



Available at: <https://dergipark.org.tr/tjws>

Turkish Journal of Weed Science

© Turkish Weed Science Society



Derleme Makale / Review Article

Yabancı Otlar ile Mücadelede Güncel Yöntem: Robotikler

Ender Şahin ÇOLAK*¹, Doğan IŞIK¹

¹ Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Kayseri, Türkiye

***Sorumlu vazar:** endersahin@erciyes.edu.tr

ÖZET

Dünya üzerinde tarımsal üretim, insanlığın var oluşundan itibaren, üretim metodları değişebilse de temelde insanların yaşamlarını sürdürme mücadelesidir. Tarımsal üretimde yetiştirilen ürünün optimal verimi elde etmek asıl hedef olmaktadır. Yetiştirilen ürünlerde bir takım sorunlarla karşılaşmakta ve sorunun boyutuna göre de elde edilen verim değişebilmektedir. Bitkisel üretimde olduğu gibi hayvansal üretimde de yabancı otlar verimin önündeki büyük bir engeli teşkil etmektedir. Yabancı otlar üstün rekabet güçleri ile verim kayıplarına sebebiyet verirler. Kültür bitkisinin yetişme aşamasında arazideki mevcut yabancı otlar var olan büyüme kaynaklarından daha etkin yararlanabilme özelliğine sahip olduklarından dolayı kültür bitkilerinden daha önce gelişimini tamamlayıp kültür bitkilerinin gelişimi için gerekli kaynaklara ulaşabilme imkanı kısıtlamaktadır. Tarımsal üreticiler tarafından çok eski tarihlerden bu yana herhangi bir verim kaybı olmaması için veya kayıpların minimize edilebilmesi için yabancı otlarla mücadele süregelmektedir. Yabancı otlarla elle mücadele şeklinde başlayan mücadele yöntemleri, sonraları teknolojiye oluşan çeşitli gelişmelerle birlikte mekanik mücadele, fiziksel mücadele, kimyasal mücadele, biyolojik mücadele gibi çeşitli mücadele yöntemleri şeklinde uygulanmıştır. Bu yöntemler içerisinde en yaygın olanı işçilik ve ekonomik açıdan üreticiyi yormayan yöntem olan kimyasal mücadeledir. Ancak son yıllarda kimyasalların kullanımı sonucu yabancı otlarda direnç oluşması ve tüketicilerde halk sağlığı ve çevre konularında farkındalık oluşumu sebebiyle kimyasal kullanımından gelecekte uzaklaşacağı düşünülmektedir. Bilim insanları günümüzde teknolojinin gelişimi ve kimyasallara alternatif yöntem arayışıyla robotik mücadeleye yönelmiştir. Robotikler ya hiç kimyasal kullanmayıp mekanik donanımlarıyla yabancı otların zararını önleyebilen ya da hedefe yönelik kimyasal püskürtme mekanizmasına sahip yabancı otlarla mücadele araçlarıdır. Robotikler kimyasallara alternatif olarak yabancı otlarla mücadelede kullanılmasının yanı sıra tarımsal üretimin bütün aşamalarında da kullanılabilir. Bu derlemede yabancı otlarla mücadelede robotiklerin kullanılması ve robotik mücadele hakkında dünya üzerindeki gelişmeler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Robotik, Kimyasal, Mücadele, Yabancı Ot

Current Approach in Weed Control: Robotics

ABSTRACT

Agricultural production on the world is basically the management of people to survive, although production methods may change since the existence of humanity. Obtaining optimal yield from the crop production in agricultural production is the main goal. A number of problems are encountered in the grown products and the yield obtained may vary depending on the size of the problem. As in crop production, weeds create a major obstacle to yield in animal production. Weeds cause yield losses with their high competitive power. During the growing stage of the cultivated plant, the existing weeds in the field have the ability to benefit more effectively from the existing growth resources, thus restricting the possibility of reaching the necessary resources for the development of the cultivated plants by completing their development earlier. The management of weeds has been ongoing since ancient times by agricultural producers in order to avoid any loss of yield or to minimize losses. Weed control methods, which started as manual control, were applied in the form of various control methods such as mechanical control, physical control, chemical control, biological control with various developments in technology. The most common of these methods is chemical control, which does not weak the producer in terms of labor and economy. However, it is thought that the use of chemicals will be avoided in the future due to resistance in weeds as a result of the use of chemicals and awareness of public health and environmental issues in consumers in recent years. Today, scientists have turned to robotic control with the development of technology and the search for alternative methods to chemicals. Robotics are weed control tools that either use no chemicals and can prevent weeds with their mechanical equipment or have a targeted chemical spraying mechanism. Robotics can be used as in the fight against weeds an alternative to chemicals as well as being used in all of process of agricultural production. In this review, the use of robotics in management of weeds and developments in the world about robotic control are examined.

Keywords: Robotics, Chemical, Control, Weed

1. GİRİŞ

Tarım geçmişten geleceğe insanlığın sürekli ihtiyacı olan, ekonomik ve çevresel anlamda düşünüldüğünde sosyal bir faaliyetidir (Kounalakis ve ark., 2019). Tarımda bitkisel üretimi kısıtlayan etmenler arasından toprak yapısı, nem, rüzgar, çevre, sıcaklık gibi cansız etmenlerin yanında üretimi engelleyici canlı etmenler de mevcut olup canlı etmenlerin başında yabancı otlar gelmektedir (Slaughter ve ark., 2008; Mennan ve ark., 2011; Işık ve ark., 2016; Çolak ve ark., 2019). Yabancı otlar dünya tarımsal üretiminde verimin azalmasını tetikleyen önemli unsur olup; mücadele yapılmadığı takdirde su, besin maddeleri ve alan gibi kültür bitkilerinin verim elde etme öğeleri ile rekabete giren, hatta tamamına yakını tüketen etmenlerdir (Sujaritha ve ark., 2017). Mücadele edilmediğinde veya yeterli mücadele edilemediğinde yabancı otların zararı sonucu geriye kalan ürüne bakıldığında ekolojik ve iklim koşullarına bağlı olarak ürün zararı %45-95 arasında olabilmektedir (Ozer, 1993; Issues, 2009; Mennan ve ark., 2012; Işık ve ark., 2016; Raja ve ark., 2019). Yabancı otlar tarımsal üretimde bitkisel açıdan verime etki ettiği gibi; çiftlik hayvanlarının tüketim durumunda hayvanlara zararlı olabilmekte, yemlere karışım halinde bulunan yabancı otlar, hayvanlarda et ve süt verimini de etkileyebilmektedir (Kounalakis ve ark., 2016).

