



MANUEL, YARI OTOMATİK VE MOBİL ROBOT TABANLI OTONOM TOPRAK BURGU MAKİNELERİNİN ALAN KAPASİTELERİNİN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ

Osman ECEOĞLU¹, İlker ÜNAL^{2*}

¹Akdeniz University, Technical Science Vocational School, Department of Control and Automation, 07070, Antalya, Türkiye

²Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering-Architecture, Department of Mechanical Engineering, 15200, Burdur, Türkiye

Özet: Toprak burguları, genellikle toprakta çeşitli boyut ve derinliklerde çukurlar açabilen dönen bir metal çubuk etrafına yerleştirilmiş spiral bıçaklara sahip basit makinelerdir. Meyve bahçelerinde fidan çukuru açılması başta olmak üzere, çit, elektrik, yol işaretlerinin ve işaretleme direklerinin dikilmesi gibi tarım ve endüstriyel uygulamalar için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Piyasada, manuel, yarı otomatik, traktör üç nokta bağlantı noktasına akuple edilen tipte toprak burguları mevcuttur. Son zamanlarda teknolojik gelişmelerin de etkisiyle operatör kullanımını ortadan kaldıran mobil robot tabanlı otonom toprak burguları üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle, büyük miktarlarda çukurların açılması gerektiğinde yoğun işçilik, işletme maliyeti ve zaman açısından hangi tip toprak burgusu sisteminin kullanılması gerektiği kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, manuel, yarı otomatik ve tarafımızca geliştirilen mobil robot tabanlı otonom toprak burgusunun alan kapasitesi temelinde karşılaştırmalı performansları değerlendirilmiştir. Alan çalışması, yaklaşık 0.31 hektarlık alanda toplam 76 çukur noktası için üç farklı makinenin çalıştırılması ile gerçekleştirilmiştir. Çukur noktaları, yatay ve dikey yönde birbirlerinden 6 metre mesafede olacak şekilde belirlenmiştir. Alan kapasitesi belirlenirken, esas işleme, bir noktadan diğer noktaya gidiş ve ayar zamanları kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, alan kapasite değerleri manuel, yarı otomatik ve mobil robot tabanlı otonom toprak burgusu makinelerine göre sırasıyla 11.62 çukur/saat, 30.04 çukur/saat, 70.38 çukur/saat olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerler, beklenildiği gibi mobil robot tabanlı otonom toprak burgusu makinesinin diğer iki makineye göre daha hızlı ve insan gücü gerektirmeden çukur açtığını göstermektedir. Yapılan çalışma, farklı tarımsal işletmecilik yöntemleri ve maliyet analizi unsurlarını da kapsayacak şekilde zenginleştirilme özelliğine sahiptir.

Anahtar kelimeler: Toprak burgusu, Mobil robot, Tarımsal işletmecilik, Alan kapasitesi

Comparative Evaluation of Field Capacities of Manual, Semi-Automatic and Mobile Robot Based Autonomous Soil Drilling Machines

Abstract: Soil augers are simple machines that usually have spiral blades placed around a rotating metal rod that can open holes in the soil in various sizes and depths. They are widely used for agricultural and industrial applications such as opening sapling holes in orchards, erecting fences, electricity, road signs and marking posts. There are manual, semi-automatic, and tractor three-point coupling type soil augers on the market. Recently, with the effect of technological developments, studies have been carried out on mobile robot-based autonomous soil augers that eliminate the use of operators. Especially when it is necessary to open large amounts of holes, it is of critical importance which type of soil auger system should be used in terms of intensive labor, operating cost and time. In this study, the comparative performances of manual, semi-automatic and mobile robot-based autonomous soil augers developed by us were evaluated based on field capacity. The field study was carried out by operating three different machines for a total of 76 hole points in an area of approximately 0.31 ha. The hole points were determined to be 6 meters apart from each other in horizontal and vertical directions. While determining the field capacity, main processing, going from one point to another and setting times were used. As a result of the calculations, field capacity values were determined as 11.62 holes/hour, 30.04 holes/hour, 70.38 holes/hour for manual, semi-automatic and mobile robot-based autonomous soil auger machines, respectively. The obtained values show that the mobile robot-based autonomous soil auger machine drills holes faster and without requiring manpower than the other two machines, as expected. The study has the feature of being enriched to include different agricultural management methods and cost analysis elements.

Keywords: Soil auger, Mobile robot, Agricultural management, Field capacity

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering-Architecture, Department of Mechanical Engineering, 15200, Burdur, Türkiye

E mail: ilkeru@mehmetakif.edu.tr (İ. ÜNAL)

Osman ECEOĞLU  <https://orcid.org/0000-0001-5778-6655>

İlker ÜNAL  <https://orcid.org/0000-0002-5188-4438>

Gönderi: 05 Aralık 2024

Kabul: 15 Ocak 2025

Yayınlanma: 15 Mayıs 2025

Received: December 05, 2024

Accepted: January 15, 2025

Published: May 15, 2025

Cite as: Eceoğlu O, Ünal İ. 2025. Comparative evaluation of field capacities of manual, semi-automatic and mobile robot based autonomous soil drilling machines. BSJ Eng Sci, 8(3): 572-578.



