

ISSN 1306-0007
e-ISSN 2651-4230

TARIM MAKİNALARI BİLİMİ DERGİSİ

Journal of Agricultural Machinery Science



2022

CİLT
VOLUME

18

SAYI
NUMBER

2

Tarım Makinaları Derneği Yayınıdır
Published by Agricultural Machinery Association

YIL (YEAR) 2022

CİLT (VOLUME) 18

SAYI (ISSUE) 2

Sahibi (President)

Tarım Makinaları Derneği Adına
(On Behalf of Agricultural Machinery Association)

Can ERTEKİN

Akdeniz Üniversitesi, Antalya

Editör Kurulu (Editorial Board)

Sayı Editörü (Issue Editor)

Recep KÜLCÜ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta

Editörler (Editors)

Türkan AKTAŞ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ

İlknur ALİBAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa

Recep KÜLCÜ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta

Alan Editörleri (Field Editors)

Zeliha Bereket BARUT

Çukurova Üniversitesi, Adana

Heinz BERNHARDT

Technical University of Munich, Germany

Sorin-Stefan BIRIS

Politehnica University of Bucharest, Romania

H. Kürşat ÇELİK

Akdeniz Üniversitesi, Antalya

Osman GÖKDOĞAN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta

Shoojin JUN

Hawaii University, USA

Habip KOCABIYIK

18 Mart Üniversitesi, Çanakkale

Y. Benal ÖZTEKİN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Bernhard STREIT

Bern University of Applied Sciences, Switzerland

Shuichi YAMAMOTO

Yamaguchi University, Japan

Hüseyin YÜRDEM

Ege Üniversitesi, İzmir

Mizanpaj Editörü (Layout Editor)

Ahmet SÜSLÜ

Dergi Hakkında (About Journal)

**Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, Tarım Makinaları Derneği'nin bir yayınıdır.
Tarım Makinaları Bilimi Dergisi yılda üç sayı olarak yayınlanır.**

(Journal of Agricultural Machinery Science is published three times in a year by
Agricultural Machinery Association.)

Yayın Hakları (Copyright Policies)

**Bu derginin yayın hakları Tarım Makinaları Derneği'ne aittir. Derginin hiç bir
bölümü, yayıncının izni olmaksızın, herhangi bir şekilde çoğaltılamaz.**

(All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any form without the
prior permission of the publisher.)

Tarandığı İndeksler (Indexing)



**ROOT
INDEXING**



**Google
Scholar**



**Academic
Journal
Index**

ESJI

**Eurasian
Scientific
Journal Index**



**ASOS
INDEX**



Tarım Makinaları Derneği (TARMAKDER)

Yazışma Adresi (Correspondence Address)

Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve
Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya
ertekin@akdeniz.edu.tr +90 505 257 90 80

Dernek Adresi (Association Address)

1462. Sok. No:33
Alsancak - İzmir / Türkiye
<https://www.tarmakder.org.tr>

İçindekiler (Contents)

Sayfa (Page)

Bağ ve Bahçe Atıklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Mekanik Yöntemler

Mechanical Methods Used in the Evaluation of Vineyard and Orchard Wastes
Nurgül ÖNGÖREN, Abdullah SESSİZ

58-67

Dijital Tarım, Tarım 4.0, Akıllı Tarım, Robotik Uygulamalar ve Otonom Sistemler

Digital Agriculture, Agriculture 4.0, Intelligent Agriculture, Robotic Applications and Autonomous Systems
Hasan ŞAHİN

68-83

Domates Sertliğinin Hasarsız Çarpma Tekniği Kullanılarak Belirlenmesi

Determining the Tomato Firmness Using Nondestructive Impact Technique
Gökhan AY, Kubilay Kazım VURSAVUŞ

84-104

Application of Computer Vision and Image Processing Technologies in Agro-Product Quality Control

Tarımsal Ürün Kalite Kontrolünde Bilgisayarlı Görme ve Görüntü İşleme Teknolojisinin Uygulanması
Omsalma Alsadig Adam GADALLA, Yeşim Benal ÖZTEKİN, Geofry Prudence BAİTU

105-113

A Literature Review on the Electric Tractors and Assessment of Using for Türkiye

Elektrikli Traktörler Üzerine Literatür Taraması ve Türkiye'deki Kullanımına Dair Değerlendirilme
Orhan TOPAL

114-125

Bağ ve Bahçe Atıklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Mekanik Yöntemler

Mechanical Methods Used in the Evaluation of Vineyard and Orchard Wastes

Nurgül Öngören^{1,*}, Abdullah Sessiz²

¹ Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.

² Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): N. Öngören, e-mail (e-posta): nurgulongoren@hotmail.com

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 03.02.2022
Düzeltilme tarihi : 13.04.2022
Kabul tarihi : 19.04.2022

Anahtar Kelimeler:

Bağ ve bahçe
Tarımsal atık
Dal parçalama makinası

Atf için:

Öngören, N. & Sessiz, A. (2022). "Bağ ve Bahçe Atıklarının Değerlendirilmesinde Kullanılan Mekanik Yöntemler", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2): 58-67.

ÖZET

Dünya'da ve ülkemizde bağ ve bahçe tarımı yaygın olarak yapılmaktadır. Tarımsal üretim ile birlikte budama, bakım ve hasat işlemleri sırasında fazla miktarda tarımsal atık meydana gelmektedir. Tarımsal atıklar arazide büyük sorunlar yaratmaktadır. Bağ ve bahçelerde meydana gelen tarımsal atıkların arazide bırakılması veya yakılması ve başarılı bir atık yönetiminin uygulanmaması hem çevre kirliliğine hem de hastalık zararlı artışına neden olmaktadır. Bu yüzden etkili çözüm yolları ile atıkların yararlı hale getirilebilmesi önemli ölçüde avantaj sağlayacaktır. Bağ-bahçe atıkları gibi tarımsal kaynakların daha etkin kullanabilmek ve değerlendirmek için buldukları ortamlardan toplayacak gerekli makinaların olması ve uygun depolama alanlarının bulunması gerekmektedir. Bu amaçla, tarımsal atıkların geri dönüşümünün sağlanmasında ve değerlendirilmesinde farklı makinalar ve ekipmanlar kullanılmaktadır. Bağ ve bahçelerdeki budama atıklarının işlenmesinde ve parçalanmasında genellikle dal parçalama ve öğütme makinaları kullanılmaktadır. Bu amaca yönelik makina ve ekipmanlar, tarımsal atıkları parçalayarak atıkların yararlı hale getirilmesini sağlamaktadır. Böylelikle, parçalanmış tarımsal atıklar başarılı bir atık yönetimi ile yeniden kullanılarak tarımda sürdürülebilirlik sağlanacaktır. Bu derleme çalışması ile tarımsal atıkların kullanım alanlarının ve budama atıklarının değerlendirilmesinde kullanılan parçalama makinalarının açıklanması amaçlanmıştır.

Article Info

Received date : 03.02.2022
Revised date : 13.04.2022
Accepted date : 19.04.2022

Keywords:

Vineyard and orchard
Agricultural residue
Branch shredder

How to Cite:

Öngören, N. & Sessiz, A. (2022). "Mechanical Methods Used in the Evaluation of Vineyard and Orchard Wastes", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 18(2): 58-67.

ABSTRACT

Vineyard and orchard agriculture are widely carried out in the world and in our country. Along with agricultural production, a large amount of agricultural residue is generated during pruning, maintenance and harvesting processes. Agricultural residues create major problems in the field. Leaving or burning the agricultural residues in the vineyards and orchards on the land and not applying a successful residue management cause both environmental pollution and an increase in diseases and pests. Therefore, it will be a significant advantage to make residues useful with effective solutions. In order to use resources effectively, it is necessary to have the appropriate machinery to collect agricultural residues from the land and to have suitable storage areas. For this purpose, different machines and equipment are used to recycle agricultural residues. Branch shredding and grinding machines are generally used in the processing and evaluation of agricultural residues in vineyards and orchards. Machinery and equipment for this purpose break down agricultural residues and make them useful. Thus, the fragmented agricultural residues will be reused with a successful residue management and sustainability in agriculture will be ensured. With this compilation study, it is aimed to explain the usage areas of agricultural residues and the shredding machines used in the evaluation of pruning residues.

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde bağ ve bahçecilik faaliyetleri yoğun olarak yapılmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) 2017 verilerine göre; dünyada toplamda 123,2 milyon hektar alanda toplamda yaklaşık 1,86 milyar ton yaş meyve ve sebze üretimi yapılmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2017 verilerine göre ise 1,3 milyon hektar alanda 23,1 ton yaş meyve üretimi ve 839 bin hektar alanda 30,8 milyon ton yaş sebze üretimi olmak üzere toplamda 2,1 milyon hektar alanda 53,9 milyon ton yaş meyve ve sebze üretimi yapılmaktadır (Bayramoğlu vd., 2019). Tarımsal üretim ile birlikte budama, bakım ve hasat işlemleri sırasında fazla miktarda tarımsal artık meydana gelmektedir. Tarımsal artıklar arazide büyük sorunlar yaratmaktadır. Bu yüzden etkili çözüm yolları ile artıkların yarayışlı hale getirilebilmesi üretimde önemli ölçüde avantaj sağlayacaktır. Bitkisel orijinli artıklar toprak ıslahı ve verimliliği açısından önemli derecede organik madde kaynağı olmasının yanısıra içerdikleri bitki besin maddeleri yönünden de önemli bir potansiyele sahiptirler (Çıtak vd., 2006). Bu yüzden bağ ve bahçe ürünlerinin yetiştirilmesi sırasında meydana gelen özellikle budama sürgünleri ve diğer bitkisel artıklar geri dönüşüm sağlanarak başarılı bir artık yönetimi ile yeniden üretime kazandırılmalıdır. Bitkisel içerikli artıklar; farklı amaçlar için işlenerek değerlendirilme olanaklarına sahiptirler. Örneğin yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesinin yanısıra kompost, kâğıt endsütrisi ve yonga levha kullanımı gibi birçok yerde değerlendirilmesi nedeniyle çevre dostu ve ekonomik bir üretim için etkili olabilmektedir (Çolakoğlu, 2018).

Geleneksel üretimde yaygın olarak kullanılan kimyasal gübreler, maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle üreticiye ek bir yük getirmekte ve istenilen miktarlarda kullanımı mümkün olmamaktadır (Hande ve Padole, 2015). Yüksek maliyetin yanı sıra bilinçsiz kimyasal gübre kullanımı insan, hayvan ve çevre sağlığını kötü yönde etkilemektedir. Bu yüzden bağ ve meyve bahçelerinden elde edilen budama artıklarının tekrar toprağa kazandırılarak gübre amacıyla kullanılması, hem başarılı maliyet yönetimi hem de doğa dostu tarımsal üretimin gerçekleşmesi açısından büyük fayda sağlamaktadır.

Bağ ve bahçelerde budama, hasat ve bakım işlemlerinin ardından meydana gelen tarımsal artıklar genellikle arazi içinde veya araziye yakın bir kısımda bekletilmektedir. Bu durum çevre kirliliğine sebep olmakla birlikte hastalık ve zararlıların artışında olumsuz etki yaratmaktadır. Bu nedenle bu artıkların bir şekilde parçalanıp yeniden değerlendirilmesi sağlanmalıdır. Bunun için gerekli makina ve ekipmanlar kullanılarak uygun depolama koşullarının sağlanması gerekmektedir.

Bağ ve bahçe faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan tarımsal artıkların parçalanmasında geniş arazi koşullarında kuyruk milinden hareketli veya kendi yürür, küçük üretim alanlarında ise sabit çalışan dal parçalama/öğütme makinaları kullanılmaktadır (Şeflek vd., 2006) (Şekil 1). Dal parçalama makinalarının kullanımı arazide kalan artıkların değerlendirilmesinde ve başarılı bir artık yönetiminin uygulanmasında büyük fayda sağlamaktadır. Böylece özellikle budama artıklarının yeniden değerlendirilmesi için dalların uygun boyutlarda küçültülmesini sağlamaktadır.

2. TARIMSAL ARTIKLARIN KULLANIM ALANLARI

Tarımsal orijinli bitkisel artıklar diğer katı atıklara göre daha az tehlikeli, çevre ve doğal döngüye daha az zararlı, dönüşümleri kısa süreli olan artıklardır. Bu yüzden, tarımsal artıklar rastgele doğaya veya buldukları ortamlara bırakılmamalıdır. Olanaklar dâhilinde organik artık olarak değerlendirilerek, geri dönüşümü sağlanmalıdır. Tarımsal artıkların değerlendirilmesi belirli bir plan ve yöntem çerçevesinde uzmanlar tarafından yeniden değerlendirilerek, ulusal ve uluslararası çevre ve tarım politikalarına uygun şekilde yürütülmelidir (Çolakoğlu, 2018; Sessiz vd., 2021). Tarımsal artıkların

değerlendirilmesi çevre sorunlarının azaltılmasında, hammadde rezervlerinin korunmasında ve ekonomik açıdan avantaj sağlanmasında etkili olacaktır. Her artık türünde olduğu gibi tarımsal artıkların da çeşidi ve türü farklılık gösterdiğinden değerlendirme işlemleri de aşağıda verilen artık kullanım çeşidine göre farklılık göstermektedir (Akırmak, 2010).

Günümüzde nüfus artışıyla birlikte toplumların enerji ihtiyacı artmaktadır ve buna karşın doğal kaynaklar hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu nedenle mevcut durumda fayda sağlayan yenilenebilir doğal enerji kaynaklarına ilave olarak tarımsal artıkların farklı şekillerde değerlendirilmesi kaynakların etkin kullanılabilmesi açısından büyük fayda sağlayacaktır.

Bitkisel ve hayvansal artıkların uygun nemli ortamda bozunması sağlanarak, organik gübreye dönüştürülmesi ve kompost olarak değerlendirilmesi sağlanmalıdır. Nitekim tarımsal üretime konu olan, doğrudan yem ve yakacak gibi amaçlarla kullanılmayan her türlü organik artık kompost hammaddesi olarak kullanılabilir (Yıldız vd., 2009). Özellikle, kompostun toprakta kullanımı ile toprak verimliliği artmaktadır.

Yonga levhalar; odun parçalarından (yonga, testere talaşı, rende talaşı vb.) ve/veya lignoselülozik malzemelerden (keten, kenevir, kendir, suyu çıkarılmış şeker kamışı posası, odunsu bitkiler) elde edilen yongaların tutkallandıktan sonra, sıcak olarak sıkıştırılmasıyla elde edilen levhalardır (Arslan, 2008). Budamadan elde edilen tarımsal artıkların yonga levha endüstrisinin üretimi için istihdam, sosyal ve ekonomik fayda, kırsal kalkınma, enerji verimliliği ve daha düşük hammadde maliyetleri gibi birçok alanda kullanılması önemli yararlar sağlamaktadır (Glanipoor vd., 2020).

Tarımsal artıklar ayrıca ağır metal birikiminin giderilmesinde ve değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Ağır metal birikiminin giderilmesinde kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemler yetersiz ve pahalıdır. Bu nedenle ucuz ve çevre dostu ekolojik çalışmalar yapılarak ağır metallerin birikiminin önlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalar; bakır, kurşun gibi ağır metal iyonlarının giderilmesinde tarımsal artıkların absorbent olarak kullanılarak hem endüstriyel atık suların çevreye olan olumsuz etkisinin giderilmesini, hem de bu atık suların geri kazanılarak kullanılabilme olasılığını gündeme getirmiştir (Doğan, 2005).

Doğaya bırakılan bir maddenin zamanla çeşitli mikroorganizmalar tarafından parçalanması ve tüketilmesi işlemi olan biyobozunmayla her geçen gün çevre kirliliği biraz daha artmaktadır. Bitkisel artıklara dayalı biyobozunur üretimi ile çevre kirliliğine çözüm sunulabilmektedir (Kayserilioğlu vd., 2003). Türkiye'deki tarımsal artık potansiyelinin fazla olması sebebi ile biyobozunur plastik üretimi için gereken hammadde fazlası ile mevcuttur. Bunların azaltılması için uygun teknolojiler kullanarak tarımsal artıkların yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülmesi sağlanarak çevre sorunlarına çözüm üretilmelidir (Çolakoğlu, 2018).

Bağ ve bahçelerde hasat ve budama faaliyetlerinde ortaya çıkan tarımsal artıkların değerlendirilmesi için alternatif yollardan birisi de artıkların malç haline getirilerek kullanılmasıdır. Malç kullanımı ile organik içeriğe sahip olan tarımsal artıklar değerlendirilerek toprak verimliliği arttırılmaktadır. Böylece bitkilerden daha sağlıklı ürünler elde edilebilmektedir.

Ucuz ve bulunabilirliği bakımından mantar yetiştiriciliğinde de tarımsal artıkların kullanılması söz konusudur. Mantar yetiştiriciliğinde aranan ilk koşul kullanılan ortamın nemli olmasıdır. (Gao vd., 2007). Tarımsal artıklar parçalanma sonucunda sahip oldukları nemi korurlar. Bu nedenle mantar yetiştiriciliğinde tarımsal artık kullanımı büyük fayda sağlamaktadır.

Tarımsal artıkların orman kaynakları gibi lifsel yapıya sahip olmaları nedeniyle kağıt sanayisinde kullanımları yaygındır ve farklı ürünler elde etmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Tarımsal

artıkların kâğıt hamuru üretiminde kullanılması orman kaynakları sınırlı olduğu için büyük avantaj sağlayacaktır (Çolakoğlu,2018).

Tarımsal artıkların özellikle geri dönüştürülebilmeleri açısından binaların yalıtım malzemesi üretiminde kullanılması insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkilerinin giderilmesi bakımından önemli derecede fayda sağlamaktadır. Aynı zamanda kimyasal içerikli yalıtım malzemelerinden daha hafif ve ucuz olması iyi bir alternatif ürün oluşturmaktadır. Esin ve Yüksek (2008), mevcut durumda kolay ulaşılması ve üretim maliyetlerini düşürmeleriyle birlikte aynı zamanda çevre sorunlarının önlenmesi açısından tarımsal artıkların, inşaat sektörü için iyi bir kaynak durumunda olduğunu bildirmişlerdir.

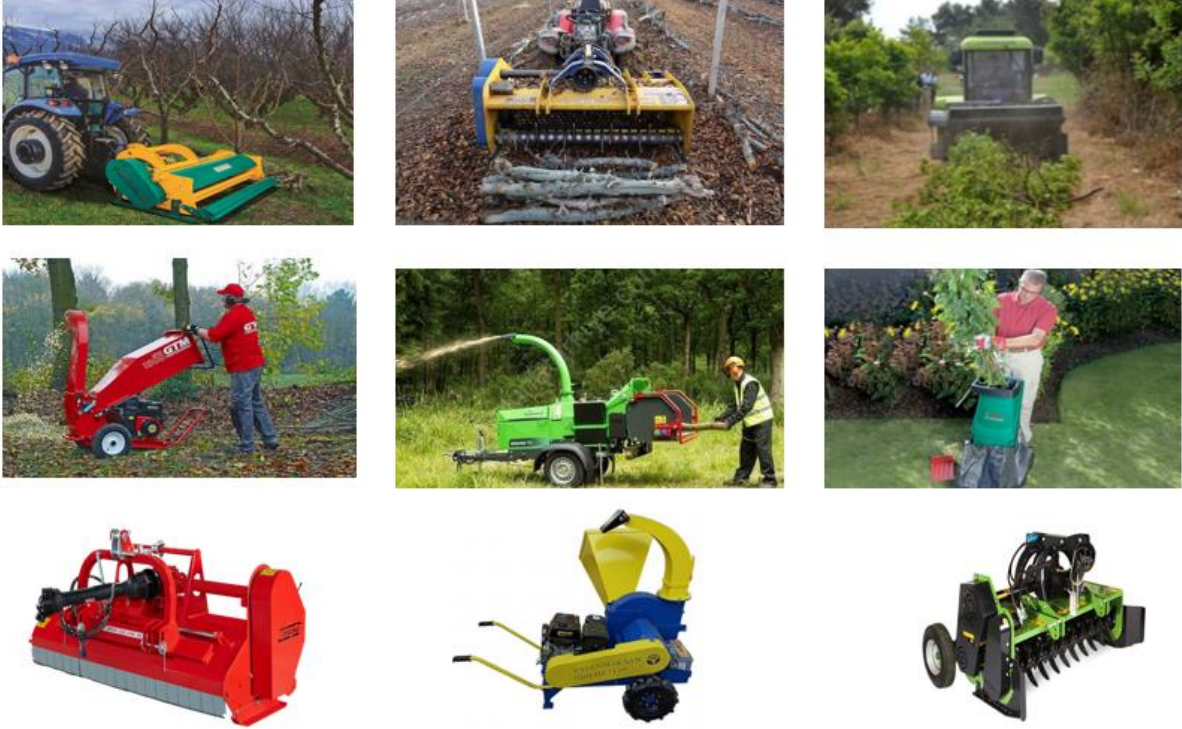
3. BUDAMA ARTIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN PARÇALAMA MAKİNALARI

Bağ ve bahçelerde yetiştiricilik, bakım ve hasat işlemlerinin ardından meydana gelen artıkların geri dönüşümde kullanılabilmesi için daha küçük boyutlarda olması gerekmektedir. Geleneksel yöntemlerle arazide bulunan artıkların doğranması etkili olmamaktadır. Daha etkili bir artık yönetimi için tarımsal üretim ve sonrasında mekanizasyon araçları kullanılmalıdır.

Bağ ve bahçe tarımı sonucunda ortaya çıkan tarımsal artıkların parçalanmasında geniş arazi koşullarında büyük ve kalın dal parçaları için kuyruk milinden hareketli veya kendi yürür, küçük üretim alanlarında ise daha çok ince ve yumuşak artıklar için sabit çalışan dal parçalama/öğütme makinaları kullanılmaktadır. Farklı imalatçılar tarafından üretilen bu makinalar traktörden veya kendi motorlarından hareket alarak çalışmaktadırlar. Parçalama işlemi bıçaklar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bıçak tipi ve bıçak sayısı makina modellerine göre farklılık göstermektedir. Parçalama işlemi için artıklar arazide bulunduğu yerden alınabilirken elle besleme de yapılabilmektedir.

Başta budama dalları olmak üzere bağ ve bahçelerde meydana gelen tarımsal artıkların parçalanması, öğütülmesi ve kompost haline getirilmesi amacıyla kullanılan mekanik araçlar budama artıklarının insan tarafından elle işlenmesinden doğan zorluklara alternatif üreterek, artıkların değerlendirilmesinde kolaylık sağlamaktadır.

Dal parçalama/öğütme makinalarının kullanımı, insan işgücü ihtiyacının azalmasıyla birlikte aerobik bozunma için budama artıklarının yüzey alanını artırarak kompostlama sürecini hızlandırıp zamandan tasarruf sağlamaktadır (Hande ve Padole, 2015). Aynı zamanda bağ ve bahçe faaliyetlerinde ileri teknolojilerin uygulanması sağlanarak geleneksel tarımda insan el emeğine dayalı üretime yeni bir bakış açısı getirilmektedir. Bununla birlikte arazide kalan bitkisel artıkların parçalanarak toprağa kazandırılması durumunda yakılmanın da önüne geçilerek karbondioksit ve karbonmonoksit gibi zararlı sera gazlarının da azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bu yönüyle de değerlendirilerek çevresel kirliliğin önlenmesi ve bitkisel artıkların tarımda girdi olarak kullanılabilmesine olanak sağlanmaktadır.



Şekil 1. Bağ ve bahçe artıklarının parçalanmasında kullanılan makineler

Şekil 1’de farklı imalatçılar tarafından üretilen budama atığı parçalama makina ve ekipmanları görsel bütünlüğü sağlama açısından bir arada verilmiştir. Bu bölümde görsellerde verilen dal parçalama makina ve ekipmanlarının özellikleri açıklanmaktadır.

Hidrolik sap ve dal parçalama ekipmanı; üç nokta askı düzeni ile bağlanan, 45-60 BG güç ihtiyacı olan, hareketini kuyruk milinden alan yandaki kızakları ve arkasındaki merdane sayesinde topraktaki yüzey bozukluklarına rağmen toprağa çarpmadan çalışabildiği için bıçak kırma ve balans hassasiyetini koruyabilen tarımda kullanılabilen önemli bir ekipmandır (Anonim, 2022a).

Çift yönlü dal parçalama makinası; 6 cm kalınlığında elma, narenciye dallarını, bağ kökü ve çubuğunu parçalamaktadır. Çift taraflı çalışması ile piyasadaki muadillerinden ayrılmaktadır. Dallar hidromotor vasıtası ile makinanın içine alınır, sıkıştığı zaman traktör üzerinden inmeden geri çevirme özelliği vardır. Makinanın genişliği 200 cm kadar çıkabilmektedir. Üç nokta askı sistemi ile traktöre bağlanmaktadır. Güç ihtiyacı 55-100 BG arasında değişmektedir. Parçalama işlemini aşınmayan dayanıklı kelebek çelik bıçaklar gerçekleştirmektedir. Lastik tekerlekler sayesinde makinanın yerden yüksekliği ayarlanabilmektedir. Aynı zamanda otomatik kayış gergi sistemi ve dalların daha fazla parçalanmasını sağlayan taraklara sahiptir. (Anonim, 2022b).

Kendi yürür budama atığı parçalama makinası; Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü tarafından geliştirilmiştir. Makina güç kaynağı bir dizel motordur (115 BG). Makinanın ön tarafında bulunan ünite; üst toplama, alt toplama, parçalama ve elek ünitelerinden oluşmaktadır. Elektronik kontrol sistemi (PLC) ile makina kontrolü sağlanmaktadır. Aynı zamanda makina çalışma sırasında temel işletmecilik değerlerini ölçerek görüntüleyip kaydeden panel PC destekli bir ölçme sistemi mevcuttur. Toplama ünitesi genişliği 170 cm olacak şekilde geliştirilmiştir. Budanan ve sıra aralarında namlu haline getirilen budama artıkları makina tarafından parçalanarak toprak zemine bırakılmaktadır (Çanakçı vd., 2018).

Dal parçalama ve öğütme makinası; 8 cm ve 8,5 cm çapına kadar olan taze dalların parçalanması için üretilen öğütücülerdir. Makina 13 BG güçlü benzinli motor ve dönüş için 2 kayıştan destek alan bir rotordan oluşmaktadır. Rotor üzerinde 2 adet bıçak yerleştirilmiştir. Bir besleme borusu aracılığıyla dallar rotora yönlendirilir ve burada parçalanır. Parçalanmış malzeme sonra bir başka boru aracılığıyla dışarı atılır. Rotor üzerinde bir zıt bıçak konumlandırılmıştır. (Anonim, 2022c)

Farklı bir imalatçı tarafından üretilen benzer bir diğer dal parçalama makinası ise; en fazla 10 cm çapında olan dalları parçalayabilmektedir. Uzun ömürlü ve çift yönlü bıçaklara sahiptir. 18 BG güçlü benzin motorlu modelinin yanı sıra 30 BG güç ihtiyacı ile traktöre bağlanan (kuyruk mili ile) ve hidrolik sistem ile (40-60 litre) iş makinasına bağlanan olmak üzere üç farklı model seçeneği mevcuttur (Anonim,2022d).

Bahçe tipi dal öğütme makinası; küçük alanlarda sabit bir biçimde kullanılan makina yeşil artıkların ve 40 mm'ye kadar kalınlıktaki dalların öğütülmesinde yüksek performanslı hız ve verimlilik sağlamaktadır. Çalı ve yumuşak yeşil bahçe artıklarının dal öğütme makinasına hızlı ve kolay beslenmesi için özel tasarlanan hızlı besleme hunisi ve tıkaç saatte 90 kg malzeme geçişi sağlayabilir (Anonim, 2022e)

Genellikle meyve bahçeleri ve bağlarda kullanılan dal parçalama makinası; arazide hasat sonrası oluşan bitki artıklarını parçalamak için kullanılmaktadır. Hidrolik kaydırma özelliği sayesinde ağaç altlarına yakın çalışmaya elverişlidir. Makina: Üç nokta askı sistemi, PTO korumalı şaft, 540 rpm PTO; 2000 rpm rotor hızı sağlayan şanzıman, 120 mm boyunda çekiç bıçaklar, dört aktarma kayışı, yükseklik ayarlı düz merdane ve ön koruma levhalarından oluşmaktadır (Anonim, 2022f).

Mobil dal öğütme makinası budanmış ağaç dalları, yaprakları, çim-çayır, çırpı gibi artıkları ufak parçalara ayırarak yonga haline gelmesine olanak sağlamaktadır. Makina; iki tekerlekli bir şasi üzerine oturtulmuş, 15 BG güçlü, 4 zamanlı benzinli motora sahip (marşlı-akülü) ve baca sistemi 360⁰ dönebilen üç adet bilenebilir bıçaktan oluşan, hem sabit hem de bir kişi aracılığıyla bağ ve bahçelerde hareket ederek çalışabilme özelliğe sahiptir (Anonim, 2022g).

