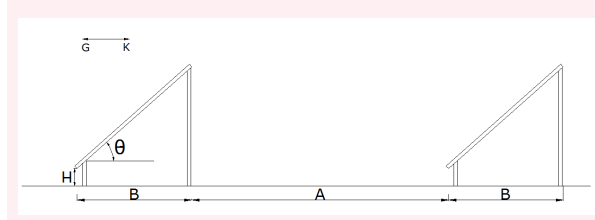
Tablo 1. Türkiye'nin tarım alanları (Bin Ha) (Tüik, 2022)

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

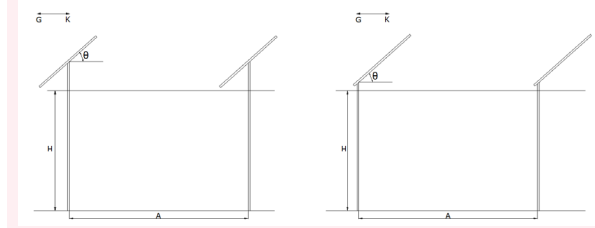
Tablo 1. Gölgede yetişen ürünler ve 2021 yılı üretim miktarları (Tüik, 2022; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022)

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

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



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



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

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

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

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

6. Yeni Tasarlanan Sistem

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

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

Arazi olarak 20 x 50 m (1000 m²) bir arazi düşünülmüştür. 20 m uzunluğundaki diziler arası 6 m boşluk bırakıldığı takdirde 9 dizi yapılacağı Şekil 11b'de görülmüştür.

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

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

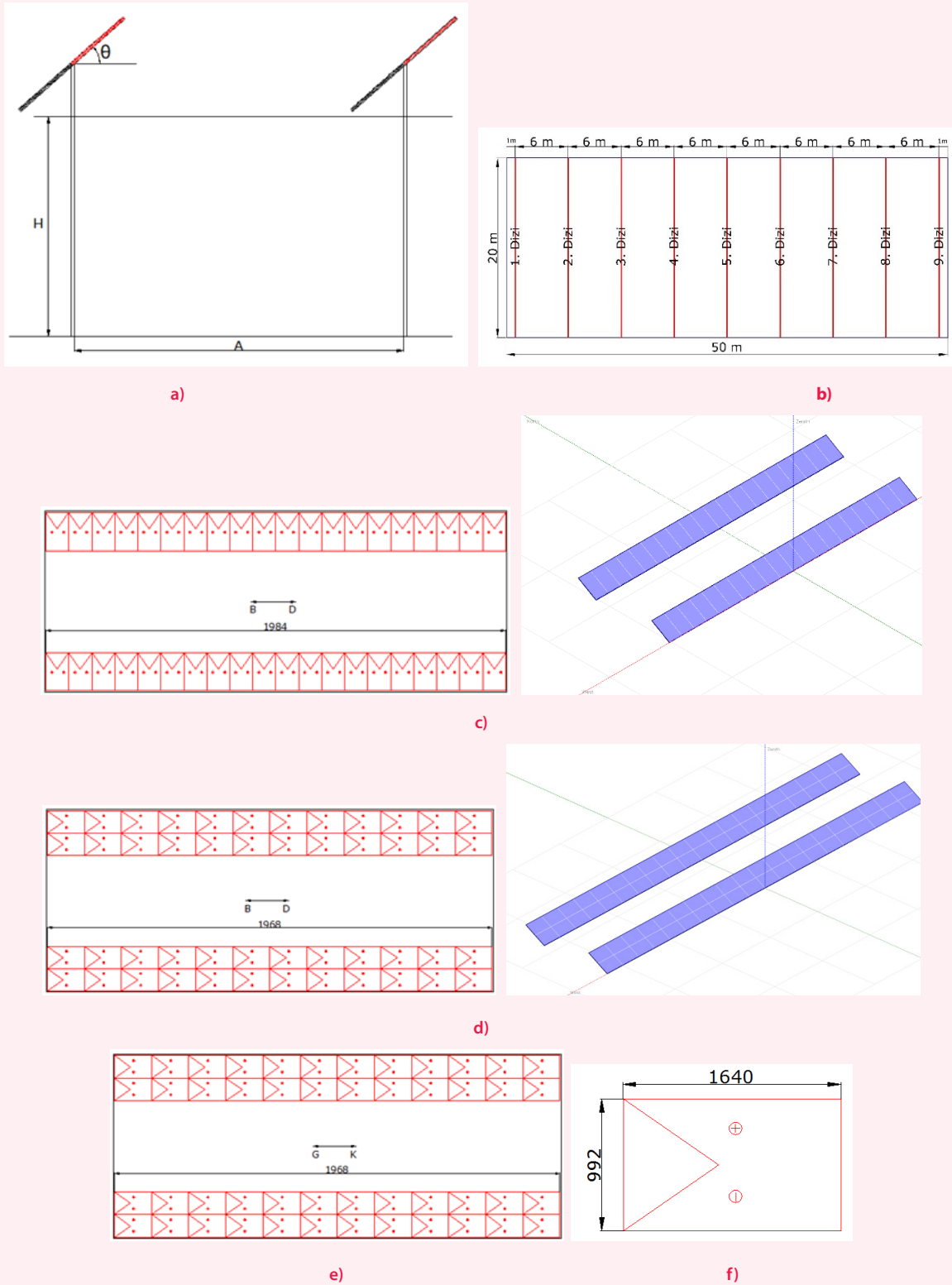
Yatay yerleşim: Yeni tasarlanan bu sistemde ise panellerin yatay çift sıra yerleşimi ile aynı uzunluk (20 m) üzerine 24 adet panel yerleşimine izin vermektedir. 9 dizide toplam 216 adet panel yerleştirmek mümkün olmuştur. Yeni tasarlanan sistem sabit yerleştirme açısı $\theta = 20^\circ$ ile doğu-batı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

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

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

7. Bulgular ve Tartışma

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



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

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

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

Küçükbaş Hayvancılıkta RFID Kaynaklı Kayıt Tutma Sistemi

RFID Based Recordkeeping System

Ali Kavurur^{1*} 

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokul, Burdur, Turkey

Öz: Bu çalışmada; küçükbaş hayvanların takibinin yapıldığı Radyo Frekansı ile Tanımlama Teknolojisi (RFID: Radio Frequency Identification) kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Örnek çalışma sahası olarak Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi (MAKÜ) küçükbaş hayvan çiftliği seçilmiş ve çiftliğin ihtiyaçlarına uygun olarak SQL veri tabanı C# programlama dili kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. RFID okuyucu olarak Agrident firmasının AWL 200 el terminali kullanılmıştır. Geliştirilen yazılım ile MAKÜ küçükbaş çiftliğindeki hayvanlara ait veriler RFID ile hızlı ve güvenilir bir şekilde kaydedilebilmekte ve kayıt altındaki sürüye ait bilgilere güvenilir bir şekilde erişilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: RFID, bilgisayar paket programı, hayvan tanımlama, kayıt tutma

Abstract: In this study; A software has been developed using Radio Frequency Identification Technology (RFID) to track small ruminants. Mehmet Akif Ersoy University (MAKU) sheep farm was chosen as the sample study area and a software was developed using the SQL database C# programming language in accordance with the needs of the farm. AWL 200 handheld terminal from Agrident company was used as the RFID reader. With the developed software, the data of the animals in the MAKU sheep farm can be recorded quickly and reliably with RFID, and the information about the recorded herd can be accessed reliably.

Keywords: RFID, computer package program, animal identification, recordkeeping

1. Giriş

Hayvancılıkta, sürüye ait verilerin sağlıklı bir şekilde kaydedilerek izlenmesi, bu verilerle sağlıklı kararlar verilebilmesi, o işletmenin ihtiyaçlarına en uygun bilgisayar yazılımlarının kullanılmasıyla mümkündür (Trichkova-Kashamova ve Paunova-Hubenova, 2021). Kullanılacak programlarda veri güvenliğinin artırılması, işletmeye ve hayvan refahına dair doğru kararların verilebilmesinde oldukça önemlidir.

Hayvancılık verilerinin elden takibi zaman kaybına sebep olmakla birlikte güvenli olmayan bir yöntemdir. Bu nedenle, verilerin hızlı ve doğru bir biçimde kayıt altına alınması, yedeklenmesi, gerektiğinde önceki dönem verilerinden yararlanılarak ileriye dönük karar verilebilmesi için elektronik tabanlı hayvancılık yönetim sistemlerine olan ihtiyacı ön plana çıkarmaktadır (Tsipis ve ark., 2022; Ariff ve ark., 2010).

İşletme veriminin artırılması için, işletme ihtiyaçlarının belirlenip, yerli yazılımlar geliştirilmesiyle uygun çözümler üretilebilir (Wu ve ark., 2023). Modern hayvan yetiştiriciliğinde işletme ölçeğinin büyüklüğüne göre farklı şekillerde kayıt tutulması gereklidir. Kullanılacak

yazılımın kolay bir ara yüze sahip olması, kullanışlılığı, çiftlik ve ülke şartlarına göre de belirlenmelidir.