1. Giriş

Meyve bahçelerinde giderek daha büyük alanların ağaçlandırılması gereksinimi, ağaçlandırma sektörünün bu muazzam iş hacmini yalnızca el emeğiyle tamamlamasını zorlaştırmaktadır (Pica vd., 2021). Günümüzde, meyve ağacı yetiştiriciliğinin hızla gelişmesiyle birlikte, bahçecilik uygulamaları artık büyük ölçüde çeşitli mekanik aletlerin kullanımını gerektirmektedir. Bir meyve bahçesinin mekanik operasyonu, dikim için fidan çukuru açma, fidanların çiftliğe taşınması, dikim çukuruna taşınması ve fidanları dikme aşamalarından oluşmaktadır. Ancak, fidan dikimi için çukur hazırlama süreci, mekanik fidan dikimi için gereken toplam sürenin yaklaşık %30'unu almakta ve halen insan emeği, çoğu ağaç meyvesi üretim operasyonlarının önemli bir bileşeni olmaya devam etmektedir (Lo Bianco vd., 2021). Bu çerçevede, tarımsal mekanizasyonun amacı, insan emeğine olan bağımlılığı azaltmak, çiftlik verimliliğini artırmak, tarla operasyonlarını hızlandırmak ve maliyetleri en aza indirirken yüksek gelir elde etmektir (Chi vd., 2021). Fidan çukuru açma işleminde yaygın olarak, helezon burgularla donatılmış manuel el tipi toprak burguları, benzinli veya elektrikli yarı otomatik toprak burguları ve kuvvetin mekanik veya hidrolik iletim sistemiyle iletildiği traktöre monteli toprak burguları kullanılmaktadır. Farklı uzunluk ve çaptaki helezon burgular kullanılarak, 10-20 cm çapında ve 30-100 cm derinliğinde çukurlar açılabilir (Jurgensen vd., 1977). Yarı otomatik toprak burgularının motorlu kullanımındaki en önemli sorun, matkabın çukura takılıp operatöre motor tepki kuvveti uygulaması nedeniyle oluşabilecek olası tehlikelerdir ve bu da bazen can kayıplarına neden olmaktadır (Miller vd., 2006). Manuel ve yarı otomatik toprak burgularının diğer dezavantajları arasında kuru ve ağır dokulu topraklarda verimsiz çalışma, kullanıcılar için ergonomik ihtiyaçların eksikliği (zorlu çalışma koşullarında) ve birim zaman başına açtıkları fidan çukuru sayısı bulunmaktadır. Avusturalya Kırsal Güvenlik ve Sağlık Birliği'nin Mayıs 2024'te yayınladığı bir raporunda, yetiştirici çiftliklerinin %33'ündeki en riskli ekipmanın toprak burguları olduğu ifade edilmektedir (RSAH04, 2024). Manuel toprak burguları tamamen insan gücüyle çalışmakta ve bir çukur açmak için gereken ortalama süre toprak yapısına göre çukur başına 3-5 dakika arasında değişebilmektedir. Bu durum, bir operatör tarafından yönlendirilen yarı otomatik makinelerde ise çukur başına yaklaşık 1-2 dakika sürmektedir. Traktör üç nokta bağlantı noktasına takılan PTO (Power Take Off) tahrikli toprak burguları ise çok fazla fidan çukurunu hızlı şekilde açma işleminde manuel ve yarı otomatik toprak burgularına göre açık ara en çok kullanılan makinedir. Yapılan bir araştırmada, traktöre monte edilen toprak burgusunun kumlu (%93) toprakta 30 cm çapında 60 cm derinliğindeki bir fidan çukurunu 60-100 s arasında açtığı ifade edilmektedir (El-Gendy vd., 2009). Ancak buradaki temel problem, traktör kullanımından kaynaklanan yakıt sarfıyatı ve toprakta