Son görselde görünmekte olan dal parçalama makinası da arazide bulunan budanmış dal ve sürgünlerin parçalanmasını sağlamaktadır. Makinanın arka tarafında yer alan elek sayesinde, dallar elek çapından geçecek boyuta gelinceye kadar parçalanmaya devam eder. Makinanın hem ileri hem geri çalışabilme özelliği vardır. İlerleme yönünün tersine çalışan ve hidromotor tarafından tahrik edilen besleyici rotor, üzerinde bulunan güçlü parmaklar sayesinde büyük dal parçalarını makinanın içerisine hızla alarak yüksek parçalama etkinliği sağlamaktadır. Rotor devir hız ayarı ise kasnak ayar kolundan yapılmaktadır (Anonim 2022h)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bağcılık ve bahçe tarımı faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan tarımsal artıkların arazide yerde bırakılmaları ve değerlendirilmemeleri hem bitki ve çevre sağlığı açısından hem de yoğun iş gücü gereksinimi açısından sorun yaratmaktadır. Bağlarda ve bahçelerde özellikle budama işlemlerinden sonra bitki yapısı nedeniyle yoğun miktarda dal ve sürgün artıkları bulunmaktadır. Bu tarımsal artıkların parçalanması için üretilen dal parçalama makinaları ile dallar istenilen parçacık boyutuna getirilmelidir. Böylelikle arazide mevcut olan artıkların değerlendirilmesi sağlanmalıdır.

Dal parçalama makinalarının kullanımı insan iş gücü temelli üretimde mekanizasyon kullanımına faydalı örnek oluşturmaktadır. Dal parçalama makinaları ile artıkların parçalanması sonucunda çevrenin korunması, artık yönetimi ve üretimde sürdürülebilirlik gibi faydalar sağlanmaktadır. Aynı

zamanda mekanik yöntemler ile zamanın etkin kullanımı sonucu arazi işlerinin zamanında yapılmasına da olanak sağlanmaktadır.

Asma ve meyve ağaçlarından elde edilen artıkların parçalanması ile elde edilen parçacıkların geri dönüştürülmesi sağlanarak birçok farklı alanda artıkların yeniden kullanımı sağlanabilmektedir. Böylece belirli bir nem ve besin içeriğine sahip tarımsal artıkların yararlı hale getirilmesinde büyük avantajlar yaratılmaktadır. Tarımsal artıkların değerlendirilmesi hem dönüştürülebilir ve sürdürülebilir bir tarım için hem de tarımda mekanizasyon kullanımının yaygınlaşması için büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Akırmak, E. (2010). Tarımsal Atık Şeker Pancarı Küspesi ile Sürekli Çalışan Dolgulu Kolonda Tekli Ve İkili Boyarmadde Ve Metal Gideriminin İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Anonim, 2022a. <https://www.yurdusar.com.tr/urunlerimiz/hidrolik-sap-ve-dal-parcalama>. Erişim Tarihi: 10.04.2022.
- Anonim, 2022b. http://www.torunoglumakina.com/products/product_detail/98/dal-parcalama-mak/dal-parcalama-mak. Erişim Tarihi: 10.04.2022.
- Anonim, 2022c. <https://www.enbahce.com/urun/gtm-gts-1300-ge-benzinli-dal-ogutme>. Erişim Tarihi: 10.04.2022.
- Anonim, 2022d. <https://www.makinaturkiye.com/dal-parcalama-makinesi-benzinli-p-120213>. Erişim Tarihi: 10.04.2022.
- Anonim, 2022e. <https://www.bosch-diy.com/tr/tr/p/axt-rapid-2200-0600853600-v100011763>. Erişim Tarihi: 10.04.2022.
- Anonim, 2022f. <https://toscano.com.tr/tek-tarafli-dal-parcalama/#aciklama>. Erişim Tarihi: 10.04.2022.
- Anonim, 2022g. <https://aydintarim.com/dal-ogutme-makineleri/mdo-015b-mobil-dal-ogutme-makinesi/>. Erişim Tarihi: 10.04.2022.
- Anonim, 2022h. <https://hisarlar.com.tr/urun/dal-parcalama-makinasi/>. Erişim Tarihi: 10.04.2022.
- Arslan, MB. (2008). Orman Ve Tarımsal Atıklardan Üretilen Kompozit Levhalarda Yüzey Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Bayramoğlu, Z., Karakayacı, Z., Ağızan, K., Ağızan, S., Bozemir, M. (2019). Sektör Hakkında Genel Bilgiler. Z. Bayramoğlu ve Z. Karakayacı (Editörler), *Yaş Meyve ve Sebze Çalıştayı 2019* (22-39). Atlas Akademi.
- Bekar, T. (2016). Waste Technology in Viticulture. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 17-24.
- Çanakçı, M., Topakçı, M., Karayel, D., Ünal, İ., Çakır, M., Yiğit, M., Özdemir, E. (2018). Kendi Yürür Bir Budama Artığı Parçalama Makinası İşletme Giderlerinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14(2), 127-134.
- Çıtak, S., Sönmez, S., Öktüren, F. (2006). Bitkisel Kökenli Atıkların Tarımda Kullanılabilme Olanakları. *Derim*, 23(1), 40-53.

- Çolakoğlu, B. (2018). Tarımsal Atıkların Alternatif Kullanım Alanları Konusunda Üretici Eğilimleri. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Doğan, N. (2005). Ağır Metal Gideriminde Tarımsal Atık Kullanımı. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Esin, T. ve Yüksek, İ. (2008). A Study on Ecological Properties of Building Materials Used in Traditional Buildings In Turkey. *Facilities*, 26(5/6), 229-241.
- Gao, L., Sun, MH., Liu, XZ., Che, YS. (2007). Effects of carbon concentration and carbon to nitrogen ratio on the growth and sporulation of several biocontrol fungi, *Mycological Research*, 111(1), 87-92.
- Gilanipoor, N., Spinelli, R., Naghdi, R., Najafi, A. (2020). Utilization of woody pruning residues of apple trees. *Forest Science and Technology*, 16(4), 216-223.
- Hande, A., Padole, V. (2015). Design and Fabrication of Portable Organic Waste Chopping Machine to Obtain Compost. *International Journal for Innovative Research in Science& Tecnology*, 2(3), 2349-6010.
- Kayseriilioğlu, BŞ., Bakır, U., Yılmaz, L., Akkaş, N. (2003). Use Of Xylan An Agricultural Byproduct, İn Wheat Gluten Based Biodegradable Films: Mechanical, Solubility And Water Vapor Transfer Rate Properties. *Bioresource Techonology*, 87(3), 239-246.
- Sessiz, A., Elicin, A.K., Esgici,R., Pekitkan, F.G., Turgut, MM., Öngören, N. (2021). *Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Üzerine Güncel Araştırmalar*. Akademisyen Kitabevi. <https://doi.org/10.37609/akya.919>
- Şeflek, AY., Çarman, K., Özbek, O. (2006). Budama Atıklarının Parçalanmasında Kullanılan Makinanın Performans Değerlerinin İrdelenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 2(3). 219-224.
- Yıldız, Ş., Ölmez, E., Kiriş, A., (2009, Haziran 18). *Kompost Teknolojileri Ve İstanbul'daki Uygulamaları*. İstaç A.Ş. https://istac.istanbul/contents/44/cevre-makaleleri_130838597679920659.pdf

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Vineyard and horticulture activities are carried out intensively in the world and in our country. Along with agricultural production, a large amount of agricultural waste is generated during pruning, maintenance and harvesting processes. Agricultural wastes create big problems in the field. Therefore, making waste useful with effective solutions will provide a significant advantage in production.

What is the importance of waste in agricultural production? What problems do agricultural wastes cause? How are agricultural wastes evaluated? How is waste management done? In what ways is waste shredding done? What are the mechanical methods used in the shredding of agricultural wastes?

In this study, it is aimed to explain the mechanical methods used in the evaluation of agricultural wastes. At the same time, it has been investigated in which areas agricultural wastes can be used.

Methodology

In the shredding of agricultural wastes resulting from vineyard and orchard agriculture, for large and thick branch pieces in wide field conditions, moving from the PTO or self-propelled, in small production areas, stationary branch shredding/grinding machines are used mostly for fine and soft wastes.

For an ecological and economical production, plantal wastes should be processed and recycled. For this purpose, agricultural wastes; It can be used in different areas such as compost and mulch making, heavy metal removal, energy source, particle board, mushroom, insulation material, and paper production.

Results and Conclusions

The fact that the agricultural wastes generated as a result of viticulture and horticultural activities take up space on the land and are not utilized cause problems both in terms of plant and environmental health and in terms of intensive labor requirement. In vineyards and horticultures, especially after pruning, there is a large amount of branch and shoot waste due to the plant structure. Branch shredding machines produced for the shredding of these agricultural wastes bring the branches to the desired particle size. Thus, it is possible to evaluate the wastes existing in the field.

The use of branch shredders is a useful example of the use of mechanization in human labor-based production. Benefits such as environmental protection, waste management and sustainability in production are provided as a result of the shredding of wastes with branch shredders. At the same time, it allows the field works to be done on time as a result of the effective use of time with mechanical methods.

It is possible to reuse the wastes in many different areas by recycling the particles obtained by the fragmentation of wastes obtained from vine and tree fruit. Thus, great advantages are created in making agricultural wastes with a certain moisture and nutrient content useful. The evaluation of agricultural wastes is of great importance both for a recyclable and sustainable agriculture and for the widespread use of mechanization in agriculture.

Yazarların Biyografisi



Nurgül ÖNGÖREN

Nurgül Öngören, 2019 yılında Ankara Üniversitesi Bahçe Bitkileri bölümünden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2021 yılında Dicle Üniversitesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. Şu anda Ege Üniversitesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nde doktora eğitimine devam etmektedir.

İletişim nurgulongoren@hotmail.com
ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0001-8576-0946>



Abdullah SESSİZ

Prof.Dr. Abdullah Sessiz, 1989 yılında Çukurova Üniversitesi Tarım Makinaları Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 1992-1999 yıllarında Samsun İli Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. Abdullah Sessiz şu anda Dicle Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır. Çift mahsul için alternatif toprak işleme sistemleri, biyoprosesler, biyolojik malzemeler, bitkisel üretim, hasat ve hasat sonrası, sistem yönetimi konuları üzerinde çalışmaktadır.

İletişim asesiz@dicle.edu.tr
ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-3883-0793>

Dijital Tarım, Tarım 4.0, Akıllı Tarım, Robotik Uygulamalar ve Otonom Sistemler

Digital Agriculture, Agriculture 4.0, Intelligent Agriculture, Robotic Applications and Autonomous Systems

Hasan Şahin^{1,*} 

¹ Harran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): H. Şahin, e-mail (e-posta): hsahin@harran.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 23.03.2022
Düzeltilme tarihi : 07.07.2022
Kabul tarihi : 12.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Akıllı tarım
Tarımsal robotik
Otonom sistemler
Yapay zekâ

Atf için:

Şahin, H., (2022). "Dijital Tarım, Tarım 4.0, Akıllı Tarım, Robotik Uygulamalar ve Otonom Sistemler", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2): 68-83.

ÖZET

Savaşlar, iklim değişikliği, salgın hastalıklar, kaçınılmaz politik göçler, dünya nüfusunun artması, nüfusun kırsal alanlardan şehirlere göçü ve yaşlanan nüfus, gıda ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Tarımda işçilik maliyetlerinin artışı, tarımsal faaliyetlerin fiziksel zorluğu ve tekrarlanan işlerden oluşması, tarımda mekatronik ve robotik uygulamaların artmasına neden olmuştur. Robotik ve mekatronik uygulamalar, tarımsal ürün tedarikinde verimliliği artırmakla birlikte, sosyal ve çevresel faydalar da sağlamaktadır. Pestisit ve herbisit kullanımını azaltan robotik yabancı ot ayıklama uygulamaları ve hassas püskürtücü sistemler de doğrudan pozitif çevresel bir etki oluşturmaktadır. Çalışmada, Dijital Tarım, Tarım 4.0, Akıllı Tarım, Tarımsal Robotik ve Otonom Sistemler ile ilgili yakın zamanda yayımlanmış olan literatür taraması yapılarak, teorik, laboratuvar ve saha uygulamaları içeren makaleler incelenmiştir. Bu çalışmada, dünyada, son on yılda dijital/akıllı/robotik tarımda yükselen trendler, bu alanda karşılaşılan temel zorluklar ve geleceğin tarımsal uygulamalarını destekleyecek kurumlar arası ortak bir stratejinin nasıl geliştirilebileceğine dair sorulara cevap aranmıştır. Dijital tarım, akıllı tarım, robotik tarım, tarım 4.0, hassas tarım gibi birçok kavramın kullanıldığı bir dönemde, kurumlar arası bir iş birliği ve iş bölümüne ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Ulusal anlamda ise, kısa, orta ve uzun vadeli stratejiler belirlenerek üniversiteler, tarım bakanlığı ve TÜBİTAK gibi kurumlar arası iş bölümü yapılması bilgi kirliliği ve kavram kargaşasının önüne geçerek zaman kaybını azaltacaktır.

Article Info

Received date : 23.03.2022
Revised date : 07.07.2022
Accepted date : 12.07.2022

Keywords:

Smart agriculture
Agricultural robotic
Autonomous systems
Artificial intelligence

How to Cite:

Şahin, H., (2022). "Digital Agriculture, Agriculture 4.0, Intelligent Agriculture, Robotic Applications and Autonomous Systems", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 18(2): 68-83.

ABSTRACT

Wars, climate change, epidemics, inevitable political migrations, increase in the world population, migration of population from rural areas to cities and ageing population cause an increase in the need for food. The increased labor costs in agriculture, the physical difficulty of agricultural activities and the formation of repetitive jobs have led to an increase in mechatronics and robotic applications in agriculture. Robotic and mechatronic applications not only increase efficiency in the supply of agricultural products but also provide social and environmental benefits. It provides a direct positive environmental impact in applications such as robotic weeding applications and precision sprayer systems that prevent the use of pesticides and herbicides. In the study, the recently published literature on Digital Agriculture, Agriculture 4.0, Smart Agriculture, Agricultural Robotics and Autonomous Systems was searched and articles containing theoretical, laboratory and field applications were examined. In this study, answers are sought to questions about the rising trends in digital/smart/robotic agriculture in the world in the last decade, the main challenges faced in this field, and how to develop a common inter-agency strategy that will support future agricultural practices. In a period when many concepts such as digital agriculture, smart agriculture, robotic agriculture, agriculture 4.0, and precision agriculture are used, it is seen that there is a need for cooperation and division of labor between institutions. In the national sense, by determining short, medium, and long-term strategies, division of labor among institutions such as universities, the ministry of agriculture and TUBITAK will prevent information pollution and confusion of concepts and reduce time loss.

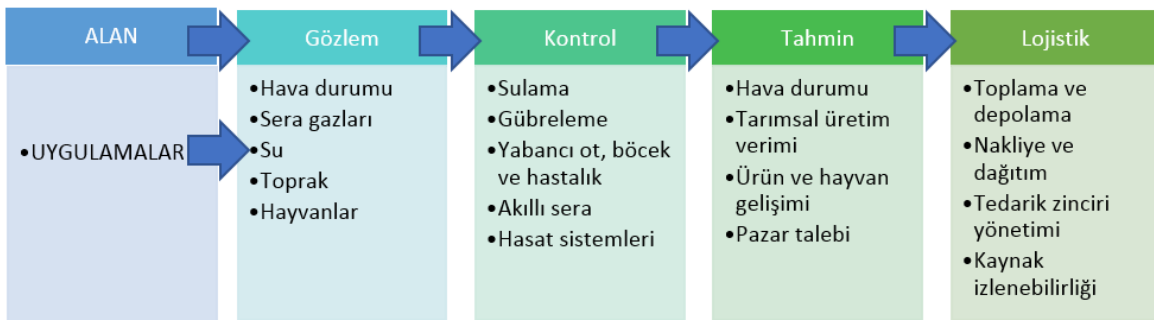
1. GİRİŞ

Küresel nüfus artışıyla birlikte iklim değişikliği, salgın hastalıklar (Covid-19 gibi), kaçınılmaz politik göçler, nüfusun kırsal alanlardan kentsel bölgelere kayması ve gelişmiş ülkelerde yaşanan nüfus, gıda ihtiyacını her geçen gün arttırmaktadır. Tarımsal işçiliğin fiziksel zorluğu, doğası gereği tekrarlanan işlerden oluşması ve işçilik maliyetlerinin artışı, tarımda robotik ve mekatronik uygulamaları hızlandırmıştır (Mekonnen & Hoekstra, 2016). Tarımsal robotik uygulamalar, gıda tedarik zinciri boyunca verimliliği artırmak ve israfı azaltmak gibi ekonomik faydalar sağlamanın yanı sıra, önemli toplumsal ve çevresel faydalar da sağlamaktadır. Pestisit ve herbisit kullanımı gerektirmeyen veya azaltan mekanik robotik yabancı ot ayıklama uygulamaları ve hassas püskürtücü sistemler de aynı zamanda herbisit kullanımını azaltarak çevreye olumlu bir katkı sunmaktadır (Mathiassen et al., 2006).

Tarımın en ilkel düzeyden günümüz seviyelerine erişimi zaman içinde kademeli olarak gerçekleşmiştir. Tarımda teknolojik gelişmeler 4 uzun döneme ayrılmaktadır. Bu dönemler, Tarım 1.0, Tarım 2.0, Tarım 3.0 ve Tarım 4.0 olarak adlandırılmaktadır. Çiftçilerin ağırlıklı olarak insan ve hayvan gücüne dayalı olarak el aletlerini kullandığı antik çağlardan, 19. yüzyılın sonlarına kadar süren geleneksel tarım uygulamalarının kullanıldığı dönem, Tarım 1.0 olarak kabul edilmektedir. Tarım 2.0 ise artık, tarım makinelerinin toprak işleme, sulama, ekim-dikim ve hasat işlemleri için kullanıldığı 1780-1870 yılları arasındaki dönem olarak adlandırılır (Y. Liu et al., 2021). "Hassas Tarım" olarak da adlandırılan Tarım 3.0 dönemi de tarımda bilgisayar ve elektroniğin kullanılması ile başlamıştır (Ahmad et al., 2021). "Endüstri 4.0" kavramının 2011 yılında hayatımıza girmesiyle, tarımsal dijital dönüşüm de "Tarım 4.0" olarak adlandırılan yeni bir döneme girmiştir (Dayıoğlu & Turker, 2021). Dünya 4. Sanayi Devrimi'ne hızla uyum sağlarken, Endüstri 4.0 çıktılarında biri olan tarım makineleri arasındaki etkileşim ile hız ve verimliliğin artırılması hedeflenmiştir. Bu teknolojilerin, bilginin daha da bilinçli bir şekilde kullanılmasını sağlaması, maliyetleri azaltması, üretkenliği artırması ve çiftçilerin işini kolaylaştırması beklenmektedir (Akbaş & Bağcı, 2021).

"Akıllı tarım" olarak da bilinen hassas tarımın kökenleri, 1970'lere dayanmaktadır. Hassas tarımın gelişimi, mekânsal ve zamansal değişkenliği daha iyi kontrol etme arzusuyla ortaya çıkmıştır (Blackmore, 2009). Otonom sistemlerin ortaya çıkışı, daha az enerji tüketen, ekonomik, küçük, akıllı makinelere dayalı yeni bir esnek tarımsal ekipman yelpazesi geliştirme fırsatı da vermektedir.

Tarım 4.0, gözlem, kontrol, tahmin ve lojistik temel alanlarından oluşmaktadır. Bu alanlar ise çeşitli alt uygulama alanlarını kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Tarım 4.0 temel alanlar ve uygulamaları (Araújo et al., 2021).

Endüstriyel süreçlerden, modern yolcu uçaklarına ve taşıt araçlarına kadar çeşitli uygulamalarda elektrik motorlarının ve aktüatörlerin yaygınlaşması, mekanik çekiş ve çalıştırma sistemlerinden elektrik tabanlı sistemlere doğru bir gidişin göstergesidir. Bununla birlikte, büyük dizel araçların uzun yıllar pratik kullanımda kalması tahmin edilmektedir. Son yıllarda fotovoltaikler, rüzgâr türbinleri ve biyogaz tesisleri için tarım arazilerinin kullanımında bir artış görülmektedir. Bu nedenle, yalnızca arazinin değil, aynı zamanda üretilen elektriğin kullanım potansiyeli de tarımsal robotik uygulamalar için bir fırsat sunmaktadır.

Birçok tarım makinası, mekanik bir bağlantı yoluyla doğrudan ana hareket ettiriciden (genellikle bir traktörden) tahrik edilir (Tim Chamen et al., 2015). Ancak, bunun yerine, elektrikli tahrik yöntemleri kullanılarak verimliliğin de arttırılabileceği öngörülmektedir. Diğer taraftan tarımsal alanlarda karşılaşılan en yaygın iş kazalarının, tarım makinalarının mekanik bağlantılarından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu nedenle, çiftlik ekipmanlarının elektrifikasyon ve otomasyonunun, iş sağlığı ve güvenliği açısından da büyük faydalar sağlayacağı açıktır (Tillett et al., 2008).

2. TARIMSAL ROBOTİK VE MEKATRONİK

Çiftlik düzeyinde, robotik sistemler artık hayvanların sağlanması için de yaygın olarak kullanılmaktadır (IFR, 2017). Hayvanların otlatılması/toplanması ise şu anda nispeten küçük bir yüzdendir, ancak bir AB öngörü çalışması, 2025 yılına kadar tüm Avrupa sürülerinin yaklaşık %50'sinin robotlar tarafından sağlanacağını tahmin etmektedir (Stanicek, 2020). Robotik sistemler, çiftlikte hayvan yönetiminden, atıkların çıkarılmasından, yemlerin taşınmasına kadar birçok görevi yerine getirmeye başlamıştır (Bechar et al., 2016; Saiz-Rubio et al., 2020; Yaghoubi et al., 2013). Çiftlik hayvanlarının otonom olarak izlenmesi ve saha verilerinin toplanması için bu sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Son zamanlarda yapılan çalışmaların odak noktası, tekrarlanan tarımsal aktivitelerin otomasyonunun geleneksel işçi veya makine yaklaşımından daha verimli ve etkili olduğunu belirlemek olmuştur (Fernández-Novales et al., 2021), (Bechar & Vigneault, 2016). Ürünün yakınında (yerde veya yükseklikte) çalışabilen robotik platformlar ve özellikle etkileşimli veya dokunsal özelliklerle donatılmış, örneğin; yumuşak meyve toplamak için geliştirilmiş uygulamalar görülmektedir.

Modern robotiğin bir avantajı da düşük maliyetli, hafif ve akıllı bileşenler kullanılarak oluşturulabilmeleridir. Cep telefonları, oyun konsolları ve mobil bilgi işlem sistemleri (dizüstü bilgisayarlar, tabletler vb.) gibi tüketici elektroniğinde yaygın kullanılan, yüksek kaliteli kameralar ve gömülü işlemciler bu tür platformlara çok düşük maliyetle yerleştirilebilmektedir (Shamshiri et al., 2018).

Mekatronik terimi, bilgisayarları, elektronik komponentleri ve mekanik parçaları birleştiren mühendislik sistemleri anlamına gelmektedir. Mekatronik kavramı, bu üç alt sistemin birleşimi ile anlam kazanmaktadır. Mekatronik sistemler, yapay zekâ teknikleri ile donatıldığında, tarımsal robotların ve akıllı tarım makinalarının temeli olan akıllı bir sistem olarak da tanımlanabilmektedir (Xiaoyu, 2020).

Bu durum farklı robotik uygulamalar için düşük maliyetli üretim imkânı vermektedir. Aslında hali hazırda geniş bir teknolojik altyapı, tarımsal robotiklerin sahaya geçişini daha da kolaylaştıracaktır. Bazı teknolojilerin özellikle tarım için geliştirilmesi gerekecekken, diğer alanlar için kullanılmakta olan teknolojiler, örneğin otonom araçlar, yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi teknolojiler tarım alanına hızlı bir şekilde uyarlanabilecektir (Tomar & Kaur, 2021).

3. ROBOTİK VE OTONOM SİSTEMLERİN UYGULAMADA KARŞILAŞTIKLARI SORUNLAR

Tarım platformları, önceden tanımlanmış bir alanda belirli bir ürün üzerinde belirli bir görevi gerçekleştirmek için tasarlanmış alana ve göreve özel robotlar ve farklı alanlarda çeşitli görevleri gerçekleştirmek için tasarlanmış genel platformlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Genel olarak çiftlikler çok farklı altyapıya sahip olduğundan, ilk robotlar yalnızca belirli bir çiftlikte yalnızca sınırlı bir ölçüde çalışabilmekte idi. Ancak yeni yaklaşımla birlikte, modern traktörün sayısız kullanım örneğine benzer şekilde, çok sayıda farklı görevi yerine getirebilen çok amaçlı robotlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemlerin zayıf noktalarında birisi de çoğunun çamur, yağmur, sis, düşük ve yüksek sıcaklıklar gibi gerçek saha koşullarına dayanıklı olmamalarıdır.

Tarım robotlarının zorlu, dinamik ve seralar gibi yarı yapılandırılmış ortamlarda hareket etmesi gerekmektedir. Yer robotlarının engebeli, homojen olmayan, çamurlu topraklarda hareket etmesi, hava araçlarının ise farklı hava koşullarında da uzun süre çalışması gerekir. Mevcut tarım robotları, esas olarak diğer sektörlerden (ör. dronlar) teknoloji ödünç alınarak veya mevcut platformlara (ör. otonom traktörler) bir eklenti olarak tasarlanmaktadır. Seralarda raylar üzerinde veya beton zeminde, açık alanlarda ise aşırı çamurlu ve zorlu arazilerde hareket etmek çok kolay olmamaktadır (Grimstad & From, 2017). Bu nedenle, hareket etmek için farklı araçlarla çok çeşitli robotların bir araya getirildiğinin yakın bir gelecekte görülmesi muhtemeldir. Günümüzde çoğu tarım robotu pil/akü ve elektrik motorları ile çalışmaktadır, ancak yakın gelecekte muhtemelen hem elektrikli hem de yanmalı motorların sahada bir süre daha birlikte çalıştığı görülecektir.

Robotik platformlarda önemli bir unsur da ağırlık ve hareket sisteminin zemin ve mahsul üzerindeki etkisidir. Bu yüzden paletli ve çok tekerlekli robotlar gibi çok farklı platformlar kullanılmaktadır. Platformlar ayrıca, verilen göreve de bağlı olarak farklı ağırlıklarda olmaktadır. Örneğin, hacimli veya kök sebzeler gibi mahsul hasadında kullanılacak platformun, yumuşak meyve toplamada kullanılanlardan daha ağır olması gerekmektedir. Benzer şekilde, bacaklı robotların ayak izlerini en aza indirmek, hareket esnekliğini en üst düzeye çıkarmak (örneğin yanlara veya ekinler arasındaki dar alanlarda hareket etmek, vb.) gerekmektedir.

İnsanlarla yakın iş birliği yapan ve cobots olarak adlandırılan robotlar, birçok endüstriyel sektörde önemli değişikliklere yol açmakta ve tarımsal otomasyonda da önemli bir yer tutması beklenmektedir (Akella et al., 1999). Bu tip robotik uygulamalar, ürünlerin verimli ve güvenli bir şekilde teslim edilmesini kolaylaştıran tarla içi lojistikten (nakliye), bütünleşmiş izleme ve müdahale uygulamalarına kadar uzanmaktadır.

Akıllı tarım makinalarının otomatik arazi operasyonlarını gerçekleştirebilmesi için, makinaların aşağıdaki yeteneklere sahip olması gerekir:

1. Fiili çalışma koşullarının farkında olma,
2. Değişen arazi, meteorolojik ve diğer koşullarına kendini uydurabilmesi,
3. Uygun bir mekanik sistem yardımıyla bu düzeltmeleri uygulayabilmesi.

Böyle bir yeteneğe ulaşmanın özü, genellikle, temel görevleri kontrol eden basit mantık kurallarından, karmaşık işlemleri gerçekleştirmek için karmaşık AI (yapay zekâ) algoritmalarına kadar uzanan, akıllı makineleri yöneten modellere dayanmaktadır. Bu üst düzey algoritmalar, yapay sinir ağları, bulanık mantık, olasılıklı akıl yürütme ve genetik algoritmalar gibi popüler teknikler kullanılarak geliştirilmektedir (Russell et al., 2021).

Bu akıllı makinaların birçoğu, bir işçinin yapabileceği bazı saha görevlerini yerine getirebildiğinden, bu tür makinelere robotik makineler de denebilir. Örneğin, otonom bir çim biçme makinesi, robotik makine kategorisine tam olarak uymasını sağlayan temel navigasyon ve yol planlama özelliklerine sahiptir ve bu nedenle, tarla robotu olarak tanımlanabilmektedir. Bu robotik makineler şu anda arazi çalışmalarında işçilerin yerini almasa da robotiklerin tarımda tanıtılması ve yaygın olarak kullanılması yalnızca bir zaman meselesidir. Şekil 2’de, Japonya Ulusal Tarım ve Gıda Araştırma Kurumu (NARO) tarafından geliştirilen otonom bir çeltik ekim makinesi (çeltik ekim robotu) ve Panasonic tarafından geliştirilen domates hasat robotu görülmektedir.