Yazılımlar, gelişen teknolojiyle birlikte ihtiyaçlara göre sürekli güncellenmelidir. Program kullanıcılara veya ihtiyaç sahiplerine, kolaylık sağlamalı, yapılan işlerde zaman kazandırarak verimi artırmalı, gelecek planları yapmaya da yardımcı olmalıdır. Program, başlıca hayvan cinsi, sayısı, sağlığı ve aşı durumları gibi ve daha başka birçok veriye kısa sürede erişilmesine olanak sağlamalıdır. Çiftlik hayvanlarının sağlığının bozulması hayvanların verimin düşmesine ve hatta ölümüne neden olacaktır. Geliştirilecek program ile kullanıcıların hayvancılık faaliyetlerindeki kayıtlarını daha düzgün bir şekilde düzenlenmesine, hayvan sağlığının takibine yardımcı olabilmelidir (Aydın ve Günlü, 2010; Çelikyürek ve Aydın, 2015).

Güncel olarak kullanılan çiftlik yönetimi yazılımları olarak Visual Basic, Delphi gibi programlama dilleri ile geliştirilmiş olup, bu programlara veri girişi el ile yapılmakta ve hata payı yüksek olmaktadır. Bu çalışmada RFID teknolojisini hazırladığımız C# programa entegre ederek veri girişindeki hata payı en aza indiren, zaman ve iş gücü yükünü azaltan bir program yapılmıştır. Bu şekilde bir prog-

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

Geliş Tarihi / Received Date: 18.09.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 13.11.2023



ram kullanılması ile çiftlik yönetimi konusunda kolaylık ve sürü hakkında doğru verilere kısa sürede ulaşıp daha etkili kararlar verilebilecektir. Kullanılan programlar bir veri tabanı ve bir arayüzden oluşmaktadır.

RFID sistemleri yeni bir teknoloji olmasa da son yıllarda hayvan yetiştiriciliğinde RFID teknolojisinin kullanılması, çiftliklerdeki sorunları çözümedeki kolaylığı bakımından önem kazanmıştır. RFID teknolojisi kullanılarak programda hayvan sağlık kayıtları, ağırlık bilgileri, aşı durumu, soy bilgileri ve diğer bilgiler kolay ve hızlı bir şekilde veri tabanına aktarılabilir (Shrinidhi ve ark., 2023). Hayvan sağlığı verilerinin eklenmesi sırasında, verileri eklerken dikkatsizlik yüzünden yapılabilecek hatalar ve hayvan etiketlerini belirlemek için harcanan sürenin fazlalığından dolayı oluşan zorlukları RFID teknolojisi kullanılarak çözümlenebilir (Ariff ve ark., 2010; Taşkın ve ark., 2016)

RFID sistemi temelde; RFID etiket, RFID okuyucu ve verileri değerlendirecek olan yazılımdan oluşur. Bir etikette saklanan bilgileri toplamak için RFID okuyucu kullanılır. Anten, okuyucudan etikete ve tersi yönde bilgi taşıyan elektromanyetik dalgaları iletmek ve almak için kullanılır. Okuyucu tarafından alınan verileri yönetmek içinse bir yazılım kullanılır. Bir etiket, okuyucunun okuma aralığına girdiğinde enerjilenerek, içinde saklanan bilgileri okuyucuya gönderir. Okuyucu etiket tarafından gönderilen bilgi sinyalini alır ve ayrıca belirli yazılımı içeren bilgisayara gönderir. Genel olarak RFID etiketleri pasif, yarı pasif ve aktif olarak üç kategoriye ayrılır. Pasif etiketlerin herhangi bir harici güç kaynağı yoktur; bir RFID okuyucunun menziline girdiklerinde etkinleştirilirler. Okuyucu tarafından üretilen elektromanyetik alan etikete güç sağlar. Böylece etiket, çipte depolanan bilgileri etkinleştirir ve geri yansıtır. Bu etiketlerin okuma aralığı daha kısadır. Ayrıca, bu etiketler sınırsız ömür ile düşük maliyetlidir. Aktif Etiketler, yerleşik bir pille çalışır ve bu nedenle her zaman etkindir. Bu etiketler okuyucu ile her an iletişim kurabilir. Bu etiketler, daha yüksek okuma aralığına sahip okuma/yazma olanakları sağlarlar, fakat pil nedeniyle hantal ve daha pahalıdır. Yarı pasif etiketler ise, yalnızca çip devresine enerji vermek için kullanılan bir güç kaynağına sahiptirler. Aktif etiketin aksine, iletişim için okuyucu tarafından oluşturulan elektromanyetik alanı kullanırlar. Güç kaynağına, bir okuyucudan gelen bir sinyalle etkinleştirilene kadar devre dışı kalır. Bu mekanizma pil gücünden tasarruf sağlar ve etiketin ömrünü uzatır (Kumari ve ark., 2015).

Teknolojik açıdan, RFID etiketleri taşıyıcı frekans bandına göre iki kategoride gruplandırılabilir. 125–134,2 KHz'de düşük frekans etiketleri ve 13,56 MHz yüksek frekans etiketleri. Genelde 134,2 KHz frekansı hayvan tanımlamada sıkça kullanılmaktadır. ISO 11784 ve 11785 uluslararası standartları, kod yapısı ve teknik konsept açısından hayvanların radyo frekansı ile tanımlanmasını düzenler (Voulodimos ve ark., 2010; Kumari ve ark., 2015).

Etiketlerin kulak küpesi, rumen bolus ve derialtı enjeksiyon olmak üzere üç tipi bulunmaktadır. Bu üç tip etiket-

ten bir tanesinin hayvanlara uygulanması ile hayvanların etiketleme işlemi tamamlanır. Kolay uygulanması bakımından kulak küpeleri oldukça popülerdir. Bir tabanca yardımıyla rumen boluslarda hayvanlara takılabilmektedir. Veri kaydı ve güncellemeler bir ağ bağlantısı varsa, taşınabilir cihazın kendisine doğrudan veya merkezi sürü yönetim yazılımına anında aktarılabilir. Alternatif olarak, yazılıma doğrudan bir bağlantı mümkün olmadığında, güncellenen bilgiler taşınabilir cihazda tutulabilir ve daha sonra cihaz ağa bağlandığında veriler aktarılabilir. Bu durumda da kullanıcı, basit, doğru ve zamanında veri kaydı sağlarken, verileri kolay ve hızlı bir şekilde alıp görüntüleyebilmenin avantajlarından yararlanabilir (Singh ve ark., 2014).

Ruiz-Grcia ve arkadaşları (2011) sürü yönetimi yazılımıyla birlikte RFID hayvan tanımlama sistemleri üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, tıbbi tedavi kayıtları, hayvan büyüme performans verileri, performans verileri, hayvanların hareketleri, alım ve satım tarihleri gibi ayrıntılı bilgileri içerebildiğini bildirmişlerdir. Okuyucu, uzaktaki bir ana bilgisayara bağlanarak üretici, stokçu, paketleyici veya veteriner arasında etkili veri toplama ve veri tabanı yönetimi metodolojisi veri paylaşımı sağlayabildiğini söylemişlerdir. Ayrıca, elektronik hayvan tanımlama sübvansiyonlarının kullanılması yoluyla, hayvanların sayısına veya genetik geçmişlerine dayalı olarak uygun şekilde tahsis edilebilir, elektronik besleme istasyonları kurulabilir veya çalınan hayvanların izini sürülebilir olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, MAKU küçükbaş hayvan çiftliğinde kullanılmak üzere hayvanların soyu, cinsi, doğum şekli, ağırlığı, sağlık bilgileri ve aşılama takvimi gibi bilgilerinin kayıt altına alınması amacıyla hayvancılık kayıtlarında RFID teknolojisini kullanan bir yazılım hazırlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu programın yazılımında İntel Core i5-6500 işlemciye sahip, 8 GB hafızaya sahip, 256 GB Hard Diski bulunan bir bilgisayar kullanılmıştır. Küçükbaş Sürü Yönetimi programının yazımında Microsoft firmasının tümleşik geliştirme ortamı (IDE) olan Microsoft Visual Studio yazılımının Microsoft Visual C# Programlama dili, verilerin kaydedilmesi ve saklanmasında yine Microsoft firmasının geliştirmiş olduğu Microsoft SQL Express programı kullanılmıştır. Hazırlanan programda tek bir veri tabanı bulunmaktadır ve bu veriler MAKU Bilgi İşlem dairesinde bulunan bir sunucuda saklanmaktadır. Oluşturulan veri tabanı birçok tablodan oluşmaktadır. Veri dosyaları hazırlanırken kaydedilecek bilgilere uygun veri alanları oluşturularak veri tipleri tanımlanmıştır. Tablolar arası bağlantıları kurmak için anahtar alanlar tanımlanmıştır. RFID okuyucu olarak Agrident firmasına ait AWL 200 el terminali kullanılmıştır. Bu el terminali 134,2 KHz frekansındaki RFID etiketleri okumaktadır. Bilgisayar programında öncelikle cihaz ile Bilgisayarın haberleşmesini sağlayabilmek için, seri port eşleştirilmesi yapılır. Ardından RFID terminaline hayvan etiketi

okutulunca programda o hayvana ait veriler gelmektedir. Kullanıcı saha içerisindeyken bu verileri doğru bir biçimde veri tabanına kaydedebilmektedir.