Yabancı otların üreticiye ekonomik açıdan oluşturabileceği zararlarının önlenmesi amacıyla çeşitli mücadele yöntemleri geçmişten günümüze değin uygulanagelmıştır (Çolak ve ark., 2019). Mekanik olarak tarım makinalarının kullanımıyla ve çeşitli münavebe sistemleriyle yabancı ot kontrolü yapılabileceği gibi, organik üretimde kullanılan ve de en temel yöntem denilebilecek çıplak el ile veya el aletleriyle de yabancı ot kontrolü sağlanabilmektedir. Bazı durumlarda da yabancı otlara karşı biyolojik mücadele tercih edilebilmektedir, ancak dünya üzerinde yabancı otlarla en yaygın mücadele yöntemi kimyasal mücadeledir (Sujaritha ve ark., 2017; Shaner, 2014; McAllister ve ark., 2018).

Yabancı otlara karşı uygulanan mücadele yöntemleri yüksek verim elde edilmesi için önemlidir. Ancak, uygulanan yöntemlerin avantajları ve dezavantajları da bulunmaktadır (Buddha ve ark., 2019). Mekanik olarak yabancı otlarla mücadele, topraktaki tohumlar ve erken dönemdeki yabancı otlar için önem arz eder, fakat yabancı otun gelişimi ilerledikçe mekanik yöntemler sıra arası gibi sınırlı alanlarda uygulanabilir hale gelmektedir (Mohler ve ark., 1997; McAllister ve ark., 2018). Yapılan araştırmalara göre çıplak elle veya mekanik bir el aleti yoluyla yabancı

otlarla mücadelenin zaman israfına ve de çapalama esnasında hata yapılmasına neden olduğu, mevcut yabancı otların ise %65 ile %85'ine kadar mücadele sağlayabildiği bildirilmektedir (Slaughter ve ark., 2008; Raja ve ark., 2020). Bazen kullanım kaynaklı risk faktörleri göz ardı edilip alevleme tekniğiyle yabancı otlarla mücadelede çeşitli makinalar kullanılmaktadır. Ancak bu teknikte risklerin yanı sıra maliyet de yüksektir (Pérez-Ruiz ve ark., 2014).

Yabancı otlarla biyolojik mücadele uygulamaları ülkemizde de çalışılan doğaya en zararsız mücadele yöntemi olarak da düşünülebilecek mücadele yöntemidir. Biyolojik mücadele bir kez doğada yapıldığında eğer uygulanan doğal düşmanın doğaya adaptasyonu sağlanabiliyorsa tekraren uygulamalara gerek kalmaz, herbisitlerde zaman içerisinde görülebilen, herbisit kullanımı açısından potansiyel bir sorun olan dayanıklılık oluşumu gibi bir durum da gözlenmez, bu yönleriyle biyolojik mücadele ekonomik bir uygulamadır. Ancak yabancı otlarla mücadele yapılacak arazide genellikle tek bir yabancı ot türü bulunmadığı için doğal düşmanların genelde türe özgü oluşu ve kimyasallar gibi nispeten daha pratik yöntemlerin oluşu biyolojik mücadelenin kullanım alanını daraltmaktadır. Yabancı otlarla mücadelede en çok kullanılan yöntem olan kimyasal mücadele, üreticiye çeşitli yararlarının yanı sıra ekonomik olması nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak uygulamalarda kimyasal mücadelenin hedef dışı organizmaya etki etme durumu göz önüne alınmalıdır. Hedef dışı organizmalara etkileri denildiğinde ilk akla gelen etki şekli rüzgar gibi etmenlerle uygulanan kimyasalın sürüklenmesi nedeniyle polikültür yapılan alanlarda büyük sorun oluşabilmektedir. Ayrıca kalıcılığı toprakta yüksek olan kimyasallar bir sonraki üretim sezonunda münavebe bitkisinin üretimini dahi engelleyebilmektedir. Bununla birlikte herbisitlerin etkinliğinin azalmasının en büyük nedeni olan yabancı otlarda dayanıklılığın dünya genelinde artıyor olmasıdır (Heap, 2014). Günümüzde halen yabancı otlara karşı kullanılan herbisitler, ekonomik olması ve biyolojik olarak hedef organizmaya etkili oluşu nedeniyle tercih edilse dahi tüketicilerin organik ürünlere eğilimi ve insanların çevreye olan duyarlılığının artıyor olması nedeniyle yabancı otlara karşı herbisit uygulaması sürdürülebilir bir mücadele yöntemi olmaktan uzaklaşmaktadır (Slaughter ve ark., 2008).

Çevreye minimum düzeyde zararlı olup yabancı otların da ekonomik zarar düzeyinin altında tutulabilmesi için

uygulanacak etkili tek bir yöntem, çoğu alanda mevcut değildir. Bu nedenle yabancı ot mücadele yöntemlerinin bir kombinasyonu uygulanmalıdır. Yabancı ot mücadele yöntemlerini hem ekonomik hem de çevreci düşünceyle ele alan bu yaklaşıma 'Entegre Mücadele' denilmektedir. Entegre mücadelede arazi durumu ve çevre koşulları göz önüne alınarak tüm değişkenler dikkate alınıp veriler toplanır ve uygulanacak mücadele tekniğine karar verilir. Diğer çoğu hastalık ve zararlı mücadele yöntemlerinde olduğu gibi tek bir soruna bakıp derhal mücadeleye geçilmeyip sorunlar ve nedenleri düşünülüp karar verildikten sonra mücadeleye başlanılır. Mücadele yöntemlerinin entegrasyonu sıra üzeri yetiştirilen bitkilerde çapa ve herbisit olarak görülebilmektedir, çapalama ile uzaklaştırılmayan veya tam yok edilemeyen bazı yabancı otlar herbisit etkisiyle araziden uzaklaştırılıp verim artırılmaktadır (Slaughter ve ark., 2008). Burada entegre mücadele hem ekonomik katkı hem de iş gücünden kazanç sağlamaktadır.

Günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte çeşitli alanlara teknolojinin entegrasyonu da gerçekleşmiş oldu. Teknolojinin iş gücünün yerini hızla aldığı alanlardan biri de tarım sektörüdür. Yabancı otlarla mücadele yöntemleri de teknolojiye yaşanan gelişmelere entegre edilmeye çalışılmaktadır. Yabancı otlarla mücadelede dikkat çeken yeniliklerden birisi de yabancı ot mücadelesinde otomasyonun kullanılmasıdır. Yabancı otlarla mücadelede çeşitli otomasyon sistemleri kullanılmakta olup, bunlardan birisi de robotların kullanılmasıdır. Robotların yabancı otlarla mücadelede iş gücünü azaltmasının yanı sıra çevreci ve yabancı otlarla mücadele başarısı olarak bakıldığında daha verimli, sürdürülebilir bir yabancı ot mücadele yaklaşımıdır.

Otomatik tarımsal mücadele robotları arazide bitkiye özgü bir sistem olup, bitkide bir sorun olduğunda veya arazide herhangi bir ihtiyaç olduğunda etkilidir (Kounalakis ve ark., 2019). Robotik sistemlerin temelinde araziden alınan duyuşsal verilerin bir algoritmada işlenerek gerekli yanıtın oluşturulup araziye uygulanmasına dayanmaktadır (Pérez-Ortiz ve ark., 2016). Üreticilerin organik ürünlere talepleri ve doğa dostu yaklaşımları göz önüne alındığında robotikler gelecekte verimde kayıp olmadan sağlıklı ürünlerin elde edilmesine katkı sağlayabilecektir (Raja ve ark., 2019).