Şekil 2. Çeltik ekim robotu (NARO) ve domates hasat robotu (Panasonic Corp.)

4. MAKİNE GÖRÜSÜ

Yapay görme yaklaşımları, gıda üretiminde otonom robotik sistemlerin gelişimini sağlamak için önemli fırsatlar sunmaktadır. Ürün izleme için makine görüşüne dayalı görevler arasında fenotipleme (Pound et al., 2018), tek tek bitkilerin hasada ne zaman hazır olduğu, sınıflandırma (Kusumam et al., 2017) ve kalite analizi (Barnes et al., 2010) gibi verileri kullanarak bitkisel hastalıkların başlangıcını tespit etmek gibi uygulamalar sayılabilir.

Ayrıca makine algılaması (görüşü), segmentasyon, meyve, bitki gibi çiftlik hayvanları, insan, vb. nesnelerin sınıflandırılması ve takibini de kolaylaştıracaktır (Amend et al., 2019). Ayrıca, güvenli robotik sistemlerin sahada çalıştırılması, tarımsal ürünlerin anlamsal bölümlenmesi (yabani otların ve ana ürünün ayırt edilmesi) gibi “neyin”, “nerede” ve “ne zaman” olduğunu anlamayı sağlayacaktır (Haug et al., 2014),(Lottes et al., 2017). Tarımda “robotik görü” de doğru değerlendirme yapılabilmesi için, aydınlatma, hava koşulları, görüntü arka planı ve nesnedeki değişikliklere karşı duyarlılık gibi değişkenlerin etkin kontrolü gereklidir (Bosilj et al., 2018).

Yakın gelecekte bilgisayarlı görü teknolojisinin derin öğrenme teknolojisi gibi akıllı teknolojilerle birleştirilerek, büyük ölçekli veri kümelerine dayalı tarımsal üretim yönetiminin uygulanacağına ve sorunları çözmek için daha yaygın olarak kullanılacağına inanılmaktadır (Tian et al., 2020).

Yapay görme, hayvanların ağırlık tahmini, vücut kondisyonunun izlenmesi (Hansen et al., 2018) ve hastalık tespiti (Abdul Jabbar et al., 2017) gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Ayrıca, insan yüz biyometrisi çalışmalarından uyarlanmış yüz tanıma tekniklerinin bireysel hayvan tanımlama amacıyla kullanılması da (Hansen et al., 2018), hayvanlar için hedefe yönelik hassas bakım ve zamanında müdahalelere izin verecek ve çiftlik üretimini optimize edecektir.

Tarım ürünlerinin otomatik olarak tutulması ve kavranması, diğer sektörlere kıyasla bazı zorluklar içermektedir. Bunlar, aynı ürünün örnekleri arasındaki önemli doğal boyut ve şekil farklılıklarını,

ürünlerin heterojen konumlandırılmasını (örneğin hasat sırasında) ve gıda ürünlerinin kırılğan yapısı gibi durumlardır.

Meyve ve sebze hasadında ise durum daha da farklıdır. Meyve, sebze hasadında sadece olgunlaşmış ürünlerin toplanması gerekmektedir. Bu işlem yapılırken de olgunlaşmakta olan diğer ürünlerin ve bitkinin zarar görmemesi gerekmektedir (örneğin, sofralık domates hasadı otomasyonu). Benzer hasat sorunları için, yumuşak robotiğin (Cheng et al., 2020), (Shepherd et al., 2011) önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Marul hasadı için yumuşak robotik aparatlar ve elma toplamak için vakum cihazları gibi kavrayıcılara ihtiyaç vardır. Bunu başarmanın bir yolu, insanlar gibi elastik yapılar içeren değişken sertlikteki aktüatörlerdir (Al Abeach et al., 2017), (Godaba et al., 2020). Bazı görevler ayrıca doğru miktarda kuvvet uygulanmasını ve kontrolden ziyade kuvvete dayalı bir yaklaşım gerektirir. Genel olarak, tarımsal ürünlerdeki kavrama ve manipülasyon uygulamaları, hassasiyetle harekete geçme yeteneklerini korurken kuvvetlere karşı da sağlamlık gerektirir. Uyumlu manipülatörlerin ve kavrayıcıların geliştirilmesi, karmaşık görsel ve dokunsal sensörlere olan ihtiyacı azaltarak tarım robotlarının tasarımını kolaylaştıracaktır. Kavrama planlaması da önemli bir zorluktur. En yaygın yaklaşım, ürünleri bulmak için görüntü sistemlerini kullanmaktır. Bununla birlikte, kavranacak nesne diğer ürünler veya yapraklar tarafından kısmen gizlenmişse, bu yaklaşım başarısız olabilmektedir.

Teknoloji daha yüksek özerklik seviyelerine doğru gelişirken, insan denetimi öngörülebilir gelecekte çoğu tarımsal robotik sistem için hayati bir önem arzedecektir. Robotik sistemler ayrıca göreve ve çiftliğe özgü kısıtlamaları öğrenecek ve bunlara uyum sağlayacak şekilde tasarlanacaktır (Olsen & Wood, 2004). Güvenli Fiziksel İnsan Robot Etkileşimi (pHRI) (Haddadin & Croft, 2016), (Cherubini et al., 2016) yaklaşımları, etkileşimi izlemek ve güvenli olmayan bir durum tespit edildiğinde robotun davranışını ayarlamak için denetim sistemlerini içerir. Bunlar, genellikle kazaları önlemek için robotu yavaşlatmayı veya tamamen durdurmayı sağlayan önlemlerdir. Ancak bu yaklaşım, robot tam potansiyeliyle çalışmadığı için verimi önemli ölçüde azaltabilmektedir. Güncel araştırmalar, robotların güvenli olmayan durumları belirlemesine ve tahmin etmesine izin vererek bu yaklaşımı geliştirmeyi ve ardından hem üretkenlik hem de güvenliğin korunmasına izin verecek şekilde görevi sürdürebilmesini amaçlamaktadır (Pereira, 2017).

5. TARIMDA YAPAY ZEKÂ

Yapay zekâ teknolojilerinin, özellikle makine öğreniminde, yukarıdaki teknoloji alanlarının çoğunda önemli bir rol oynaması ve tarımsal robotlar için kolaylaştırıcı bir etken olacağı beklenmektedir (Bhardwaj et al., 2021; Tomar & Kaur, 2021). Tarımsal alanlar, bir robotik sistemin kullanım süresi boyunca değişikliklere ve güncellemelere maruz kaldığı ortamlardır. Örneğin yeni mahsul çeşitlerini, yabancı otları ve zararlıları tanıma, hastalıklar ve tedavileri, mevzuat ve iklim değişikliği bunlardan bazılarıdır (Galaz et al., 2021; Korinek & Stiglitz, 2021).

Tohum yerleştirme ve haritalama, bitkilerinin hava, ışık, besin ve toprak nemi gibi gereksinimler nedeniyle, tarımsal otomatikleşme ihtiyacı gittikçe artacaktır (Talaviya et al., 2021). Ayrıca, robotik, özellikle toprak (Fentanes et al., 2018) ve su (Hitz et al., 2012) için hem izleme hem de müdahaleler dahil olmak üzere, üretime yönelik girdilerin yönetiminde gelecekte önemli bir role sahip olacaktır. Mahsul yönetimindeki ana operasyonlardan biri, zamanında ve doğru bilgi toplamak için keşif yapmaktır. Tarımsal ürünlerin fiziksel durumunu değerlendirmek için çeşitli sensörler taşıyan otonom robotlar, veri toplamada işinde de kullanılmaktadır (Araújo et al., 2021). Bu verilerin toplanmasında hem hava hem de yer tabanlı platformlar veya bunların kombinasyonları (Walter et al., 2008) kullanılabilir.

Yabancı otların haritalanması, makine görüşü kullanılarak farklı yabancı ot türlerinin konum ve yoğunluğunun (biyokütle) kaydedilmesi, gerekli müdahalelerin zamanında yapılmasını sağlamaktadır. Robotik ot ayıklama, istenmeyen bitkileri mahsule zarar vermeden etkisizleştirmek, uzaklaştırmak veya gelişimini geciktirmek için, “alternatif yöntem” potansiyeli olan bir araştırma alanıdır. Yabancı ot kontrolü için alternatif yöntemler arasında, “makine görmesi” kılavuzluğunda, mekanik ayıklama (Machleb et al., 2020), seçici (mikro) püskürtme (B. Liu & Bruch, 2020),(Ghanizadeh & Harrington, 2019), lazerle ayıklama(Abouziena & Haggag, 2016; G. Coleman et al., 2021; G. R. Y. Coleman et al., 2019; Martins et al., 2015; Marx et al., 2012; Wöltjen et al., 2008), mikrodalga (Şahin, 2014; Şahin & Sağlam, 2015;Hess et al., 2018;Brodie, 2018) ve elektrik akımı (Şahin, 2020;Şahin & Yalınkılıç, 2017) gibi yöntemler yer almaktadır. Benzer şekilde, sıra arası yabancı ot kontrolü amacıyla geliştirilen, bulanık mantık algoritmali ot ayıklama bıçakları, elektronik olarak kontrol edilebilmektedir (Kumar et al., 2020).

Yabancı ot kontrolünde kullanılan kimyasallar, ürün verimi için zorunlu olarak kullanılsa da bu kimyasalların aşırı kullanımı ciddi tarımsal ve çevresel sorunlara neden oluşturmaktadır. Sahaya özgü yabancı ot yönetimi (SSWM-Site Specific Weed Management) uygulamalarında, yabancı otları ve mahsulleri tanımak için doğru bir tespit ve tanıma sisteminin kurulması gerekmektedir. Bu amaçla, insansız hava araçları (İHA) ve diğer robotlar, ana mahsulün ve yabancı otların dağılımını gösteren yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etme kabiliyetine sahip olduklarından, tarım arazilerini bitki bazında izleyerek hassas tarım (PA) uygulamalarında potansiyel çözümler sunmaktadır (Khan et al., 2021).

Yabancı otların insansız hava araçları kullanılarak, görüntü işleme teknikleri ile tespit edilmesi çalışmalarında da ilerlemeler kaydedilmektedir. Yabancı otların, çeşitli görüntü işleme teknikleri kullanılarak tanımlanması, yoğunluklarının tespit edilmesi (B. Şin, İ. Kadioğlu, 2019; Dasgupta et al., 2020; Dos Santos Ferreira et al., 2017; Luiz Carlos & Ulson, 2021; Rahman et al., 2015), ilaç çeşidi ve dozunun belirlenmesi (Sabancı & Aydın, 2014) gibi çalışmalar yapılmıştır. Bu yöntemlerle birlikte, evrişimli sinir ağına (Convolutional Neural Network-CNN) dayalı derin öğrenmeyi kullanarak, yabancı otların otomatik olarak tanımlanması ve ardından akıllı bir sistem aracılığı ile herbisitlerin yerel olarak püskürtülmesi sağlanabilmektedir. Dolayısıyla, büyük ölçekli herbisit kullanımını engelleyerek çevreyi koruyucu bir rol üstlenmektedir (Jabir & Falih, 2022; Tan et al., 2020).

Görüntü işleme yöntemi ile tarımsal ürünlerde verim tahmini, hastalık teşhisi (Fuentes et al., 2017; J. Liu & Wang, 2020; Ngugi et al., 2021; Selvaraj et al., 2019; Türkoğlu & Hanbay, 2019), zararlı türü tespiti yapabilen uygulamalara da rastlanmaktadır.

Sulama, robotların suyu doğru zamanda doğru yere hedeflemeye yardımcı olabileceği başka bir alandır. Farklı nesne tanıma algoritmaları kullanılarak, mobil robotlar ile gerçek zamanlı görüntüler üzerinde, bitki nesnelere tanınması ve bu tanıma sonucuna göre ilaçlama/sulama yapılması çalışmalarında yüksek başarılar elde edilmiştir (Özgen & Turan, 2020).

Hasat öncesi değerlendirme ve robotik duyu sistemler tarafından verim tahmini (Aggelopoulou et al., 2011), ekin hasadı için doğru zamanı seçmede yardımcı olacaktır. Seçici hasat, mahsulün yalnızca belirli kalite veya miktar eşiklerini karşılayan kısımlarının hasat edilmesini içermektedir (Bac et al., 2014). Bunun belirlenmesi için iki kriter gereklidir; bunlar, hasattan önce gerekli kalite faktörünü algılama yeteneği (tarla içi derecelendirme) ve kalan ürüne zarar vermeden asıl ürünü hasat etme yeteneğidir. Seçici hasat, mevcut robot teknolojisi için, karmaşık tarım ortamında gürültülü ve eksik duyu verileriyle otonom sensör-motor koordinasyonunun nasıl gerçekleştirileceği gibi çeşitli zorluklar içermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelecekte en önemli üç stratejik kaynak olarak karşımıza, gıda/tarım, temiz su ve yenilenebilir enerji çıkacaktır. Sürdürülebilir tarımsal kalkınmayı gerçekleştirmek için bu kaynakların daha verimli kullanılması bir zorunluluktur. Verimi arttırmak için de geleneksel tarım ve enerji yaklaşımlarından vazgeçilerek, hızla dijital ve akıllı teknolojilerin geliştirilerek çiftçinin hizmetine sunulması gerekmektedir. “Tarım 5.0” (Ahmad & Nabi, 2021) olarak da ifade edilen tarımsal dijital dönüşümün gerçekleştirilerek, akıllı tarım teknolojileri geliştirilmelidir.

Dijital tarım, verimi artırmak, çevreyi korumak ve veriye dayalı akıllı karar verme imkânı sağlayan bir tarımsal yönetimdir aslında. Bu teknolojiler, güvenli, sürdürülebilir ve yüksek verimli gıda üretimini destekleyerek artmakta olan dünya nüfusunun ihtiyaçlarına cevap verebilecektir. Teknolojik yenilikler, tarımın bugün karşı karşıya olduğu birçok ekonomik, sosyal ve çevresel zorlukların üstesinden gelmemize yardımcı olabilir. Tarımsal makine ve robotların iletişimi (nesnelerin interneti-IoT), büyük veri (Big data), yapay zekâ (AI), insansız hava araçları (unmanned aerial vehicles-UAV), insansız yer araçları (unmanned ground vehicles-UGV) ve robotik gibi yeni teknolojiler, tarımsal süreçleri daha verimli hale getirecektir. Geliştirilecek, ulusal ve uluslararası politikalar ve stratejilerle, akıllı ilaçlama, bitkisel hastalıklar, ürün ve toprağın izlenmesi, akıllı hasat gibi uygulamalara geçilmelidir.

Dünyanın en büyük 10 tarımsal ekonomisi arasında yer alan ülkemizin sahip olduğu bu potansiyeli arttırmak için tarımsal dijitalleşmeyi desteklemek gerekmektedir (Pakdemirli et al., 2021). Ayrıca, bu teknolojilerin ülkemizde kullanımının yaygınlaşması önünde farkındalık eksikliği, üreticilerin yüksek yaş ortalamasına sahip olması ve çiftçilerin eğitim düzeyi yetersizliği gibi engeller olduğu da söylenebilir (Ercan et al., 2019).

Dijital tarımda kurumlararası stratejik iş birliği için görev üstlenmesi gereken kurumlar olan; Üniversiteler, Tarım ve Orman Bakanlığı, ASELSAN ve TÜBİTAK gibi kurumların, YÖK veya Cumhurbaşkanlığı koordinasyonunda bir araya getirilerek bir yol haritasının çıkarılması gerekmektedir. Koordinatör kurum tarafından, tarımsal dijital teknolojik ihtiyaçların tespit edilerek, kurumlararası iş bölümü yapılmalıdır. İlgili kurumların, söz konusu tarımsal amaçlı dijital ve robotik teknolojilerin geliştirilmesi, üretimi ve ithalatı ile ilgili alınması gereken kararları alarak ilgili yasal düzenlemelerin ivedilikle yapılması gerekmektedir.

Ayrıca, ülkemizin tarımsal ihtiyaçları göz önüne alınarak, tarımsal mekanizasyonda ihtiyaç duyulan dijital teknolojiler tespit edilmeli ve gereksiz teknoloji ithalatının önüne geçilerek milli gelir kaybının önlenmesi gerekmektedir.

Aşağıdaki soruların cevapları aranarak oluşturulacak dijital tarım politikalarının, kurumlar arası iş birliği ve iş bölümü ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir;

- Dünya’da ve Türkiye’de son on yılda Dijital/Akıllı/Robotik Tarımda yükselen trendler nelerdir?
- Dijital/Akıllı/Robotik Tarım için mevcut uygulama alanları nelerdir?
- Dijital/Akıllı/Robotik Tarım sürdürülebilir kalkınmaya nasıl yardımcı olacaktır?
- Dijital/Akıllı/Robotik Tarımın karşı karşıya olduğu temel zorluklar nelerdir?
- Dijital/Akıllı/Robotik Tarımın temel unsurlarını kapsayacak ve geleceğin tarımsal uygulamalarını destekleyecek kurumlararası ortak bir strateji nasıl geliştirilebilir?

KAYNAKLAR

- Abdul Jabbar, K., Hansen, M. F., Smith, M. L., & Smith, L. N. (2017). Early and non-intrusive lameness detection in dairy cows using 3-dimensional video. *Biosystems Engineering*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.09.017>
- Abouziena, H. F., & Haggag, W. M. (2016). Weed Control in Clean Agriculture: A Review1. *Planta Daninha*, 34(2). <https://doi.org/10.1590/s0100-83582016340200019>
- Aggelopoulou, A. D., Bochtis, D., Fountas, S., Swain, K. C., Gemtos, T. A., & Nanos, G. D. (2011). Yield prediction in apple orchards based on image processing. *Precision Agriculture*, 12(3). <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9187-0>
- Ahmad, L., & Nabi, F. (2021). Smart Intelligent Precision Agriculture. In *Agriculture 5.0: Artificial Intelligence, IoT, and Machine Learning* (pp. 25-34). CRC Press.
- Ahmad, L., & Nabi, F. (2021). *Agriculture 5.0: Artificial Intelligence, IoT and Machine Learning*.
- Akbaş, G. G., & Bağcı, A. (2021). Economic growth and smart farming. *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 7(2), 104–121. <https://doi.org/10.30855/GJEB.2021.7.2.002>
- Akella, P., Peshkin, M., Colgate, E., Wannasuphoprasit, W., Nagesh, N., Wells, J., Holland, S., Pearson, T., & Peacock, B. (1999). Cobots for the automobile assembly line. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1. <https://doi.org/10.1109/robot.1999.770061>
- Al Abeach, L. A. T., Nefti-Meziani, S., & Davis, S. (2017). Design of a Variable Stiffness Soft Dexterous Gripper. *Soft Robotics*, 4(3). <https://doi.org/10.1089/soro.2016.0044>
- Amend, S., Brandt, D., Di Marco, D., Dipper, T., Gässler, G., Höferlin, M., Gohlke, M., Kesenheimer, K., Lindner, P., Leidenfrost, R., Michaels, A., Mugele, T., Müller, A., Riffel, T., Sampangi, Y., & Winkler, J. (2019). Weed Management of the Future. *KI - Kunstliche Intelligenz*, 33(4). <https://doi.org/10.1007/s13218-019-00617-x>
- Araújo, S. O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F., & Ramalho, J. C. (2021). Characterising the agriculture 4.0 landscape—emerging trends, challenges and opportunities. In *Agronomy* (Vol. 11, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040667>
- Bac, C. W., Van Henten, E. J., Hemming, J., & Edan, Y. (2014). Harvesting Robots for High-value Crops: State-of-the-art Review and Challenges Ahead. In *Journal of Field Robotics* (Vol. 31, Issue 6). <https://doi.org/10.1002/rob.21525>
- B. Şin, İ. Kadioğlu. (2019). *İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Yabancı Ot Tespitinin Yapılması*. Retrieved March 11, 2022, from <https://dergipark.org.tr/en/pub/tjws/issue/51404/669501>
- Barnes, M., Duckett, T., Cielniak, G., Stroud, G., & Harper, G. (2010). Visual detection of blemishes in potatoes using minimalist boosted classifiers. *Journal of Food Engineering*, 98(3). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.010>
- Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. In *Biosystems Engineering* (Vol. 149). <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014>
- Bhardwaj, H., Tomar, P., (2021). Artificial Intelligence and Its Applications in Agriculture With the Future of Smart Agriculture Techniques. *Igi-Global.Com*.

- Blackmore, S. (2009). New concepts in agricultural automation. *Precision in Arable Farming: Current Practice and Future Potential*, October.
- Bosilj, P., Duckett, T., & Cielniak, G. (2018). Connected attribute morphology for unified vegetation segmentation and classification in precision agriculture. *Computers in Industry*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.003>
- Brodie, G. (2018). The use of physics in weed control. In *Non-Chemical Weed Control*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809881-3.00003-6>
- Cheng, Y. C., Lu, H. C., Lee, X., Zeng, H., & Priimagi, A. (2020). Kirigami-Based Light-Induced Shape-Morphing and Locomotion. *Advanced Materials*, 32(7). <https://doi.org/10.1002/adma.201906233>
- Cherubini, A., Passama, R., Crosnier, A., Lasnier, A., & Fraise, P. (2016). Collaborative manufacturing with physical human-robot interaction. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.12.007>
- Coleman, G., Betters, C., Squires, C., Leon-Saval, S., & Walsh, M. (2021). Low Energy Laser Treatments Control Annual Ryegrass (*Lolium rigidum*). *Frontiers in Agronomy*, 2. <https://doi.org/10.3389/fagro.2020.601542>
- Coleman, G. R. Y., Stead, A., Rigter, M. P., Xu, Z., Johnson, D., Brooker, G. M., Sukkarieh, S., & Walsh, M. J. (2019). Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control. In *Weed Technology* (Vol. 33, Issue 4). <https://doi.org/10.1017/wet.2019.32>
- Dasgupta, I., Saha, J., Venkatasubbu, P., & Ramasubramanian, P. (2020). AI Crop Predictor and Weed Detector Using Wireless Technologies: A Smart Application for Farmers. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(12). <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04928-2>
- Dayıoğlu, M. A., & Turker, U. (2021). Digital Transformation for Sustainable Future - Agriculture 4.0 : A review. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(4), 373–399. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.986431>
- Dos Santos Ferreira, A., Matte Freitas, D., Gonçalves da Silva, G., Pistori, H., & Theophilo Folhes, M. (2017). Weed detection in soybean crops using ConvNets. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.10.027>
- Ercan, Ş., Öztep, R., Güler, D., & Saner, G. (2019). Tarım 4.0 ve Türkiye’de Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 25(2), 259–265. <https://doi.org/10.24181/Tarekoder.650762>
- Fentanes, J., Gould, I., (2018). 3-d soil compaction mapping through kriging-based exploration with a mobile robot. *Ieeexplore.Ieee.Org*.
- Fernández-Navales, J., Saiz-Rubio, V., Barrio, I., Rovira-Más, F., Cuenca-Cuenca, A., Santos Alves, F., Valente, J., Tardáguila, J., & Diago, M. P. (2021). Monitoring and mapping vineyard water status using non-invasive technologies by a ground robot. *Remote Sensing*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/rs13142830>
- Fuentes, A., Yoon, S., Kim, S. C., & Park, D. S. (2017). A robust deep-learning-based detector for real-time tomato plant diseases and pests recognition. *Sensors (Switzerland)*, 17(9). <https://doi.org/10.3390/s17092022>

- Galaz, V., Centeno, M. A., Callahan, P. W., Causevic, A., Patterson, T., Brass, I., ... & Levy, K. (2021). Artificial intelligence, systemic risks, and sustainability. *Technology in Society*, 67, 101741.
- Ghanizadeh, H., & Harrington, K. C. (2019). Weed management in New Zealand pastures. In *Agronomy* (Vol. 9, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/agronomy9080448>
- Godaba, H., Sajad, A., Patel, N., Althoefer, K., & Zhang, K. (2020). A two-fingered robot gripper with variable stiffness flexure hinges based on shape morphing. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*. <https://doi.org/10.1109/IROS45743.2020.9341554>
- Grimstad, L., & From, P. J. (2017). The Thorvald II agricultural robotic system. *Robotics*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/robotics6040024>
- Haddadin, S., & Croft, E. (2016). Physical human-robot interaction. *Springer Handbook of Robotics*, 1835–1874. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_69
- Hansen, M. F., Smith, M. L., Smith, L. N., Abdul Jabbar, K., & Forbes, D. (2018). Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device. *Computers in Industry*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.011>
- Hansen, M. F., Smith, M. L., Smith, L. N., Salter, M. G., Baxter, E. M., Farish, M., & Grieve, B. (2018). Towards on-farm pig face recognition using convolutional neural networks. *Computers in Industry*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.016>
- Haug, S., Michaels, A., Biber, P., & Ostermann, J. (2014). Plant classification system for crop /weed discrimination without segmentation. *2014 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, WACV 2014*. <https://doi.org/10.1109/WACV.2014.6835733>
- Hess, M. C. M., De Wilde, M., Yavercovski, N., Willm, L., Mesléard, F., & Buisson, E. (2018). Microwave soil heating reduces seedling emergence of a wide range of species including invasives. *Restoration Ecology*. <https://doi.org/10.1111/rec.12668>
- Hitz, G., Pomerleau, F., Garneau, M. È., Pradalier, C., Posch, T., Pernthaler, J., & Siegwart, R. Y. (2012). Autonomous inland water monitoring: Design and application of a surface vessel. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 19(1). <https://doi.org/10.1109/MRA.2011.2181771>
- International Federation of Robotics. (2017). Executive Summary—World Robotics (Service Robots) 2017. *World Robotic Report—Executive Summary*.
- Jabir, B., & Falih, N. (2022). Deep learning-based decision support system for weeds detection in wheat fields. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(1). <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i1.pp816-825>
- Khan, S., Tufail, M., Khan, M. T., Khan, Z. A., & Anwar, S. (2021). Deep learning-based identification system of weeds and crops in strawberry and pea fields for a precision agriculture sprayer. *Precision Agriculture*, 22(6). <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09808-9>
- Korinek, A., & Stiglitz, J. E. (2021). *Artificial Intelligence, Globalization, and Strategies for Economic Development*.
- Kumar, S. P., Tewari, V. K., Chandel, A. K., Mehta, C. R., Nare, B., Chethan, C. R., Mundhada, K., Shrivastava, P., Gupta, C., & Hota, S. (2020). A fuzzy logic algorithm derived mechatronic concept prototype for

- crop damage avoidance during eco-friendly eradication of intra-row weeds. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 116–126. <https://doi.org/10.1016/J.AIIA.2020.06.004>
- Kusumam, K., Krajník, T., Pearson, S., Duckett, T., & Cielniak, G. (2017). 3D-vision based detection, localization, and sizing of broccoli heads in the field. *Journal of Field Robotics*, 34(8). <https://doi.org/10.1002/rob.21726>
- Liu, B., & Bruch, R. (2020). Weed Detection for Selective Spraying: a Review. *Current Robotics Reports*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s43154-020-00001-w>
- Liu, J., & Wang, X. (2020). Tomato Diseases and Pests Detection Based on Improved Yolo V3 Convolutional Neural Network. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00898>
- Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2021). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6). <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>
- Lottes, P., Hörferlin, M., Sander, S., & Stachniss, C. (2017). Effective Vision-based Classification for Separating Sugar Beets and Weeds for Precision Farming. *Journal of Field Robotics*, 34(6). <https://doi.org/10.1002/rob.21675>
- Luiz Carlos, M., & Ulson, J. A. C. (2021). Real time weed detection using computer vision and deep learning. *2021 14th IEEE International Conference on Industry Applications, INDUSCON 2021 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/INDUSCON51756.2021.9529761>
- Machleb, J., Peteinatos, G. G., Kollenda, B. L., Andújar, D., & Gerhards, R. (2020). Sensor-based mechanical weed control: Present state and prospects. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 176). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105638>
- Martins, B. H., Araujo-Junior, C. F., Miyazawa, M., Vieira, K. M., & Milori, D. M. B. P. (2015). Soil organic matter quality and weed diversity in coffee plantation area submitted to weed control and cover crops management. *Soil and Tillage Research*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.005>
- Marx, C., Barcikowski, S., Hustedt, M., Haferkamp, H., & Rath, T. (2012). Design and application of a weed damage model for laser-based weed control. *Biosystems Engineering*, 113(2). <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.07.002>
- Mathiassen, S. K., Bak, T., Christensen, S., & Kudsk, P. (2006). The Effect of Laser Treatment as a Weed Control Method. *Biosystems Engineering*, 95(4). <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.08.010>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity {Science} {Advances}. *Sci Adv*, 2(2).
- Ngugi, L. C., Abelwahab, M., & Abo-Zahhad, M. (2021). Recent advances in image processing techniques for automated leaf pest and disease recognition – A review. In *Information Processing in Agriculture* (Vol. 8, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.04.004>
- Olsen, D. R., & Wood, S. B. (2004). Fan-out: Measuring human control of multiple robots. *Conference on Human Factors in Computing Systems- Proceedings*.