2.1. Programın Tanıtılması

Programa Giriş Formu

Programa şifreli giriş ekranı ile giriş yapılmaktadır (Şekil 1). Bu kısımda kullanıcı adı ve şifre bilgileri doğru olarak girildikten sonra ana program ekranı gelmektedir (Şekil 2).

Şekil 1. Programa giriş formu

Ana Program Formu

Hangi menülerde işlem yapılmak isteniyorsa Şekil 2'deki form aracılığıyla yönlendirme yapılmaktadır.

Şekil 2. Ana program formu

Temel Kayıt Ekleme Formu

Veri tabanına hayvan ile ilgili bilgilerin girildiği form Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu formda, devlet küpe numarası, hayvana eğer ayak küpesi bağlandı ise ayak no, çiftlik numarası, doğum tarihi, doğum tipi (tek, ikiz, üçüz), cinsiyeti, ırkı (honamlı, kıl) bilgileri girilmektedir.

Ağırlık Kayıt Ekleme Formu

Bu formda RFID ile iletişim el okuma cihazı (AWL-200) ile iletişim sağlanarak hayvan küpe numarası cihaz ile okutulmakta ve gerekli bilgiler Şekil 4'teki ekrana gelmektedir. Önce com port ve bağlantı hızı seçilmekte, ardından cihaz ile bağlantı sağlanmaktadır. Kullanıcı gerekli ağırlık bilgilerini veri tabanına girmektedir.

Soy Kütüğü Kaydı Ekleme Formu

Bu form aracılığıyla hayvanların 2 nesile kadar soy bilgileri tutulmaktadır (Şekil 5). Buna ilaveten Gebelik bilgileri, çiftleşme tarihi ve çiftleştiği teke bilgileri de bu

veri tabanına ait tabloda tutulmaktadır.

Hastalık Kayıt Ekleme Formu

Şekil 6'daki bu formda hayvanın sağlık durumu ve geçirdiği hastalık bilgileri işlenmektedir.

Şekil 3. Temel kayıt ekleme formu

Şekil 4. Ağırlık kayıt formu

Şekil 5. Soy kütüğü formu

Şekil 6. Hastalık kayıt formu

Aşı Kaydı Ekleme Formu

Bu formda çiftlikte küçükbaş hayvanlara yapılan; Enterotoksemi 1.doz, Enterotoksemi 2.doz, Enterotoksemi 3.doz, Brusella ve Veba, Keçi Ciğer, Çiçek, Clostridium perfringens 1.doz, Clostridium perfringens 2.doz, aşılarının bilgileri ve tarihleri tutulmaktadır. Aşı kaydı ekleme formu Şekil 7’de gösterilmiştir.

Şekil 7. Aşı kaydı ekleme formu

Temel Kayıt Listeleme Formu

Hayvanla ilgili tüm temel kayıt bilgilerinin tutulup gözlemlenebildiği formdur. Girilen kayıtlar datagridview formda (Şekil 8) görüntülenip değiştirilebilmekte, silinebilmekte ve güncellenebilmektedir. Ayrıca bu formda istenirse kayıtlar Excel formda da çıktı alınabilmektedir.

ID	DevletKupeNo	Aşık No	Çiftlik No	Doğum Tarihi	Doğum Ağırlığı	Doğum Tarihi	Cinsiyet	İki	
1	TR1501812729	2018-04	13	28.03.2018	3800	01.01.2023	Diş	Honorsiz	
2	TR1501812715	2018-07	21	28.03.2018	3800	01.01.2023	Diş	Honorsiz	
7	TR1501812727	2018-05	33	1.01.2023	2570	01.01.2023	İkiz	Honorsiz	
8	TR1501812721	2018-09	22	3.10.2019	3700	01.01.2023	Üçüz	Honorsiz	
9	TR1501776091	2018-02	86	3.10.2019	3000	01.01.2023	Tek	Diş	Honorsiz
10	TR1501812710	2018-19	71	2.10.2021	4050	01.01.2023	Tek	Diş	Honorsiz
11	TR1501812711	2018-11	45	21.11.2021	3600	01.01.2023	Tek	Diş	Honorsiz
13	TR1501410906	2018-03	20	5.05.2022	4000	01.01.2023	İkiz	Diş	Honorsiz
14	TR1501131512	2018-05	49	25.05.2021	3090	01.01.2023	İkiz	Diş	Honorsiz
15	TR1501812679	2018-07	77	9.04.2022	2890	01.01.2023	Tek	Diş	Honorsiz
16	TR1501410909	2018-21	90	1.05.2021	4715	01.01.2023	Üçüz	Diş	Honorsiz
17	TR0700792175	2018-33	88	2.02.2023	3160	01.01.2023	Tek	Diş	Honorsiz
18	TR1501776097	2021-01	69	1.08.2019	3210	01.01.2023	Tek	Diş	Honorsiz
19	TR1501410923	2022-06	15	1.05.2021	4940	01.01.2023	İkiz	Diş	Honorsiz
20	TR1501812734	2022-08	34	11.01.2021	3100	01.01.2023	Tek	Diş	Honorsiz
21	TR1501812712	2022-09	57	12.11.2020	2950	01.01.2023	Tek	Diş	Honorsiz

Şekil 8. Temel kayıt listeleme formu

Ağırlık Kayıt Listeleme Formu

Hayvan ağırlığı ile ilgili bilgiler Şekil 9’daki formda görülebilmektedir. Bu formda da girilen kayıtlar datagridview formda görüntülenip değiştirilebilmekte, silinebilmekte ve güncellenebilmektedir. Ayrıca bu formda da istenirse kayıtlar Excel formda çıktı alınabilmektedir.

ID	Ağırlık	DevletKupeNo	tartim tarihi	tartim ağırlığı
1		TR1501812729	1.05.2022	3800
3		TR1501812715	3.01.2021	11200
6		TR1501812727	5.05.2023	12400
7		TR1501812721	4.11.2023	18500
8		TR1501776091	5.06.2023	15600
9		TR1501812710	9.01.2022	25500
10		TR1501812711	12.12.2022	31200
11		TR1501410906	4.04.2023	34500
12		TR1501131512	1.05.2023	26500
13		TR1501812679	11.05.2022	18500
14		TR1501410930	9.07.2022	14500
15		TR0700792175	11.12.2022	12500
16		TR1501776097	11.12.2022	21250
17		TR1501410923	11.12.2022	24500
18		TR1501812734	10.12.2022	26200
19		TR1501812712	11.05.2022	35600
20		TR1501812710	15.02.2023	24500

Şekil 9. Ağırlık kayıt listeleme formu


3. Sonuç

Günümüzde sürü yönetiminde, hayvanlarla ilgili bireysel kayıtların tutulmasında ve izlenmesinde bilgisayar ve RFID teknolojilerinden faydalanılmaktadır. İşletmeye ve sürüye uygun kayıt tutulması da ayrıca önemlidir. Bu çalışmada RFID teknolojilerinden de faydalanılarak bir sürü yönetim yazılımı gerçekleştirilmiştir. Program; kolay bir ara yüze sahip olması, tek ekrandan birçok veriye aynı anda erişim sağlayabilmesi kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca ve en önemlisi RFID sayesinde hızlı ve güvenilir bir biçimde kayıtların tutulabilmesi, çiftlik ihtiyaçlarının belirlenerek sadece ihtiyaç olan bilgilere odaklanması bakımından sürü yönetimini kolaylaştırır.