oluşan sıkışma olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, 21 Şubat 2008 yılında Amerika'nın Washington eyaletinde, traktöre monte edilmiş toprak burgusu ile elma bahçesinde çukur açarken bir işçinin kolunu burguya kaptırdığı ve orada hayatını kaybettiği rapor edilmiştir (FACE/WA, 2010). Teknolojideki gelişmeler ve otonom sistemlerin tüm sektörleri etkisi altına aldığı günümüzde, meyve bahçelerinde fidan çukuru açma işleminin hem çalışan sağlığı hem de zamandan tasarruf açısından otonom şekilde yapılması zorunlu hale gelmiştir. Tarımsal üretim alanları, ister bitkisel üretim ister meyve bahçeleri olsun, karmaşık ve heterojen bir yapıya sahiptir. Son birkaç yılda, çok sayıda araştırma enstitüsü tarafından farklı tarımsal amaçlar için robot traktörler ve mobil robotlar üretilmiştir. Meyve bahçesi platformlarının verimliliği artırdığı gösterilmiş olsa da, sundukları avantajlara kıyasla sınırlı uygulanabilirlikleri ve yüksek maliyetleri, bunların yaygın olarak benimsenmesini engellemiştir. Tamamen manuel, kısmen manuel veya tamamen otonom modlarda kullanılabilen paylaşımlı bir mobil platform, meyve bahçesi ortamı için çok önemlidir. Meyve bahçeleri, organize ortamları nedeniyle tarımda robotları ve otomatik sistemleri uygulamak için en iyi yer gibi görünmektedir (Bochtis vd., 2015). Ayrıca, meyve bahçesi endüstrileri için ciddi bir tehlike de, mevsimlik meyve bahçesi görevleri için kalifiye iş gücünün azalmasıdır. Bu nedenle, robotik meyve bahçesi çözümleri geliştirmek kritik bir öneme sahiptir (Verbiest vd., 2021). Son elli yılda ilaçlama ve hasat gibi çeşitli meyve bahçesi görevlerinin otomasyonu üzerine çok sayıda çalışma yürütülmüştür. Bu araştırma çalışmalarının çoğu tek bir göreve odaklanmıştır (Silwal vd., 2017). Meyve bahçeleri için çok sayıda otomatik hasat robotu prototipi bulunmaktadır (Bac vd., 2014; Onishi vd., 2019; Zhang vd., 2021; Xiong vd., 2022; Chen vd., 2022). Ek olarak, literatürde meyve bahçesi ortamlarında seyreltme (Gonzalez vd., 2023), ilaçlama (Liu vd., 2022), budama (Botterill vd., 2017) ve mobil navigasyon (Jia vd., 2023) gibi robotik görevler üzerine de çalışmalar bulunmaktadır. Yukarıda listelenen her meyve bahçesi yönetim operasyonu, aktüatörleri meyve bahçesinde hareket ettirmek için mobil bir platforma ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte, meyve bahçesi kurulumu bağlamında fidan dikimi için çukur açan otonom bir robot üzerinde hiçbir araştırma çalışması yapılmamıştır. 2011 yılında, Amerikan Tarım ve Biyolojik Mühendisler Birliği (ASABE), tarım makineleri operasyonlarının verimliliğini ölçmek için etkili tarla kapasitesi (EFC) ve tarla verimliliği (FE) olarak adlandırılan iki önemli standardı ortaya koymuştur (Adamchuk vd., 2011). Teorik tarla kapasitesi (TFC), yalnızca makinenin tam çalışma genişliğine ve tarladaki ortalama seyahat hızına bağlıdır. Makinenin tam çalışma genişliği kullanıldığında verilen tarla hızında elde edilebilecek maksimum olası tarla kapasitesini temsil etmektedir. EFC, dönüşler ve diğer gecikmeler nedeniyle TFC'den daha azdır. EFC'nin TFC'ye oranına ise makinenin alan verimliliği (FE) denmektedir. Bir tarım

makinesinin tarla kapasitesi, birincil işlevini yerine getirme hızıdır, yani herhangi bir makinenin çalışma saati başına işleyebildiği alan büyüklüğü veya bir toprak burgusunun saatte açtığı çukur sayısıdır. Makine kapasitelerinin ölçümleri veya tahminleri, tarla operasyonlarını, güç ünitelerini, iş gücünü planlamak ve makine işletme maliyetlerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmanın genel amacı, meyve bahçeleri kurulumunda fidan çukuru açmak için kullanılan manuel, yarı otomatik ve mobil robot tabanlı toprak burgularının teorik alan kapasitesi bağlamında karşılaştırmalı değerlendirilmesini yapmaktır.

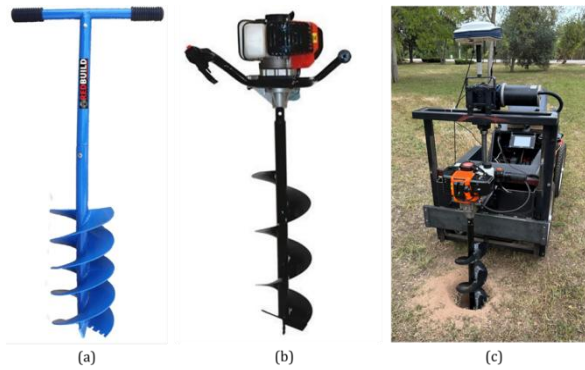
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Manuel, yarı otomatik ve mobil robot tabanlı toprak burgusu ile yapılan tüm deneysel değerlendirmeler Akdeniz Üniversitesi içerisinde bulunan deneme arazisinde (36° 53' 54" K ve 30° 38' 27" D) gerçekleştirilmiştir. Deney alanı deniz seviyesinden 32 m yükseklikte olup 0.31 ha alana sahiptir. Çalışma alanının toprak türü killi-tınlı olup, %42 kum, %25 silt, %33 kilden oluşmaktadır. Her üç makina, 76 ayrı nokta için çalıştırılmıştır. Toprak burguları, her noktada 20 cm çapta ve 30 cm derinliğinde dikim çukuru kazmak için kullanılmıştır. Meyve bahçelerinde en basit ve en yaygın kullanılan dikim yöntemi kare sistemi olması nedeniyle çukur noktaları 6 x 6 m olacak şekilde seçilmiştir.