- Özgen, H., & Turan, M. (2020). Sulama/İlaçlama Robotu için Nesne Tanıma Çalışmaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 50–58. <https://doi.org/10.31590/EJOSAT.779052>
- Pakdemirli, B., Birişik, N., Aslan, İ., Sönmez, B., Gezici, M., Tarım, T. C., Bakanı, O., Araştırmalar Ve Politikalar, T., Müdürlüğü, G., & Yazar, S. (2021). Türk Tarımında Dijital Teknolojilerin Kullanımı ve Tarım-Gıda Zincirinde Tarım 4.0. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 78–87. <https://doi.org/10.21657/TOPRAKSU.898774>
- Pereira, A., Science, M. A.-I. T. (2017). Overapproximative human arm occupancy prediction for collision avoidance. *Ieeexplore.Ieee.Org*.
- Pound, M. P., Atkinson, J. A., Townsend, A. J., Wilson, M. H., Griffiths, M., Jackson, A. S., Bulat, A., Tzimiropoulos, G., Wells, D. M., Murchie, E. H., Pridmore, T. P., & French, A. P. (2018). Erratum: Deep machine learning provides state-of-the-art performance in image-based plant phenotyping [GigaScience, 6, 10] DOI: 10.1093/gigascience/gix083. In *GigaScience* (Vol. 7, Issue 7). <https://doi.org/10.1093/gigascience/giy042>
- Rahman, M., Blackwell, B., Banerjee, N., & Saraswat, D. (2015). Smartphone-based hierarchical crowdsourcing for weed identification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, 14–23. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2014.12.012>
- Russell, S., Foundations, P. N. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach, Global Edition 4th. *Elibrary.Pearson.De*.
- Sabancı, K., & Aydın, C. (2014). Görüntü İşleme Tabanlı Hassas İlaçlama Robotu. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(4), 406. <https://doi.org/10.15832/tbd.33629>
- Sahin, H. (2014). Effects of Microwaves on the Germination of Weed Seeds. *Journal of Biosystems Engineering*, 39(4), 304–309. <https://doi.org/10.5307/JBE.2014.39.4.304>
- Sahin, H. (2020). Investigating the effect of single and multiple electrodes on mortality ratio in electric current weed control method with NDVI technique. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4), 1973–1984. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.698307>
- Sahin, H., & Saglam, R. (2015). *ARPAN Journal of Agricultural and Biological Science A Research About Microwave Effects On The Weed Plants*. 10(3).
- Sahin, H., & Yalınkılıç, M. (2017). Using Electric Current as a Weed Control Method. *European Journal of Engineering Research and Science*. <https://doi.org/10.24018/ejers.2017.2.6.379>
- Saiz-Rubio, V., Agronomy, F. R.-M.-, & 2020, undefined. (n.d.). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Mdpi.Com*.
- Selvaraj, M. G., Vergara, A., Ruiz, H., Safari, N., Elayabalan, S., Ocimati, W., & Blomme, G. (2019). AI-powered banana diseases and pest detection. *Plant Methods*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0475-z>
- Shamshiri, R. R., Weltzien, C., Hameed, I. A., Yule, I. J., Grift, T. E., Balasundram, S. K., Pitonakova, L., Ahmad, D., & Chowdhary, G. (2018). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *Int J Agric & Biol Eng*, 11(4), 1–14. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181104.4278>

- Shepherd, R. F., Ilievski, F., Choi, W., Morin, S. a, Stokes, A. a, Mazzeo, A. D., Chen, X., Wang, M., & Whitesides, G. M. (2011). Multigait soft robot Supporting Information. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(51).
- Stanicek, B. (2020). BRIEFING EPRS | European Parliamentary Research Service. In *Members' Research Service PE* (Vol. 689).
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Agriculture, H. Y., (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Elsevier*.
- Tan, J. W., Chang, S. W., Abdul-Kareem, S., Yap, H. J., & Yong, K. T. (2020). Deep Learning for Plant Species Classification Using Leaf Vein Morphometric. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 17(1). <https://doi.org/10.1109/TCBB.2018.2848653>
- Tian, H., Wang, T., Liu, Y., Qiao, X., & Li, Y. (2020). Computer vision technology in agricultural automation —A review. *Information Processing in Agriculture*, 7(1), 1–19. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2019.09.006>
- Tillett, N. D., Hague, T., Grundy, A. C., & Dedousis, A. P. (2008). Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosystems Engineering*, 99(2). <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.026>
- Tim Chamen, W. C., Moxey, A. P., Towers, W., Balana, B., & Hallett, P. D. (2015). Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. *Soil and Tillage Research*, 146(PA). <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.011>
- Tomar, P., & Kaur, G. (2021). *Artificial Intelligence and IoT-based Technologies for Sustainable Farming and Smart Agriculture*.
- Türkoğlu, M., & Hanbay, D. (2019). Plant disease and pest detection using deep learning-based features. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 27(3). <https://doi.org/10.3906/elk-1809-181>
- Walter, A., Khanna, R., Lottes, P., Stachniss, C., Siegwart, R., Nieto, J., & Liebisch, F. (n.d.). Flourish-a robotic approach for automation in crop management. *Ipb.Uni-Bonn.De*.
- Wöltjen, C., Haferkamp, H., Rath, T., & Herzog, D. (2008). Plant growth depression by selective irradiation of the meristem with CO2 and diode lasers. *Biosystems Engineering*, 101(3). <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.08.006>
- Xiaoyu, L. (2020, December). Application and research of artificial intelligence in mechatronic engineering. In *2020 5th International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering (ICMCCE)* (pp. 235-238). IEEE.
- Yaghoubi, S., Akbarzadeh, N., ... S. B.-I. J. of, & 2013, undefined. (n.d.). Autonomous robots for agricultural tasks and farm assignment and future trends in agro robots. *Citeseer*.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

The shift of the population from rural areas to cities, climate change, epidemics, migrations, the increasing need for food in the world and the increase in labor costs necessitate robotic and mechatronic applications in agriculture. Agricultural robotic and mechatronic applications also provide economic benefits by increasing productivity.

Mechanical robotic weeding applications and precision sprayer systems that reduce the use of agricultural chemicals make a positive contribution to the environment. It is expected to increase speed and efficiency with the interaction between agricultural machinery, which is one of the important outputs of Industry 4.0. It is necessary to ensure that these technologies are used more widely, to increase productivity by reducing costs and to facilitate the work of farmers.

The aim of this study is to find the common orientation of the current articles published in the agricultural transformation process, which is expressed under various titles such as digitalization in agriculture, agricultural robotics, Agriculture 4.0 and agricultural mechatronics. In this transformation process of our country, it is to determine the situation as the public and private sectors. It is to make a small contribution to researchers who will work on these issues by scanning hundreds of published articles.

Methodology

It is understood that agricultural robotic and mechatronic applications have come to a new stage in this period, when we have reached the end of Industry 4.0. In order not to fall behind in the rapidly developing digital world as a country, both the private sector and public institutions have a lot of work in agricultural digitalization, as in all areas. In the study, over 400 articles made in recent years in the world and in our country under the titles such as agricultural robotics, agricultural mechatronics, digital agriculture and Agriculture 4.0 were scanned and the important studies were benefited from.

It is thought that the content and bibliography of this study will be useful to researchers who will work on similar subjects. For this reason, as much as possible, recent studies published in indexed journals have been cited.

Results and Conclusions

In order to realize sustainable agricultural development, traditional agriculture and energy approaches should be abandoned and digital and smart technologies should be developed rapidly and offered to the service of the farmer.

In fact, digital agriculture is an agricultural management that provides the opportunity to increase productivity, protect the environment and make smart decisions based on data. These technologies will be able to respond to the needs of the growing world population by supporting safe, sustainable and highly productive food production. Technological innovations can help us overcome the many economic, social and environmental challenges facing agriculture today.

With the national and international policies and strategies to be developed, practices such as smart spraying, herbal diseases, monitoring of crops and soil, and smart harvesting should be started.

In order to increase this potential of our country, which is among the 10 largest agricultural economies in the world, it is necessary to support agricultural digitalization. In addition, it is necessary to know the reasons such as lack of awareness, high average age of the producers and insufficient education level of the farmers, and measures should be taken accordingly before the widespread use of these technologies in our country.

In addition, taking into account the agricultural needs of our country, digital technologies needed in agricultural mechanization should be determined and unnecessary technology imports should be prevented and the loss of national income should be prevented.

Yazarların Biyografisi



Hasan ŞAHİN


Yrd. Doç. Dr. olan Hasan ŞAHİN, ODTÜ Gaziantep Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünde bir süre okuduktan sonra, Lisans ve Yüksek Lisans derecesini, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Doktora derecesini ise aynı üniversitede Tarım Makineleri Anabilim dalında tamamladı. Araştırma konuları; mikrodalga ve elektrik akımı ile yabancı ot kontrolü, tarımsal mekatronik uygulamalar, güneş enerjisinin tarımsal uygulamaları, tarımsal iş sağlığı ve güvenliği, ısıtma soğutma havalandırma sistemleridir. Halen Elektronik ve Otomasyon Bölümü Mekatronik Programında çalışmakta ve bölüm başkanlığı görevini yürütmektedir.

İletişim hsahin@harran.edu.tr

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-3977-4252>

Domates Sertliğinin Hasarsız Çarpma Tekniği Kullanılarak Belirlenmesi

Determining the Tomato Firmness Using Nondestructive Impact Technique

Gökhan Ay¹ , Kubilay Kazım Vursavuş^{1,*} 

¹ Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): K.K. Vursavuş, e-mail (e-posta): kuvursa@cu.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 07.04.2022
Düzeltilme tarihi : 23.05.2022
Kabul tarihi : 03.06.2022

Anahtar Kelimeler:

Domates
Kabuk Yırılma Kuvveti
Kabuk Sertliği
Hasarsız Çarpma Tekniği
Çoklu Doğrusal Regresyon

Atf için:

Ay, G. & Vursavuş, K. K. (2022). "Domates Sertliğinin Hasarsız Çarpma Tekniği Kullanılarak Belirlenmesi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2): 84-104.

ÖZET

Bu çalışmada, altı farklı olgunluk safhasındaki Bandita F1 sera domates örneklerinde hasarsız çarpma testi uygulanmış ve test sonrasında ölçülen çarpma parametreleri, referans ölçüm olarak kabul edilen ve domateslerin sertlik tanımlamasında kullanılan kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve kabuk sertliği (KS) ile ilişkilendirilerek sertlik tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin geliştirilmesi amacıyla dinamik çarpma test düzeneği kullanılmıştır. Kuvvet algılayıcısına bağlı alüminyum çarpma plakası üzerine domates meyveleri 15 mm mesafeden çarptırılmıştır. Çarpma işlemi sonrası sertlik tahmin modeli geliştirmek amacıyla çarpma kuvveti-temas zamanı grafikleri kullanılarak hasarsız çarpma parametreleri elde edilmiştir. Bu çarpma parametreleri referans ölçüm olarak kabul edilen KYK ve KS ile ilişkilendirilmiştir. Çarpma parametre sayısı stepwise regresyon analiz yöntemiyle azaltılmıştır. Elde edilen hasarsız çarpma parametreleri çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak domates sertlik tahminleri yapılmıştır. Yapılan İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, geliştirilen sertlik tahmin modelleri içerisinde çarpma parametreleri ile domates KS arasındaki ilişki yüksek çıkmıştır. Kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarında domates KS tahmini belirtme katsayıları (R^2) sırasıyla 0.86 ve 0.88 olarak hesaplanmıştır. Belirlenmiş olan domates kabuk sertlik grupları dikkate alınarak örneklerin sertlik tahmininde kullanılan Model A, Model B ve Model C için kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarına ait sınıflandırma başarıları da hesaplanmıştır. Kalibrasyon veri grupları için Model A ve Model C'de gerçek doğruluk 77 ve başarı yüzdesi %83.70 olarak; Model B'de gerçek doğruluk 74 ve sınıflandırma başarı yüzdesi %80.43 olarak hesaplanmıştır. Doğrulama veri grubunda ise Model A ve Model B'de gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi için aynı değerler elde edilmiştir, bu değerler Model C'nin değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

Article Info

Received date : 07.04.2022
Revised date : 23.05.2022
Accepted date : 03.06.2022

Keywords:

Tomato
Skin Rupture Force
Skin Firmness
Nondestructive Impact Technique
Multiple Linear Regression

How to Cite:

Ay, G. & Vursavuş, K. K. (2022). "Determining the Tomato Firmness Using Nondestructive Impact Technique", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 18(2): 84-104.

ABSTRACT

In this study, nondestructive impact test was applied on Bandita F1 greenhouse tomato samples at six different maturity stages and the firmness models were developed by associating the impact parameters obtained after the impact test with the skin rupture force (KYK) and skin firmness (KS), which is accepted as the reference measurement and used in the definition of firmness of tomatoes. A dynamic impact test setup was used to develop firmness estimation models. Tomato fruits were dropped from a distance of 15 mm on the aluminum impact plate connected above the force sensor. In order to develop a post-impact firmness estimation model, nondestructive impact parameters were extracted using impact force-contact time graphs. Obtained impact parameters were associated with KYK and KS, which were accepted as reference measurements. The number of impact parameters was reduced by stepwise regression analysis method. Tomato firmness estimations were made using the measured nondestructive impact parameters with the multiple linear regression analysis method. According to the results of the statistical analysis, the relationship between the impact parameters and tomato skin firmness was found to be strong for all the developed firmness estimation models. In the calibration and validation datasets of KS, coefficients of determination (R^2) were calculated as 0.86 and 0.88, respectively. Taking into account the determined tomato skin firmness groups, the classification success of the calibration and validation datasets for Model A, Model B, and Model C used in the firmness estimation of the samples were also calculated. For the calibration datasets, the values of actual accuracy and success rate were found to be 77 and 83.70% in Model A and Model C; 74 and 80.43% in Model B, respectively. In the validation datasets, the values of true accuracy and classification success percentage in Model A and Model B were found to be same and higher than those of Model C.

1. GİRİŞ

Domates meyvesi dâhil olmak üzere farklı meyvelerin sertliğini güvenilir bir şekilde tahmin etmek için sıkıştırma ve penetrasyon testleri gibi çeşitli geleneksel ve standart yöntemler getirilmiştir. Bu testler, meyve dokusunu ve dolayısıyla sertliği tahmin etmek için kullanılan güvenilir ve geleneksel bir yöntemdir (ASAE, 2001; Abbott, 2004). Testten bir kuvvet-deformasyon profili elde edilir ve buna göre numunenin elastik sınır, biyolojik-akma ve kabuk yırtılma kuvveti ve meyve eti sertliği profilin geometrik bilgilerine göre tahmin edilir. (Bourne, 2002; Fidelibus ve ark., 2002). Klasik penetrometre ile ilgili çeşitli cihazlar geliştirilmiştir (Abbott, 1999; Peleg, 1999; Bourne, 2002). Önerilen bu yöntemlerin doğru ve tekrarlanabilir sonuçlarına rağmen, hepsi hasarlı ve zaman alıcıdır ve yalnızca ölçüm noktasında mekanik özellikleri temsil eder bu nedenle, meyve sınıflandırması için gerçek zamanlı ölçüm teknikleri olarak uygulanamaz.

Bir meyvenin olgunluğu, mekanik, kimyasal ve reolojik özelliklerini karakterize eden niteliksel bir ölçüdür ve tanımlanması zordur. Alternatif olarak, birçok meyvenin olgunluğu, meyvenin sertliği kullanılarak dolaylı olarak ölçülebilir, bu endeks (sertlik) olgunlukla ters orantılıdır (Mohsenin, 1986; Bashir ve Abu Goukh, 2003; García-Ramos ve ark., 2005). Bu nedenle sertlik, meyve sınıflandırmasında olgunluğun bir göstergesi olarak kullanılabilir (Jarén ve Garczía-Pardo, 2002; De Ketelaere ve ark, 2006; Cavalini ve ark, 2006; Lien ve ark., 2009).

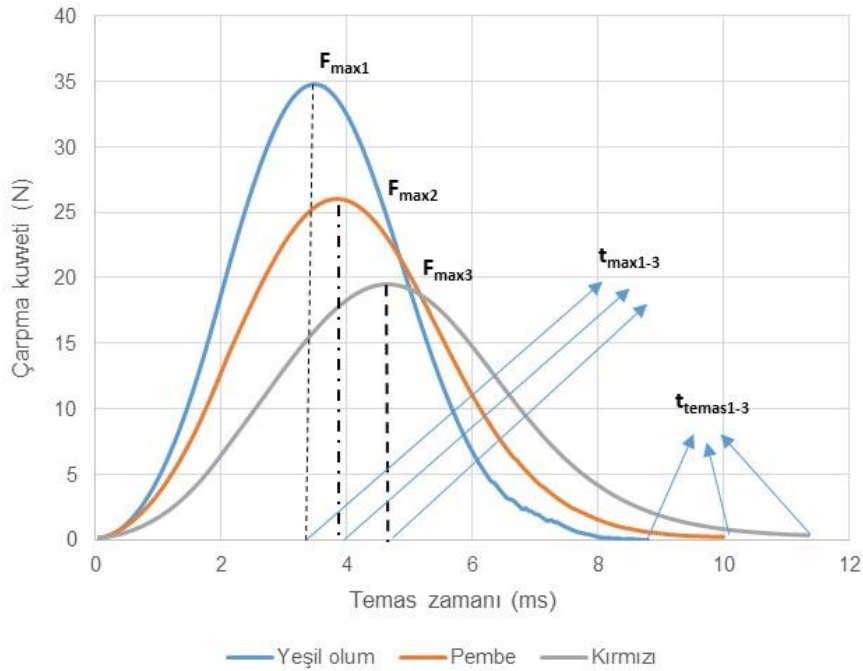
Farklı araştırmacılar tarafından yürütülmüş olan önceki çalışma sonuçları hasarsız çarpma tekniklerinin meyvelerin sertlik algılamalarında kullanılabileceğini göstermiştir (Garcia-Ramos ve ark., 2005; Chen ve Ruiz-Altisent, 1996). Hasarsız çarpma tekniği kullanılarak meyve sertliği algılamalarında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki kuvvet algılayıcısı üzerine meyvenin düşürülmesi ve ikincisi de düşük kütleli bir küresel yanal impaktörün ya da küresel uçlu bir çubuğun meyveye çarptırılması ve çarpma ivmesinin ölçülmesidir. Bu teknikler elastisite teorisi kullanılarak açıklanabilmektedir (Timoshenko ve Goodier, 1970). Bu teorik yaklaşım Hertz teorisinin genişletilmiş hali olup Newton'un ikinci yasasının da kullanılmasıyla çözümlenebilmektedir (Chen ve Ruiz-Altisent, 1996).

Sabit bir yüzey üzerine (kuvvet algılayıcı üzerine) çarpan elastik bir kürenin kuvvet tepkisi; elastik kürenin çarpma hızı, kütlesi, eğrilik yarıçapı, elastisite modülü ve Poisson oranı ile ilişkilidir. Bu tekniğin kullanılmasında ortaya çıkan problem, çarpma kuvvetinin meyvenin kütlesi ve eğrilik yarıçapının bir fonksiyonu olmasıdır. Bu nedenle, bu iki parametredeki büyük çaplı bir değişim sertlik ölçümlerindeki hassasiyeti belirli oranda etkileyebilecektir.

Wang ve ark., (2009) üç sertlik, iki düşme yüksekliği ve üç kütle grubunda yapmış oldukları hasarsız çarpma testlerinde şeftali meyvelerinin sertliğini tahmin etmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre 0.5-1.5 cm düşme yüksekliği ve 95.2-145.8 g kütle sınırlarında şeftali kütesinin ve düşme yüksekliğinin çarpma kuvveti üzerinde etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu şeftali olgunluğunun ise, çarpma kuvveti (F) üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak meyve sertliğinin hasarsız çarpma teknikleri kullanılarak ölçülmesinde F parametresinin meyve elastisite modülü parametresindeki değişime oldukça hassas olduğu görülmektedir.

Sertlik parametre indeksi olarak kullanılabilen hasarsız çarpma parametrelerinin meyve sertliği ile ilişkilendirilerek sertlik tahmin modellerinin geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalarda çoklu doğrusal regresyon, ayırma analizi, yapay sinir ağları ve destek vektör makinaları gibi istatistiksel yöntemler kullanılmış ve tahmin modellerinin sınıflandırma başarısı ölçülmeye çalışılmıştır.

Çalışmalarda meyvelerin mekanik özellikleri hasarlı referans ölçüm parametreleri olarak dikkate alınmış ve hasarsız çarpma parametreleriyle olan ilişkileri araştırılmıştır. Burada önemli olan meyve ya da sebzelerin hangi mekanik özelliklerinin referans ölçüm parametresi olarak kullanılabileceğine karar vermektir. Örneğin Şekil 1'de 15 mm'lik düşme yüksekliğinden kuvvet algılayıcı üzerine düşürülen domates meyvelerinin yeşil olum, pembe ve kırmızı olgunluk safhasında çarpma kuvveti ($F_{\max1-3}$), maksimum kuvvet zamanı ($t_{\max1-3}$) ve temas zamanındaki ($t_{\text{temas1-3}}$) değişim görülmektedir. Yine Şekil 1'den görüldüğü gibi domates meyvesi yeşil olum safhasından kırmızı olum safhasına kadar olgunlaştıkça çarpma kuvveti azalmakta, maksimum kuvvet zamanı ve temas zamanı artmaktadır. Hasarsız çarpma parametreleri olarak kabul edilen ve sertlik indeksi olarak da adlandırılan bu parametrelerin domatesin olgunluk safhasına bağlı mekanik özelliklerindeki değişimle olan ilişkileri sertlik tahmin modeli için önemlidir. Bu nedenle kuvvet algılayıcılarla ölçülen sertlik indeksinin (hasarsız çarpma parametreleri), domates referans ölçüm parametrelerinden (hasarlı mekanik özellikler) hangisini temsil edeceğine karar vermek gerekmektedir. Domateslerin mekanik özelliklerinden olan kabuk yırtılma kuvveti, kabuk sertliği ve elastisite modülü gibi parametreler birçok araştırmacı tarafından sertlik indeksi olarak kullanılmış olmakla birlikte önemli olan hasarsız çarpma parametreleri ile bu sertlik indeksleri arasından hangisinin yüksek oranda ilişki içerdiğini belirlemektir.



Şekil 1. Domates olgunluk safhasına bağlı maksimum çarpma kuvveti, maksimum kuvvet zamanı ve temas zamanındaki değişim

Kuvvet algılayıcı üzerine düşürme test uygulamalarına ilişkin çoğu çalışmada, sertlik tahmini ya da sınıflandırma modelleri geliştirmek için çarpma kuvveti-temas zamanı profilinden tanımlanan bazı çarpma parametreleri kullanılmıştır (Şekil 1). İlk çarpma indeksi, yaban mersini sertliğini tahmin etmek için maksimum çarpma kuvvetinin (F), maksimum çarpma kuvvetindeki zamanının karesine (t^2) oranı şeklinde (F/t^2) Rohrbach ve ark. (1982) tarafından kullanılmıştır. Ayrıca, Delwiche ve ark. (1987) F/t ve F/t^2 çarpma indekslerinin şeftali meyvelerinin kabuk yırtılma kuvveti ve elastisite modülüyle yüksek oranda ilişkili olduğunu belirlemiştir. Günümüze kadar hasarsız çarpma tekniği kullanarak meyve

sertlik tahminine yönelik birçok araştırmacı Elastisite ve Hertz teorilerini kullanarak çalışmalar yürütmüş ve özellikle meyvelerin sınıflandırılmasında kullanılacak sertlik algılayıcı sistemlerin tasarımına yönelik olarak Elastisite ve Hertz teorik eşitliklerinden yararlanmışlardır.

Hasarsız çarpma tekniği, orijinal malzemeye zarar vermeden kullanılan bir test ve analiz tekniğidir. Çarpma sırasında ölçülen gerilme değeri, meyve dokusunun sahip olduğu gerilme değerini aştığı anda hasar meydana gelmektedir. Bu nedenle çarpma gerilme değeri meyve doku gerilme değerinin altında olmalıdır. Bu koşulda, çarpma gerilmesi meyvede plastik deformasyona neden olmaz, çünkü çarpma kuvvetlerinin maksimum gerilme değerleri, sıkıştırma testinde meyvenin elastik sınır bölgesindeki gerilme değerlerinin altında kalmaktadır. Hasarsız çarpma tekniğinde materyalin mekanik hasara uğramaksızın ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla materyalin ve çarpma yüzeyinin mekanik özelliklerinin yanında düşme yüksekliği de kritik öneme sahip bir tasarım parametresi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, materyallerin zedelenme eşik yüksekliklerinin hesaplanması ve buna uygun düşme yükseklikleri kullanılarak sertlik algılamalarının yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada hasarsız çarpma tekniği kullanılarak Bandita F1 sera domateslerinin sertlik tahmininin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, altı farklı olgunluk safhasındaki domates örneklerinde hasarsız çarpma testi uygulanmış ve çarpma testi sonrasında elde edilen çarpma parametreleri, referans ölçüm olarak kabul edilen ve domateslerin sertlik tanımlamasında kullanılan kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve kabuk sertliği (KS) ile ilişkilendirilerek sertlik modelleri geliştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, kullanılan *Bandita* F1 domatesleri Adana ilindeki bir seradan temin edilmiştir. Domateslerde farklı sertlik grupları oluşturmak amacıyla yeşil olum, renk kırılması, renk dönüşümü, pembe olum, açık kırmızı ve kırmızı olum gibi altı farklı olgunluk safhasında hasat işlemi gerçekleştirilmiştir. Denemelerde kullanılan domateslerin ortalama kütle, ekvatorial çap, kalınlık ve yüksekliği sırasıyla 107.16 ± 15.34 g, 62.95 ± 5.18 , 57.63 ± 2.91 mm ve 46.82 ± 5.01 mm olarak ölçülmüştür.

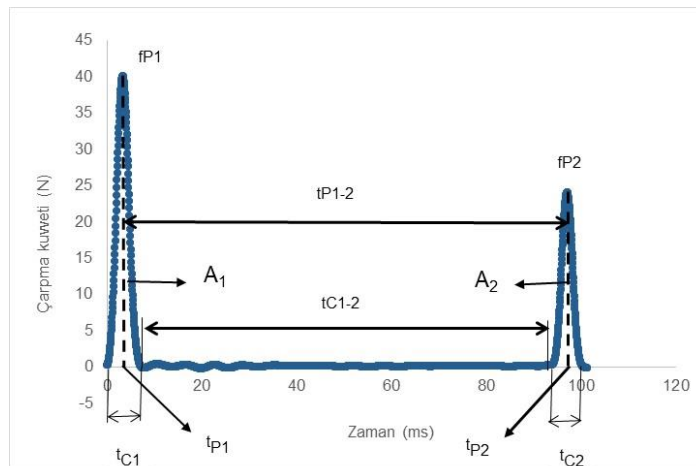
Domateslerin kabuk rengi, CR-400 model (Konica Minolta Chroma Meter, Japan) renk ölçüm cihazı kullanılarak L^* , a^* , b^* üç nokta ölçüm yöntemiyle renk uzayı koordinatları ölçülmüştür. Ölçüm öncesi, cihaz standart bir beyaz seramik plaka ile kalibre edilmiştir ($Y=88.20$, $x= 0.3174$, $y= 0.3222$). Renk ölçümleri (L^* , a^* , b^*) domates örneklerinin ekvatorial bölgesinde olmak üzere dört noktada gerçekleştirilmiştir. Bu dört ölçümün ortalaması olgunluk değerlendirmelerinde kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Minolta renk ölçüm cihazı ile yapılan ölçümlerdeki a^* değeri domateslerin kırmızılık derecesini, b^* değeri de mavilik derecesini belirtmektedir. Bu çalışmada, domateslerin kırmızılık değerleri ve olgunluk sınıflandırmaları Batu (2004) tarafından önerilen a^*/b^* değerleri kullanılarak yapılmıştır. Domates olgunluk safhalarının belirlenmesinde kullanılacak olan a^*/b^* renk değer aralıkları Çizelge 1'de verilmiştir. Domateslerin renk ölçüm noktaları hasarsız ölçüm ve sertlik ölçümleri için işaretlenmiş ve bu noktalardan hasarsız çarpma parametre ölçümleri de yapılmıştır. Denemeler süresince altı olgunluk safhası için 134 adet domates ve her domateste 4 renk ölçümü olmak üzere toplam 536 renk ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Domateslerin olgunluk safhalarının belirlenmesinde kullanılan a^*/b^* değerleri (Batu, 2004)

Olgunluk safhası	a^*/b^*
Yeşil olum	$-0.59 < a^*/b^* \leq -0.47$
Renk kırılması	$-0.47 < a^*/b^* \leq -0.27$
Renk dönüşümü	$-0.27 < a^*/b^* \leq 0.08$
Pembe olum	$0.08 < a^*/b^* \leq 0.60$
Açık kırmızı olum	$0.60 < a^*/b^* \leq 0.95$
Kırmızı olum	$a^*/b^* > 0.95$

Domateslerin sertlik ölçümlerinde Lloyd Üniversal Test cihazı (Lloyd Instrument LRX Plus Series) kullanılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için yapılan ölçümlerde 4 mm çapında düz batıcı uç kullanılmış ve 10 mm min^{-1} 'lik yükleme hızında çalışılmıştır. Batıcı uca 10 mm yol aldırılmıştır. Oluşturulan kuvvet-deformasyon grafikleri üzerinde yapılan okumalarda kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet (F_{KYN}) ile deformasyon (D_{KYN}) arasındaki oran (N mm^{-1}) domates sertliği (F_{KYN}/D_{KYN}) olarak ifade edilmiştir. Hasarlı ölçüm testi olarak da adlandırılan domates sertlik ölçümleri, 134 adet domates örneğinde hasarsız çarpma ölçümlerinin yapıldığı 2 noktada gerçekleştirilmiştir. Toplam 268 adet sertlik ölçümü yapılmış ve her domates örneği için ekvatorial bölgede ölçülen 2 değer ortalaması istatistiksel analizlerde kullanılmıştır.