mıştır. Gerekli durumlarda ihtiyaç duyulan ek modüllerin ilave edilmesine olanak sunması da sürü kayıt yazılımına esneklik katarak artı bir özellik kazandırmaktadır. Sürü bazında gerekli temel bilgileri içermesinin yanında akademik çalışmalarda da kullanılabilir kayıtların tu-

tulması açısından da önemli bir çalışmadır

Orcid

Ali Kavurur  <https://orcid.org/0000-0003-1251-9574>

Kaynaklar

- Ariff, M.H., Ismarani, I., Shamsuddin, N. (2014). RFID based systematic livestock health management system. In 2014 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC 2014, December) Book of Proceedings, 111-116.
- Aydın, İ., Günlü, A. (2010). Hayvancılık işletmelerinde teknik ve finansal verilerin tutulmasına ve değerlendirilmesine yönelik bir bilgisayar yazılımı. Veteriner Hekimler Derneği Dergisi, 80(4): 21-30.
- Çelikyürek, H., Aygün, T. (2015). Küçükbaş Hayvancılıkta Kayıt Tutma Sistemine Yönelik Bir Bilgisayar Paket Programının Hazırlanması, 9. Ulusal Zootekni Bilim Kongresi, Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Konya, Türkiye, 3-5.
- Kumari, L., Narsaiah, K., Grewal, M.K., Anurag, R.K. (2015). Application of RFID in agri-food sector. Trends in Food Science & Technology, 43(2): 144-161.
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L. (2011). The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges. Computers and electronics in agriculture, 79(1): 42-50; DOI 10.1016/j.compag.2011.08.010
- Shrinidhi S.B., Lokesh, R., Basavaraju, D.S., (2023). Enhancing Pastoral Rearing Efficiency and Management Through RFID Tracking and Weight Measurement. Research and Applications: Emerging Technologies, 5(3): 1-7.
- Singh, A.K., Ghosh, S., Roy, B., Tiwari, D.K., Baghel, R.P.S. (2014). Application of radio frequency identification (RFID) technology in dairy herd management. Int. J. Livestock Res, 4: 10-19.
- Taşkın, T., Akbaş, Y., Koyuncu, M., Kandemir, Ç., Tekin, A.B. Koşum, N. (2016). Küçükbaş Hayvan Yetiştiriciliğinde Elektronik Tanımlama Sistemlerinin Önemi ve Kullanımı Olanakları. Hayvansal Üretim, 57(2): 42-56.
- Trichkova-Kashamova, E., Paunova-Hubenova, E. (2021). Integrated Software Solutions in Animal Husbandry, International Conference Automatics and Informatics (ICAI), Varna, Bulgaria, 248-251.
- Tsipis, E., Louta, M., Karagiannis, P., Kyriakidis, T. (2022). A mink-fur farm livestock management platform The case of WelMink Project, 7th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM), Ioannina, Greece, 1-5.
- Voulodimos, A.S., Patrikakis, C.Z., Sideridis, A.B., Ntafis, V.A., Xylouri, E.M. (2010). A complete farm management system based on animal identification using RFID technology. Computers and electronics in agriculture, 70(2): 380-388.
- Wu, B., Li, J., Liu, Q., Du, K.L. (2023). An RFID-Assisted Smart Livestock and Poultry Farming System on the Cloud, 15th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE), Sydney, Australia, 120-124.

Tablo 3. Sistemlerden üretilen enerji (kWh)

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

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

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

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

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

8. Sonuç

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

Orcid

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

Kaynaklar

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

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

Yapay Sinir Ağları ile Rüzgâr Enerji Verimliliğine Yönelik Yeni Bir Tahmin Yaklaşımı: Çanakkale ili Bozcaada Örneği

A New Forecasting Approach for Wind Energy Efficiency with Artificial Neural Networks: The Case of Bozcaada in Çanakkale Province

Adem Demirtop^{1*} , Ali Hakan Işık^{2*} 

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Burdur, Turkey

ÖZ: Bu çalışmada, dünya üzerinde giderek artan yenilenebilir enerji kaynakları arasında ciddi bir yatırıma sahip olan rüzgâr enerjisinin daha verimli nasıl elde edilebilirliğini yapay sinir ağları (YSA) ve uygulanacak program olan matris laboratuvar (MATLAB) programı ile yeni bir verimlilik yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen bu yaklaşım ile makine öğrenmesi algoritmalarının ve veri ön işleme gibi gereksinimleri bir arada sunan Java ile geliştirilen Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) da kullanılmıştır. Kullanılan veriler Çanakkale ili Bozcaada ilçesine aittir. 2014 yılında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgâr hızı, nem, basınç ve sıcaklık verilerini kapsamaktadır. Bu veri setleriyle rüzgâr hız tahmin yapılmıştır. Rüzgâr hız tahmin sonuçlarına bakıldığında; WEKA' da Lineer Regresyon algoritmasından faydalanarak korelasyon katsayısının yüksek hata oranını (Cross Correlation, CC) 0.6797 ve Kök Ortalama Hata Karesi (Root Mean Square Logarithmic Error, RMSE) 0.1558 değeri düşük çıkmıştır. Matlab'da ise Levenberg-Marquardt eğitim algoritması kullanılmıştır ve eğitim verisi için regresyon değeri $R=0.9998$, doğrulama verisi için regresyon değeri $R=0.99991$, test verisi regresyon değeri $R=0.62945$ ve tüm değerler verisi için regresyon olup değeri $R=0.8971$ olarak elde edilmiştir. RMSE değerimiz ise $8,0266 \cdot e^4$ olarak bir değer bulunmuştur. Buradan sonuçla girilen verilerimiz her iki program için uygulanan YSA göz önünde bulundurularak MATLAB, WEKA programına göre daha iyi sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, Rüzgâr enerjisi, Yapay sinir ağları, MATLAB, WEKA

ABSTRACT: In this study, a new efficiency approach is proposed with artificial neural networks (ANN) and matrix laboratory (MATLAB) program, which is the program to be applied, to determine how wind energy, which has a serious investment among the increasing renewable energy sources in the world, can be obtained more efficiently. With this proposed approach, Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) developed in Java, which offers a combination of machine learning algorithms and requirements such as data preprocessing, was also used. The data used belong to Bozcaada district of Çanakkale province. In 2014, it includes wind speed, humidity, pressure and temperature data obtained from the General Directorate of Meteorology. Wind speed prediction was made with these data sets. Looking at the wind speed estimation results; In WEKA, using the Linear Regression algorithm, the high error rate of the Cross Correlation (CC) was 0.6797 and the Root Mean Square Logarithmic Error (RMSE) was 0.1558. In Matlab, the Levenberg-Marquardt training algorithm was used and the regression value for the training data was $R=0.9998$, the regression value for the validation data was $R=0.99991$, the regression value for the test data was $R=0.62945$ and the regression value for all values data was $R=0.8971$. Our RMSE value was found to be $8.0266 \cdot e^4$. From this result, considering the ANN applied for both programs, MATLAB is more accurate than the WEKA program.

Keywords: Renewable energy sources, Wind energy, Artificial neural networks, MATLAB, WEKA



1. Giriş

Günümüzde artık fosil kaynaklar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının aldığı, sürekli gelişim içerisinde olduğu ve sürdürülebilir kalkınmanın önemli olduğu bir gerçektir. Bu yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisinin, Türkiye ve diğer dünya ülkeleri arasında yatırıma değer verdiği görülmektedir. Mevcut coğrafi potansiyellerini kullanan diğer ülkeler gibi Türkiye de 3 tarafı denizlerle çevrili, yüksek yerleşim yerlerine sahip, yıl içerisinde ciddi oranlarla rüzgâr alan bir yerdir. Bu nedenle ithal edilen enerjiyi kendi imkânlarımız ölçüsünde yurt içerisinde üretip dağıtımına katkı sağlanabilmektedir.

Üretime katkı sağlayan kaynaklar arasında rüzgâr enerjisinde ciddi oranda artışlarda söz konusudur. Araştırma konusu olan Rüzgâr enerjisi verimliliği ciddi bir potansiyeli ve üretim odaklı bir anlayış ile enerjiyi hatırı sayılır bir seviyeye getirmektedir. Ülkemiz Haziran 2022 yılı itibarıyla kurulu rüzgâr enerji kapasitesi 1,1 GW toplam kurlu güç ise %10,81 olmuştur. Güneş enerjisine kıyasla %2,5 daha fazla kurulu güç olması yatırımın ne kadar önemli olduğunu bir kez daha göstermektedir. Biokütle enerjisinde %8,7 Jeotermal Enerji kaynakları arasında ise %9,2 daha fazla enerji üretim payına sahiptir (URL-1, 2022).