2. YABANCI OTLARIN KONTROLÜNDE ROBOTİKLERİN KULLANIMI

Teknolojinin günden güne ilerlemesi ve tarıma entegrasyonu ile birlikte yabancı otların kontrolü amacıyla robotiklerin kullanılması imkan bulmuştur (Sujaritha ve ark., 2016). Güncel teknik olan makinaların yani robotların yabancı otlarla mücadelesi insan müdahalesi olmadan yabancı otların mekanik veya kimyasal yöntemlerle kontrol altına alınabilmesidir. Robotikler yabancı otlarla mücadelede sarf edilen insan gücünün yerine teknolojiyi ikame edip yabancı ot kontrolünü üreticiye kolaylaştırmaktadır. Tarımsal mücadelede robotlar renk, şekil, doku gibi yabancı ot ve kültür bitkisi arasındaki farklılıkları gözlemleyip bilgisayar tabanlı yazılım sistemleriyle, elektronik donanımlarla ve mekanik veya kimyasal püskürtme sağlayacak parçalarıyla yabancı otlara karşı kullanılmaktadır (Gujjarro ve ark., 2011).

Günümüzde yabancı otlarla yapılan tarımsal mücadele geleceğe yönelik olarak düşünülüp teknoloji entegrasyonu içeren robotik sistemlerden faydalanılmaktadır. Robotiklerde bilim insanları, insansız hava ve insansız kara araçlarını tarımsal açıdan büyük sorun teşkil eden yabancı otlara karşı bir teknoloji hamlesi olarak değerlendirip yabancı otların mücadelesinde kullanmışlardır (Michaels ve ark., 2015; Pérez-Ortiz ve ark., 2016; Lottes ve ark., 2016; Lottes ve ark., 2017; Grimstad ve ark., 2017). İnsansız hava ve kara araçları güncel, teknolojik kameralarla donatılmış, navigasyon sistemleriyle desteklenmiş çevreye herhangi bir zararlı yönü olmadığı düşünülen yabancı otlarla mücadele araçlarıdır (Michaels ve ark., 2015; Kazmi ve ark., 2015; Lottes ve ark., 2016; Van Evert ve ark., 2009, 2011; Binch ve ark., 2017; Kounalakis ve ark., 2018).

Robotikler günümüzdeki diğer yabancı ot mücadele yöntemlerine göre daha çevreci olarak düşünülebilecek bir yaklaşımdır. Burada kullanılan robotik sistem navigasyon desteğiyle ve azaltılmış iş gücü ile en az maliyetle yabancı otlarla tarımsal mücadele sağladığı gibi sadece hedef odaklı herbisit kullanımı sağladığı için çevreci bir yabancı ot mücadele yaklaşımıdır. Ayrıca yapılan yabancı otlarla mücadelenin diğer göz ardı edilen üretici açısından önemli avantajı da hasat-harman maliyetlerini azaltılmasıdır.

Yabancı otların araziden kültür bitkisinin verimine etki etmeyecek kadar etkisinin ortadan kaldırılması için robotik teknolojilerin kullanımı hem izlenecek etkili bir yol hem de çevreci bir yaklaşım olmaktadır. Yabancı otlarla mücadelede kullanılacak olan ve hali hazırda tasarlanan robotların yabancı ot mücadele başarı oranı yabancı ot

türüne, yabancı ot yoğunluğuna, kültür bitkisi türüne, mücadelenin uygulanacağı dönemde kültür bitkisinin fenolojik durumu ve çevre şartlarına bağlı olarak değişmektedir.

Tarımsal mücadele robotları genelde yabancı ot tespiti, sınıflandırılması, bitkisel özelliklerin incelenmesi, türlerin kümelenmesi ve haritalama gibi aşamalarıyla ele alınmaktadır ve belirtilmektedir. Robotik sistemler, yabancı otlarla ya tüm yabancı otlara karşı mücadele ya da belirli türlere karşı yapılan mücadeleyi içermektedir (Gerhards ve ark., 2006). Bütün yabancı otlara karşı mücadele hem ekonomik olmayan hem de çevreci olmayan bir yaklaşımdır. Diğer bir yaklaşım olan belirli türlere karşı kimyasal uygulanması da arazinin bilinmesini ve yabancı otların tür bazında tanınmasını gerektiren bir mücadele yaklaşımıdır. Yabancı ot sorununu kümeleme yöntemiyle yabancı otların takibi yapılarak mücadelesi kolaylaştırılabilir (Grira ve ark., 2004).

Herbisitlerin robotik teknolojiyle birleşip yabancı otlarla mücadelede kullanılması maliyeti düşürücü bir yaklaşım olması bir yana çevreci bir yaklaşım olmasıyla da öne çıkmaktadır. Robotların mekanik olarak mücadelesi de yabancı otların kültür bitkisine zarar vermeden yabancı otları kökten sökmek veya etkinliğini azaltıcı şekilde müdahale etmeyi kapsamaktadır (Van Der Weide ve ark., 2008). Herbisitlerin uygulamadaki olumsuz çıktıları ve bilimsel olarak zararlarının günden güne toplumlara daha net yansıtılması nedeniyle devletler ve devlet desteği alan üreticilerce herbisitlerin kullanımında mümkün olduğu kadar azalmaya gidilmektedir (Hillocks, 2012).

3. ROBOTIKLERİN BİLEŞENLERİ VE ÇALIŞMA ŞEKLİ

Tarımsal alanda verimliliği artırma ve iş gücünden tasarruf için gerekli olan robotlar algılama, planlama ve uygulama olmak üzere üç ana başlık altında incelenebilmektedir (Barth ve ark., 2016). Bu başlıklar dikim aparatları, kimyasal kontrol için mücadele aparatları denilebilecek püskürtme ve kesme aparatları, hasat aparatları gibi tarımsal mücadelede kullanılan unsurları kapsamaktadır. Kısaca tarımsal robotlar basit sistemlerin bir araya gelerek oluşturduğu sistemler sistemi denilebilecek bir araçtır (Ren ve ark., 2020).

Tarımsal robotiklerde ilk ve en gerekli aksam, uygulama alanlarındaki farklılık nedeniyle, navigasyon ve gözlem sistemleridir. Dünya üzerinde tarımsal robotlarda araştırılan önemli noktalardan biri olan navigasyon, bilgisayar görme

tekniklerine dayanan bir tek kamera bulunan sistemden oluşmaktaydı (Hiremath ve ark., 2014; Nof, 2009). Algılamada yerel konumlandırma sistemi (LPS) ve küresel konumlandırma sistemi (GPS) kullanılmaktadır. LPS tekniğinde değişken durumlara müdahale etme konusunda yetersiz kalılabilmektedir, GPS'de ise böyle bir sıkıntıdan uzak durulabilir ancak GPS'de de aktif bir konum belirleme zorluğu yaşanabilmektedir. (Stentz ve diğerleri, 2002; Bakker ve diğerleri, 2008). Eldeki tekniklerin bilinip dış ortamla zor da olsa aktif olarak bağlı sistemlerin kullanımı iş gücü verimliliğini artıracaktır.