Mekanik hasarsız çarpma tekniği ölçümlerinde Vursavuş ve ark. 2017 ve Tüdeş, 2019 tarafından da kullanılan ve genel çalışma ilkesi detaylı olarak açıklanan dinamik çarpma test cihazıyla hasarsız çarpma parametre ölçümleri yapılmıştır. Meyve vakum pompasıyla üretilmiş olan vakum etkisiyle tutulmuştur. Vakum etkisini yitirdiğinde meyve çarpma yüzeyine çarptırılmış ve böylece kuvvet çarpma yüzeyinin altına vidalanmış olan algılayıcı tarafından algılanan çarpma sinyalleri tek kanallı bir yükseltici (Model 4102C, DYTRAN) yardımıyla yükseltılarak sinyaller veri toplama kartına (NI USB-6009) iletilmiştir. İletilen bu sinyaller 14 bit hassasiyetli olan veri toplama kartının analog-dijital dönüştürücüsü yardımıyla sayısallaştırılmıştır. MATLAB kullanılarak geliştirilmiş olan yazılım aracılığıyla sinyallerin işlenmesi sonucu çarpma kuvveti – temas zaman grafikleri ve elde edilen çarpma parametreleri yazılım ara yüzünde görülebilmekte ve ileriki analizlerde kullanılmak üzere kaydedilebilmektedir. Yapılan çarptırma testleri sonucunda görüntülenen ikili çarpma kuvveti-zaman grafiği ve ölçülmüş olan hasarsız çarpma parametreleri Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. İki ardışık çarpma uygulaması sonrası oluşan çarpma kuvveti- zaman grafiği örneği

Çarpma plakası üzerinde iki çarptırma işlemi gerçekleştirilmiş ve farklı olgunluk safhalarına sahip domates örnekleri ile alüminyum çarpma plakası arasındaki mesafe Stropek ve Golacki (2007) ve Tüdeş, 2019 tarafından önerildiği gibi 15 mm olarak ayarlanmıştır. Dinamik çarpma test cihazının kontrolü yazılım üzerinden sağlanabilmektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi; meyvenin iki ana çarpma aldığı düşünülebilir (biri doğrudan düşme ve ikincisi ilk geri sıçrama nedeniyle oluşan düşme). Meyvenin kuvvet algılayıcısına düşmesi meyve dokusunda deformasyona neden olan bir kuvvet oluşturur. Kuvvet algılayıcı üzerine çarptırma açıkça, meyvenin toplam enerjisinin belirli bir kısmının iletildiği esnek olmayan bir şoku temsil etmektedir. İlk çarpmadan sonra, meyve geri sıçrama nedeniyle ikinci bir çarpmaya maruz kalmakta ve yeni bir enerji iletimi üretilmektedir. Bu enerji fraksiyonları, domates sertliğiyle doğrudan ilişkilidir.

Ardışık iki çarptırma işlemi sonrası oluşan kuvvet-zaman eğrisi altındaki alan impuls değişimini vermektedir. A_1 = Birinci çarpma impuls değeri ve A_2 = ikinci çarpma impuls değeri olarak gösterilen eğri altındaki alan hesabı aşağıda verilmiş olan eşitlik kullanılarak yapılmıştır.

$$A_{1,2} = \int_0^{t_c} F_{P1,2} \cdot dt = \int_0^{t_c} m dV = m(V_S + V_i) \quad (1)$$

Burada;

$A_{1,2}$: Birinci ve ikinci çarptırmanın impuls değerini (Ns),

t_c : Birinci ve ikinci çarptırmanın temas zamanını (s),

$F_{P1,2}$: Birinci ve ikinci çarptırmanın maksimum kuvvetini (N),

V_i : İlk çarpma hızını ($m s^{-1}$),

V_S : Son çarpma hızını ($m s^{-1}$),

ifade etmektedir.

2 ve 3 nolu eşitlikte yer alan V_i ve V_S hızları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_{i,1} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_d} \quad (2)$$

$$V_{s,1} = V_{i,2} = \frac{g \cdot t_{c1-2}}{2} \quad (3)$$

Burada;

h_d : 15 mm'lik düşme yüksekliğini ifade etmektedir.

t_{c1-2} : Birinci çarpma sonrası ikinci çarpmaya kadar geçen süreyi ifade etmekte olup çarpma sonrası sıçrama ve tekrar düşüş olmak üzere sıçrama ve düşme yüksekliği t_{c1-2} zamanının yarısı olarak alınmaktadır.

Şekil 2'de verilen ve hasarsız çarpma parametreleri olarak ifade edilen parametreler ve birimleri Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca, hasarlı ölçüm parametreleri olarak domateslerin sertlik ifadesinde kullanılan parametreler de Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2'deki çarpma parametrelerine ek olarak aşağıda verilmiş olan çarpma parametreleri de geliştirilmiş olan domates sertlik tahmin modellerinde kullanılmıştır (Lien, ve Ting, 2014). Yüksekliği, kuvveti ve hızı ölçmek pek pratik değildir. Alternatif bir yaklaşım, kuvvet-zaman profilini analiz ederek çarpışmayı karakterize etmektir. Buna göre, domates meyvelerinin olgunluğunu karakterize etmek için aşağıdaki hasarsız çarpma parametreleri önerilmiştir:

$$C_{P,12} = \frac{f_{P1} - f_{P2}}{t_{P1-2}} \quad (4)$$

$$C_{C,12} = \frac{f_{P1} - f_{P2}}{t_{C1-2}} \quad (5)$$

$$R_{FP} = \frac{f_{P2}}{f_{P1}} \quad (6)$$

$$RT_C = \frac{t_{C2}}{t_{C1}} \quad (7)$$

$$\Delta F_P = f_{P1} - f_{P2} \quad (8)$$

Lien ve ark. (2009) ve Lien ve Ting (2013), domates ve guava meyvelerinin kütle etkisini de içeren aşağıdaki çarpma parametrelerini de sertlik tahmin modellenmesinde kullanmışlardır.

$$C_{PW,12} = \frac{C_{P,12}}{W_W} \quad (9)$$

$$C_{CW,12} = \frac{C_{C,12}}{W_W} \quad (10)$$

Çizelge 2. Hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri

Ölçüm tipi	Parametre	Ölçü birimi
<i>Hasarsız ölçüm</i>	A ₁ = Birinci çarpmanın impuls değeri	Ns
	A ₂ = İkinci çarpmanın impuls değeri	Ns
	f _{p1} = Birinci çarpma maksimum kuvvet değeri	N
	f _{p2} = İkinci çarpma maksimum kuvvet değeri	N
	t _{p1} = Birinci çarpmanın maksimum zamanı	s
	t _{p2} = İkinci çarpmanın maksimum zamanı	s
	t _{c1} = Birinci çarpma temas zamanı	s
	t _{c2} = İkinci çarpma temas zamanı	s
	t _{c1-2} = İki çarpma arasındaki zaman	s
	W _w = Domates kütlesi	(g)
<i>Hasarlı ölçüm</i>	F _{KYK} = Domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK)	N
	F _{KYK} /D _{KYK} = Domates kabuk sertliği (KS)	N mm ⁻¹

Domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve domates kabuk sertliklerinin (KS) ölçüldüğü noktalarda öncelikle dinamik çarpma test cihazını kullanarak kuvvet algılayıcı üzerine çarpma testleri yapılmıştır. İkili çarpma olarak gerçekleştirilen ölçümler sonrasında aynı bölgede domates örneklerinin KYK ve KS ölçümleri LLOYD materyal test cihazı kullanarak gerçekleştirilmiştir. 134 adet farklı olgunluk safhasındaki domates örnekleriyle yapılmış olan çarpma testleri sonucunda elde edilen hasarlı ve hasarsız ölçüm parametreleri çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemiyle değerlendirilerek hasarlı ölçüm parametreleri bağımlı değişken olarak, hasarsız ölçüm parametreleri de bağımsız değişken olarak dikkate alınmıştır. Hasarlı ölçüm referans (kabuk yırtılma kuvveti (KYK): F_{KYK} ve domates kabuk sertliği (KS): F_{KYK}/D_{KYK}) ve hasarsız çarpma parametreleri arasındaki ilişki, Pearson korelasyon matrisi testi ile belirlenmiştir. D_{KYK} , kabuk yırtılma noktasındaki deformasyonu ifade etmektedir.

Domates örneklerinin sertlik sınıflandırması için kullanılan farklı olgunluk seviyesindeki 134 adet veri kümeleme analizine tabi tutulmuş ve istatistiksel olarak domates kabuk sertliği sınıf aralıkları belirlenmiştir. Böylece geliştirilmiş olan sertlik tahmin modellerinin sınıflandırma tahmin başarısı da hesaplanmıştır.

Farklı olgunluk safhasındaki 134 adet domates için elde edilen ortalama sertlik değerleri öncelikle iki gruba ayrılmıştır. Sertlik verilerinin (KYK ve KS verilerinin) %70'i kalibrasyon amaçlı, %30'u da doğrulama amaçlı kullanılmıştır. Domates sertlik değerlerinin tahmininde hasarsız ana çarpma parametreleri (F_{P1} , F_{P2} , t_{C1} , t_{C2} , t_{P1} ve t_{P2}), tüm çarpma parametreleri (I_1 , I_2 , F_{P1} , F_{P2} , t_{C1} , t_{C2} , t_{P1} , t_{P2} , t_{P1-2} , t_{C1-2} , $C_{P1,2}$, $C_{C1,2}$, R_{FP} , ΔF_P , RT_C , $C_{PW,12}$, $C_{C,12}$) ve stepwise regresyon analiz yöntemiyle seçilmiş olan çarpma parametreleriyle çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak sertlik tahmin model eşitlikleri geliştirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen tahmin model eşitliklerinin sertlik sınıflandırma başarıları da hesaplanmıştır. Literatürde önerilen ve sertlik indeksi olarak kullanılan $F_{p1,2}/t_{p1,2}$ ve $F_{p1,2}/t_{p1,2}^2$ çarpma parametreleri de test edilmiştir (Delwiche ve ark., 1987; Gutierrez ve ark., 2007). Fakat, yapılan istatistiksel analiz değerlendirmeleri sonucunda yukarıda belirtilmiş olan çarpma parametreleri kullanıldığında sonuçlarda daha fazla sertlik tahmin gelişimine ulaşamamıştır.

Kalibrasyon ve doğrulamanın hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), ortalama mutlak hatası (MAE) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) geliştirilen sertlik tahmin model eşitliklerinin performans değerlendirmelerinde kullanılmıştır. RMSE, MAE ve MAPE aşağıda verilmiş olan eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^{act} - Y_i^{est})^2} \quad (11)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i^{act} - Y_i^{est}| \quad (12)$$

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i^{act} - Y_i^{est}|}{Y_i^{act}} \right) \cdot 100 \quad (13)$$

Burada;

MAE : Ortalama mutlak hatayı,

$RMSE$: Hata kareler ortalamasının karekökünü,

$MAPE$: Ortalama mutlak hata yüzdesini,

Y_i^{act} : i. ölçülen değeri,

Y_i^{est} : i. tahmin edilen değeri,

n : Toplam ölçüm sayısını,

ifade etmektedir.

İstatistiksel değerlendirmelerde Eşitlikler 11-13'de verilmiş olan performans parametrelerinden daha yüksek R^2 değeri ve daha düşük RMSE, MAE ve MAPE değerlerini veren model optimal model olarak kabul edilmektedir.

Çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemi kullanılarak geliştirilmiş olan sertlik tahmin modellerinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$C = \beta_0 + \beta_1 C_1 + \beta_2 C_2 + \dots + \beta_n C_n \quad (14)$$

Burada;

C : Bağımlı değişkenleri ($KYK=F_{KYK}$, $KS=F_{KYK}/D_{KYK}$),

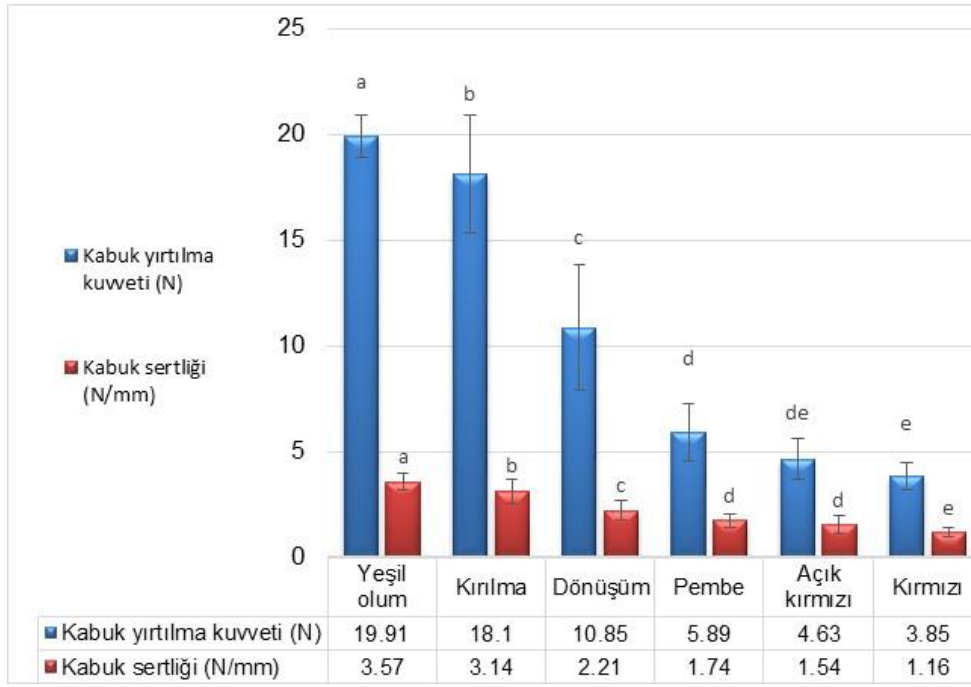
C_1, C_2, \dots, C_n : Çizelge 2'de açıklanmış olan bağımsız değişkenleri,

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$: modelin regresyon katsayılarını,

ifade etmektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Daha önceden işaretlenmiş olan noktalarda domates kabuk yırtılma kuvveti ve domates kabuk sertliği ölçümleri yapılmıştır. Olgunluk safhasına bağlı kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ve kabuk sertliği (KS) değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre olgunluk safhasındaki değişim hem KYK hem de KS üzerinde istatistiksel olarak %1 ($P<0.01$) seviyesinde etkili bulunmuştur. Ayrıca, Şekil 3'te görüldüğü gibi, KYK'nin oralamaları arasındaki fark yeşil olumdan pembe olum olgunluk safhasına kadar farklı gruplar içerisinde yer almış ve KYK deki düşüş eğilimi istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur. Açık kırmızı ve kırmızı olum safhasında bu değişim hızı yavaşlamış ve ortalamalar aynı grup içerisinde yer almıştır. İstatistiksel olarak da değerler arasındaki fark önemsiz çıkmıştır. Genel bir değerlendirme yapıldığında olgunluk safhasındaki değişimin KYK üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$).



Şekil 3. Olgunluk safhasına bağlı domates kabuk yırtılma kuvveti ve kabuk sertliği değişimi

Olgunluk safhasına bağlı domateslerin kabuk sertliğindeki (KS) değişim yeşil olumdan pembe olgunluk safhasına kadar hızlı gerçekleşmiştir. KS'deki değişim hızı pembe ve açık kırmızı olgunluk safhalarında azalmıştır. Kırmızı olgunluk safhasında ise KS önemli düzeyde azalma göstermiştir. Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testine göre de benzer sonuçlar elde edilmiş olup ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak ($P < 0.05$) da aynı eğilimde gerçekleşmiştir.

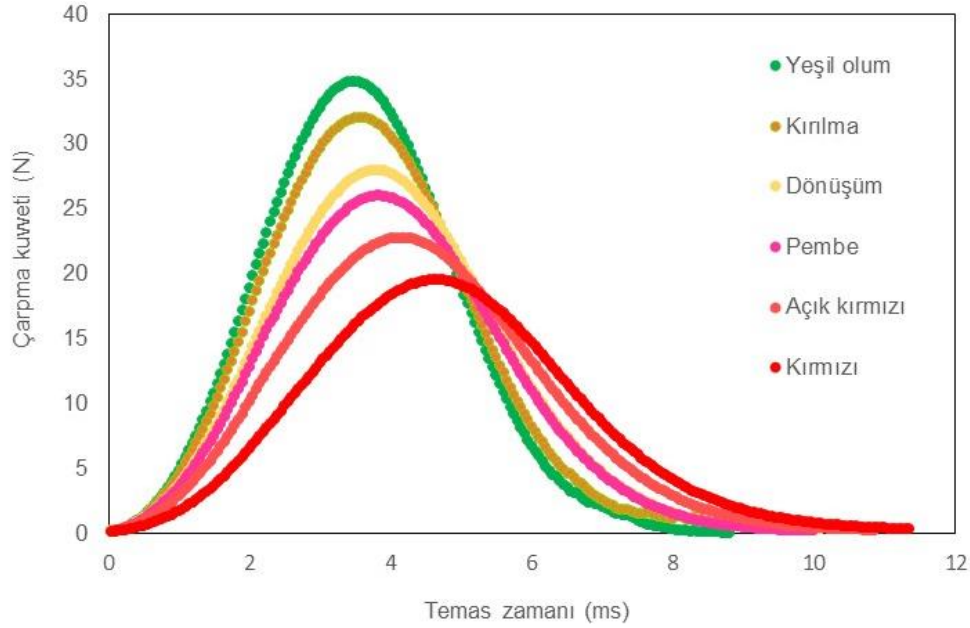
Domateslerin sertlik tahmininde kullanılan hasarsız çarpma parametreleri ile KYK ve KS arasındaki ilişki Pearson korelasyon testiyle analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Dinamik çarpma test cihazı kullanılarak altı farklı olgunluk safhasındaki domates örnekleri öncelikle 15 mm yükseklikten kuvvet algılayıcıya vidalanmış olan alüminyum plaka üzerine iki kez düşürülmüş ve ölçülen hasarsız çarpma parametreleri KYK ve KS ile ilişkilendirilmiştir. Hasarsız çarpma ve hasarlı mekanik özellik ölçümleri domateslerin aynı noktasında yapılmıştır.

Çizelge 3'te görüldüğü gibi, KYK için $C_{PW,12}$ ve $C_{C,12}$ ve KS için de $C_{C,12}$ hasarsız çarpma parametreleri dışında diğer tüm parametreler %1 ($P < 0.01$) önem seviyesinde domates kabuk yırtılma kuvveti ve domates kabuk sertliği ile ilişkili bulunmuştur. Pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre domates kabuk yırtılma kuvveti (KYK) ile hasarsız çarpma parametre değerleri arasındaki korelasyon domates kabuk sertliğinden (KS) daha düşük çıkmıştır (Çizelge 4.1). KYK ve KS için en yüksek korelasyon (R) sırasıyla 0.818 ve 0.920'lik değer ile F_{P2} çarpma parametresinde gerçekleşmiştir. KS ile hasarsız çarpma parametreleri arasındaki korelasyon tüm çarpma parametreleri için KYK'den yüksek çıkmıştır. Bu nedenle, tahmin model geliştirmede sadece KS referans ölçüm parametresi olarak dikkate alınmıştır.

Çizelge 3. Hasarsız çarpma parametreleri ile domates kabuk yırtılma kuvveti ve domates kabuk sertliği arasındaki korelasyonu (R) gösteren analiz sonuçları

	KYK	KS	A ₁	A ₂	F _{P1}	F _{P2}	tp ₁	tp ₂	tc ₁	tc ₂	tc ₁₋₂	tp ₁₋₂	C _{P,12}	C _{C,12}	R _{FP}	ΔF _P	RT _C	C _{PW,12}	C _{C,12}
KYK	1	.897**	.503**	.577**	.748**	.818**	-.536**	-.605**	-.626**	-.666**	.469**	.319**	.430**	.352**	.638**	.586**	-.412**	.133 ^{ns}	.039 ^{ns}
KS	.897**	1	.578**	.654**	.857**	.920**	-.634**	-.617**	-.732**	-.728**	.399**	.231**	.570**	.498**	.689**	.689**	-.359**	.209*	.118 ^{ns}

KYK: Domates kabuk yırtılma kuvveti (N); KS: Domates kabuk sertliği (N/mm); **: %1 seviyesinde önemli; ns: önemsiz



Şekil 4. Farklı domates olgunluk seviyesinde ölçülen 1. çarpma kuvveti-temas zamanı değişimi

Şekil 4, farklı olgunluk safhalarında çarpma sırasında F_{P1} kuvvetinin zamana göre dağılımını göstermektedir. Meyve olgunlaştıkça çarpma kuvveti azalırken temas zamanı artmaktadır. Yeşil olum safhasındaki domates örneği ile karşılaştırıldığında kırmızı olum safhasındaki domates örneği daha uzun temas süresinde daha düşük maksimum çarpma ivmesine ulaşmaktadır. Domatesler yeşil olum safhasında iken daha serttir ve olgunlaştıkça meyve eti yumuşamaktadır. Meyveler visko-elastik küreler olarak modellenebilmektedir. Sert bir yüzeye çarparken oluşan reaksiyon kuvveti, Poisson oranına, elastikiyet modülüne (sertlikle ilgili olan), eğriliğe, kütle ve hıza bağlıdır. Olgunlaşmamış meyveler daha esnektir ve viskozite seviyesi olgunluk ile artar (Garcia ve ark., 1988). Olgunluğa bağlı gelişen viskoelastik etkiden dolayı (zamana bağlı gerilme ve gerinim) çarpma kuvveti, meyve temas noktasındaki maksimum deformasyon öncesinde en yüksek seviyeye ulaşmaktadır.

Çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak yapılan domates KS tahmini model eşitliklerinde üç model yaklaşımı kullanılmıştır. Bunlardan ilkinde (**Model A**), ana çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak seçilmiştir. İkinci model yaklaşımda (**Model B**), yapılan Pearson Korelasyon testi sonuçlarına göre KS ile istatistiksel olarak ilişkili bulunan tüm çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak tahmin modeli geliştirmede kullanılmıştır. Üçüncü model yaklaşımda (**Model C**) ise stepwise regresyon analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bulunan hasarsız çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak tahmin modeli geliştirmede kullanılmıştır.

Çizelge 4'te domates KS tahmini için kalibrasyon verileri kullanılarak geliştirilen model eşitliklere ilişkin korelasyon katsayısı (R), belirtme katsayısı (R^2), düzeltilmiş R^2 ve tahmini standart hata gibi

istatistiksel sonuçlar verilmiştir. Ana çarpma parametreleri Model A'nın, Pearson Korelasyon testi sonucunda önemli bulunan çarpma parametrelerinin tümü Model B'nin ve stepwise regresyon analizi sonucunda önemli bulunan çarpma parametreleri de bağımsız değişken olarak Model C'nin geliştirilmesi için kullanılmıştır.

Çizelge 4. Kabuk sertliği (KS) tahmini için kalibrasyon verileri kullanılarak geliştirilen model eşitliklere ilişkin istatistiksel sonuçlar

<i>Model</i>	<i>R</i>	<i>R²</i>	<i>Düzeltilmiş R²</i>	<i>Tahmini Standart Hata</i>
A	0.926 ^a	0.857	0.847	0.3192541
B	0.939 ^b	0.881	0.859	0.3060806
C	0.928 ^c	0.861	0.858	0.3077114

(Model A): $F_{P1}, F_{P2}, t_{C1}, t_{C2}, t_{P1}, t_{P2}$

(Model B): $A_1, A_2, F_{P2}, t_{P1}, t_{P2}, t_{C1}, t_{C2}, t_{C1-2}, C_{P,12}, C_{C,12}, R_{FP}, \Delta F_P, RT_C, C_{PW,12}$

(Model C): F_{P2}, A_2

Bağımlı Değişken: **Kabuk Sertliği (KS). $N\ mm^{-1}$**

Kalibrasyon verileri kullanılarak KS tahmini için geliştirilmiş olan Model A, Model B ve Model C ye ait eşitlikler, kullanılan çarpma parametreleri ve belirtme katsayıları aşağıda verilmiştir.

MODEL A: Ana çarpma parametreleri kullanılarak geliştirilen model eşitlik,

$$KS = 0.756 - 0.013F_{P1} + 0.227F_{P2} - 210.392t_{P1} + 177.058t_{P2} + 20.899t_{C1} - 103.018t_{C2} \quad (R^2=0.857)$$

MODEL B: Pearson korelasyon matrisi yöntemi ile istatistiksel olarak önemsiz bulunan çarpma parametreleri dışındaki tüm parametreler kullanılarak geliştirilen model eşitlik

$$KS = 9.744 - 36.818A_1 + 5.482A_2 + 0.212F_{P2} + 43.894t_{P1} + 134.040t_{P2} - 889.829t_{C1} + 590.567t_{C2} + 20.023t_{C1-2} - 0.077C_{P,12} + 0.071C_{C,12} + 0.956R_{FP} + 0.142\Delta F_P - 7.777RT_C - 0.603C_{PW,12} \quad (R^2=0.881)$$

MODEL C: Stepwise regresyon analiz yöntemi kullanılarak geliştirilen model eşitlik

$$KS = 0.005 + 0.296F_{P2} - 27.918A_2 \quad (R^2=0.861)$$

Kalibrasyon verileri (n=92) kullanılarak geliştirilen KS tahmin modellerinin doğruluğu da test edilmiştir. Bunun için kalibrasyon veri grupları kullanılarak geliştirilen model eşitlikte doğrulama verileri (n=42) kullanılmıştır. Çizelge 5'de Model A, Model B ve Model C için hesaplanan kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için bazı tanımlayıcı istatistiksel değerlere ait değerler verilmiştir. Kalibrasyon verileri ile farklı olgunluk safhasındaki 92 adet domates örnekleri kullanılarak yapılan KS ortalama tahmin değerleri Model A için $2.19\ N\ mm^{-1}$, Model B için $2.00\ N\ mm^{-1}$ ve Model C için ise $2.17\ N\ mm^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Ölçülen ortalama KS değerleri ($2.18\ N\ mm^{-1}$) ile karşılaştırıldığında en yakın tahmin değerleri sırasıyla Model C ve Model A'da gerçekleşmiştir. Model B'nin tahmin değeri ise $3.11\ N\ mm^{-1}$ ile Model C ve Model A'dan bir miktar yüksek çıkmıştır. R^2 belirtme katsayılarını da dikkate

aldığımızda Model C'nin R^2 değerinin yüksek olması ve model eşitlikte kullanılan parametre sayısının azlığı nedeniyle Model C daha doğru ortalama tahmin sonucunu vermiştir. Model yaklaşımlara ilişkin KS ortanca değerleri karşılaştırıldığında da ortalama değerlere benzer şekilde, ölçülen KS'ne (3.46 N mm^{-1}) en yakın tahmin 3.65 N mm^{-1} 'lik değerle Model C'de gerçekleşmiştir. Bunu sırasıyla Model A (3.70 N mm^{-1}) ve Model B (3.11 N mm^{-1}) izlemiştir.

Doğrulama veri grupları ile farklı olgunluk safhasındaki 42 adet örnekle yapılan KS ortalama tahmin modelleri Model A için 2.16 N mm^{-1} , Model B için 1.98 N mm^{-1} ve Model C için de 2.14 N mm^{-1} olarak hesaplanmıştır. Ölçülen KS değeri (2.07 N mm^{-1}) ile karşılaştırıldığında Model C de tahmin edilen ortalama değer ölçülen ortalama değere en yakın çıkan model olmuştur. Model A ve Model B benzer tahmin sonuçları vermiştir. Ortanca değerlere ilişkin olarak ölçülen 3.09 N mm^{-1} 'lik değere en yakın sonuç Model B'de (2.62 N mm^{-1}) gerçekleşmiştir. Bunu sırasıyla Model C (2.54 N mm^{-1}) ve Model A (2.52 N mm^{-1}) izlemiştir. Doğrulama veri grubunda özellikle tahmin edilen ortanca değerler geliştirilen üç model yaklaşım için de kalibrasyon veri grubundaki tahmin edilen ortanca değerlerden düşük çıkmıştır.