Literatürde farklı yapay zekâ algoritma ve yöntemlerle rüzgâr hız tahmini ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

Lewis (1982), Ortalama Mutlak Yüzdese Hata (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) değeri %10 'dan az olan tahmin modelleri "çok iyi", %10 ile %20 arasında olan tahmin modeller "iyi", %20 ile %50 arasında olan tahmin modelleri "kabul edilebilir", %50 ve üzeri olan tahmin modelleri ise "yanlış ve hatalı" olarak sınıflandırılmaktadır. Garson Algoritması kullanılarak Türkiye'de CO2 emisyonları üzerindeki bağıl önemi MAPE %11,34 olarak elde edilmiş ve Lewis sınıflandırması dikkate alındığında "iyi" model olarak tahmin etmiştir (Söyler H., Kızılkaya O. 2023)

Kayseri, Rize, Hakkâri ve İzmir illerinin meteorolojik ve coğrafi verilerinden yararlanarak güneş ışınımı değerleri Yapay Sinir Ağlar (YSA) ile tahmin edilmiş ve girdi değerleri nem, atmosfer basıncı ve sıcaklık gibi meteorolojik veriler girdi olarak kullanılmıştır. Kök Ortalama Hata Karesi (Root Mean Square Logarithmic Error, RMSE) değerleri sırasıyla 0.6759, 0.6540, 0.6965 ve 0.6765 olarak tahmin edilmiştir (Ertürk, S. Ve ark., 2023)

Rüzgâr türbinlerinin maksimum güç izleme yöntemleri ve Matlab / Simulink uygulaması sonucunda rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminin, sabit kanat ucu hız oranı yöntemiyle maksimum güç noktası takibi yapılarak daha verimli çalıştığı gösterilmiştir. Ayrıca ayırık zamanlı hız denetleyicinin oransal ve integral parametreleri değiştirilerek sistemin başarımı üzerine etkileri incelenmiştir (Bektaş Ö., 2019)

Türkiye'nin Bartın ili Amasra bölgesi rüzgâr hızları için uzun hafıza etkisi Kesirli Tümeleşik Kendiyle Bağlı Hareketli Ortalama Modeli (Autoregressive Fractionally

İntegrated Moving Average, ARFIMA) - Kesirli Tümeleşik Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans (Fractionally Integrated Generalized Autoregressive ve Conditional Heteroskedasticity, FIGARCH) modelleri ile araştırılmış rüzgâr hızı serisi için ortalama ve koşullu varyansında uzun hafıza parametreleri istatistiksel anlamlı bulunmuş ve en uygun model ARFIMA(0, 1)- FIGARCH(1, d, 1) modeli olarak tahmin edilmiştir (Türkçayılmaz S., 2022)

Çanakkale Baba Burnu civarında rüzgâr enerjisi üretimine yönelik 2001, 2002 ve 2003 yıllarına ait rüzgâr ait rüzgâr enerji potansiyelinin hesaplanmasına yönelik, rüzgâr şiddeti tahmini ile ilgili bir çalışma yapılmış ve modelin başarısı kök ortalama kare yaklaşım hatası (RMSEA) 0.05 ile 0.08 arasında model sonuçlarını hesaplanmıştır (Bakırov R. Ve Aslan Z., 2023)

Rüzgâr hızının yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (Adaptive Neural Fuzzy Inference System, ANFIS) metotları kullanarak elde edilen tahmin değerlerinin başarılarının değerlendirilmesinde hataların karelerinin ortalaması (Mean Squared Error, MSE) ve tahminler ile beklenen değerler arasındaki benzerlik (Regression (R)) değerleri kullanılmıştır (İnan T. ve Baba A.F., 2021).

Rüzgâr Hızı Tahmini İçin Yapay Sinir Ağı ve Adaptif Sansürleme Tekniği Tabanlı Yeni Bir Hibrit Yaklaşım daha az veri ile hesap yükü azaltılmış ve rüzgâr sinyallerine ait tahmin başarımı büyük oranda korunmuş ve bu bahsedilen sonuçlar yapılan benzetimlerle doğrulanmıştır (Sarp A.O. ve Mengüç E.C., 2019).

Isparta iline ait rüzgâr hızları yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemiyle tahmin edilmiştir. Böylece farklı yıllar ve aylardaki rüzgâr hızlarının tahmini mümkün olmaktadır (Özcan İ. ve ark. 2013).

Bir yıllık rüzgâr verileri kullanarak WEKA yazılımı C4.5, k-en yakın komşu, yapay sinir ağları, C-means algoritmalarını kullanarak rüzgâr hız tahmin etmiştir. Bunun enerji üretimini nasıl etkilediğini gösterilmiştir (Ergün K. ve Aşnaz Karasu M. S., 2019).

Amerika'nın Nevada bölgesi için 2010-2012 yılları arasındaki iki yıllık rüzgâr hız verileri, ortalama buharlaşma ve hava sıcaklığını değerlerini girdi olarak alıp rüzgâr hız verilerini bulanık mantık mamdani (M-BM), Bulanık mantık Sugeno (S-BM) yöntemi ile tahmin etmiştir (Unes F. ve ark., 2019).

Uzun dönem rüzgâr hızı tahmininde yapay sinir ağlarının kullanımı ve performans incelemesinde 30 yıllık rüzgâr hızı, nem, basınç, sıcaklık ve yağış miktar verilerinden matlab' da YSA modelleri oluşturularak yapılan tahmin rüzgâr hız tahmini test verileri için ortalama mutlak yüzdese hata (OMYH) değerleri tespit edilmiştir (Altınsoy M. ve Bal G., 2019).

YSA kullanılarak en küçük hata ile rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi tahmini yapılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre, modelin yaptığı tahminlerin güvenilir ve tutarlı olduğu görülmüştür (Şenol, Ü. ve Musayev, Z., 2017)

Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 2014 yılına ait rüzgâr hızı, nem, basınç ve sıcaklık verilerini kapsayan meteoroloji veri seti kullanılmıştır. Bu veri setiyle Çanakkale ilinde bulunan Gökçeada ilçesi için rüzgâr hızı tahmini yapılmıştır. WEKA'da doğruluk analizleri yapabilmek için çeşitli algoritmalar kullanılmıştır.

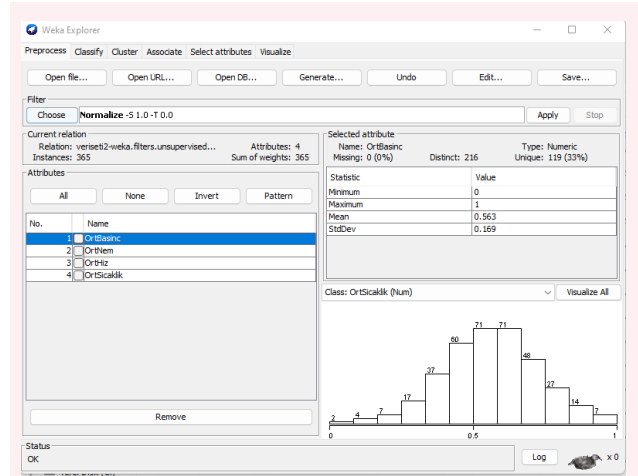
2. Materyal ve Yöntem

Yapay zekâ da kullanılan metot ve yöntemler çoğunluklu olarak matematiksel modellemelerle ilgilidir. Matematiksel modellemelerle hareketle çıkan sonuçları değerlendirebileceğimiz çeşitli veri analiz programları vardır. Veri analizleri için kullanılan bilgisayar programları ise ticari programların en önemlileri Sosyal Bilimler İstatistik Paketi (Statistical Package for the Social Sciences, IBM SPSS Modeler), Excel, İstatistiksel Analiz Sistemi (Statistical Analysis System, SAS), Angoss, KXEN, SQL Server, MATLAB ve açık kaynak programlardan başlıcaları ise Orange, RapidMiner, WEKA, Scriptella ETL, jHepWork, KNIME, ELKI'dir. Kullanılan Matlab programı yükseltmeler ve eklentiler ticari olan Matlab ve açık kaynak olan WEKA kullanılmıştır. WEKA programında yer alan Gaussian Processes, Linear Regression, Multilayer Perceptron, Simple Linear Regression, SMOreg, Kstar, Decision Table, M5P algoritmaları ile gruplandırma için rüzgâr hız tahminin de bulunulmuştur.

WEKA, Yeni Zelanda'nın Waikato Üniversitesi'nde 1999 yılında geliştirilmiş, Java programlama dili kullanılarak yazılmış, popüler bir makine öğrenme yazılım paketidir. Derin öğrenme, metin madenciliği, makine öğrenimi ve tahmine dayalı analiz için entegre bir ortam sağlar. Java programlama dili ile geliştirilmiş olan projelerle uyum kolaylığı ve ücretsiz olarak kullanıma sunulmuş olması sebebiyle yaygın hale gelmiştir. Windows, Mac, Unix/Linux işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. WEKA, ham verilerin işlenmesi, öğrenme yöntemlerinin istatistiksel bir şekilde yorumlanması, ham veriden oluşturulan modelin görsel olarak izlenmesi gibi veri madenciliği-ne ilişkin tüm faaliyetleri yerine getirmektedir.

WEKA, birtakım veri madenciliği işlemlerini içerir. Daha spesifik olarak bunlar, veri ön işleme, kümeleme, sınıflandırma, regresyon, görüntüleme ve özellik seçimidir. WEKA sahip olduğu bütün teknikler, verilerin tek bir düz dosya ya da ilişkili olarak kullanılabilir olduğu varsayımına dayanmaktadır. Dolayısı ile WEKA, Java veri tabanı bağlantısını kullanarak SQL veri tabanına erişimi ve veri tabanı sorgusu tarafından döndürülen sonucun işlenmesini desteklemektedir. Bu çok ilişkili veri madenciliği için uygun değildir fakat birbiri ile ilişkili veri tabanı tablolarını tek bir tabloya dönüştüren ayrı bir yazılım bulunmaktadır. WEKA bu ayrı yazılımın yaptığı işlemi yapabilmektedir.