2.2. Çalışmada Kullanılan Toprak Burguları

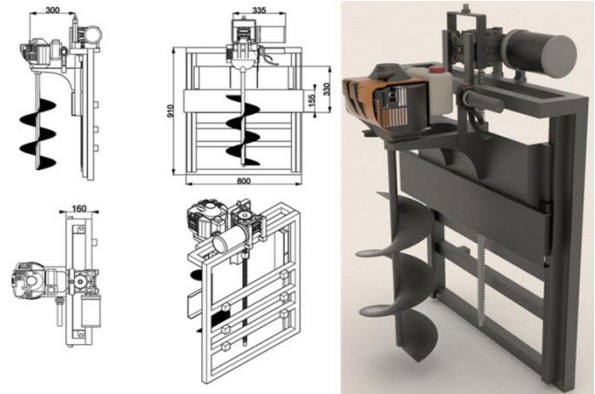
Çalışmada üç farklı toprak burgusu kullanılarak teorik alan kapasiteleri hesaplanmış ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Bunlar T-saplı manuel toprak burgusu, motorlu toprak burgusu ve tarafımızca geliştirilen mobil robot tabanlı otonom toprak burgusudur (Şekil 1).



Şekil 1. (a) T-saplı manuel toprak burgusu (b) motorlu toprak burgusu (c) mobil robot tabanlı otonom toprak burgusu.

Manuel toprak burgusu zahmetsiz fidan çukuru açmak için tasarlanmış güçlü bir araçtır. Gövde bölümü A3 tip paslanmaz çelik malzemeden, 20 cm çapa sahip matkap ucu ise spiral şeklinde tek bıçak paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir. Net ağırlığı 3.9 kg olan toprak burgusu 40x90x20 cm boyutlara sahiptir. Motorlu burgu makinesi, hava soğutmalı iki zamanlı 2.1 hp motor,

51.7 cm³ silindir hacmi ve 34:1 redüksiyon oranına sahip olup çalışırken 1.6 kW güç tüketmektedir. Ağırlığı 14.8 kg olan burgu makinesinin yakıt deposu 0.80 lt dir. Çalışmada tarafımızca geliştirilen mobil robotun arkası için tasarlanan düşey hareket mekanizmasına motorlu toprak burgu makinesi akupile edilmiştir (Eceoğlu ve Ünal, 2024). Motorlu toprak burgusunun düşey hareketini sağlayan mekanizmasının yapımında paslanmaz çelik kullanılmıştır. Mekanizmanın bazı parçaları 30x30x3 mm ölçülerinde kare çelik borudan yapılmıştır. H şeklindeki taşıyıcı ızgara ve toprak burgu makinesi, sistemin mekanik yapısını oluşturan iki bileşendir. Sistemin düşey hareketi için iki adet 30 x 30 910 mm ve üç adet 30 x 30 800 mm kare çelik boru kullanılarak H şeklinde bir taşıyıcı ızgara oluşturulmuştur. Daha sonra bu H şeklindeki taşıyıcı ızgara otonom mobil robotun arkasına monte edilmiştir. Toprak burgusu ise H şeklinde bir ızgara üzerine akupile edilmiştir (Şekil 2). H şeklindeki ızgara üzerindeki iki çelik doğrusal kılavuz, yastık blokları ve 30 mm doğrusal ray şaft kılavuz destekleri ile ayarlanmaktadır. Doğrusal kılavuzların uzunluğu 910 mm'dir. Düşey hareket için 1:40 redüksiyonlu bir dişli kutusu, 30 x 850 mm bilyalı vidayı çeviren 24 V, 500 W, 1440 rpm DC motora bağlanarak doğrusal bir aktüatör oluşturulmuştur.



Şekil 2. Toprak burgu makinesinin ve H biçimli ızgaranın tam ölçekli teknik çizimi.

2.3. Makine Kapasitesi Metodolojisi

Makine kapasitesi terimi, makinenin gerçekleştirdiği işe bağlı olarak birim zamanda yapılabilen iş miktarını ifade etmektedir. Tarım makineleri için kapasite ölçüleri teorik tarla kapasitesi, efektif tarla kapasitesi ve malzeme kapasitesidir. Makinenin kapasitesi, uygun çalışma hızı ve iş genişliğiyle ilgili olduğu kadar yapılan işin özelliğine göre çalışılabilecek süreyle de ilişkilidir. Makine kapasitesi, birim zamanda (saat) yapılan iş miktarı olarak tanımlanabilir ve birimi; ha/h, ton/h, Mg/h veya işlenen materyal miktarı (kg veya ton)/h vb. cinsinden olabilir (ASAE, 1999). Teorik tarla kapasitesi, makinenin nominal ileri hızda zamanın %100'ünde işlevini yerine getirmesi ve her zaman nominal genişliğinin %100'ünü kaplaması durumunda elde edilecek tarla kapsama oranıdır. Teorik tarla kapasitesinin hesaplamada kullanılan formül eşitlik 1'de verilmiştir.

$$TFC = \frac{\text{Makine Genişliği (cm)} * \text{İlerleme Hızı} \left(\frac{m}{s}\right) * 36}{10000} \text{ ha/h} \quad (1)$$

Gerçek alışma koşullarında efektif tarla kapasitesi, dnşler ve diğer gecikmeler nedeniyle teorik tarla kapasitesinden daha azdır. Tarım makinelerinin tarla verimliliği, gerçek teorik tarla suresinin tarlada geçirilen toplam sureye oranıdır. Bu oran, çalışma dizeni ve tarlanın fiziksel koşullarına bağlı olarak sistemin ne kadar verimli olduğunu göstermektedir. İdeal çalışmada, makine tüm zamanını (teorik tarla suresi) optimum çalışma hızında ve iş genişliğinde ana görevini tamamlamak için kullanılmaktadır. Ancak gerçekte, makine tarla verimliliğini düşüren dönme, durma, tamir, bakım, yakıt veya materyal doldurma gibi diğer verimsiz zaman unsurlarında da zaman harcamaktadır.