Robotlar ortamdaki ışık, toz, duman ve yağışlar gibi olumsuz ortam şartlarına karşı savunmasız olup robotiklerle yürütülen tarımsal mücadelede bu açıdan başarısız sonuçlar alınabilmektedir. Ortam şartlarının görsel açıdan karmaşıklığında, robotiklerde bir klasik algılama yöntemi olan optik sensörler etkisiz kalabilmektedir. Savunma sanayi, havacılık gibi alanlarda kendisini ispatlamış Milimetre Dalga (MMW) radarlarının kullanımı bu tür zorlukları aşabilmektedir (Rouveure ve ark., 2016).

Robotlar tarımsal mücadelede başarılı olabilmeleri için gezinme, mücadele yapılacak nesne tespiti, mücadele yönteminin uygulanması gibi ana görevleri yapabilmek için 'destekleyici görev' olarak nitelendirilen işlemleri yapabilecek alt sistemlere sahip olmalıdır. Örneğin bir bitki hastalığı ile mücadele amacıyla bir mücadele robotu geliştirilirse geliştirilen robotun ana görevi hastalıkla mücadeledir, destekleyici görevler ise planlama, yönlendirme gibi alt işlemlerdir (Schor ve diğerleri, 2016). Tarımsal robotun hareketli kısmı 2 tekerlekten çekiş, 4 tekerlek olup 4 veya 2 tekerlekten çekiş, 6 tekerlekten çekiş veya palet şeklinde olabilmektedir. Tekerlek hareketleri dört servo veya bağımsız dört adımlı motorlarla kontrol edilir. Hareketli platformun geliştirilmiş manevra ve dönme işlemleri sayesinde tohum ekimde başarı oranının %93'ü geçtiği gözlenmiştir. Yabancı ot tespiti için de benzer tasarım geliştirilmiştir (Bak ve ark., 2004).

Tarımsal robotlar çevresel olayları algılama konusunda ise robot üzerine konumlandırılan harici sensörler, makine görüşü diye isimlendirilen çok yönlü sensörler, GPS, IR, lazer radar, ultrasonik dalgaları kullanabilmektedir. Tarımsal robotlarda sorunsuz hareketi sağlayacak güzergah planlaması ise makinenin çok yönlü sensör elemanlarından olan navigasyon sistemiyle mümkün olmaktadır (Bochtis ve ark., 2014).

Robotlarda uygulama başlıklarını gerekli yönlere ve konumlara hareket ettiren dolayısıyla mücadelenin son aşamasında katkıda bulunan unsura da manipülötör

denilmektedir. Tarımsal alanda yapılacak işlemlere göre manipülatörler ve uygulama başlıkları da değişebilmektedir (Bechar ve ark., 2016).

4. DÜNYA'DA ROBOTİKLER

Tarımsal alanlarda robotiklerin kullanımı, kullanımının benimsenmesi açısından uzun bir süreçtir. Ancak tarıma entegre bir robotik sistem kullanımı, terk edilmesi zor bir kolaylıktır. Dünya üzerinde tarla gibi geniş alanlarda, meyve bahçelerinde ve seralarda robotiklerin kullanımı gözlenmektedir. Tarlalarda özellikle yabancı otlara karşı kullanılan robotlar, meyve bahçelerinde üretim sezonu boyunca çeşitli aşamalarda kullanılabilecek otonom robotlar, seralarda aşılama çalışmalarında ve tarımsal alanlarda bütünüyle hasat çalışmalarında robotiklerden faydalanılabilmektedir (Hamner ve ark., 2011; Singh ve ark., 2010; Van Henten ve ark., 2003; Xue, J. ve ark., 2012).

Yabancı otların mücadelesinde robotiklerin kullanımına geçişteki ilk basamak teşhis olmakla beraber yabancı ot mücadelesi esnasında arazide bitki örtüsünün incelenmesi gibi birtakım verilerle yabancı otların tanınmasının mümkün olduğu belirtilmektedir (Armstrong ve ark., 2007; Pena ve ark., 2013). Başlangıçta yabancı otların arazide heterojen bir yapıda olup dağınık halde olacaklarını ancak kültür bitkisinin tek sıra veya belirli normda yetiştirileceği düşünülüp mücadele edilebilmektedir (Peña ve ark., 2015). Daha sonraları teknolojinin de ilerlemesiyle birlikte piksel farklılıklarına kadar yabancı otlarla kültür bitkilerinin ayırımı yapılmaya başlanılmıştır (Lottes ve ark., 2017). Çalışmada yüksek irtifadan alınan RGB görüntüleri kullanılarak yabancı otlarla mücadele olabileceği belirtilmiştir ve insansız hava araçlarından alınan görüntülerin bitkilerin teşhisinde işe yaradığı kanıtlanmıştır. Bu nedenle insansız bir hava aracına herbisit püskürten bir mekanizma yerleştirildiğinde yabancı otlarla mücadele yapılabilir denilebilir.

Blasco ve ark., (2002) tarafından sebze alanlarında tüketicinin güvenilir ürün talebi doğrultusunda yabancı otlarla mücadele etkin kontrol sağlayabilecek hafif yapılı, kolay hareket edebilen robot tasarımı sunulmaktadır. Burada yabancı otlarla tek tek 15.000 V elektriksel yük ile alakalı bir mücadele söz konusu olmaktadır. Sistemde biri tespit diğeri kullanımdaki bozuklukları düzeltmek amacıyla iki kameralı bir düzenek bulunmaktadır, ayrıca tüm alt birimlerin koordinasyonunun sağlandığı denetleyici alan ağıyla (CAN) bilgisayarlı bir mekanizma ve pilli elektrot mevcuttur. Sistemin verimli çalıştığı İspanya'da marul

yetiştiriciliği yapılan bir alandan ispat edilmiştir. Sebze alanlarında yapılan çalışmalara bakıldığında: Domateste (*Lycopersicon esculentum* L.) yabancı otlarla mücadele amacıyla hedef bazlı bir robotik sistem kullanılmıştır (Lee ve ark., 1999) ve Lahanada (*Brassica oleracea* L.) da benzer bir uygulamaya gidilmiştir. Şeker pancarında da disklerle çapa gereken yabancı otlar robotlarla mücadeleye tabi tutulmuştur (Bontsema et al., 1998).

Harrell ve ark., (1988) tarafından tarımsal mücadelede kullanılan robotiklerin algılama sistemi, sensör sistemi ve uygulayıcılardan oluşması gerektiğini belirtmektedirler.