Araştırmada elde edilen veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 2014 yılına ait sıcaklık, basınç, nem ve rüzgâr hızı değerleri 365 veri setinde oluşmuş olup bu değerleri WEKA üzerinde eklenip ana ekran aşağıdaki Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. WEKA gezgin görüntüsü

Şekil 1'de görüldüğü gibi bir grafik elde edilmiştir. Toplam verimizin 365 olduğu tipinin numerik olduğu belirgin verilerimizin 216, eşsiz verilerimizin 119 olduğu görülmektedir.

WEKA programına ait yöntemler arasında formül olanlar Linear Regression, Siple Linear Regression, SMOreg, M5Rules, M5P ve formül olmayanlar Kstar, Random Tree, REPTree, Gaussian Processes ve Multilayer Recreptron rügar hızı tahmini için kullanılacak metotlardır.

Rüzgâr hızı tahmininde elde edilen veriler sıcaklık, basınç ve nem değerlerine bağlı gruplar altında aşağıdaki Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. WEKA gezgin görüntüsü

GRUPLAR	
1.Grup	Sıcaklık-Basınç-Nem
2.Grup	Sıcaklık-Basınç
3.Grup	Sıcaklık-Nem
4.Grup	Nem-Basınç
5.Grup	Sıcaklık
6.Grup	Basınç
7.Grup	Nem

Makine öğrenmesi algoritmalarıyla birlikte geliştirilen modellerin performansını birbiri arasında ve tahmin verisinin kendisiyle mukayese etmek için çeşitli ölçüm ve analiz yöntemleri kullanılmıştır. Ortalama kare hata (MSE), kök ortalama kare hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE) çalışmada kullanılan hata ölçüm algoritmalarıdır. İki farklı

türde istatistiksel analiz yöntemi uygulanmıştır. Korelasyon katsayısı (R) ve belirleme katsayıları (R²). Bu hata ölçüm algoritmalarının formülleri aşağıdaki denklem (1)-(4)'te verilmiştir (Rüşen ve Kılınçvur, 2023)

$$SE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ABS(Actual_t - Forecast_t)}{Actual_t} * 100\% \quad (4)$$

Rüzgâr hız tahmini hata oranını belirlemek için korelasyon katsayısını (CC), belirleme katsayısını (R²) göstermektedir. Korelasyon katsayısı gerçek veri ile tahmini veri arasındaki ilişkiyi gösterir. +1 değerine yaklaştıkça ikili arasındaki ilişki güçlenmektedir, -1 yaklaştıkça ise ilişki azalmaktadır sıfır değerinde ise ilişki yok olmaktadır. CC ve R² olan i farklı istatistiksel analiz yöntem formülleri (5) ve (6) numaralı denklemlerde yer almaktadır.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (5)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

Formüllerde yer alan O_i, P_i, \bar{O} ve \bar{P} değerlerinin sırasıyla ölçülen değer, tahmin değer, ölçülen değerlerin ortalaması ve tahmin değer ortalaması olarak sıralanmaktadır.

Meteorolojik veriler değişken birim ve değerler sahiptirler. Elde edilen verileri ortalama sıcaklık değeri -10 oC, ortalama aktüel basınç 1010 hPa, ortalama nispi nem %98, basınç değeri 1000 gibi değerler arasında anlamsızlığın önüne geçmek adına bu verilerin normalize edilmesi gerekmektedir. Logaritmik Sigmoid (LogSig) ve Tanjant Sigmoid (TanSig) fonksiyonu için normalizasyon formülleri (7) ve (8) numaralı denklemlerde yer almaktadır.

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (7)$$

$$X_{norm} = 2 \times \left(\frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) - 1 \quad (8)$$

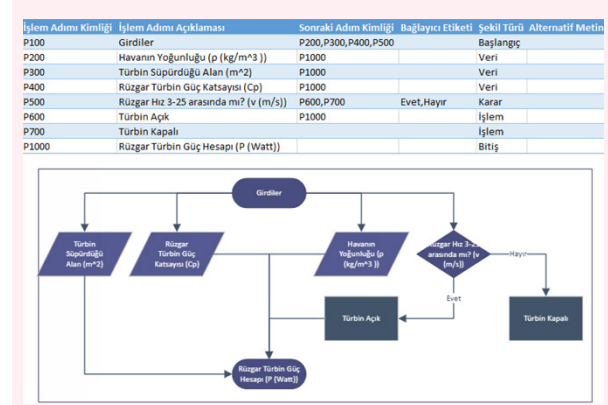
Denklem (7) ve (8) 'de yer alan değerler; X değer ilk değer olup Xmin değer ise grup içerisindeki minimum değerdir ve Xmax değeri ise grup içerisindeki maksimum değerdir.

Rüzgâr türbinin Güç hesabında kullanılacak parametreler sırasıyla hava yoğunluğu, rüzgâr hızının küpü, güç katsayısı ve rüzgâr türbini kanadının kapsadığı alanı ifade etmektedir. Kısaca güç hesaplaması için sabit terim

1/2, güç katsayısı, hava yoğunluğu, rüzgâr hızının küpü ve kanatların kapladığı alanın birbirleri ile çarpımıdır. Burada denklem (9) aşağıdaki gibidir.

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^3 \times C_p \times A \quad (9)$$

Denklem (9)' da yer alan değerler, P güç (Watt), ρ havanın yoğunluğu (kg/m³), v havanın hızı (m/s), C_p rüzgâr türbin güç katsayısı, A türbinin süpürdüğü alan (m²) ifade etmektedir (Che, Y. ve ark., 2016).



Şekil 2. Rüzgâr türbin güç hesaplama akış diyagramı

Akış diyagramını Şekil 2' de gösterildiği gibidir. Burada girdi parametrelerimiz türbin süpürdüğü alan, rüzgâr türbin güç katsayısı, havanın yoğunluğu ve rüzgâr hızı parametreleridir. Rüzgâr hızı 3-25 m/sn arasında olduğunda türbin çalışmaya başlar ve enerji üretimine geçilir. Bu hızlar dışında rüzgâr türbini sürekli dış enerjiden beslenir. Denklem (9) görüldüğü üzere rüzgâr türbin güç hesabında yoğunluk, hız ve alan önemli faktörler arasındadır. Buradan yoğunluğu ele alacak olursak havanın yoğunluğu Uluslararası Standart Atmosfer (ISA) şartlarında (deniz seviyesinde, +15 C sıcaklıkta ve 1013,25 milibar atmosfer basıncında) havanın yoğunluğu 1,225 kg/m³ 'tür. Bu verilerden elde edilecek olan çıktı rüzgâr türbin gücüdür.

3. Bulgular ve Tartışma

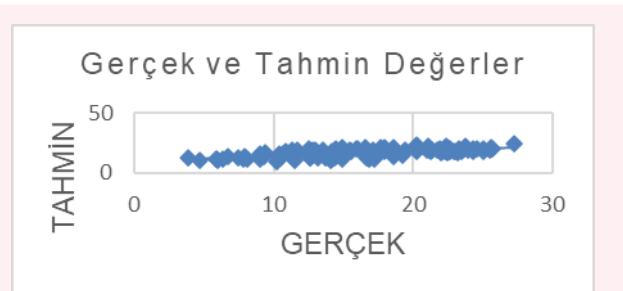
Çalışmada kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü istasyonundan alınan 2014 yılı Çanakkale ili Bozcaada ilçesine ait nem, sıcaklık, basınç ve rüzgâr hız verileri kullanılmıştır. Veriler Excel formatından csv formatına dönüştürülmüştür. Csv formatındaki veriler WEKA programına tanıtılmıştır. Tahminleme modeli için yüzdelik dilim metodu kullanılmıştır.

Linear Regression algoritması tüm zamanlar için diğer algoritmalara göre daha iyi sonuç vermiştir. Bu algoritma ile yapılan analizlerde CC yüksek hata oranını 0.6797 iken RMSE 0.1558 değeri düşük çıkmıştır. Aşağıda yer alan Tablo 2' de verilen yedi farklı gruptan sıcaklık-basınç-nem Linear Regression algoritması ile tahmini, sıcaklık-nem grubunda M5P, Sıcaklık-Basınç ve Basınç-Nem grubunun Linear Regression algoritması ile tahmini ba-

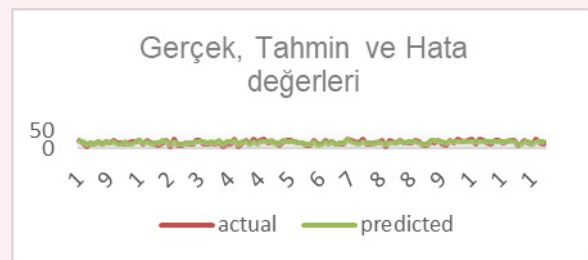
şarı oranı yüksektir. Rüzgâr hızı üç unsurdaki etkili olduğu için basınç,-sıcaklık-nem özellikleri için en iyi tahminde bulunan Linear Regression algoritması kullanılmıştır.

2014 yılına ait rüzgâr hızı, basınç, nem verileri kullanılarak Linear Regression algoritması ile yapılan en iyi tahmin değerleri ve gerçek değerlerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen hata grafiği Şekil 2 ve Şekil 3'te yer almaktadır.