2.4. Fidan ukuru Noktalarının Koordinat Haritasının Oluşturulması

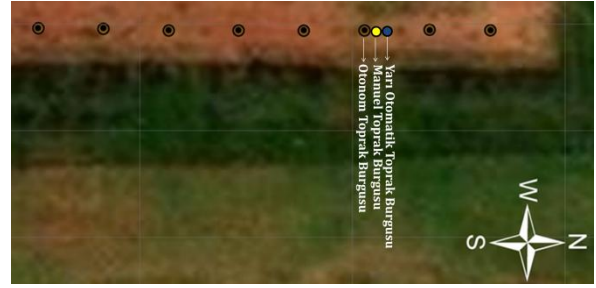
Meyve bahçesinde açılacak olan fidan çukurlarının coğrafi koordinatlarının (enlem, boylam) oluşturulması için ArcGIS 10.5 (Esri, CA, ABD) coğrafi bilgi platformu içerisinde bulunan ArcMap uygulaması kullanılmıştır. Meyve bahçesi kurulumunda en basit ve en yaygın kullanılan kare dikim yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle, alışma yapılacak olan alana ait uydu görüntüsü <https://earthexplorer.usgs.gov> aracılığı ile Landsat-9'dan elde edilmiştir. ArcMap uygulamasına yüklenen uydu görüntüsünün sayısallaştırılması için çalışma alanının dört köşesinden Promark 500 RTK-GPS alıcısı (Magellan Co., Santa Clara, CA, ABD) kullanılarak gerçek koordinat verisi toplanmıştır. Sayısallaştırılan uydu görüntüsü üzerinde açılacak fidan çukurlarının konumları hem yatay hem de dikey ekseninde aralarında 6 m olacak şekilde toplamda 76 koordinat noktası işaretlenerek konum haritası oluşturulmuştur (şekil 3). Oluşturulan konum haritası hem Microsoft Excel dosyası hem de Microsoft SQL Server zerindeki veri tabanına aktarılabilir özelliktir.



şekil 3. ArcMap uygulaması üzerinde oluşturulan fidan çukuru açma noktalarına ait konum haritası.

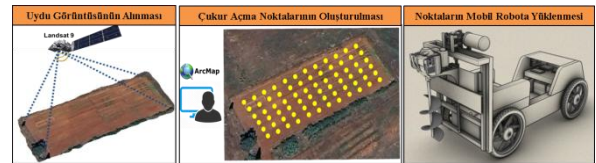
Oluşturulan konum haritası üzerindeki noktalar mobil robot tabanlı otonom buręu makinasının gideceği noktaların enlem ve boylam verilerini içermektedir.

Noktaların kuzey yönüne doğru 20 cm aralıklarla manuel ve yarı otomatik toprak burgularının delme noktaları aynı düzlemde olacak şekilde belirlenmiştir.



şekil 4. Manuel, yarı otomatik ve otonom toprak burgularına ait konum noktalarının gösterimi.

şekil 5'te fidan çukuru açmak için gerekli olan ofis çalışması ve mobil robot tabanlı otonom toprak buręu makinasına verilerin yüklenmesine ait blok şema gösterilmiştir.



şekil 5. Yapılan çalışmanın bütününü temsil eden blok şema.

3. Bulgular

Manuel toprak buręu makineleri ile insan gücüne bağlı olarak bir fidan çukuru açmak için gereken ortalama süre, çukur başına 3-5 dakika arasında sürmektedir. Yarı otomatik toprak buręu makinasında ise fidan çukuru açma işlemi çukur başına yaklaşık 1-2 dakika arasında sürmektedir. Belirtilen bu sreler çukur açma işlemine başlama ve bitirme arasındaki süreleri ifade etmektedir. Noktadan noktaya makinenin taşınması, çalıştırılması veya diğer kayıp zamanlar bu sürenin içerisine dâhil değildir. Yapılan çalışmada yürüme, ayar ve çukur açma işlemi dâhil olmak üzere 76 fidan çukuru için hesaplanan toplam sreler Tablo 1'de verilmiştir. Manuel ve mobil robot tabanlı toprak buręu makineleri için herhangi bir ayar işlemi yapılmamıştır. Yarı otomatik toprak burgusunda ise her çukur açma işleminde motor çalıştırılıp işlem bitince kapatılmıştır. Çalışmanın makine ve alan kapasitesi bağlamında hesaplanan değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. 76 ukur noktası için hesaplanan toplam sreler

	Yürüme (s)	Ayar (s)	ukur Açma (s)	Toplam (s)
Manuel	738	0	22800	23538
Yarı Otomatik	738	1520	6840	9098
Robot	304	0	3572	3876