Philipp ve ark., (2002) tarafından yapılan çalışmada uygulandığı şekline benzer olarak yabancı otların sınıflandırılmasında silindirik, homojen gibi çok sayıda renk alanı kullanılmaktadır. Yabancı otlarla mücadele amacıyla araziden toplanan verileri bir kümeleme algoritması kullanarak yabancı otlar sınıflandırılmıştır. Sistemde hem Googlenet çerçevesinden öğrenilmiş derin evrişimli sinir ağı (DCNN) özellikleri olan el yapımı özellikler (HCF'ler) olmak üzere iki ana özellik kategori kullanılmıştır. Burada el yapımı sınıflandırmanın daha etkin kullanılabildiği bildirilmektedir. Yapılan sınıflandırmada türe özgü sınıflandırmada otomasyondan kaynaklı hatalar da oluşmuştur. Robotiklerin bu şekilde bazı otomasyondan kaynaklı zorlukları olmasına rağmen klasik yabancı otlara göre yabancı ot mücadele maliyetini %20 oranında azaltabildiğinden ekonomik bir yöntem olmaktadır (Pedersen ve ark., 2006). AgBotII tarafından toplanan saha verileriyle çalışmadaki sistemi pamuk alanlarında sorunsuz uygulayabildikleri belirtilmektedir. Bu çalışmada, insanlar tarafından etiketlenmiş sekiz farklı yabancı ot türünün görüntüsünü içeren Deepweeds çalışması Avustralya meralardaki yabancı otlardan Inception-v3 ve ResNet-50 CNN modellerini kullanarak veri setleri elde edilmeye çalışılmıştır. ResNet-50 iyi bir performans sağlayarak görüntü başına 53,4 ms ve 18,7 fps değer sağlayarak robotik kontrol için gerekliliği sağlamış olmuştur. Elde edilen tutarlı sonuçları robotiklerin gelecek teknolojilerinde de temel oluşturacağı düşünülmektedir.

Nishiwaki ve ark., (2004) tarafından çeltik arazilerinde püskürtme ile yabancı otlarla mücadele edebilen meme konumlandırma sistemli bir robot geliştirilmiştir. Slaughter ve ark., (1999) tarımsal alan dışı bölgelerde, yol kenarlarında kullanılan pestisit kullanımını büyük ölçüde azaltabilen bir püskürtme sistemi geliştirmiştir. Pancar arazilerindeki yabancı otlara karşı da Tillett, Hague ve Miles (2002) tarafından özel çapalama sistemi geliştirilmiştir.

Kültür bitkilerinde sıra üzerinde yetişen yabancı otları yok etmek mekanik olarak büyük güçtür, kültür bitkisine zarar vermeyecek selektif bir herbisit veya ürünü etkilemeyecek bir uygulama verim açısından gerekli olmaktadır. Sıra üzerindeki yabancı otların kontrolünde kültür bitkisine veya toprağa temas etmeden sadece yabancı otların yapraklarını hedefleyecek kültür bitkilerine zarar vermeyen isteğe bağlı damlama (Drop-on-demand) (DoD) denilen bir yöntem geliştirilmiştir. DoD herbisit uygulamalarında havalı ya da havasız valf sistemleri baskı için çeşitli başlıklar ve iğneler kullanılmıştır (Søgaard ve ark., 2005; Nieuwenhuizen, 2009; Basi ve ark. 2012). Herbisitlere dayanıklı olan *Solanum nigrum* L.'ye karşı glifosat uygulaması bitki başına 27 ug şeklinde uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Lund ve ark. 2006).

Yabancı otlarla mücadelede robotik yabancı ot kontrol sistemlerinde kameralar vasıtasıyla şekil, renk, doku gibi özelliklerin algılanması söz konusudur. Gözlemlenen bitkilerin özelliklerine göre sınıflandırılması spektral veya renkli görüntülemeyle sağlanmıştır ancak bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları da bulunmaktadır. Spektral yöntemde çözünürlük konularında, renkli görüntüleme de spektral görüntülemenin sağladığı ek veriler sağlayamamaktadır (Komi ve ark., 2007). Araştırmacılar otomatik püskürtmeyi sağlayan bir algoritma geliştirmiştir. Çalışmada bir video kamera kullanılıp elde edilen görüntüler işlenmiştir ve sınıflandırma yapılmıştır. Sistemin laboratuvar şartlarında dar ve geniş yapraklı yabancı otlarla mücadele yeteneği değerlendirilmiştir ve yaklaşık %90 başarı elde edilmiştir. Sistemde algoritma, erozyona ve dilatasyon (genleşme) segmentasyonuna dayalı yabancı ot tanıma sisteminin geliştirilmesi olarak tanımlanmıştır.

Kaliforniya Üniversitesi'nden Davis, domates ve marulda arazide denenip ispatlanmış sistemik markörler, floresan proteinler, bitki etiketleri ve topikal markörler araştırmış ve geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında sistem yabancı otların tamamına yakını algılayıp sorunsuz yabancı ot mücadelesine izin verebilmektedir (Slaughter ve ark., 2008).

Bakker ve ark., (2008) tarafından GPS ve RTK-DGPS tabanlı otonom navigasyon sistemleriyle görsel tabanlı sonsuz hareket kabiliyeti olan bir yabancı ot mücadele aracı araştırmıştır. Kurulan sistemde robot çeşitli görsel bahsi geçen görsel sistemlerle ve üzerinde bulunan realiteye sahip güçlü yazılım sayesinde belirli arazi sınırlarından herhangi bir taşma olmadan çalışma yapabilmektedir.

Nieuwenhuizen (2009) tarafından yapılan çalışmada doku, şekil, renk özelliklerine göre yaprak sınıflandırma teknikleri belirli durumlarda kullanımı sınırlamaktadır. Şöyle ki; yaprakların üst üste gelme ihtimali ve çeşitli ışık yansımaları mücadelede zorluklara neden olabilmektedir. Çalışmada yabancı otlarla mücadelede geniş yapraklı yabancı otlarla mücadele amacıyla bir sistem önerilmektedir. Bu anlamda dünya üzerinde geniş alanlarda yaygın olarak bulunan süt verimini ve hayvan sağlığını olumsuz etkileyen yabancı labadaya (*Rumex obtusifolius* L.) karşı görsel tanıma sistemi (Dockweeder) önerilmektedir. Çalışmada önerilen robot tarımsal yabancı ot mücadelesine işgücünü azaltarak katkı sağlayabilmektedir.

Mao ve ark., (2014) tarafından fide dikimiyle ilgili seralarda kullanıma sunulan bir robot geliştirilmiştir. Hava ile entegre işçilik açısından yüksek hızda fide dikim tapası mevcut bir sistemdir (Hu ve diğerleri, 2014).