Çizelge 5. Geliştirilen modellerin ölçülen ve tahmin edilen kabuk sertliğine (KS) ilişkin kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarının tanımlayıcı istatistiksel sonuçları

Kalibrasyon (n = 92)	Ölçülen	Model A	Model B	Model C
<i>Ortalama (N mm⁻¹)</i>	2.18	2.19	2.00	2.17
<i>Standart sapma (±) (N mm⁻¹)</i>	0.82	0.76	0.75	0.76
<i>Minimum (N mm⁻¹)</i>	0.81	0.60	0.79	0.67
<i>Maksimum (N mm⁻¹)</i>	4.26	4.30	3.90	4.32
<i>Ortanca (N mm⁻¹)</i>	3.46	3.70	3.11	3.65
Doğrulama (n = 42)	Ölçülen	Model A	Model B	Model C
<i>Ortalama (N mm⁻¹)</i>	2.07	2.16	1.98	2.14
<i>Standart sapma (±) (N mm⁻¹)</i>	0.88	0.71	0.69	0.72
<i>Minimum (N mm⁻¹)</i>	0.93	1.11	0.73	1.02
<i>Maksimum (N mm⁻¹)</i>	4.02	3.63	3.35	3.55
<i>Ortanca (N mm⁻¹)</i>	3.09	2.52	2.62	2.54

Domates KS'nin performansını ölçmek için; KS modeliyle hesaplanan değerler ile ölçülen sonuçların RMSE, MAE, MAPE ve R^2 değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Çizelge 6'da verilmiştir.

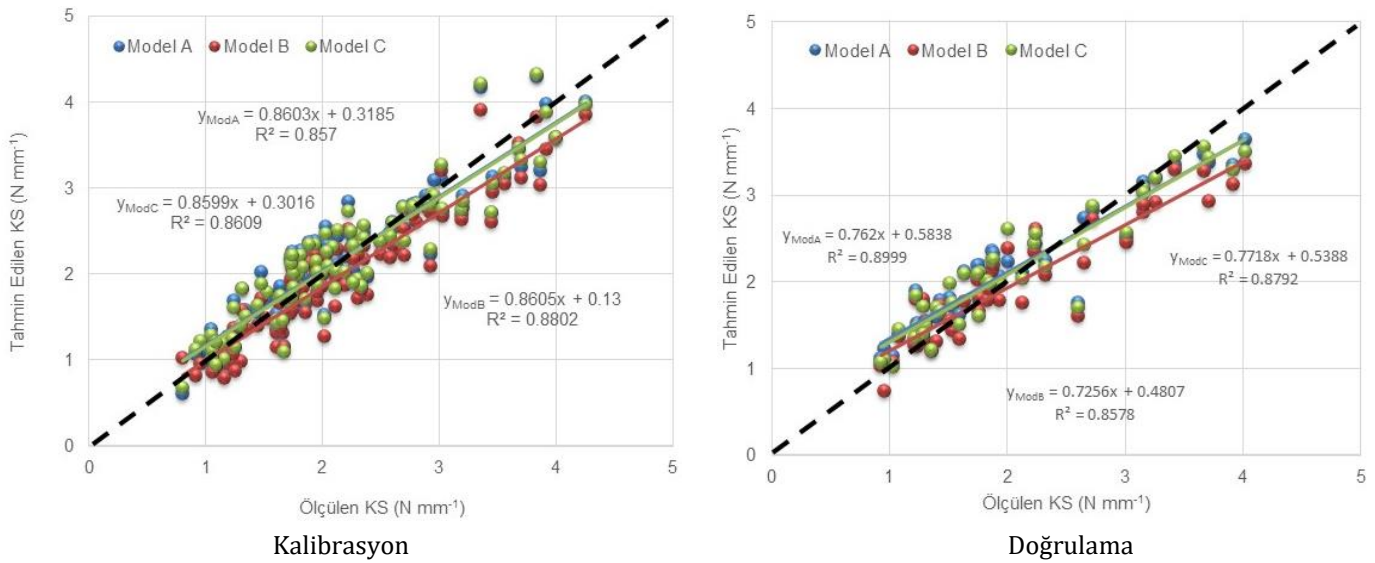
Çizelge 6. Domates Kabuk Sertliği (KS) Tahmini İçin Kullanılan Model Yaklaşımların Ölçülen ve Tahmin Edilen Değerlerine İlişkin Performans Parametre Sonuçları

Kalibrasyon	RMSE	MAE	MAPE	R²
<i>Model A</i>	3.09	1.54	26.65	0.857
<i>Model B</i>	2.03	0.17	13.30	0.881
<i>Model C</i>	2.10	0.06	13.53	0.861
Doğrulama	RMSE	MAE	MAPE	R²
<i>Model A</i>	0.213	0.04	6.43	0.8999
<i>Model B</i>	0.244	0.04	6.040	0.8578
<i>Model C</i>	0.219	0.03	6.544	0.8792

Kalibrasyon veri grupları için performans parametreleri açısından en iyi tahmin sonucu Model B’de gerçekleşmiştir. Ancak, Model B de kullanılan hasarsız çarpma parametresi sayısının çokluğu sayısal ve mantıksal işlemlerin uygulamalarında karmaşıklıklara neden olabilmektedir. Bu nedenle, hem çarpma parametre sayısı azlığı hem de Model B’ye daha yakın tahmin sonuçlarının elde edilmesi nedeniyle kalibrasyon veri grupları kullanılarak yapılan KS tahmininde Model C’nin kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır.

Doğrulama veri gruplarında ise, Model A’da R^2 belirtme katsayısının diğer iki modelden daha yüksek çıkması, RMSE değerinin düşük ve MAE ve MAPE değerlerinin de hem düşük çıkması hem de birbirine çok yakın değerlerde olması nedeniyle Model A’nın domates KS tahmininde kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır.

Şekil 5’te kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Model A, Model B ve Model C de ölçülen ve tahmin edilen KS değerleri arasındaki ilişki ve R^2 belirtme katsayıları ile eşitlikleri verilmiştir.



Şekil 5. Kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için Model A, Model B ve Model C de ölçülen ve tahmin edilen KS değerleri arasındaki ilişki

Domates KS için geliştirilmiş olan model yaklaşımlara ilişkin sonuçlara bakıldığında, çarpma testleri kullanılarak KS tahmininin güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu nedenle, domates örnekleri sadece KS dikkate alınarak üç farklı sertlik grubuna ayrılmıştır. Denemelerde kullanılan farklı olgunluk düzeyindeki 134 adet domates örneğinin sertlik gruplandırılmasında “Kümeleme analizi” yöntemi kullanılmıştır. Kümeleme analizine göre sert, orta sert ve yumuşak olmak üzere üç sertlik grubuna ayrılan domates örneklerinde 54 adet domates örneği $2.99 \pm 0.58 \text{ N mm}^{-1}$ ortalama değer ile sert grupta, 52 adet domates örneği $1.83 \pm 0.20 \text{ N mm}^{-1}$ ortalama ile orta sert grupta ve 28 adet domates örneği de $1.15 \pm 0.15 \text{ N mm}^{-1}$ ortalama değer ile yumuşak sınıflandırma grubunda yer almıştır. Kümeleme analizine göre oluşan domates kabuk sertliği (KS) sınıf aralıkları yumuşak domates örnekleri için $KS < 1.40 \text{ N mm}^{-1}$, orta sert domates için $1.40 \leq KS < 2.23 \text{ N mm}^{-1}$ ve sert domates meyve örnekleri içinde $KS \geq 2.23 \text{ N mm}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Belirlenmiş olan domates kabuk sertlik grupları dikkate alınarak örneklerin sertlik tahmininde kullanılan Model A, Model B ve Model C için kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarına ait sınıflandırma başarısı da hesaplanmış ve bunlara ilişkin sonuçlar Çizelge 7’de verilmiştir. Kalibrasyon veri grupları

için Model A'da gerçek doğruluk 77 ve başarı yüzdesi de %83.70 olarak gerçekleşmiştir. Örneğin Model A için 39 adet ölçülen sert meyvenin 35'i aynı grupta sınıflandırılmış ve 4 adet domates de orta sert grubunda sınıflandırılmıştır. Orta sert meyve grubunda 36 adet ölçülen meyvenin 9'u sert gruba 27 adedi de orta sert gruba sınıflandırılmıştır. Bu durum 17 adet ölçülen yumuşak sert grubu için orta sert gruba 2 adet ve yumuşak gruba 15 adet sınıflandırma olarak gerçekleşmiştir. Böylece gerçek doğruluk $35+27+15=77$ olarak gerçekleşmiştir. Model A için verilen örneklemede başarı oranı $(35+27+15)/92=83.70$ olarak hesaplanmıştır. Yani 100 adet domates meyvesinin yaklaşık olarak 84 adedi kendi sertlik grubunda yer almıştır. Kalibrasyon veri grubunda Model B için gerçek doğruluk 74 ve sınıflandırma başarı yüzdesi de %80.43 olarak hesaplanmıştır. Bu durum Model C için 77 gerçek doğruluk ve %83.70 sınıflandırma başarısı olarak gerçekleşmiştir. Model A ve Model C'nin gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi benzer sonuçlar vermiştir. Sınıflandırma başarı yüzdesi Model A ile benzer çıkmasına karşın Model C'nin geliştirilmesinde kullanılan bağımsız değişken parametre sayısının azlığı gerçek zamanlı ölçümlerde işlemlerin daha hızlı yapılmasına kolaylık sağlayacağından Model C daha uygun bir yaklaşım olarak seçilmiştir.

Çizelge 7. Domates kabuk sertliği (KS) gruplarına göre örneklerinin sertlik tahmininde kullanılan kalibrasyon ve doğrulama modellerine ait sınıflandırma başarısı

Kalibrasyon (n = 92)		S _ö n = 39	OS _ö n = 36	Y _ö n = 17	Gerçek Doğruluk	Başarı Oranı (%)
Model A	S _E	35	4	0	77	83.70
	OS _E	9	27	0		
	Y _E	0	2	15		
Model B	S _E	29	10	0	74	80.43
	OS _E	0	29	7		
	Y _E	0	1	16		
Model C	S _E	35	4	0	77	83.70
	OS _E	6	29	1		
	Y _E	0	4	13		
Doğrulama (n = 42)		S _ö n = 15	OS _ö n = 16	Y _ö n = 11	Gerçek Doğruluk	Başarı Oranı (%)
Model A	S _E	14	1	0	35	83.33
	OS _E	2	14	0		
	Y _E	0	4	7		
Model B	S _E	12	3	0	35	83.33
	OS _E	1	15	0		
	Y _E	0	3	8		
Model C	S _E	13	2	0	33	78.57
	OS _E	3	13	0		
	Y _E	0	4	7		

Y= Yumuşak ($KS < 1.40 \text{ N mm}^{-1}$), OS= Orta sert ($1.40 \leq KS < 2.23 \text{ N mm}^{-1}$) ve S= Sert ($KS \geq 2.23 \text{ N mm}^{-1}$) sertlik grubunu ve S_E, OS_E ve Y_E= Tahmin edilen domates sertliklerini; S_ö, OS_ö ve Y_ö= Ölçülen sertlik büyüklüklerini ifade etmektedir.

Doğrulama veri grubunda Model A ve Model B'de gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi benzer sonuçlar vermiş ve Model C'den daha yüksek bulunmuştur. Model A'da kullanılan hasarsız çarpma parametre sayısının Model B'den daha az olması ve önceden de ifade edildiği gibi gerçek zamanlı

ölçümler sırasında oluşabilecek karmaşayı önleme açısından Model A'nın kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 7'de verilmiş olan sınıflandırma başarı oranları kalibrasyon ve doğrulama veri grupları için %75'ten yüksek çıkmıştır. Gutierrez ve ark. (2007) ve Lien ve ark. (2009) doğru sınıflandırma hassasiyetinin %75'in üzerinde olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Elde edilen sınıflandırma başarı yüzdeleri üç model için de hem kalibrasyon hem de doğrulama veri gruplarında %75'ten yüksek çıkmıştır. En yüksek sınıflandırma başarısı kalibrasyon veri grubu için %83.70 ile Model A ve Model C'de, doğrulama veri grubu için de %83.33 ile Model A ve Model B'de gerçekleşmiştir. Gutierrez ve ark. (2007) şeftali, Lien ve Ting (2009) domates ve Lien ve Ting (2013) guava meyveleri için sınıflandırma başarı yüzdelerini sırasıyla %81, %82.3 ve %84.21 olarak hesaplamışlardır. Benzer sınıflandırma başarısına araştırmamız sonucunda da ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar domates kabuk sertliği tahmini için geliştirilen model yaklaşımların farklı sertlik gruplarındaki domates örneklerinin sertliğine göre sınıflandırmada kullanılabileceğini göstermiştir.

4. SONUÇ

Çoklu doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılarak yapılan domates kabuk sertliği (KS) tahmini model eşitliklerinde üç model yaklaşımı kullanılmıştır. Bunlardan ilkinde (Model A), ana çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak seçilmiştir. İkinci model yaklaşımda (Model B), yapılan Pearson korelasyon testi sonuçlarına göre KS ile istatistiksel olarak ilişkili bulunan tüm çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak tahmin modeli geliştirmede kullanılmıştır. Üçüncü model yaklaşımda (Model C) ise stepwise regresyon analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli bulunan hasarsız çarpma parametreleri bağımsız değişken olarak tahmin modeli geliştirmede kullanılmıştır.

Domates kabuk sertliği (KS) tahmin modellerinden olan Model A'da F_{P1} , F_{P2} , t_{C1} , t_{C2} , t_{P1} , t_{P2} ana çarpma parametreleri kullanılmıştır. Model B için Pearson korelasyon testi sonucunda istatistiksel anlamda önemli çıkan A_1 , A_2 , F_{P2} , t_{P1} , t_{P2} , t_{C1} , t_{C2} , t_{C1-2} , $C_{P,12}$, $C_{C,12}$, RF_P , ΔF_P , R_{TC} , $C_{PW,12}$ çarpma parametreleri seçilmiştir. Model C için ise; stepwise regresyon analizi sonucunda seçilen F_{P2} ve A_2 hasarsız çarpma parametreleri KS tahmininde kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda domates KS ile Model A'daki parametreler kullanılarak geliştirilen tahmin modelinin iyilik derecesi (R^2) 0.857, Model B'de R^2 0.881 ve Model C için de R^2 0.861 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda kalibrasyon veri grupları için performans parametreleri açısından en iyi tahmin sonucu Model B'de gerçekleşmiştir. Ancak, Model B'de kullanılan hasarsız çarpma parametresi sayısının çokluğu sayısal ve mantıksal işlemlerin uygulamalarında karmaşıklıklara neden olabilmektedir. Hem çarpma parametre sayısı azlığı hem de Model B'ye daha yakın tahmin sonuçlarının elde edilmesi nedeniyle kalibrasyon veri grupları kullanılarak yapılan KS tahmininde Model C'nin kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır. Doğrulama veri gruplarında ise, Model A'da R^2 belirtme katsayısının diğer iki modelden daha yüksek çıkması, RMSE değerinin düşük ve MAE ve MAPE değerlerinin de hem düşük çıkması hem de birbirine çok yakın değerlerde olması nedeniyle Model A'nın domates KS tahmininde kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı sonucuna varılmıştır.

Belirlenmiş olan domates kabuk sertlik grupları dikkate alınarak örneklerin sertlik tahmininde kullanılan Model A, Model B ve Model C için kalibrasyon ve doğrulama veri gruplarına ait sınıflandırma başarısı da hesaplanmıştır. Kalibrasyon veri grupları için Model A'da gerçek doğruluk 77 ve başarı yüzdesi de %83.70 olarak gerçekleşmiştir. Kalibrasyon veri grubunda Model B için gerçek doğruluk 74

ve sınıflandırma başarı yüzdesi de %80.43 olarak hesaplanmıştır. Bu durum Model C için 77 gerçek doğruluk ve %83.70 sınıflandırma başarısı olarak gerçekleşmiştir. Model A ve Model C'nin gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi benzer sonuçlar vermiştir. Doğrulama veri grubunda Model A ve Model B de gerçek doğruluk ve sınıflandırma başarı yüzdesi benzer sonuçlar vermiş ve Model C'den daha yüksek bulunmuştur.

Statik koşullarda laboratuvar ortamında yürütülerek gerçekleştirilen hasarsız sertlik ölçüm denemeleri sonuçları, domates meyvesinin kabuk sertliği (KS) tahmininin hasarsız çarpma tekniği kullanılarak yapılabileceğini göstermiştir. Düşük yükseklikten hasarsız çarpma tekniğiyle yapılacak domates kabuk sertliği tahmini, yaş meyve-sebze sınıflandırma hatlarında yapılacak tasarımsal değişiklikler ve iyileştirmelerle gerçek zamanlı olarak kullanılabilir bir yöntem olabilmektedir. Dinamik koşullarda yapılacak bu ölçümler için de ek çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abbott, J.A. (1999). Quality Measurement of Fruits and Vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 207–225. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00086-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00086-6)
- Abbott, J.A. (2004). Textural quality assessment of fresh fruits and vegetable. *Adv. Exp. Med. Biol.* 542, 265–279. ASAE, 1992. Moisture measurement-forages. In: ASAE Standards. ASAE, St. Joseph, MI, pp. 406 (Chapter S358.2).
- ASAE Standards, 2001. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE S368.4 DEC00, American Society of Agricultural Engineering, pp: 580-587.
- Bashir, H.A., ve Abu-Goukh,A.A. (2003). Compositional Changes During Guava Fruit Ripening. *Food Chemistry.* 80, 557563. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00345-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00345-X)
- Batu, A. (2004). Determination of Acceptable Firmness and Colour Values of Tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61(3): 471-475. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00141-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00141-9)
- Bourne, M. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*, 2nd edition. Academic Press, London.
- Cavalini, F.C., Jacomino, A.P., Lochoski, M.A., Kluge, R.A., ve Ortega, E.M.M. (2006). Maturity Indexes for 'Kumagai' and 'Paluma' Guavas. *Revista Brasileria de Fruticultura.* 28:2, 176–179.
- Chen, P., ve Ruiz-Altisent, M. (1996). Effect of Impacting Mass on Firmness Sensing of Fruits. *Transactions of the ASAE*, 39(3): 1019-1023. <https://doi:10.13031/2013.27591>
- De Ketelaere, B., Howarth, M.S., Crezee, L., Lammertyn, J., Viaene, K., Bulens, I., ve De Baerdemaeker, J. (2006). Postharvest Firmness Changes as Measured by Acoustic and Low-Mass Impact Devices: A Comparison of Techniques. *Postharvest Biology and Technology.* 41, 275–284. <https://doi:10.1016/j.postharvbio.2006.04.008>
- Delwiche, M. J., McDonald, T., ve Bowers, S. V. (1987). Determination of Peach Firmness by Analysis of Impact Forces. *Transactions of the ASAE*, 30(1), 249-254. <https://doi:10.13031/2013.30435>
- Fidelibus, M.W., Teixeira, A.A., ve Davies, F.S. (2002). Mechanical properties of orange peel and fruit treated pre-harvest with gibberellic acid. *Transactions of the ASAE* 45, 1057–1062. <https://doi:10.13031/2013.9920>

- Garcia, C., Ruiz, M., ve Chen, P. (1988). Impact Parameters related to Bruising in Selected Fruits. *Transactions of the ASAE*, 31, 256-261.
- García-Ramos, F.J., Valero, C., Homer, I., Ortiz-Canavate, J., ve Ruiz-Altisent, M. (2005). Nondestructive Fruit Firmness Sensors: A Review. *Spanish Journal of Agricultural. Research* 3, 61-73. <https://doi:10.5424/sjar/2005031-125>
- Gutierrez, A., Burgos, J. A., ve Molto, E. (2007). Pre-commercial Sorting Line for Peaches Firmness Assessment. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 721-727. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.006>.
- Jaren, C., Garcí'a-Pardo, E. (2002). Using Non-destructive Impact Testing for Sorting Fruits. *Journal of Food Engineering*, 53(1), 89-95. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00144-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00144-3)
- Lien, C.C., Ay, C., Ting, C.H. (2009). Non-destructive Impact Test for Assessment of Tomato Maturity. *Journal of Food Engineering*, 91(3), 402-407. <https://doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.09.036>
- Lien, C.C., ve Ting, C.H. (2013). Slight Free Falling Impact Test for Assessing Guava Maturity. *Agricultural Sciences*. Vol: 4, No: 5B, 21-27. <https://doi:10.4236/as.2013.45B004>
- Lien, C.C., ve Ting, C.H. (2014). Assessing Guava Maturity by Statistical Analyses of Dropped Fruit Impact Responses. *Postharvest Biology and Technology*. 95: 20-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.013>
- Mohsenin, N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials*, 2nd edition. Gordon and Breach, New York, USA.
- Peleg, K. (1999). Development of a commercial fruit firmness sorter. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72: 231-238.
- Rohrbach, R. P., Franke, J. E., ve Willits, D. H. (1982). A Firmness Sorting Criterion for Blueberries. *Transactions of the ASAE*, 25(2), 261-265. <https://doi:10.13031/2013.33516>
- Stropek, Z., ve Golacki, K., 2007. Relation Between Mass and Drop Height at Impact Causing the Bruising of Apple. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 57(2A): 165-167.
- Timoshenko, S.P., ve Goodier, J.N., 1970. *Theory of elasticity*. New York: McGraw-Hill.
- Tüdeş, E. (2019). Hasarsız çarpma tekniği kullanarak elma meyvesinin kütle tahmini için farklı model yaklaşımların değerlendirilmesi. *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, ss. 1-35.
- Vursavus, K.K., Kesilmis, Z., ve Oztekin, Y.B. (2017). Nondestructive Dropped Fruit Impact Test for Assessing Tomato Firmness. *Chemical Engineering Transactions*, Vol: 58, 325-330. <https://doi:10.3303/CET1758055>
- Wang, Y-W., Wang, J., Yao, C., ve Lu, Q-J. (2009). Firmness Measurement of Peach by Impact Force Response. *Journal of Zhejiang University Science B*. 10(12): 883-889. <https://doi:10.1631/jzus.B0920108>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Classification of fresh fruits and vegetables according to post-harvest maturity is beneficial in terms of showing the optimum time for the market before distribution and optimization during storage. Fruit and vegetable ripeness is a qualitative measure that is difficult to define. The firmness of a fruit is an index of its mechanical, chemical and rheological properties. Fruit firmness is inversely proportional to maturity and therefore, it can be used as an alternative maturity index in fresh fruit and vegetable classifications. Although color is a maturity parameter in tomato fruit, firmness is one of the main factors contributing to tomato fruit quality.

Researchers have now tried to use different techniques for nondestructive firmness sensing of fruits and vegetables. With automatic product classification techniques, which are performed without damage and can be transferred to the application, product evaluations can be made quickly, without damage, in a less costly and effective way. In addition, measurements can be performed homogeneously on the entire product. Acoustic, vibration, near infrared (NIR), micro-deformation and impact techniques can be given as examples of systems that can be used in practice.

The firmness of a fruit can be explained by the mechanical, chemical and rheological properties of that fruit. Fruit firmness is inversely proportional to maturity and therefore it can be used as an alternative maturity index in fresh fruit and vegetable classification. Although color is a maturity parameter in tomato fruit, firmness is one of the main factors contributing to tomato fruit quality. Consumers can perceive tomato quality by firmness, color and taste.

The texture of tomatoes (flesh firmness and skin resistance) changes during storage, distribution and maturity, and this can be a major problem as it can increase the sensitivity of tomatoes to mechanical damage. The degree of fruit firmness has been used as an indicator of fruit quality, and therefore, firmness can be the final index on which consumers make the purchasing decision for tomatoes, peaches, nectarines, pears, kiwis and similar fruits. Tomatoes continue to mature after harvest and can ripen very quickly. This can lead to quality losses and limit the shelf life of tomatoes. Many researchers have used USDA color classification criteria to determine maturity at the tomato harvest.

Tomatoes include the stages of color maturation specified in the USDA color catalogue, which are the green stage (the skin is completely green, but can mature physiologically), the color breakout period (the skin is predominantly green, but pinkish and reddish spots begin to appear), the color transformation period (the skin is partially yellowish and pinkish). but mainly green), pink death (green color completely lost and light pink or reddish color predominant), light red bloom (pinkness disappeared but dark red color could not be reached), red formation (completely red) stages.

If tomatoes are to be transported over long distances, they are usually harvested when they are in the color change period. Tomatoes that will be delivered to close distances are harvested during the pink or light red ripening periods. In both stages, it is desired that the tomatoes should not be below a certain firmness limit value. Tomato color and color change are mostly determined using instrumental methods. Colorimeters (Minolta Chroma and HunterLab) are an effective way to determine color index. Although many studies have reported a positive relationship between maturity stage and color development in tomatoes, this relationship is not fully understood. Color charts and scales have been developed commercially to determine the maturity stages of tomatoes, except for the method of determining the color maturation stages specified in the USDA color catalog. However, it is still not possible to accurately determine the maturity stages of tomatoes with these methods. In addition, the lack of color uniformity on the tomato surface may reduce the reliability of colorimetric tests.

There is no specific standard for the firmness classification of tomatoes. In tomato firmness classifications made by researchers, color maturity criteria are taken into account and firmness classifications are made accordingly. For this reason, automation-based, real-time classification applications are needed in order to be able to classify by reducing human errors and minimizing the time requirement. Although there are modules that allow the electronic classification of tomatoes according to color characteristics, a firmness module that can be used for real-time firmness classification is not used in electronic classification lines in our country. Although companies such as Aweta, Greefa, Maf-Roda and Sinclair produce electronic classification lines with firmness modulus, they could not be sold in our country due to their high cost. In addition, the limited use of fruits such as tomatoes, peaches, nectarines, pears and kiwis has also limited the packaging houses' orientation to such a costly investment, even though they need it.

Methodology

In this study, it was aimed to estimate tomato firmness by using the Bandita F1 greenhouse tomato variety, which is widely produced in our region, with the nondestructive impact technique. In the experiments, first of all, nondestructive main impact parameters of tomato samples with six different ripening stages were measured and other developed impact parameters were derived from the main parameters. The measured and derived impact parameters were analyzed with the Pearson Correlation Matrix method and the parameters that were associated with tomato rupture force and tomato skin firmness which were defined as reference measurement parameters at the 1% and 5% level, were used to develop a tomato firmness estimation model. Tomato firmness estimation models developed using Multiple Linear Regression Analysis Method were divided into two groups to represent each maturity stage. 70% of the tomato firmness data were used for calibration and 30% for estimation (validation) purposes. All statistical evaluations were carried out using the SPSS 20.0 package program. In the tomato firmness estimation models developed for tomato skin firmness, the root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and mean absolute percent error (MAPE) were used in the performance evaluations of the model equations for both calibration and validation datasets.

Results and Conclusions

In the estimation models (Model A, Model B and Model C) developed by associating tomato skin rupture force and skin firmness with nondestructive impact parameters used as reference measurement parameters, the best firmness estimation model was achieved with tomato skin firmness. In the Model equation (Model A) developed using parameters, the coefficients of determination (R^2) for the calibration and validation datasets were determined as 0.881 and 0.899, respectively.

Taking into account the determined tomato skin firmness groups, the classification success of the calibration and validation datasets for Model A, Model B and Model C used in the firmness estimation of the samples was also calculated. Actual accuracy and classification success rate of Model A and Model C yielded similar results (83.70%). Although the classification success rate for the calibration datasets was similar to Model A, Model C was chosen as a more appropriate approach since the small number of independent variable parameters used in the development of Model C would facilitate faster processing in real-time measurements. In the validation datasets, the true accuracy and classification success percentage in Model A and Model B gave similar results (83.33%) and was higher than Model C. It has been concluded that the use of Model A would be a more accurate approach in terms of the fact that the number of nondestructive impact parameters used in Model A is less than that of Model B and, as stated before, in terms of preventing confusion that may occur during real-time measurements.

Yazarların Biyografisi



Gökhan AY

Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Mezunu. Yüksek Lisansını Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında tamamladı. Domates meyvelerinin hasarsız çarpma tekniği kullanılarak sertliğine göre sınıflandırılması üzerine çalışmalar yaptı. Adalet Bölümünde ön lisans okudu. Şu anda ise İş Sağlığı ve Güvenliği üzerine yüksek lisans yapmaktadır.

İletişim

gokhanay2@outlook.com

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-2079-9070>



Kubilay Kazım VURSAVUŞ

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Mezunu. Yüksek Lisan ve Doktorasını Çukurova Üniversitesi, Tarım Makinaları Anabilim Dalında yaptı. Halen Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında Profesör unvanıyla çalışmakta. Biyolojik malzeme bilgisi, Tarımsal ürünlerin hasarsız kalite değerlendirmesi ve Yaş meyve-sebzelerin elektronik sınıflandırılması konularında uzman.

İletişim

kuvursa@cu.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0001-8674-653X>

Application of Computer Vision and Image Processing Technologies in Agro-Product Quality Control

Tarımsal Ürün Kalite Kontrolünde Bilgisayarlı Görme ve Görüntü İşleme Teknolojisinin Uygulanması

Omsalma Alsadig Adam Gadalla^{1,*} , Yeşim Benal Öztekin² , Geofry Prudence Baitu² 

¹ Khartoum University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Engineering, Khartoum, Sudan.

² Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Samsun, Turkey.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): O.A.A. Gadalla, e-mail (e-posta): omsalmagadalla@gmail.com

Article Info

Received date : 01.05.2022
Revised date : 26.05.2022
Accepted date : 29.05.2022

Keywords:

Hazelnut quality
Fruit and vegetables
Defect detection
Machine vision

How to Cite:

Gadalla, O. A. A., Öztekin, Y. B., Baitu, G. P., (2022).
"Application of Computer Vision and Image
Processing Technologies in Agro-Product
Quality Control", *Journal of Agricultural
Machinery Science*, 18(2): 105-113.

ABSTRACT

Post harvest quality evaluation processes are very critical operations and play an important role in determining the product's acceptability and marketability. Computer vision and image processing technologies have been applied widely in food industries in order to evaluate the quality of agricultural products such as; sorting, grading, and classification processes due to the performance, low cost, and effectiveness of the technologies. In this article, we aim to review the application of computer vision and image processing technologies in evaluating the quality of agricultural products such as fruits, vegetables, and nut products with more attention to hazelnuts.

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 01.05.2022
Düzeltilme tarihi : 26.05.2022
Kabul tarihi : 29.05.2022

Anahtar Kelimeler:

Fındık kalitesi
Meyve ve sebzeler
Kusur tespiti
Makine görme

Atıf için:

Gadalla, O. A. A., Öztekin, Y. B., Baitu, G. P., (2022).
"Tarımsal Ürün Kalite Kontrolünde
Bilgisayarlı Görme ve Görüntü İşleme
Teknolojisinin Uygulanması", *Tarım
Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2): 105-113.

ÖZET

Hasat sonrası kalite değerlendirme süreçleri çok önemli işlemler olup, ürünün kabul edilebilirliği ve pazarlanabilirliğinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bilgisayarlı görme ve görüntü işleme teknolojisi, ayırma, derecelendirme ve sınıflandırma işlemleri gibi tarımsal ürünlerin kalitesini değerlendirmek için teknolojik performansı, düşük maliyeti ve etkin olması nedeniyle gıda endüstrilerinde yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Bu makalede, tarımsal ürünlerin kalitesinin değerlendirilmesinde bilgisayarlı görme ve görüntü işleme uygulamaları kullanılarak, fındık ürününe daha fazla değinilerek, meyve, sebze ve kuruyemiş ürünlerinin kalitesinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

1. INTRODUCTION

A computer vision system is a technology that was created by combining a camera and a computer. Sandoval et al. (2018) characterized computer vision systems as states that encompass the capture, processing, and analysis of two-dimensional pictures. Machine vision systems (MVS) and computer vision systems (CVS) attempt to mimic human vision in order to obtain information from an object without requiring physical involvement (Timmermans, 1998). Image processing techniques are used by computers and machine vision to interpret the image or object being inspected. In general, image processing algorithms take a picture as an input and generate a transformed image as an output. Filters, smoothing, sharpening, and even grayscale conversion can be applied to images. Image processing is used by both computer vision and machine vision to analyze images, but interpretation is used to reach to a decision or logical conclusion as a result. This choice or logical conclusion in machine vision is frequently followed by an autonomous action in industry (Anand and Priya, 2019). The main issue in machine vision systems is to create a machine human-like vision skills. These systems, like the human brain, should be trained not only to process images but also to analyze and interpret them. In comparison, image processing is mainly about the use and application of mathematical functions and transformations of images. In computer vision, both the quantitative and qualitative information from visual data are important. Similar to human vision, it is about distinguishing between objects, classifying them, sorting them according to their size, color, texture, and so on (Pinto et al., 2008). Image processing methods are used to accomplish computer vision tasks. Beyond a single image, information in computer vision can be extracted from static images or moving images such as video clips (Naik and Patel, 2017). Machine learning and artificial intelligence methods are widely used to understand and use images for inspection purposes. These techniques aim to mimic the unique nature of human thought.

1.1. Computer Vision System for Inspection

An image sensor, a frame grabber, and a computer with appropriate software and algorithms form a conventional image processing system. The analog signal from the sensor is digitized into a series of integers and saved in the computer as an image. The object is then displayed using various image processing algorithms that extract a pattern from the image. The extracted pattern is classified by classification algorithms, which in turn can generate a signal to animate a trigger that directs the object to the desired route. Figure 1 shows a block diagram of the software and hardware components of a typical inspection (classification) vision system.

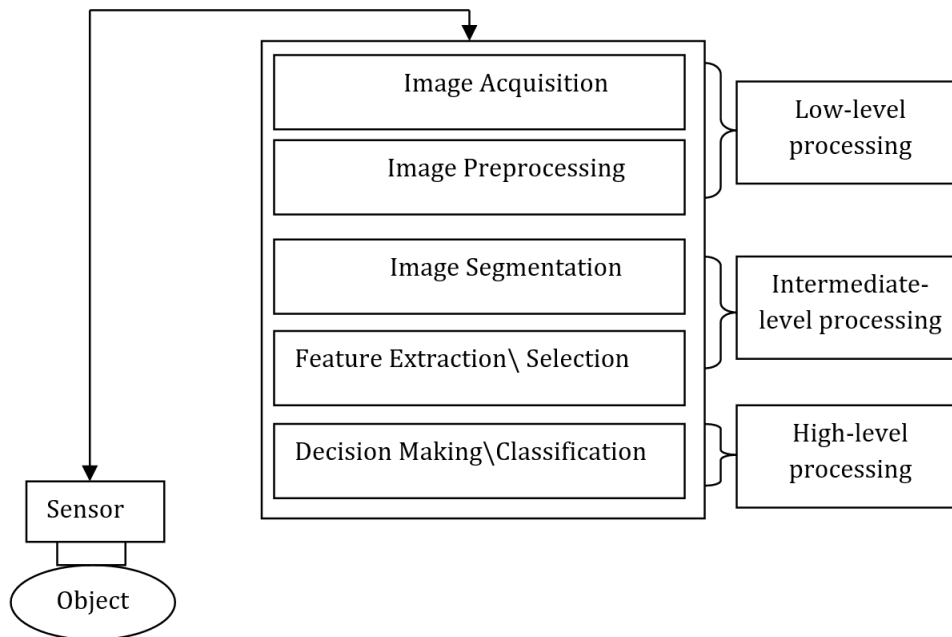


Figure 1. A schematic representation for classification process by machine vision system

In the food industry, where machine vision technology has been widely used over the past two decades as a means to automatically determine and manage food quality, computer vision technology is becoming increasingly important. Since most food products have a heterogeneous matrix, visual characteristics such as color, texture, shape, and size can vary significantly even within the same product category. Machine vision technology can effectively replace visual inspection systems in various applications such as harvesting, quality control, sorting and classification, portioning, and label inspection. It also enables more objective and standardised evaluation of food quality parameters over a large number of samples (Anand and Priya, 2019).

Machine vision systems are excellent tools for automated inspection of fruits and vegetables. In automated inspection, vision systems are typically used to sort, classify, and estimate quality based on external metrics or internal product qualities. The powerful and broad application of the technology stems from the fact that machine vision systems provide a considerable amount of information about the nature and characteristics of objects present in a scene. Furthermore, machine vision systems have the potential to objectively analyze long-term processes or events that occur outside the visible range, which is beyond the human capabilities (Zude, 2008). Due to the biological nature of agricultural products, automated inspection can detect defects that may not be found in other areas. Agricultural products often have similar colors, shapes, sizes, and other external characteristics, while fruits and vegetables can have a wide range of characteristics. The morphological characteristics of fruits and vegetables, such as color and texture, change after harvest and these features depend on their maturity and storage method. All these limitations confirm that there is a great challenge in the machine vision application in agricultural product quality inspection and evaluation. Fruits and vegetables, external characteristics, appearance and defects are factors that influence consumer preferences; therefore, these characteristics play an important role in the quality evaluation of fruits and vegetables (Ma et al., 2016). Because the technology is non-invasive and non-destructive, it is widely used for the inspection and classification of fruits and vegetables. Various studies have been conducted over the past decade and encouraging results have been obtained.

1.2. Computer Vision Technology in Detecting Fruit Quality

Appearance of fruit products is very important quality control factor and always determines the acceptability of the product by the consumers. Xiao-bo et al., (2010) developed an in-line detection system in order to detect apple defects using three cameras system. Each camera was capturing three images from each apple. The multithreshold approach was used to segment the apple from the images. In each image, Regions of interest (ROIs) were segmented and counted, including the stem ends and calyxes. This provided a good and clear distinction between normal and defective apples. The classification error of unwarranted acceptance of defective apples decreased from 21.8% for a single camera to 4.2% for the three-camera system. The divided region was used to extract statistical, textural, and geometric data for the study. Statistical and syntactic classifiers were utilized and trained to categorize the fruits into two or more categories based on these characteristics. The results showed that feature selection performed better by retaining only the most discriminative features, and that statistical classifiers outperformed their syntactic counterparts, achieving good recognition rates (93.5% overall accuracy) in the results (Unay et al., 2011). Another evaluation of bicolored apples was performed by Kang & Sabarez (2009). Here, a new simple segmentation algorithm was applied to analyze dried apple slices, which is also appropriate for measuring multiple objects. Since consumers are more likely to look for skin defects when selecting fruits, especially oranges, a multivariate image analysis approach was combined with a computer vision system to detect orange skin defects. A success coefficient of 100% was obtained when evaluating oranges with lesions at the stem end (Blasco et al., 2007a). Blasco et al. (2007a) proposed a region-based segmentation algorithm to detect the most common citrus peel defects. The proposed algorithm was tested on photos of many varieties of oranges and mandarines that highlighted flaws without the requirement for additional training between batches or even types of citrus fruits. For defect detection, the algorithm could achieve a high accuracy rate of 95%. Since mangoes are so popular in many parts of the world due to their colorful, unique taste, and nutritional content, several studies have been conducted using computer vision and image processing to assess the product's quality. (Zheng and Lu, 2012). Their research developed a LS-SVM classifier to detect the degree of browning of mango fruit. The best categorization accuracy of the degree of browning was up to 99% according to the findings. A computer vision system was utilized to observe the ripening of mangoes and evaluate their quality (Kang et al., 2008). The method also allowed for a quantitative analysis of the product's color properties. Enzymatic browning in pear slices, bananas, and avocados was also detected using vision systems (Quevedo et al. 2009; Quevedo et al. 2011).

1.3. Computer Vision Technology in Detecting Quality of Vegetables

The classification of vegetables before use is a very important process that has a significant impact on quality. Potatoes, for example, are simple to grade due to their various sizes, shapes, and regularities. Using computer vision and image processing technology different works have been performed in order to classify potatoes into various grades. An automated computer vision system has been used by (ElMasry et al., 2012) in order to sort potatoes into multiple grades. In the study, a special algorithm was developed and programmed for image acquisition and processing, controlling the entire process and monitoring the progress of all operations. For each image in the database, eight shape parameters were derived from the size features, as well as the Fourier transform. All of the shape parameters were used in a stepwise linear discriminant analysis to obtain the most relevant and discriminative factors that best described potato regularity. In-line classification of moving potatoes was shown to be 96.2 percent

successful in the testing. At the same time, the well-shaped potatoes were identified by size with 100% accuracy, demonstrating that the created machine vision system has a lot of potential for autonomous identification and sorting of deformed products. A real-time computer vision system was also employed to defect detection and size sorting, with a color-based classifier that had a classification accuracy of 95%(Razmjooy et al., 2012). To detect surface defects in tomatoes, a deep learning-based computer vision system was deployed. The dataset was substantially skewed towards the healthy class. Using feature extraction and fine-tuning, deep residual neural network classifiers were trained to detect external defects. On the test set, this model had an overall accuracy of 94.6%, where The optimal classifier has an 86.6 % recall while securing a 91.7 % precision (Da Costa et al., 2020).

1.4. Computer Vision Technology in Detecting Quality of Nut Products

Computer vision technology has been widely used to detect defects in nut products and has shown successful results in numerous studies. A computer vision system based on pattern recognition was used to discriminate wormy chestnuts (Figure 1). A classification accuracy of 100% was achieved for both normal and wormy chestnuts (Wang et al., 2011).

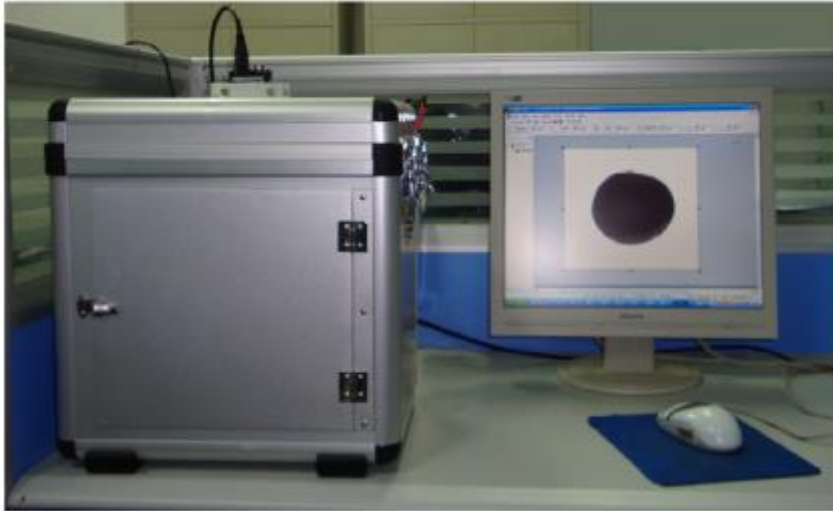


Figure 1. Chestnut sorting test platform based on machine vision

Mathanker et al. (2011) used AdaBoost and Support Vector Machine, traditional machine learning classifiers, to improve classification accuracy for pecans. Good and defective pecan samples were taken as X-ray images, segmented, and features extracted. Average classification accuracy values of 92.3% and 90.1% were achieved using AdaBoost and Support Vector Machine, respectively. In addition, color, texture and geometric features were evaluated using computer vision images to study chestnut grading and an overall accuracy of 89.6% was achieved. (Donis et al., 2013). Table 1 summarizes the technology's application in evaluating the quality of nut products, taking into account the items evaluated, the type of application, and the technology.

Table 1. Application of machine vision system in agro-product quality inspection

Products	Application	Technology used	References
<i>Almond</i>	Defected, roasted, and foreign material classification	RGB Digital camera	(Delila and Turajlic, 2017)
<i>Almond</i>	Pinholes detection	X-Ray imaging	(Kim and Schatzki, 2001)
<i>Pistachio</i>	Sorting different types of defects	X-Ray image histogram features	(Pearson et al., 2001)
<i>Chestnuts</i>	Insect infestation	NIR spectral tec.	(Moscetti et al., 2014)

In general, few studies have been conducted on hazelnuts in this area compared to other crops. One of the studies that have been conducted was the identification of hazelnut defects using RGB image analysis and color gram techniques (Giraud et al., 2018). They developed a color-gram based system for the detection of defective hazelnuts. The half-cut RGB hazelnut images were taken with a digital camera after being classified by industry experts into three reference categories; healthy, rotten, and infested by pests. The colorgrams were obtained by converting RGB images, and then Partial Least Square Discriminant Analysis (PLS-DA) was developed and used as a classification model. To better distinguish the previously defined classes, the Interval Partial Least Square Discriminant Analysis algorithm (iPLS-DA) of Norgaard et al. (2000) was applied to select the most informative regions of the color signals. The whole defective hazelnuts were detected by Kivrak and Gürbüz (2019) using image processing and machine learning techniques. The goal of the work was to distinguish intact hazelnuts from damaged or defective ones. Images of hazelnut samples were captured using a cell phone and processed using image labelling techniques. Satisfactory results were obtained using the supervised learning method. Furthermore, a computer vision system was used to classify the partly skin removed hazelnut kernel, skin removed and rotten hazelnuts kernels. The processed hazelnut kernels are classified with a classification accuracy rate of 93.57 % (Guvenc et al., 2015). Solak and Altinisik, (2018) classified and detected hazelnuts using image processing and clustering techniques. The size and area features were extracted from hazelnut images and hazelnuts were divided into three classes. The use of mean-based classification and K-means clustering algorithms yielded 100 detection and classification accuracy. For classifying shelled hazelnuts according to type and commercial definitions, an accuracy rate of 84 % was reached. Image processing and machine learning techniques were also used to determine hazelnut kernel quality using size and shape characteristics. Hazelnut cultivars were classified also by Caner et al., (2020) using Gradient Boosting and Random Forest classifiers. Classification accuracy of 94% and 100% was achieved by Gradient Boosting and Random Forest, respectively. Recently, a study proposed to identify hazelnut varieties using computer vision-deep learning technic that was developed by Taner et al. (2021). In this study, a Convolutional Neural Network classifier was suggested to classify 17 commonly planted hazelnut cultivars in Turkey. The results showed that the proposed model can accurately classify the varieties with a 98.63 % overall accuracy.

2. CONCLUSION

In this work, a comprehensive literature review was conducted on the application of computer vision and image processing techniques in evaluating the quality of agricultural products. In this paper, the application of computer vision and image processing techniques in evaluating the quality of fruits, vegetables and nut products is presented. Successful results have already been obtained and applied in wide areas of the food industry to increase the marketability and acceptance of these products. However, we have found that much research is still needed in the quality control of hazelnuts using the same technology to facilitate the processing of hazelnuts in the food industry, improve the quality of hazelnuts, and increase the national and international marketability of nuts.

REFERENCES

- Anand, S., and Priya, L. (2019). A Guide for Machine Vision in Quality Control: *Applied spectroscopy*, 54(3), 413-419.
- Blasco, J., Aleixos, N., Gómez, J., and Moltó, E. (2007a). Citrus sorting by identification of the most common defects using multispectral computer vision. *Journal of food Engineering*, 83(3), 384-393.
- Blasco, J., Aleixos, N., and Moltó, E. (2007b). Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm. *Journal of food Engineering*, 81(3), 535-543.
- Caner, K., Gerdan, D., Emin, M. B., Yegül, U., Bulent, K., and Vatandaş, M. (2020). Classification of hazelnut cultivars: comparison of DL4J and ensemble learning algorithms. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(4), 2316-2327.
- Da Costa, A. Z., Figueroa, H. E., and Fracarolli, J. A. (2020). Computer vision based detection of external defects on tomatoes using deep learning. *Biosystems Engineering*, 190, 131-144.
- Delila, H. E. S., Emir Turajlic. (2017). Almonds classification using supervised learning.pdf.
- Donis, I. R., Guyer, D. E., Leiva-Valenzuela, G. A., and Burns, J. (2013). Assessment of chestnut (*Castanea spp.*) slice quality using color images. *Journal of food Engineering*, 115(3), 407-414.
- ElMasry, G., Cubero, S., Moltó, E., and Blasco, J. (2012). In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of food Engineering*, 112(1-2), 60-68.
- Giraud, A., Calvini, R., Orlandi, G., Ulrici, A., Geobaldo, F., & Savorani, F. (2018). Development of an automated method for the identification of defective hazelnuts based on RGB image analysis and colourgrams. *Food Control*, 94, 233-240. doi:10.1016/j.foodcont.2018.07.018
- Guvenc, S. A., Senel, F. A., and Cetisli, B. (2015). Classification of processed hazelnuts with computer vision. *Paper presented at the 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*.
- Kang, S., East, A., and Trujillo, F. (2008). Colour vision system evaluation of bicolour fruit: A case study with 'B74' mango. *Postharvest Biology and Technology*, 49(1), 77-85.
- Kang, S., and Sabarez, H. (2009). Simple colour image segmentation of bicolour food products for quality measurement. *Journal of food Engineering*, 94(1), 21-25.
- Kivrak, O., Gürbüz, M. (2019). Detection of Defective Hazelnuts by Image Processing and Machine Learning. *Natural and Engineering Sciences*, 4(3), 100-106.
- Ma, J., Sun, D.W., Qu, J.H., Liu, D., Pu, H., Gao, W, H., and Zeng, X. A. (2016). Applications of computer vision for assessing quality of agri-food products: a review of recent research advances. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(1), 113-127.

- Mathanker, S., Weckler, P., Bowser, T., Wang, N., and Maness, N. (2011). AdaBoost classifiers for pecan defect classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 77(1), 60-68.
- Moscetti, R., Haff, R. P., Saranwong, S., Monarca, D., Cecchini, M., and Massantini, R. (2014). Nondestructive detection of insect infested chestnuts based on NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 88-94. doi:10.1016/j.postharvbio.2013.08.010
- Naik, S., & Patel, B. (2017). Machine vision based fruit classification and grading-a review. *International Journal of Computer Applications*, 170(9), 22-34.
- Norgaard, L., Saudland, A., Wagner, J., Nielsen, J. P., Munck, L., and Engelsen, S. B. (2000). Interval partial least-squares regression (iPLS): A comparative chemometric study with an example from near-infrared spectroscopy. *Applied spectroscopy*, 54(3), 413-419.
- Pearson, T. C., Doster, M. A., and Michailides, T. J. (2001). Automated Detection of Pistachio Defects by Machine Vision. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(5). doi:10.13031/2013.6905
- Pinto, N., Cox, D. D., and DiCarlo, J. J. (2008). Why is real-world visual object recognition hard? *PLoS computational biology*, 4(1), e27.
- Quevedo, R., Díaz, O., Ronceros, B., Pedreschi, F., and Aguilera, J. M. (2009). Description of the kinetic enzymatic browning in banana (*Musa cavendish*) slices using non-uniform color information from digital images. *Food Research International*, 42(9), 1309-1314.
- Quevedo, R., Ronceros, B., Garcia, K., Lopéz, P., and Pedreschi, F. (2011). Enzymatic browning in sliced and puréed avocado: a fractal kinetic study. *Journal of food Engineering*, 105(2), 210-215.
- Razmjoooy, N., Mousavi, B. S., and Soleymani, F. (2012). A real-time mathematical computer method for potato inspection using machine vision. *Computers & Mathematics with Applications*, 63(1), 268-279.
- Kim, S., and Schatzki, T. (2001). Detection of Pinholes In Almonds. *American Society of Agricultural Engineers* ISSN, 0001-2351.
- Sandoval, E. M., Rosas, M. E. M., Sandoval, J. R. M., Velasco, M. M. M. (2018). Machine Vision system - A Tool for Automatic Color Analysis in Agriculture. doi:10.5772/intechopen.71935
- Solak, S., and Altinisik, U. (2018). Detection and classification of hazelnut fruit by using image processing techniques and clustering methods. *Sakarya University Journal of Science*, 22(1), 56-65.
- Taner, A., Öztekin, Y. B., and Duran, H. (2021). Performance analysis of deep learning CNN models for variety classification in hazelnut. *Sustainability*, 13(12), 6527.
- Timmermans, A. J. M. (1998). Computer Vision System For On-Line Sorting of Pot Plants Based On Learning Techniques. *International Society for Horticultural Science*, 421, 91-98. DOI:.
- Unay, D., Gosselin, B., Kleynen, O., Leemans, V., Destain, M.-F., and Debeir, O. (2011). Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 204-212.
- Wang, C., Li, X., Wang, W., Feng, Y., Zhou, Z., and Zhan, H. (2011). Recognition of worm-eaten chestnuts based on machine vision. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), 888-894.
- Xiao-bo, Z., Jie-wen, Z., Yanxiao, L., and Holmes, M. (2010). In-line detection of apple defects using three color cameras system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(1), 129-134.
- Zheng, H., and Lu, H. (2012). A least-squares support vector machine (LS-SVM) based on fractal analysis and CIELab parameters for the detection of browning degree on mango (*Mangifera indica* L.). *Computers and Electronics in Agriculture*, 83, 47-51.
- Zude, M. (2008). Optical monitoring of fresh and processed agricultural crops.

Authors' Biography



Omsalma Alsadig Adam GADALLA

Khartoum University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Engineering, Khartoum, Sudan.

İletişim

omsalmagadalla@gmail.com

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0001-6132-4672>



Yeşim Benal ÖZTEKİN

Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Samsun, Turkey.

İletişim

yurtlu@omu.edu.tr

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0003-2387-2322>



Geoffrey Prudence BAITU

Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Samsun, Turkey.

İletişim

prudencegeofrey@gmail.com

ORCID Adresi

<https://orcid.org/0000-0002-3243-3252>

A Literature Review on the Electric Tractors and Assessment of Using for Türkiye

Elektrikli Traktörler Üzerine Literatür Taraması ve Türkiye'deki Kullanımına Dair Değerlendirilme

Orhan Topal^{1,*} 

¹ Transport, Security, Energy, Automation and Healthy Systems Business Sector, Aselsan Inc., Ankara, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): O. Topal, e-mail (e-posta): otopal@aselsan.com.tr

Article Info

Received date : 12.05.2022
Revised date : 21.07.2022
Accepted date : 21.07.2022

Keywords:

Electric tractor
Electrification in agricultural applications
Sustainable agriculture facilities

How to Cite:

Topal, O., (2022). "A Literature Review on the Electric Tractors and Assessment of Using for Türkiye", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 18(2): 114-125.

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 12.05.2022
Düzeltilme tarihi : 21.07.2022
Kabul tarihi : 21.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Elektrikli traktör
Tarımsal uygulamalarda elektrifikasyon
Tarımda sürdürülebilirlik

Atıf için:

Topal, O., (2022). "Elektrikli Traktörler Üzerine Literatür Taraması ve Türkiye'deki Kullanımına Dair Değerlendirilme", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2): 114-125.

ABSTRACT

Recently, an increase in electrification has been observed in the automotive sector.. Original Equipment Manufacturers (OEMs) state that they will cease production of internal combustion engine technology. In particular, with the rapid change in technology from internal combustion engine powertrain systems to electric powertrain systems, they also ended their investments and R&D studies in this field. Hybrid, battery and fuel cell electric vehicles are main alternative solutions for the powertrain systems.

Tractors are considered as off-road vehicles and need special auxiliary systems suitable for field use. Electrical systems have been used for a while in these auxiliary systems (PTO, hydraulics, pumps, fans, air conditioning system and etc.). On the other hand, the electrification of the drive system and power transmission mechanisms in tractors is still in its infancy. The main reason for this is the working conditions of tractors used for agricultural purposes.

Sustainable agricultural activities can only be possible with the right approaches. In this context, tractors are the fundamental equipment that affects the yield and quality of the agricultural products and has a very important contribution to the use of work and time.

In this study, a literature review was made on electric tractors. For the conditions of use, an approach was taken from the perspective of a case study and a cost-benefit analysis of its usability was carried out by comparisons with commonly used diesel tractors. Finally, in line with the data obtained, evaluations on the use and spread of electric tractors in Türkiye were presented.

ÖZET

Otomotiv endüstrisinde içten yanmalı motorlu tahrik sistemlerinden, elektrik motorlu tahrik sistemlere doğru genel bir eksen kayması söz konusudur. Bu doğrultuda hibrit, tamamen elektrikli ve yakıt hücreli sistem çözümleri kullanılan alternatifler arasında yer almaktadır. Traktörler gibi arazi kullanımına uygun taşıtlarda ise, yardımcı sistemlerde (hidrolikler, pompalar, fanlar ve klima sistemi vb.) elektrikli çözümler kullanımda olmasına rağmen, tahrik sisteminde ve güç aktarım mekanizmalarında elektrifikasyonun henüz başlangıç aşamasında olduğu görülmektedir. Bunda tarımsal amaçlı kullanılan traktörler ile otomobillerin arasında çalışma koşulları açısından yer alan farklılıkların etkisi çok büyüktür.

Sürdürülebilir tarımsal faaliyetler, ancak bu alanda kullanılan doğru yaklaşımlarla mümkün kılınabilir. Bu kapsamda tarımsal alanda ürün verimine, kalitesine etkiyen; iş ve zaman kullanımında çok önemli katkısı olan temel ekipman traktörlerdir. Tarımsal uygulamalarda kullanılan traktörlerin yüksek yaş ortalamasına sahip olması verimlilik açısından çok önemli bir dezavantajı beraberinde getirmektedir. Ekonomik ömrünü fazlasıyla doldurmuş traktörlerle yürütülen tarımsal faaliyetlerde yakıt ve yağ tüketimlerinin yansırı bakım & onarım maliyetlerinde de büyük oranda artmaktadır. Bu durum tarımsal kalkınma kapsamında sağlanan desteklerin de etkin kullanımına engel teşkil etmektedir.

Bu çalışmada elektrikli traktörler hakkında literatür taraması yapılmış, kullanım koşulları için örnek bir vaka çalışması üzerinden sunulan yaklaşım doğrultusunda kullanılabilirliği değerlendirilmiş ve maliyet-fayda analizleri yaygın olarak kullanılan dizel traktörler ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Son olarak elde edilen veriler doğrultusunda Türkiye'de elektrikli traktörlerin kullanımı ve yaygınlaşmasına ilişkin değerlendirmeler sunulmuştur.

1. INTRODUCTION

According to 2019 data, there are approximately 2 Million tractors in Türkiye (Anonymous, 2020a). In this context, the number of double axel tractors with 25 Hp and 25 Hp + (more than 25 Hp) used in agricultural applications which are 1.248.011 units and their average age is 25,3.