Tablo 2. Makine ve alan kapasiteleri

	TOPLAM (h)	TCF (çukur/h)	TCF (ha/h)
Manuel	6.54	11.62	0.047
Yarı Otomatik	2.53	30.04	0.12
Robot	1.08	70.38	0.29

Toplam 76 fidan çukuru için yapılan değerlendirmeye göre, manuel toprak burgusu için noktadan noktaya yürüme, makine ayarı ve çukur açma işlemleri her bir çukur için yaklaşık 5.16 dakika sürmektedir. Yarı otomatik toprak burgusu için bu süre yaklaşık 2.00 dakika ve mobil robot için 0.85 dakika olarak hesaplanmıştır. Birim saat başına çukur açma sayısını temsil eden makine kapasitesi, mobil robot için yarı otomatik toprak burgusuna göre yaklaşık 2.5 kat, manuel toprak burgusuna göre 6 kat hızlı çalıştığını göstermektedir. Benzer şekilde birim saat başına işlenen hektar miktarını temsil eden alan kapasitesinde de benzer oranlar gözlemlenmektedir. Ayrıntılı hesaplamalar, Mobil robot tabanlı otonom toprak burgu makinesinin saatte ortalama 70 çukur ve 8 saatlik bir iş gününde 560'a kadar çukur açabildiğini göstermektedir. Mobil robot tabanlı otonom toprak burgu makinesi, çukur başına ortalama 47 saniyelik çukur açma süresine sahiptir. Elde edilen değerler, beklenildiği gibi mobil robot tabanlı otonom toprak burgu makinesinin diğer iki makineye göre daha hızlı ve insan gücü gerektirmeden fidan çukuru açtığını göstermektedir.

4. Tartışma

Teknoloji alanında yaşanan gelişmeler, meyve bahçesi mekanizasyon teknolojilerinin de değiştirilmesi ihtiyacını, yeni ve verimli makinelerin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Yoğun meyve bahçeleri, büyük miktarlarda meyve üretimi ve otonom mekanize işlemler için uygun koşullar sağlamaktadır. Bir meyve bahçesi kurmak için dikim materyalinin seçilmesi, fidanlar arasında yatay ve dikey düzlemde mesafelerin belirlenmesi, arazi işaretlemesi, fidan çukuru açma ve fidan dikme aşamalarının tamamlanması gerekmektedir. Bu süreçte mekanizasyona iki aşamada ihtiyaç duyulmaktadır: fidan çukuru açmak ve fidan dikmek. Ağaç meyveleri üretmek için otomatik yöntemlerle ilgili araştırmaların çoğu, budama ve hasatla ilgili işlemlere odaklanmıştır. Literatürde, bir meyve bahçesi kurulumunda fidan çukuru açmak için GIS tabanlı otonom bir robot kullanımı ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yeni bir meyve bahçesi inşa ederken mekanize işlemler konusu dikkatlice ele alınmalı ve otonom sistemler ve ilgili destekleyici altyapı ile donatılmalıdır (Lei vd., 2023). Bu nedenle, yapılan çalışma yeni bir meyve bahçesi kurarken fidanların nereye dikilmesi gerektiğini bulmak için çok önemlidir. Fidanların gerçek konumu bu teknoloji tarafından önceden belirlendiğinden, otonom makinelerin birçok dikim ve bakım işlemlerini önceden planlanan rotalar