Robot üzerinde bulunan görsel alıcılarla yabancı otların tanınmasında görüntünün zorlu şartlar altında dahi doğru görüntü sağlayan önceden öğrenilmiş CNN'den (Convolutional neural networks) (Konvolüsyonel sinir ağından) faydalanılmaktadır (Sünderhauf ve ark., 2014). Araştırmacılar tarafından insan gözlem kayıtlarına dayalı bir yabancı ot tanıma sisteminin entegrasyonunu gerçekleştirilmiştir (Pérez-Ortiz ve ark., 2016). Arazide sıra üzeri yetiştirilen kültür bitkilerinin bulunduğu alandaki yabancı ot popülasyonunun konum bilgilerinin alınabilmesi için çalışmada dört tekerlek üzerine kurulu bir mücadele robotu kullanıldığından hareket kabiliyeti yüksek sağa sola veya sırayla doğrultu değiştirmeden uzaklaşıp yaklaşma imkanı sağlayabilmektedir. Kameralarla donatılmış, haritalamayı kendisi yapan, mücadele için çapa gibi mekanik parçalar, ekim için ekime özgü parçalar da ilave edilebilen bir tasarıma dikkat çekilmektedir. Araçta hiyerarşik bir düzende işlemleri sorunsuz şekilde halledebilen gerçekçi olaylar baz alınarak tasarlanmış bir yazılım kullanılmıştır. Kullanılan çok işlemcili bir kontrol mekanizmasıyla keskin dönüşlerde herhangi bir sorun yaşanmamakla beraber sistemde aracın 180 derece dönüşlerde geliştirilmesi gerektiği ve yazılımda iyileştirilmeler yapılabileceği kanısına varılmıştır.

Michaels ve ark., (2015) tarafından Organik tarımda robotik kültür bitkisinin erken aşamasında yabancı otlarla mücadele için iki kamera ve yabancı otlarla mücadele için taşınabilir yönlendirici mekanizmalı bir sistem incelenmiştir. Yapılan proje kapsamında Bonirob geliştirilmiştir. Sıraya ekilen bitkilerde robotun yabancı otlarla arazi şartlarında sıra arası ve sıra üzeri olarak iki tip

yabancı ot mücadelesi ele alınmaktadır. Sıra arası yabancı otlarla mücadele çok detay barındırmayan otomatik veya manuel olarak sadece sıra arası mesafenin ayarlanıp mücadeleye başlanıldığı bir sistemdir. Ancak sıra üzeri yabancı otlarla mücadelede özel kültür bitkilerini tanıyıp ayırt ederek yabancı otlarla mücadele edecek görüntü tabanlı bir sistem gerekmektedir (Garford, 2014).

Kazmi ve ark., (2015) tarafından mevcut bazı yabancı otlarla mücadele robotlarındaki eksik yönler olarak algoritma ve görsel mekanizmaların işleyişinde bazı eksiklikler olduğu belirtilmektedir. Yabancı otlarla mücadelede yabancı otun tanınması ve özellik tespiti iyi yapıp mücadeleye başlanmalıdır denilmiştir ve şeker pancarınca etkili şekilde uygulanmıştır. Çalışmada bölümlenmiş yabancı ot görüntülerinin işlenmesi insansız hava araçlarının görüntüleme kullanılması gerektiği belirtilmektedir. İncelenen bazı bilim insanlarınca yapılan çalışmada görüntüdeki bozuklukların giderilmesinde Hough sistemi kullanılmaktadır (Perez-Ortiz ve ark., 2015). Sonraki dönemde nesne tabanlı görüntü analizi (OBIA) yöntemi önerilmiştir (Perez-Ortiz ve ark., 2016).

Organik havuçta ortalama yabancı ot yoğunluğu 20 yabancı ot /m² dir. Burada yabancı otun konumu tespitinde bir delta manipülatör kullanılmaktadır. İntel tabanlı bir işlemci sistemiyle konum, hız, görüntüleme gibi farklı modları ayarlanabilmektedir. Kamera olarak Baumer HXC/HXG 20 NIR olmak üzere iki kameradan oluşmaktadır. İlk kamera manipülatörün çeşitli kısımlarında montajlanmış halde bulunmaktadır. Sistemin laboratuvar ve saha deneyleri yapılmış ancak saha deneylerinin gerek ışık yetersizliği gerekse görüntüde bozukluklar oluşması nedeniyle başarı oranı düşük olmuştur. Burada oluşan sorunlar bir sonraki çalışma için iyileştirilmek üzere değerlendirilmesi sonucuna varılmıştır (Michaels ve ark., 2015).

Hohenheim Üniversitesi'nde geliştirilen ISAAC-2 tespit robotu arazide GPS ile yönlendirilmesi yapılan, bitkilerde verim açısından herhangi bir olumsuzluk olup olmadığını tespit edebilen, yabancı ot yoğunluğunun ve teşhisinin yapılabildiği robotik bir sistemdir (Kushwaha, H. L., ve ark., 2016).

Blackmore tarafından tasarımı yapılan MF-Scamp robotları yabancı ot kontrol işlemlerinde etkin, hasat işlemlerinde de yardımcı olmak için tasarlanmış, üretici tarafından alınabilirlik açısından ekonomik olmayan araç yürür aksam olarak 4x4 veya 6x6 şeklinde çekiş kapasitesinde olabilen bir tasarımıdır (Kushwaha, H. L., ve ark., 2016).

Marul ile yabancı otlar arasında oluşan rekabette marul bitkisinin ekonomik yönünden ötürü doğaya tutunabilmesini sağlayacak, organik tarımda da kullanılabilen Marul robotu marulun etrafındaki yabancı otları parçalar ve marula gübre de uygulayıp verimin iki yönlü olarak yükselmesine katkıda bulunmaktadır (Kushwaha, H. L., ve ark., 2016).

Tarımsal üretimde yabancı otlarla mücadele amacıyla koşullara bağlı olarak farklı tipte robotlar geliştirilmiştir. Dört teker ve güneş enerjisi sistemine sahip robot Naïo Technologies'den Naïo Dino ve Thorvald II platformuna sahiptir (Grimstad ve ark., 2017). Robotun dört tekerlekli bir yapıya sahip oluşu her yöne hareket gibi çeşitli kullanım olanakları sağlamaktadır, robotun çeşitli mekanik ve kimyasal yabancı ot mücadele etmenleriyle entegre şekilde çalışabildiği belirtilmiştir (McCool ve ark., 2018).

Sujaritha ve ark., (2017) tarafından incelenen robotik sistemde şeker kamışı alanlarında üç aylık bir zaman diliminde ürünün yabancı ottan zarar görmesini önleyen bir çalışma incelenmiştir. Çalışmadaki robotik sistemin üç ana bileşeni mevcuttur. Bunlar: Görüntüleme sistemi, işleme sistemi, kontrol sistemi şeklindedir. Çalışmada güneş enerjisiyle çalışan bir araç robotik sistem için tasarlanmıştır.