Gerçek değer ile tahmin değerler arasında fazla sapmalar olduğu görülmektedir. Şekil 3'te yer alan hata değerlerinde bu ölçütü göstermektedir. Linear Regresyon algoritmasının



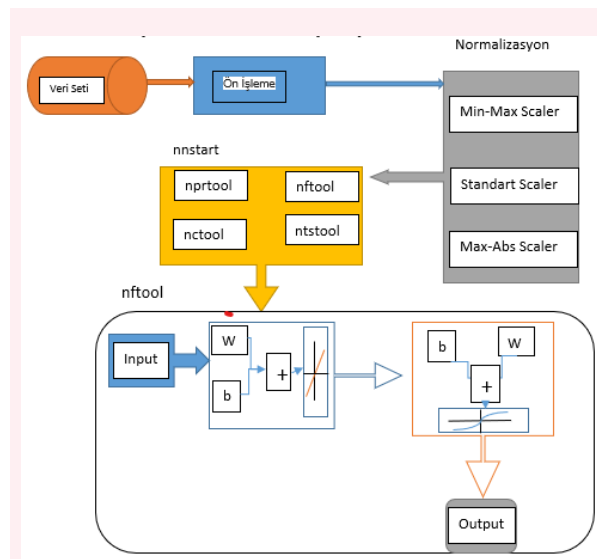
Şekil 3. Gerçek ve tahmin rüzgâr hız değerleri



Şekil 4. Tahmin ve gerçek rüzgâr hız değerleri arasındaki hata grafiği

CC değeri 0,6797 ve bu değer bize yaklaşık 3'te 1 oranında sapma olacağını belirtmektedir. RMSE değeri 0,1558.

Matlab için kullanılacak veriler nnstart (Başlangıç Sinir Ağı- Neural Network Start) değerlendirilmiştir. Başlangıç sinir ağı ekranında nftool (veri uydurma sorunlarını çözmek için iki katmanlı bir ileri beslemeli ağ oluşturmaya, görselleştirmeye ve eğitmeye olanak tanır.), nprtool (sigmoid çıkış nöronlarına sahip iki katmanlı bir ileri beslemeli ağ kullanan model, sınıflandırma problemini çözmeye yardımcı olur.), nctool (kümeleme sorunlarını çözmek için kendi kendini organize eden harita ağları oluşturmaya, görselleştirmeye ve eğitmeye imkan tanır.), ntstool (üç farklı türde doğrusal olmayan zaman serisi



Şekil 5. Sigmoid gizli sinirlerle ve doğrusal çıkışa sahip iki katmanlı ileri beslemeli ağ

Tablo 2. WEKA gezgin görüntüsü

Algoritma	Hata Oranı Korelasyon Katsayısı	Sıcaklık-Nem-Basınç	Sıcaklık-Nem	Sıcaklık-Basınç	Nem-Basınç	Sıcaklık	Nem	Basınç
Gaussian Processes	RMSE	0.1875	0.1879	0.1875	0.2086	0.1896	0.2088	0.2088
	CC	0.4666	0.4937	0.4667	0.3902	0.5406	0.2282	0.4136
Linear Regression	RMSE	0.1558	0.1751	0.1599	0.1858	0.178	0.2053	0.1925
	CC	0.6797	0.5591	0.6609	0.4845	0.5406	0.2282	0.4136
Multilayer Perceptron	RMSE	0.1587	0.1748	0.1623	0.1969	0.1775	0.2293	0.1959
	CC	0.6767	0.5604	0.6578	0.3853	0.5406	0.1541	0.3952
Simple Linear Regression	RMSE	0.178	0.178	0.178	0.1925	0.178	0.2053	0.1925
	CC	0.5406	0.5406	0.5406	0.4136	0.5406	0.2282	0.4136
SMOreg	RMSE	0.1562	0.1824	0.1617	0.1866	0.1838	0.2071	0.1936
	CC	0.6795	0.5584	0.6613	0.4766	0.5406	0.2282	0.4136
Kstar	RMSE	0.1772	0.1824	0.1675	0.2008	0.1798	0.2075	0.1977
	CC	0.5695	0.5584	0.6232	0.3364	0.5406	0.1846	0.3589
Decision Table	RMSE	0.1707	0.1761	0.1707	0.2016	0.178	0.2132	0.2016
	CC	0.5978	0.5568	0.5978	0.3256	0.5406	0.1474	0.3256
M5P	RMSE	0.159	0.1768	0.161	0.1958	0.1802	0.2053	0.2028
	CC	0.67	0.5621	0.6592	0.3731	0.5406	0.2282	0.2938

problemini çözmek için dinamik sinir ağları oluşturmayı, görselleştirmeye ve eğitmeye olanak tanır.) seçenekleri sunar. Veriler için elde edilen en iyi sonuç olan nftool modelinde işlenmiştir.

Şekil 4’de görüldüğü gibi model belirlenmiştir. Burada veriler, eğitim verileri %70, doğrulama verileri %15, test verileri %15 ve katman boyutu 10 olarak alınmıştır. Burada 3 tane girdi ve 1 tane de çıktı bulunmaktadır. Bu modelde regresyon görevleri için uygun sigmoid gizli nöronlar ve doğrusal çıkış nöronları içeren iki katmanlı ileri beslemeli sinir ağı kullanılmıştır. Eğitim sonuç verileri aşağıdaki Tablo 3’deki gibidir.

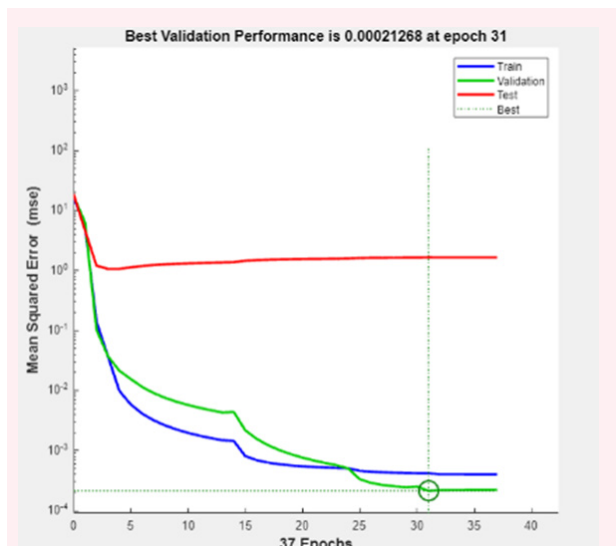
Tablo 3. MATLAB yazılımında kullanılan eğitim sonuç verileri

	Başlangıç Değer	Durdurulan Değer	Hedef Değer
Epok	0	37	1000
Geçen Zaman	-	00:00:00	-
Performans	16,7	0,000401	0
Gradyan	53,60	0,000404	1,00E-07
Doğrulama Kontrolü	0	6	6

	Gözlenen	MSE	R
Eğitim Verileri	255	0,0004	0,9998
Doğrulama Verileri	55	0,0002	0,9999
Test Verileri	55	1,6528	0,6294

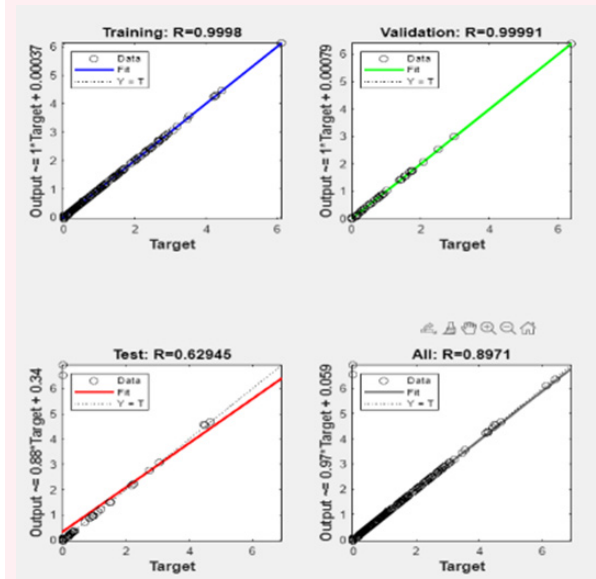
Burada elde edilen değerler arasında performans değeri olup sifıra yakın bir değer erişmek gerekmektedir. Performans değeri ilk çalıştırmalarda daha yüksek değerler gösteriyor, sonrasında daha iyi sonuçlar bulunmaktadır. Şekil 5’te görüldüğü üzere MSE değeri 0.0004 çok küçük bir değere ulaştığı görülmüştür.