üzerinden gerçekleştirebileceğini düşünebiliriz. Mekanizasyon, görevlerin zamanında tamamlanmasını ve birim alan başına daha düşük maliyetleri garanti ettiği için tarım için hayati bir önem taşımaktadır. Günümüzde, meyve ağacı yetiştiriciliğinin hızla gelişmesi nedeniyle, bahçecilik uygulamaları artık büyük ölçüde çeşitli mekanik aletlerin kullanımını gerektirmektedir. Bahçecilik için en önemli aletlerden biri de toprak burgu makinesidir. Dikim çukurunu hazırlama süreci, bahçecilikte mekanik fidan dikimi için gereken toplam sürenin yaklaşık %30'unu almaktadır (El-Gendy vd., 2009). Bu oran, toplam süreçte çok büyük bir zaman miktarını kapsamaktadır. Geleneksel fidan çukuru açma yöntemi, zaman alıcı ve fiziksel olarak zorlayıcı olmasının yanı sıra, operatör yorgunluğuna da hızla neden olabilmektedir. Fidan çukuru açma makinelerinin iki ana kategorisi: manuel ve benzinli veya elektrikli toprak burgulardır. Elektrikli veya benzinli burgular bir motor veya matkapla çalışırken, manuel burgular insan emeğine ihtiyaç duyar ve daha küçük projeler için en kullanışlı olanıdır. Büyük çapta meyve bahçesi kurulumunda ise traktör üç nokta bağlantı düzeneğine bağlanan ve traktör PTO'sundan hareket alan toprak burguları tercih edilmektedir. Bahçecilikte kullanılan tüm bu fidan çukuru açma makinelerinin temel amacı, insan gücünü azaltmak ve bahçecilik üretkenliğini artırmaktır (Kaur vd., 2023). Ancak, manuel toprak burgularının birim alan başına çukur açma sayısı ve tamamen insan gücüne bağımlı çalıştırılması nedeniyle büyük bahçelerde kullanılmamaktadır. Aynı şekilde, yönlendirilmesi insan gücüyle yapılan elektrikli veya benzinli toprak burgularının ağırlıkları nedeniyle taşınması ve çalışma esnasında çok fazla toz çıkararak işçilerin sağlığına ciddi zararlar verme durumları da kullanımlarını kısıtlamaktadır. Traktöre bağlı çalışan toprak burgularında ise yakıt tüketimi, toprak sıkışıklığı oluşturma ve toprak burgusunun traktör arkasında yönlendirilmesini sağlayan çalışanın, fiziksel yaralanmasına sebebiyet verme gibi olumsuzluklar bulunmaktadır. Tüm bu olumsuzluklar değerlendirildiğinde, mobil robot tabanlı otonom bir toprak burgusunun geliştirilmesinin, daha düşük işçilik maliyetleri ve birim zaman başına daha yüksek üretkenlik dâhil olmak üzere önemli faydalar sağlayacağı açıktır. Ancak, bahsedilen faydanın sayısal olarak tanımlanması ihtiyacı bu çalışmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Literatürde bu zamana kadar manuel, yarı otomatik ve traktöre monteli toprak burgularının makine veya alan kapasitelerine göre karşılaştırıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, mobil robot tabanlı otonom toprak burgusu geliştirme ile ilgili tek bir çalışma bulunmaktadır (Eceoğlu ve Ünal, 2024). Yapılan çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanarak meyve bahçelerinde ağaç dikilecek yerleri belirlemeyi, otonom bir fidan çukuru açma makinesini geliştirmeyi ve geliştirilen mobil robot ile fidan çukurları açmak için kullanmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, mobil robot tabanlı otonom toprak burgu makinesinin diğer

kullanılan toprak burgularıyla olan sayısal karşılaştırmalarına da literatürde rastlanmamıştır. Mobil robot tabanlı otonom toprak burgusu için gereken yatırım maliyeti yaklaşık 5.000 dolardır. Bu maliyet yüksek gibi görünse de, makine yatırım maliyetini büyük ölçüde aşabilecek çok sayıda uzun vadeli fayda sunmaktadır. Operasyonel verimliliği önemli ölçüde artırması, manuel işgücüne olan ihtiyacı azaltması ve işçilik maliyetlerini düşürmesi yanı sıra meyve bahçesi kurulumlarının hassasiyetini de artırmaktadır. Bu hassasiyet, optimum fidan büyümesini ve sağlığını sağlamak ve daha yüksek ürün verimini sağlaması açısından önemlidir. Sonuç olarak, bu birleşik avantajlar ilk yatırımı geri kazanmaya ve kullanıcılara devam eden ekonomik faydalar sağlamaya yardımcı olabilir ve bu yenilikçi teknolojinin benimsenmesini uzun vadede finansal olarak doğru bir karar haline getirebilir.

5. Sonuç

Meyve bahçeleri için fidan çukuru açmak zaman alıcı ve zahmetli bir işlemdir. Çok sayıda çiftçi küçük alanlar için manuel veya yarı otomatik toprak burgusu ve geleneksel çukur açma yöntemlerini kullanmaktadır. Ancak bu makinelerin kullanımında operatör gücü yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Büyük alanlar için ise operatör gücünü minimize etmek amacıyla traktöre monteli çukur açıcılar kullanılmaktadır. Ancak, traktöre monteli çukur açıcıları, engebeli ve küçük alanlardaki manevra kabiliyetlerindeki yetersizlik, yakıt sarfiyatı ve edinim maliyetinin fazlalığı gibi nedenlerle fayda maliyet açısından dezavantajlara sahiptir. Bu bağlamda, manuel, yarı otomatik ve mobil robot tabanlı toprak burgularının makine veya alan kapasitelerinin karşılaştırılması tarımsal mekanizasyon açısından önemlidir. Yapılan çalışmanın sonucunda, mobil robot tabanlı toprak burgusu hem birim alan başına çalışma süresi hem de birim zaman başına çukur açma sayısı açısından yarı otomatik toprak burgusuna göre yaklaşık 2.5 kat, manuel toprak burgusuna göre ise 6 kat hızlı çalıştığı belirlenmiştir. Ayrıca mobil robot tabanlı toprak burgusunun, operatör işgücünü neredeyse ortadan kaldırması nedeniyle hem maliyet hem de operatör sağlığını koruyucu bir çözüm olması açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir. Yapılan çalışma, farklı tarımsal işletmecilik yöntemleri ve maliyet analizi unsurlarını da kapsayacak şekilde zenginleştirilme özelliğine de sahiptir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	O.E.	İ.Ü.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Adamchuk VI, Grisso R, Kocher MF. 2011. Spatial variability of field machinery use and efficiency. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, pp: 135–146.
- ASAE. 1999. EP496.2 Agricultural machinery management. URL: https://www.academia.edu/41779575/S_T_A_N_D_A_R_D_AS_AE_EP496_2_DEC99_Agricultural_Machinery_Management (accessed date: December 04, 2024).
- Bac WC, van Henten EJ, Hemming J, Edan Y. 2014. Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead. J Field Rob, 31(6): 888–911.
- Bochtis D, Griepentrog HW, Vougioukas S, Busato P, Berruto R, Zhou K. 2015. Route planning for orchard operations. Comput Electron Agric, 113: 51–60.
- Botterill T, Paulin S, Green R, Williams S, Lin J. 2017. A robot system for pruning grape vines. J Field Rob, 34(6): 1100–1122.
- Chen K, Li T, Yan T, Xie F, Feng Q, Zhu Q, Zhao C. 2022. A soft gripper design for apple harvesting with force feedback and fruit slip detection. Agri, 12(11): 1802.
- Chi Y, Zhou W, Wang Z, Hu Y, Han X. 2021. The influence paths of agricultural mechanization on green agricultural development. Sustainabil, 13(23): 12984.
- Eceoğlu O, Ünal İ. 2024. Optimizing orchard planting efficiency with a gis-integrated autonomous soil-drilling robot. Agri Engin, 6(3): 2870–2890.
- El-Gendy H, Abd El-Halim S, Morghany H, Aboukarima A. 2009. Evaluating performance of a post hole digger. J Soil Sci Agric Eng, 34(5): 5783–5793.
- FACE/WA. 2010. Orchard laborer caught in tractor-mounted post hole digger. URL: <https://nasdonline.org/7285/d002499/washington-face-orchard-laborer-caught-in-tractor-mounted.html> (accessed