Şeker kamışı alanlarında sıralardan günün çeşitli saatlerinde sıra üzeri ve sıra arası görüntü alabilmek için iki kamera geliştirilmiştir. İlk kamerayla renkler çıkarılıp yabancı otlarla mücadele edecek mekanik parçalara ve tekerlekleri kontrol edecek mikro işlemciler veri toplanmaktadır. İkinci kamera statik görüntüler elde etmek için çeşitli piksel boyutlarında videoları destekleyen Raspberry Pi tabanlı sistemle kullanılmaktadır, kullanılan Raspberry Pi sistemi kamerada oluşabilecek ışık yansımaları gibi etkenleri görüntüyü bozmasını için absorbe etmektedir. Her iki kameradan çıkan görüntüler yabancı otlarla mücadele için tasarlanan algoritmaya aktarılacak üzere görüntü işleme sistemine iletilir. Görüntüler üzerinde 9 yabancı ot ve 1 şeker kamışı olmak üzere değerlendirme yapılmaktadır ve her türün 30 görüntüsü elde edilmektedir. Şeker kamışında görüntüler 15 gün, 1 ay ve 3 ay safhalarında mücadele edileceği için o dönemlerde alınır. Çalışmada kullanılan sistemle yabancı otların tespitindeki başarı yaklaşık %90 düzeyinde gerçekleşmektedir (Sujaritha ve ark., 2017).

Tarımsal yabancı ot mücadele ihtiyaçları doğrultusunda yapımı tamamlanan BoniRob platformu, Bosch DeepField Robotics tarafından üretilen çok amaçlı bir robottur. BoniRob, çeşitli görsel aksam ve mekanik aksam ile

herbisit kullanımının azaltılması temelinde yabancı otlarla çevreci bir mücadele imkanı sağlamaktadır. BoniRob da navigasyon destekli bir hareket sistemi ve onu esnek, kullanışlı bir yapıya kavuşturan dört tekerlekli yürüyen aksamıyla başarılı bir robot olma potansiyeline kavuşmaktadır. BoniRob da görmeyi sağlayan, derinlik, lazer, gps, kilometre sayacı gibi algılama özellikleri de mevcuttur. Mevcut akşamlarla yabancı ot veri kümeleri elde edilebilmektedir, elde edilen veri kümelerinin de ileri ki çalışmalarda faydalı olacağı düşünülmektedir (Chebrolu ve ark., 2017).

Bawden ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada AgBotII denilen robot ile ilki modüler yapıli hafif ve tasarruflu robot ve ikicisi görsele dayalı yabancı ot sınıflandırmasıyla mücadeleyi benimseyen sistemler incelenmektedir. Yabancı otlarla mücadele için sınıflandırma yaptığı arazi denemelerinde türe özgü veya total olarak mücadelede robotun başarı oranı yüksek bulunmaktadır. Başarı oranı, çevrimiçi algılama ve sınıflandırma algoritmaları tarafından yabancı otlarla mücadelede etkin, türe özgü mücadelenin mümkün olabileceğini göstermektedir.

Danimarka'da üretilen Robovator, İngiltere'de üretilen Robocrop Hollanda'da üretilen IC-kültivatör gibi dünya üzerinde yabancı otlarla mücadele amacıyla üretilmiş çeşitli robotlar bulunmaktadır (F. Poulsen, 2017; Tillet ve ark., 2008; Hague Technology, 2017; Stekete, 2017).

Utstumo ve ark., (2018) tarafından DoD sisteminin yeni geliştirilen başarılı sonuçlar elde ettikleri otonom robot platformunu sunulmuştur. Lee ve ark. (1999) RGB kamera ile çalışan Pentium Pro CPU ile donatılmış domates yetiştirilen alanlarda yabancı otlara karşı sprey uygulaması yapabilen bir robot geliştirmişlerdir ve yabancı otların kontrolünde başarılı olmuşlardır.

Arazide yabancı otların üstün rekabet yönü ve popülasyonlarının fazla oluşu nedeniyle yabancı otların zararından kültür bitkilerini korumak zor bir işlemdir. Yabancı otlarla mücadelede sebzelerin erken yetiştirme dönemlerinde yabancı otların baskısı fazla olduğundan fide döneminde yabancı otlarla mücadele edilmesi şarttır. Aksi halde verimde azalmalara ve yabancı otlarda da yayılmaya sebep olunur. Yabancı otlarla mücadelede işçilikte yaşanan zorluklar, herbisitlerin etkinliğinin azalması gibi mücadelede yaşanan negatif durumlar yabancı otlarla mücadelede akıllı sistemlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Kurulan sistemde hedef temel hedef, bitkiden sinyal alınmasıdır, burada kültür bitkisine floresan özellikle bir bileşiğin uygulanıp gerekli sinyalizasyonun oluşumu

sağlandıktan sonra görsel sistem bulunan bir yabancı ot mücadele aracının yabancı otlarla mücadele edebilmesidir. Çalışmada kullanılan Rhodamine B (Rh-B) görsel etkisi yüksek olan floresan bir bileşiktir ve kereviz köklerine çeşitli dozlarda uygulaması yapılmıştır. İki gün 60 ppm Rh-B dozda uygulanması sonucuna varılmıştır. Etkili dozda uygulanan Rh-B 5 hafta boyunca robotikler açısından kereviz bitkilerini görülebilir kılıp yabancı otların robotların görsel aksamlarınca kolay ayırt edilebilir olmasını sağlayacaktır (Su ve ark., 2020).

5. SONUÇ

Dünya üzerinde artan açlık ve gıdaya olan ihtiyacın dışında gıda çeşitliliğine olan eğilim günümüzde ürün çeşitliliğini gerektirmektedir. Elde edilen verilere göre yıllar boyunca ekilen hasat-harman işlemlerine tabi olunan ürünlerde verimi kısıtlayan en önemli öğenin arazide bulunan yabancı otlar olduğu saptanmıştır. Çığın gerektirdiği arz talep dengesi doğrultusunda yıllar boyunca yetiştirilmiş ve hala yetiştirilmekte olan kültür bitkilerinin normal verim değeri korunmalı ve bununla beraber tat, koku, renk gibi yönleriyle tercih olunan doyum gözetilmeyen kültür bitkilerinin de veriminin korunması gerekmektedir.