Şekil 5’te en iyi performans değeri 0,00021268 epoksi değeri 31 olarak görülmektedir. Epok değeri ne kadar çoksa (eğitilen veriler oluyor.) o zaman gerçek değerden



Şekil 6. En iyi Performans-MSE grafiği

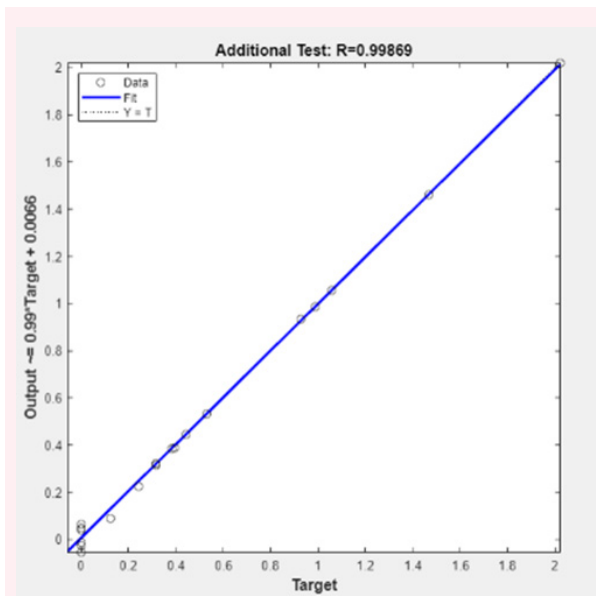
ya uzaklaşmaya başlayacak ya da ezberle daha yaklaşıklık değerler döndürmeye başlayacaktır. Ezberle değerler döndürmesi ise verileri olağandan saptıracağı için uygun epok sayısında döndürmek gerekmektedir.



Şekil 7. Regresyon grafiği ekranı

Şekil 6’da ki grafiklerden ilk grafik eğitim verisi için regresyon değeri R=0.9998, ikinci grafik doğrulama verisi için regresyon değeri R=0,99991, üçüncü grafik test verisi regresyon değeri R=0,62945 ve son dördüncü grafik ise tüm değerler verisi için regresyon olup değeri R=0,8971 olarak bulunmuştur. Değerlerimiz Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasına çok iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Test verileri Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasına girilmiş ve sonuç aşağıdaki Tablo 9’da yer almaktadır.

Burada görüldüğü üzere R=0.9987 gibi 1 e yakın bir de-



Şekil 8. Levenberg-Marquardt veri sonuç grafiği

Tablo 4. Elde edilen sonuçlar

Eklenen Test Sonuçları			
Tahmin Edilen Veriler	testgirdi - [3x20 double]		
Cevap Verilen	testsonuc - [1x20 double]		
	Gözlenen	MSE	R
Eklenen Veriler	20	8,03E-04	0,9987

ğer olup mükemmel sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 7’ de R veri sonuç grafiği bize uygulanan Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasının çok başarılı olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada literatürde yapay sinir ağları kullanılarak yapılan tahmin çalışmalarına bir örnek sunulmuştur. Literatürde yapılan rüzgâr hızı tahmin çalışmalarında örneklem olarak Çanakkale ilinin Bozcaada ilçesi seçilmiştir. 2014 yılına ait sıcaklık, basınç, nem ve rüzgâr hızı verileri kullanılarak bir sonraki yılın rüzgâr hızı tahmin edilmiştir. Kullanılan program ve ilişkisi olduğu algoritmalar ise WEKA da Linear Regression algoritması, MATLAB da ise Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasıdır. Günümüzde ekonomik verilerde, sosyolojik çalışmalarda veya topografya analizlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. WEKA ile uygulanan veriler Linear Regression algoritması tüm zamanlar için diğer WEKA algoritmalara göre daha iyi

sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Linear Regression algoritması ile yapılan analizlerde korelasyon katsayısının yüksek hata oranını (CC) 0.6797 iken RMSE 0.1558 değeri düşük çıkmıştır. MATLAB da uyguladığımız verilerde ise eğitim verisi için regresyon değeri $R=0.9998$, doğrulama verisi için regresyon değeri $R=0,99991$, test verisi için regresyon değeri $R=0,62945$ ve tüm değerler verisi için regresyon değeri $R=0,8971$ olarak elde edilmiştir. RMSE değeri ise $8,0266 \times 10^{-4}$ olarak elde edilmiştir. Veriler Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ile çok iyi sonuçlar elde edildiğini göstermektedir. Sonuç olarak elde edilen MATLAB yapay sinir ağlarıyla tahmin değeri %89,71 ile WEKA yapay sinir ağları tahmin değeri %62,95 olup kıyaslandığında yaklaşık %27 daha iyi bir sonuç elde edildiği gözlemlenmektedir.

Araştırma sonuçlarına literatür çerçevesinde bakıldığında gelecek dönem için tahmini rüzgâr hızı yapılabileceği görülmektedir. Yine gelecek çalışmalarda girdi olarak farklı veriler kullanılarak ya da değişik yapay sinir ağı kombinasyonları oluşturularak çok daha iyi sonuçlar elde edilmesi planlanmaktadır. Benzer şekilde üretilen farklı yenilenebilir enerji kaynakları arasında doğal korelasyon olduğu düşünülen verilerle de tahminler yapılabilmektedir. Fakat hata oranının öngörülen bölgenin karakteristikleriyle doğrudan ilişkili olduğu ve en doğru model tercihinin tahmin edilen bölgedeki özelliklere göre değişkenlik gösterebileceği her zaman akılda tutulmalıdır.

Orcid

Adem Demirtop <https://orcid.org/0000-0003-1251-9574>

Ali Hakan Işık <https://orcid.org/0000-0003-3561-9375>

Kaynaklar

- Altınsoy, M., ve Güngör, B. A. L. (2019). Uzun dönem rüzgâr hızı tahmininde yapay sinir ağlarının kullanımı ve performans incelemesi. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 8(1), 21-28.
- Bakırov, R., & Aslan, Z. (2023). Rüzgâr şiddetinin yapay sinir ağları yöntemleri ile modellenmesi. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 17(66), 117-137.
- Bektaş, Ö. (2019). Rüzgâr türbinlerinde maksimum güç izleme yöntemleri ve MATLAB/Simulink uygulaması (Master's thesis, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Che, Y., Peng, X., Delle Monache, L., Kawaguchi, T., Xiao, F. (2016). A wind power forecasting system based on the weather research and forecasting model and Kalman filtering over a wind-farm in Japan. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(1), 013302.
- Ergün, K., ve Aşnaz, M. S. K. Evaluation and Estimation of Wind Speed With Data Mining Methods.
- Ertürk, S., Hakan, K., Akkuş, C., & Genç, G. Türkiye’de Farklı İklim Kuşakları İçin Yapay sinir ağları Kullanılarak Güneş Işınımının Tahmini. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 1-1.
- İnan, T., Baba, A. Prediction of Wind Speed Using Artificial Neural Networks and ANFIS Methods (Observation Buoy Example) Rüzgâr Hızının Yapay sinir ağları ve ANFIS Metotları Kullanılarak Tahmin Edilmesi (Ölçüm Şamandırası Örneği).
- Kırbaş, İ. (2018). İstatistiksel metotlar ve yapay sinir ağları kullanarak kısa dönem çok adımlı rüzgâr hızı tahmini. *Sakarya University Journal of Science*, 22(1), 24-38. Redwan, M., Moneim,
- Özcan, İ., Şahin, A. Ş., Dikmen, E., ve Bayram, G. (2013). Isparta İlinde Rüzgâr Hızı Değerlerinin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(1), 109-112.
- Rüşen, S. E., & Kılınççur, A. (2023). Küresel Güneş Radyasyonu Tahmin Modelleri için Yapay Sinir Ağı Tabanlı WEKA Kullanımı. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches (IJANSER)*, 7(11), 238-243.
- Sarp, A. O., Mengüç, E. C. (2019). Rüzgâr Hızı Tahmini İçin Yapay Sinir Ağı ve Adaptif Sansürleme Tekniği Tabanlı Yeni Bir Hibrit Yaklaşım.
- Söyler, H., & Kızılkaya, O. (2023). Türkiye’de CO2 Emisyonlarının Belirleyicileri: Çok Katmanlı Yapay sinir ağları ile Bir Uygulama. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12(Özel Sayı), 105-116.
- Şenol, Ü., ve Musayev, Z. (2017). Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretimine Yapay sinir ağları İle Tahmini. *Bilge Uluslararası Fen ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 23-31.
- Taşar, B., Fatih, Ü., Demirci, M., ve Kaya, Y. Z. (2018). Yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak buharlaşma miktarı tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 543-551.
- Türkyılmaz, S. (2022). Rüzgâr Hızlarında Uzun Hafıza: Amasra Bölge-



si için Bir Zaman Serisi Analizi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 990-1005.
Unes, F., Kasalı, D., Taşar, B. (2019). Meteorolojik Ölçüm Verilerini Kullanarak Mamdani-Bulanık Mantık Yöntemi ile Rüzgâr Hızının Tahmini. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü Dergisi, 2(1), 97-104.
URL-1 (2023). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji> (Erişim Tarihi: 10.01.2023)
URL-2 (2023). <https://www.mathworks.com/help/deeplearning> (Erişim Tarihi: 10.01.2023)