- date: December 04, 2024).
- Gonzalez Nieto L, Wallis A, Clements J, Miranda Sazo M, Kahlke C, Kon TM, Robinson TL. 2023. Evaluation of computer vision systems and applications to estimate trunk cross-sectional area, flower cluster number, thinning efficacy and yield of apple. *Horticulturae*, 9(8): 880.
- Jia L, Wang Y, Ma L, He Z, Li Z, Cui Y. 2023. Integrated positioning system of kiwifruit orchard mobile robot based on UWB/LiDAR/ODOM. *Sensors*, 23(17): 7570.
- Jurgensen MF, Larsen MJ, Harvey AE. 1977. A soil sampler for steep, rocky sites. Research note INT-217. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Inter-mountain Forest and Range Experiment Station. URL: <https://archive.org/details/soilsamplerforst217jurg/page/n7/mode/2up> (accessed date: December 04, 2024).
- Kaur B, Mansi, Dimri S, Singh J, Mishra S, Chauhan N, Kukreti T, Sharma B, Singh SP, Arora S, et al. 2023. Insights into the harvesting tools and equipment's for horticultural crops: From then to now. *J Agric Food Res*, 14: 100814.
- Lei X, Yuan Q, Xyu T, Qi Y, Zeng J, Huang K, Sun Y, Herbst A, Lyu X. 2023. Technologies and equipment of mechanized blossom thinning in orchards: a review. *agronomy*, 13(11): 2753.
- Liu L, Liu Y, He X, Liu W. 2022. precision variable-rate spraying robot by using single 3D LIDAR in orchards. *Agronomy*, 12(10): 2509.
- Lo Bianco R, Proietti P, Regni L, Caruso T. 2021. Planting systems for modern olive growing: Strengths and weaknesses. *Agri*, 11(6): 494.
- Miller J, Fragar L, Franklin R. 2006. Farm machinery safety. Injuries associated with posthole diggers. Australian Centre for Agricultural Health and Safety and Rural Industries Research and Development Corporation. URL: <https://agrifutures.com.au/product/farm-machinery-safety-injuries-associated-with-posthole-diggers/> (accessed date: December 04, 2024).
- Onishi Y, Yoshida T, Kurita H, Fukao T, Arihara H, Iwai A. 2019. An automated fruit harvesting robot by using deep learning. *Robomech J*, 6: 13.
- Pica AD, Boja F, Teuşdea A, Fora C, Moatar M, Boja N. 2021. The usage motor drill in forestry planting. Actual Tasks on Agricultural Engineering. In *Proceedings of the 48th International Symposium*, March 2–4, Zagreb, Croatia, pp: 237–248.
- RSHA04. 2024. Mobile plant safety on farm: practices and perceptions. Snapshot report. URL: <https://rsha.com.au/wp-content/uploads/2024/06/RSHA04-practices-May-2025.pdf> (accessed date: December 04, 2024).
- Silwal A, Davidson JR, Karkee M, Mo C, Zhang Q, Lewis K. 2017. Design, integration, and field evaluation of a robotic apple harvester. *J Field Rob*, 34(6): 1140–1159.
- Verbiest R, Ruysen K, Vanwalleghem T, Demeester E, Kellens K. 2021. Automation and robotics in the cultivation of pome fruit: Where do we stand today? *J Field Rob*, 38(4): 513–531.
- Xiong Z, Feng Q, Li T, Xie F, Liu C, Liu L, Guo X, Zhao C. 2022. Dual-Manipulator Optimal Design for Apple Robotic Harvesting. *Agron*, 12(12): 3128.
- Zhang K, Lammers K, Chu P, Li Z, Lu R. 2021. System design and control of an apple harvesting robot. *Mechatron*, 79: 102644.