In the present case, the high average age of the tractors used in agricultural applications brings with it a very important disadvantage in terms of productivity. Meanwhile, high amounts of fuel and oil consumption occur in agricultural activities carried out with tractors that have already reached their economic useful life. In addition, there is a significant increase in maintenance & repairmen costs. Therefore, aging prevents the effective use of state subsidies and supports provided within the scope of agricultural development. Moreover, with reference to the relevant data, the average age is 40+ among approximately 650.000 tractors that are actively used in agricultural activities in Türkiye (Anonymous, 2020 a; Anonymous,2020 b).

The useful life of tractors used for agricultural purposes is between 10.000 to 12.000 hours according to international standards. In Türkiye, there are previous studies carried out for tractors. According to this framework, references takes from the records of the authorized tractor services; the average annual usage period for -19.396 tractor samples in total - was indicated as 443 hours. It is foreseen approximately from 20 to 24-year lifetime for the tractors used for agricultural activities in Türkiye (Evcim and Özgünaltay Ertuğrul, 2017). In the light of the forecasts and available data, it can be said that a very important part of the tractors (more than 50%) used for agricultural purposes in Türkiye have completed their economic usable life.

Although, they completed their economic life, agricultural tractors cause losses in many ways. Some researches carried out in this context, tractors that have completed their economic life, cause an increase in fuel consumption of 700 liters per year and a loss of 150 hours of work because of malfunctions. Also, exhaust emission measurements were made with tractors of 56 different brands and models which were age of 25 + and 1,816 kg CO₂e for 250 hours/year operating time (Evcim and Ulusoy, 2006).

According to Turkish Association of Agricultural Machinery Manufacturers (TARMAKBİR) data, the total number of tractors produced by years in Türkiye by Başak, Erkunt, Hattat, Tümosan and Turktraktor is given in Figure 1 (Anonymous, 2020 a).

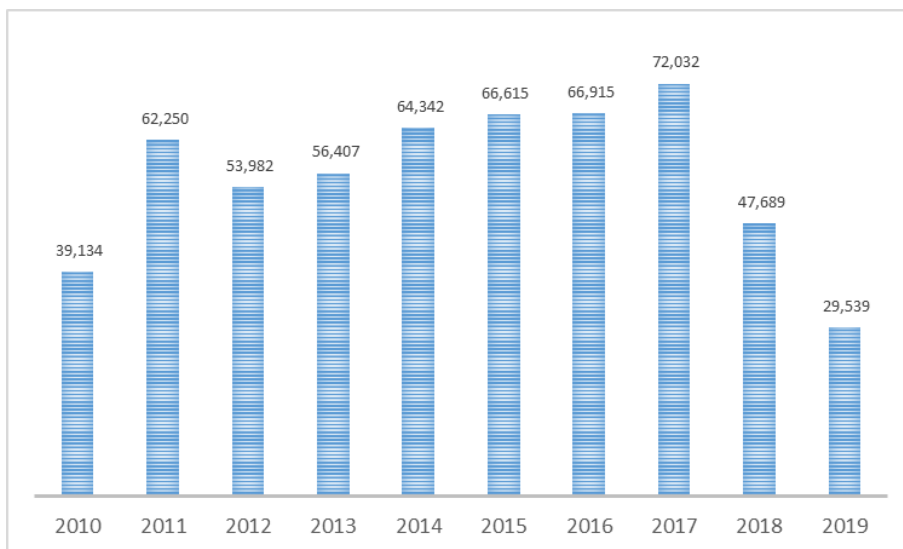


Figure 1. Tractor production data by years in Türkiye

Moreover, the average number of imported tractors was reported as 16.75% in Türkiye. The distribution of the tractors sold according to the average powertrain is also given in Figure 2.

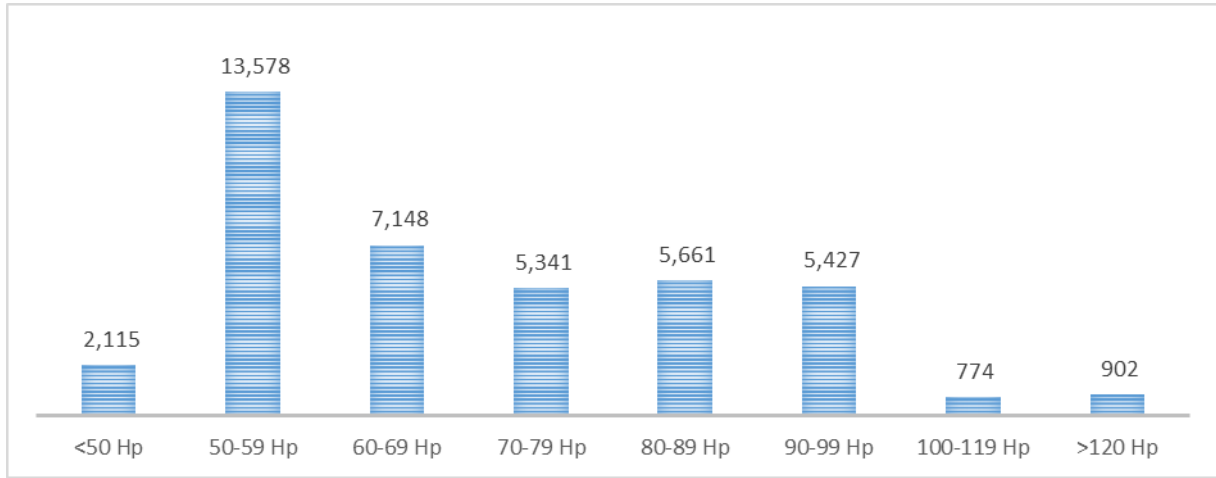


Figure 2. The distribution of the tractors sold according to the average powertrain

The important system solutions on electric propulsion systems are available in cars, buses, trucks and also in off-road use like in underground mining vehicles. Although in the automotive industry with different concepts or construction equipment have electrical powertrain concept solutions, it is noteworthy that the tractors with electric powertrain which are used for agricultural applications remain only at the prototype stage.

The basic approach for the transition from internal combustion engines to electric motors in propulsion systems is not different in the vehicle concepts on road or off-road use. Similar system solutions are offered, depending on power requirements. For the tractors, it is considered that the transition to electrical drive systems cannot go beyond concept design and proto-type applications, especially due to cost and capacity limits based on usage conditions.

The key component for the tractor structures is the internal combustion drive engine that provides the main power generation. In tractors, power flow is provided from the main drive engine to the wheels through the transmission and to the PTO and hydraulic systems with mechanical gear in power transmission structures. In system solutions where belt / pulley structures are also used, the power flow to all auxiliary systems is transmitted through the internal combustion engine. Transition to electrical system solutions for some or all of these components for tractor concepts is listed topologically in Figure 3 (AVL, Concept).

As in all other automotive industry, the internal combustion engine is protected in hybrid tractor topologies; electrical components for drive and auxiliary systems are included in the system to ensure efficiency. Hybrid tractor structures have been introduced as a priority transition concept due to range limitations compared to fully electric tractors, as well as battery dimensions, weight, and costs. However, in commercial terms, it is seen that both the production portfolio and the sales numbers do not have the expected impact across the world.

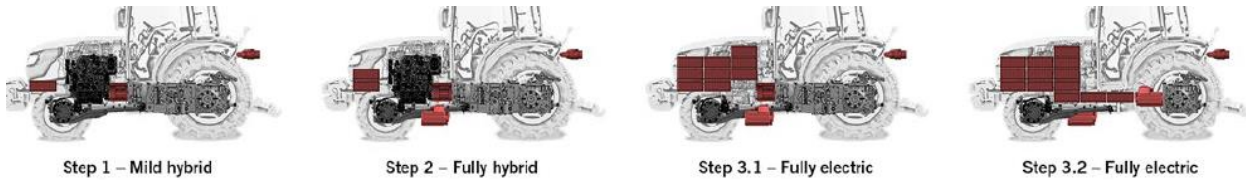


Figure 3. Electric tractor system topologies

In an internal combustion engine tractor, hydraulic and coolant pumps, air brake and air conditioning compressors, radiator fan are considered as auxiliary systems which are driven by the main drive engine. Performances of auxiliary systems are dependent on the speed of the main drive motor. In this sense, in order to keep any system active, the main drive engine must work and possible efficiency losses come to the fore in line with the capacity used according to the operating conditions. Electric and hybrid concepts are advantageous in tractors as well as in other automotive structures. The separation of the auxiliary systems and the provision of an external electrical drive allows to operate more efficiently while reducing the required main drive motor capacity and size.

The auxiliary systems that require great power for electric tractors are especially PTO and hydraulic systems. The system designs for the relevant powertrains are important. Thanks to the control methods specific to electric motors, it stands out as new functions and additional safety-enhancing elements introduced to electric tractors. For example, through the torque detection feature, a possible jamming can be detected in the grinder connected to the tractor PTO and the speed can be reduced and automatically reversed to eliminate the jamming.

Looking at modern agricultural practices in large-scale farms around the world, innovative approaches integrated with autonomous tractors draw attention. Electric tractors contain the infrastructure that will provide fast adaptation structurally for autonomous driving systems as in other automotive applications. While electric tractors provide advantages thanks to their low energy consumption and maintenance & repair costs; they also offer a zero-emission concept by operating with renewable energy options. Using of electric motors in the main drive system provides an advantage for the high torque requirement needed in agricultural applications, it offers a comfortable driving and improved safety equipment.

Nevertheless, the main difficulties regarding electric tractors to be used in agricultural applications are the lack of necessary energy infrastructure for charging in usage areas (agricultural areas), having difficult working conditions, limitations regarding battery technology and most importantly, high initial purchase cost. Especially in agricultural applications, the working environment where the tractors are located is very dusty and has an extremely hot and high humidity level for during the summer months when agricultural activities are carried out (such as Çukurova in Adana). For this reason, durable and reliable power electronics-components and, effective and sufficient cooling infrastructure are essential for the electric motors and battery packs. In addition, the thermal control structures to be established for the specified operating conditions should be considered as an additional factor that increases the battery energy consumption.

As with other electric vehicle concepts, battery efficiency is very important for electric tractors. Sufficient power and energy density has not yet been achieved in current battery technologies to compete with conventional tractors based on internal combustion engines for agricultural applications. Increasing the battery size in line with the requirements causes high costs and increased weight for electric tractors (this also reduces the overall efficiency of the tractor).

2. STUDIES ON ELECTRIC TRACTORS

In the study conducted by Troncon et al. (2019), a feasibility study was prepared on working conditions and energy consumption for a tractor used in agricultural applications to be electrical (Troncon et al., 2019).

It was stated by Ueka et al. (2013) in Japan that a tractor with internal combustion engine was retrofitted as an electric tractor in order to reduce environmental impacts in agricultural production and the total vehicle weight increased and the center of gravity changed. According to the diesel tractor, 70% of the energy required for soil cultivation and driving, 1300 m² area can be cultivated with 1 full charge (it is stated that the plowing is done at 0.3 m s⁻¹ speed and 10 cm depth). Finally, approximately 70% reduction of CO₂ emission was achieved (Ueka et al., 2013).

According to the simulation modeled on Matlab for the dual motor drive system for electric tractors by Chen et al. (2019), optimization for the essential parameters of the drive system as engine power, battery capacity, number of gears, etc. is presented.

Retrofit from a diesel tractor with 20 kW engine power to a fully electric tractor was realized by Arjharn et al. (2001) energy consumption characteristics and agricultural application performance have been evaluated.

Ghobadpour et al., (2019) are stated that tractors are generally suitable to work for high loads and low speeds. Also, other systems like PTO and hydraulic systems are defined as elements requiring extra power to tractors. On the other hand, it has been stated that energy supply increases agricultural costs, as agricultural tractors generally operate away from the electricity grid and fuel stations. With the approach put forward, the use of a hybrid electric tractor concept consisting of renewable energy sources and biodiesel engine in agricultural applications was taken into consideration and an alternative approach was presented that allows farmers to meet the energy demand required or to provide energy to the local electricity grid (Ghobadpour et al., 2019).

For agricultural applications, while Xu et al. (2014) designed a prototype electric tractor with centralized motor system architecture; Gao et al. (2009) approach based on the serial hybrid electric tractor system architecture.

Zhang et al. (2016) developed a dynamic algorithm to minimize energy loss and provide optimum control for the electric tractor concept by modeled with two drive motors, gear system and clutch structure. According to the simulation results obtained, the energy loss of the new two-coupling topology compared to the original design is 12.4%; Similarly, it has been revealed that the optimum system design can reduce the energy loss by 3.36% compared to the original design.

Modeling and simulation study results of an electric tractor with plug-in hybrid drive system that enables the use of biodiesel fuel with the PV powered battery pack developed by Ghobadpour et al. (2020). According to the results obtained, the hybrid-electric propulsion system provided with 4.4kW Bio-Gen for a 2100 kg electric tractor can not provide similar performance with the conventional drive system tractor with an internal combustion engine of the same quality.

In the thesis prepared by Savaşır (2013); The performance values of a 55 hp internal combustion engine tractor based on different operating conditions have been calculated. To meet the demands obtained regarding this, the suitable electric tractor concept has been modeled. As a result, he stated that the electric tractor concept was not suitable for use, considering the price conditions of the existing diesel tractors in the market and the prediction that the battery capacity could not meet the needs in the field.

AVL works on a different electric tractor concept, unlike the studies based on the standard designs of internal combustion engine tractors on the market. In the article prepared in this context, functional limits, weight distribution imbalance or not providing enough space for the battery, etc. It is pointed out that conditions will necessitate different approaches for existing electric tractor concepts in the long run (AVL Solution Sheet).

A recent study on the physical dimensions, requirements and performance results of the hybrid tractor used for vineyard and garden applications stated that unlike normal automotive concepts, hydraulic and PTO systems in tractors complicate the envisaged electric tractor concept structure (Troncon and Alberti, 2020).

It was stated by Yoo et al. (2013); the system architecture of electric tractor design based on Carsim and ASM (Simulink based) is based on a 2-motor structure, separate for drive and auxiliary systems. It has been reported that the exchange of electrical drive components will be compatible with the internal combustion engine systems currently used

In another study on the use of electric tractors in India, it was reported that the key elements such as high torque, low maintenance, low operating costs and zero emissions are strong factors for the adoption of electric tractor for the agricultural sector where 55% of the population makes a living. In contrast, the very high initial cost of purchasing electric tractors, the lack of energy infrastructure for charging, and the lack of awareness of emission emissions were considered as major weaknesses (Malik and Kohli, 2020).

Magalhaes et al. (2017) drew attention to the negative impact of ambient conditions in his study, which addressed the practical problems in the field of electric tractors.

Also, Caban et al. (2018) analyzed the market potential of electric tractors in Poland through a survey they conducted; similarly, they concluded that switching to electric drives in tractors had some difficulties (Caban vd., 2018).

Frederickson et al. (2022) collect and analyze activity data from diesel engine tractor and they use for zero emission electric yard tractor. The performance of the vehicle/equipment was analyzed in terms of the state of charge (SOC) and fuel/energy consumption per day and energy consumption per work completed/distance driven. The data was analyzed to determine performance activity patterns including hours of operation and miles traveled per day.

Chenet al. (2022) stated that the electrical tractor is bound to become a future agriculture trends. Their study is related to design and implement a lightweight, energy-saving, and less polluting electric tractor, which corresponded the requirements smallholder farmers.

3. ELECTRIC TRACTORS IN THE WORLD

The general opinion in the academic studies mentioned above; despite the advantages of electric tractors, the desired results cannot be achieved due to structural and cost factors. It is seen that generally limited to studies on small scale and prototype applications. On the other hand, the world's leading tractor manufacturers also have electric tractors for those that are sold commercially or are still at the concept or prototype stage. So, it is expected to enter the agricultural machinery market in the next few years.

The detailed technical specifications of electric tractors around the world are shown in Table 1. Among the available information, it is possible to express different values, especially in terms of charging and operating times, by considering the infrastructure and operating conditions.

Table 1 Electric tractors in the world and their technical specification

<i>Brand/ Model</i>	<i>Model</i>	<i>Power Capacity</i>	<i>Battery Capacity</i>	<i>Operation Time ¹</i>	<i>Made in</i>
<i>Fendt / e100 Vario</i>		<i>50 kW</i>	<i>100 kWh</i>	<i>5 h</i>	<i>Germany</i>
<i>John Deere / Sesam</i>		<i>150 kW</i>	<i>130 kWh</i>	<i>3 h</i>	<i>USA</i>
<i>Escort/ Farmtrac 26E</i>		<i>19 kW</i>	<i>21 kWh</i>	<i>6 h</i>	<i>India</i>
<i>Rigitrac / SKE 50</i>		<i>50 kW</i>	<i>80 kWh</i>	<i>5 h</i>	<i>Switzerland</i>
<i>ZY Electric</i>		<i>75 kW</i>	<i>95 kWh</i>	<i>5 h</i>	<i>Türkiye</i>
<i>AVL (consept)</i>		<i>50 kW</i>	<i>140 kWh</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>

In the market analysis conducted in electric tractor sector, the German tractor manufacturer Fendt stands out for the first time. The produced e100 Vario model has a motor power of 50 kW and a Li-ion battery capacity of 100 kWh. It is a 100% electric tractor and has been put on the market for sale. It is stated that the company provides 5-hour uninterrupted working opportunity under real field conditions with the model foreseen for agricultural applications such as vineyards and gardens (Fendt e100-vario).

American tractor manufacturer John Deere produced the electric tractor as a prototype which called the Sesam model in 2016. It can provide a total of 300 kW of power from a 150 kW electric motor for each axle, powered by a 130 kWh Li-ion battery pack. The tractor is the largest power capacity electric tractor in this class (John Deere Sesam).

Indian tractor manufacturer Escorts launched the electric tractor model Farmtrac 26E, which also targets the market for small-scale vineyard and orchard agriculture applications. The model has the

¹ It is expected to vary depending on the agricultural practice and field conditions.

opportunity to work for approximately 6 hours with a 19 kW electric motor and 21 kWh Li-ion battery pack (Escorts Farmtrac).

The Swiss tractor manufacturer Rigitrac is also among the companies that produce electric tractors. In the system architecture of the electric tractor revealed, there are 4 electric motors in total, 1 for the front axle, 1 for the rear axle and 1 for the PTOs (front and rear). Rigitrac SKE 50 model is designed for garden applications with 80 kWh Li-ion battery capacity and 50 kW motor power (Breen, 2019).

The last player of the electric tractor sector is from Türkiye. Türkiye's electric tractor brand ZY Electric. This electric tractor project is belong to General Directorate of Agricultural Research and Policy, subordinate to the Ministry of Agriculture and Forestry. Within the scope of the project, a joint venture was established between Ziraat Private Equity Investment Trust Inc. (Ziraat GSYO) and Trev Energy Otomotive Inc. It has been reported that mass production will begin in the recently established factory. Within the scope of the project 2 different models were prototyped. It was launched last year. It is stated that the first prototype has a power of 75 kW (105 hp) and a battery capacity of 95 kWh (ZY Electric).

4. ELECTRIC TRACTORS IN TÜRKİYE

In this paper an overall assessment is made by considering the electrical tractor design concepts put forward in the world which based on agricultural activities in Türkiye. In this respect, a design input has been created for electric tractors according to the results of the research conducted in Adana, which is one of the leading agricultural regions of Türkiye.

Also, in the analyzes carried out, the approach is presented based on the Türkiye's electric tractor brand ZY Electric. It is stated that the first prototype has a power of 130 Hp (96 kW) and a battery capacity of 95 kWh. Detailed technical information on the first electric tractor prototype is given in Table 2 (ZY Elektrikli).

Table 2. Technical specifications of Türkiye's first electric tractor

Traction Drive Power	130 Hp	318 HP
PTO Drive Power	160 Hp	
Hydraulic Systems	20 Hp	
Other Auxiliary Systems	8 Hp	
Battery Capacity	95 kWh	

Accordingly, in the summer working conditions, where agricultural activities are concentrated, the actual operating conditions carried out by tractors are taken as reference. Due to the extremely hot weather conditions in the summer months, the main approach is the plowing operation, which is the most challenging activity for agricultural applications carried out in 2 stages, usually between 06: 00-11: 00 in the morning and 16: 00-24: 00 in the afternoon. In this scale, with a single tractor and a single driver, a maximum of 45-50 decares of fields can be plowed within a total of 12-13 hours per day.

$$ET = (GM \times \eta \times t) \tag{1}$$

- ET : Energy consumption of tractors, (kWh)
- GM : Electric motor power, (kW)
- η : Load capacity, (%)
- t : Is the time, (h)

$$P = (BC \div ET) \tag{2}$$

- P : One-charge-use of tractor,
- BC : Total battery capacity, (kWh)
- ET : Energy consumption of tractors, (kWh)

$$CT = (BC \div GC) \tag{3}$$

- CT : Charging time of tractor, (h)
- BC : Total battery capacity, (kWh)
- GC : Charge capacity of charge station, (kW)

Considering these data; the first approach for the Sesam Electric Tractor model designed by John Deere is presented. The total power requirement of this tractor, including drive and PTO, is 400 hp. The battery usage capacity foreseen for 12-hour uninterrupted operating conditions, based on 50% load conditions, corresponds to 2.280 kWh for full charge in one time. This capacity value for the battery corresponds to a volume of approximately 5000 lt and a weight of 15 tons based on the Li-ion structure (Peter, 2019).

The other references approach is the 80 hp tractor concept of the Fendt e100 Vario. The capacity of the 100 kWh battery (Li-ion structure) in the tractor corresponds to its weight of approximately 600 kg. Similarly, with Sesam, when using 50% load capacity, operating conditions that require recharging after 4 hours (Peter, 2019).

Finally, similar predictions made by ZY Electric. In this context, a projection was made for a capacity of 318 Hp based on the prototype design reported for ZY Electric. In the specified capacity use, it is evaluated that the power requirement can be used for a maximum of 1 hour with a battery capacity of 95 kWh for operating conditions based on the use of 50% capacity as in other approaches. On the other hand, it is seen that approximately 480-600 kWh of battery capacity is required at 50% full capacity and 4-5 hours of uninterrupted use. For an electric tractor of this scale, it must have a charging station capacity of at least 120 kW and sufficient energy infrastructure to charge the battery capacity in 5-6 hours.

5. CONCLUSION

In terms of system architecture, traditional approaches based on existing tractor with internal combustion engine models are seen to be gaining weight in electric tractor concepts that have been introduced around the world. Basically, the system architecture is built with a battery pack instead of just the diesel engine and related components, a central electric motor (concepts offering different approaches are also possible) and related power electronics (converter) structures.. In this configuration, the electric motor is directly coupled with the regular gear diesel engine with the integrated gear. On the other hand, it is seen that belt / pulley applications based on traditional approaches or system solutions with external drive are used for auxiliary systems. For PTO systems, an

external drive system is preferred in all electric tractor concept approaches. Due to current conditions regarding electric tractors and limitations in battery technology, it is considered to be optimum for agricultural applications with small capacity tractors. However, for electric tractors, most of which are in the concept or prototype stage, innovations that will be introduced with different approaches from traditional system designs are expected to come to the fore in the near future. Especially when agricultural operating conditions are taken as a reference, it is essential to put forward sufficient and sustainable charging systems and energy infrastructure solutions for electric tractors corresponding to diesel tractors. In cases, high battery capacities, associated costs and therefore additional weights are among the most important difficulties for electric tractors where these requirements cannot be met that is why it makes it difficult to compete under the current conditions. Innovative approaches based on total cost of ownership should be introduced in line with field analyses to be carried out with effective and efficient system solutions. Financial support to be offered to farmers, incentives to be provided under the condition of using electric tractors or additional agricultural support packages, etc. may be necessary and awareness also be raised for electric tractors through sustainable agricultural subsidies.

REFERENCES

- Arjharn W, Koike M, Takigawa T, Yoda A, Hasegawa H, Bahalayodhin B. Preliminary study on the applicability of an electric tractor (Part 1): Energy consumption and drawbar pull performance. *J. JSAM*, 2001; 63(3):130–137.
- Chen, Y. C., Chen, L. W., & Chang, M. Y. (2022). A Design of an Unmanned Electric Tractor Platform. *Agriculture*, 12(1), 112.
- Chen, Y., Xie, B., Du, Y., & Mao, E. (2019). Powertrain parameter matching and optimal design of dual-motor driven electric tractor. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(1), 33-41.
- Çabukoglu, E., Georges, G., Küng, L., Pareschi, G., & Boulouchos, K. (2019). Fuel cell electric vehicles: An option to decarbonize heavy-duty transport? Results from a Swiss case-study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 70, 35-48.
- Evcim, H, Özgünaltay Ertuğrul, G. (2017). Türkiye Tarımında Traktör Kullanımı (2010) . *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*,13(1),21-31.
- Evcim, H. Ü., & Ulusoy, E. (2006). Dokuzuncu Kalkınma Planı ve Tarım Kanunu Çerçevesinde Tarımsal Mekanizasyona Bakış. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2(1), 1-12.
- Fendt Electric Tractor Tecnical Datasheet (Details can be reached from <https://www.fendt.com/int/fendt-e100-vario>)
- Frederickson, C., Durbin, T., Li, C., Ma, T., Scora, G., Jung, H., ... & Huang, E. (2022). Performance and activity Characteristics of Zero Emission Battery-Electric Cargo Handling Equipment at a Port Terminal (No. 2022-01-0576). *SAE Technical Paper*.
- Gao H S, Zhu S H. Study on design theory and method for driving line of electric tractor. *J. Nanjing Agri. Univ.*, 2009; 32(1): 140–145.
- Ghobadpour, A., Boulon, L., Mousazadeh, H., Malvajerdi, A. S., & Rafiee, S. (2019). State of the art of autonomous agricultural off-road vehicles driven by renewable energy systems. *Energy Procedia*, 162, 4-13.

- Ghobadpour, A., Mousazadeh, H., Malvajerdi, A. S., & Rafiee, S. (2020). Design, Development, and Evaluation of a PV_Bio-Gen Range Extender for an Off-Road Electric Tractor. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 10(1), 388-399.
- Caban, J., Vrabel, J., Sarkan, B., et al., Analysis of the market of electric tractors in agricultural production, *MATEC Web of Conferences* 244 (2018) 03005
- John Deere.com SESAM Electric Tractor (Details can be reached from <https://www.JohnDeere.com/SESAM>)
- Malik, A., & Kohli, S. (2020). Electric tractors: Survey of challenges and opportunities in India. *Materials Today: Proceedings*, 28, 2318-2324.
- Peter, P. (2019). *Electricity for Tractors and Tractor-Implement Systems: The Inherent Dimension Problem of Tractor Batteries*, Hannover, Germany
- Magalhaes, R.O., da Assuncao, M.V., et al., Review on applications of electric vehicles in the countryside, *Ciencia Rural* 47(7)(2017) 1-9.
- Savaşır, B. (2013). *Elektrikle Tahrikli Bir Tarım Traktörünün Tasarım Ve Analizi (Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü)*.
- Study on the Development of the Electric Tractor, Specifications and Traveling and Tilling Performance of a Prototype Electric Tractor
- Escorts Farmtrac (2022, May 10). *Escorts Farmtrac (26E) Electric Tractor Tecnnical Data Sheet*. <https://www.escort.com/farmtract>
- ZY Elektrikli Traktör (2022, May 10). *Teknolojimiz* <https://www.zyelektrikli.com/teknolojimiz>
- AVL (2022, May 10). *A new Approach for Electrified Utility Vehicles – e-tractor, AVL Solution Sheet*. <https://www.avl.com>
- Türkiye Statistical Institute. (2022), Motor Vehicle Data in Türkiye. <https://www.tuik.gov.tr>
- Republic of Türkiye, Ministry of Agriculture and Forestry. (2022), Statistics <https://www.tarimorman.gov.tr>
- Troncon, D., & Alberti, L. (2020). Case of Study of the Electrification of a Tractor: Electric Motor Performance Requirements and Design. *Energies*, 13(9), 2197.
- Troncon, D., Alberti, L., & Mattetti, M. (2019, June). A feasibility study for agriculture tractors electrification: Duty cycles simulation and consumption comparison. In 2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC) (pp. 1-6). IEEE.
- Turkish Agricultural Equipment and Machinery Manufacturers Association Economic Enterprise. (2020), Agriculture and Machinery Industry Interaction Report Xu L Y, Liu M N, Zhou Z L. Design of drive system for series hybrid electric tractor. *Trans. of the CSAE*, 2014; 30(9): 11-18.
- Yoo, I., Lee, T., Kim, B., Hur, J., Yeon, K., & Kim, G. (2013). Performance Interpretation Method for Electrical Tractor Based on Model-Based Design. In 2013 International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS) (pp. 1-4). IEEE.
- Zhang S, Xiong R, Zhang C N, Sun F C. An optimal structure selection and parameter design approach for a dual-motor-driven system used in an electric bus. *Energy*, 2016; 96: 437-448.

Authors' Biography



Orhan TOPAL

Transport, Security, Energy, Automation and Healthy Systems Business Sector, Aselsan Inc., Ankara, Türkiye.

İletişim otopal@aselsan.com.tr
ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0003-3857-5689>