Tarımsal alanlarda mevcut yabancı otların homojen dağılım göstermemesi ve yabancı otun bulunduğu noktaların da birim alanda yoğunluk farkının olması nedeniyle verimin korunması amacıyla yapılan mekanik mücadele, fiziksel mücadele, kültürel önlemler gibi geleneksel yabancı ot mücadele yöntemlerinin dışında güncel alanlara yönelim olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yabancı otlarla mücadelede öncelikle arazide yabancı otun tespiti ve sadece yabancı ot tespit edilen alanda yabancı ot ile mücadele edilebilen son yıllarda geliştirilen ve gelişimi devam eden yabancı ot mücadelesindeki teknolojik güncel hamle olan robotikler incelenmiştir. Yapılan incelemelere göre robotiklerin gerekli görsel donanımlarının amaca uygun olarak netlik değerleri yüksek olması gerekmektedir. Oluşturulan robotik platformun yazılım kısmında gerçekçi gözlemleri içeren bir algoritmayla yabancı otların görsel aşamadan sonra sınıflandırılması yapılmaktadır. Üzerinde bilgisayar destekli elektronik sistem kurulu olan robotiğin mekanik veya hedef odaklı kimyasal püskürtme aparatına komutun iletilip yabancı ot mücadelesinin yapıldığı robotlar ile neredeyse sorunsuz bir yabancı ot mücadelesi yapılmaktadır. Burada önemli olan konu robotik algoritmaya işlenecek verilerde bir karmaşıklık

olmamasıdır. Yabancı otlarla mücadelede multidisipliner bir yaklaşım olan robotiklerde yazılımsal ve yapısal bir sorun olmaması halinde yabancı otlarla mücadelede kullanılması hem çevreci hem de nispeten yüksek ilk başlangıç maliyetine rağmen üretici ve ülkeler açısından

yabancı ot mücadele uygulaması açısından hem de hasat döneminde kolaylık sağlaması nedeniyle ekonomik bir yaklaşımdır.

KAYNAKLAR

- Armstrong J. J. Q., Dirks, R. D., & Gibson, K. D. (2007). The use of early season multispectral images for weed detection in corn. *Weed Technology*, 21(4), 857-862.
- Bakker T., Wouters, H., Van Asselt, K., Bontsema, J., Tang, L., Müller, J., & van Straten, G. (2008). A vision based row detection system for sugar beet. *Computers and electronics in agriculture*, 60(1), 87-95.
- Bak T., Jakobsen, H. (2004). Agricultural robotic platform with four wheel steering for weed detection. *Biosystems Engineering*, 87(2), 125-136.
- Barth R., Hemming, J., & van Henten, E. J. (2016). Design of an eye-in-hand sensing and servo control framework for harvesting robotics in dense vegetation. *Biosystems Engineering*, 146, 71-84.
- Basi S., Hunsche, M., Damerow, L., Lammers, P. S., & Noga, G. (2012). Evaluation of a pneumatic drop-on-demand generator for application of agrochemical solutions. *Crop protection*, 40, 121-125.
- Bawden O., Kulk, J., Russell, R., McCool, C., English, A., Dayoub, F., Lehnert C., & Perez, T. (2017). Robot for weed species plant-specific management. *Journal of Field Robotics*, 34(6), 1179-1199.
- Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.
- Binch A., & Fox, C. W. (2017). Controlled comparison of machine vision algorithms for Rumex and Urtica detection in grassland. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 123-138.
- Blasco J., Aleixos, N., Roger, J. M., Rabatel, G., & Moltó, E. (2002). AE—Automation and emerging technologies: Robotic weed control using machine vision. *Biosystems Engineering*, 83(2), 149-157.
- Bochtis D. D., Sørensen, C. G., & Busato, P. (2014). Advances in agricultural machinery management: A review. *Biosystems engineering*, 126, 69-81.
- Bontsema J., Van Asselt, C. J., Lempens, P. W. J., & Van Straten, G. (1998). Intra-row weed control: a mechatronics approach. *IFAC Proceedings Volumes*, 31(12), 93-97.
- Buddha K., Nelson, H. J., Zermas, D., & Papanikolopoulos, N. (2019). Weed Detection and Classification in High Altitude Aerial Images for Robot-Based Precision Agriculture. In *2019 27th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)* (pp. 280-285). IEEE.
- Chebrolu N., Lottes, P., Schaefer, A., Winterhalter, W., Burgard, W., & Stachniss, C. (2017). Agricultural robot dataset for plant classification, localization and mapping on sugar beet fields. *The International Journal of Robotics Research*, 36(10), 1045-1052.
- Çolak E. Ş., Yüksel, E., Canhilal, R. (2019). Yabancı otların kontrolünde biyolojik mücadele. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 2(3), 23-29.
- F. Poulsen Engineering. (2017). Robovator. URL: http://www.visionweeding.com/robovator_mechanical/ (accessed 10.04.19).
- Garford Corp, Robocrop Guided Hoes September (2014). <http://www.garford.com>
- Gerhards R., & Oebel, H. (2006). Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed research*, 46(3), 185-193.
- Griera N., Crucianu, M., & Boujemaa, N. (2004). Unsupervised and semi-supervised clustering: a brief survey. *A review of machine learning techniques for processing multimedia content*, 1, 9-16.
- Grimstad L., & From, P. J. (2017). The Thorvald II agricultural robotic system. *Robotics*, 6(4), 24.
- Guijarro M., Pajares, G., Riomoros, I., Herrera, P. J., Burgos-Artizzu, X. P., & Ribeiro, A. (2011). Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 75-83.
- Hamner B., Bergerman, M., & Singh, S. (2011). Autonomous orchard vehicles for specialty crop production. sl, ASABE Paper No. 11-071. St. Joseph, Mich.: ASABE.
- Hague Technology, T. (2017). Tillet and Hague technology. <http://www.thetechnology.co.uk/>.
- Harrell R. C., Slaughter, D. C., & Adsit, P. D. (1988). Robotics in agriculture. Dorf, RC (Ed.-in-Chief), *International Encyclopedia of Robotics Applications and Automation*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1378-1387.
- Heap I. (2014). Herbicide resistant weeds. In *Integrated pest management* (pp. 281-301). Springer, Dordrecht.
- Hillocks R. J. (2012). Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture. *Crop Protection*, 31(1), 85-93.
- Hiremath S. A., Van Der Heijden, G. W., Van Evert, F. K., Stein, A., & Ter Braak, C. J. (2014). Laser range finder model for autonomous navigation of a robot in a maize field using a particle filter. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 41-50.

- Hu J., Yan, X., Ma, J., Qi, C., Francis, K., & Mao, H. (2014). Dimensional synthesis and kinematics simulation of a high-speed plug seedling transplanting robot. *Computers and electronics in agriculture*, 107, 64-72.
- Isik D., Mennan, H., Cam, M., Tursun, N., Arslan, M. (2016). Allelopathic potential of some essential oil bearing plant extracts on Common Lambsquarters (*Chenopodium album* L.). *Revista De Chimie*. (Bucharest), 67(3), 455-459.
- Issues E. (2009). Food production must double by 2050 to meet demand from world's growing population, innovative strategies needed to combat hunger. New York, NY: Experts Tell Second Committee Press Release: United Nations.
- Kazmi W., Garcia-Ruiz, F., Nielsen, J., Rasmussen, J., & Andersen, H. J. (2015). Exploiting affine invariant regions and leaf edge shapes for weed detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 290-299.
- Komi P. J., Jackson, M. R., & Parkin, R. M. (2007, June). Plant classification combining colour and spectral cameras for weed control purposes. In 2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (pp. 2039-2042). IEEE.
- Kounalakis T., Triantafyllidis, G. A., & Nalpantidis, L. (2016). Weed recognition framework for robotic precision farming. In 2016 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST) (pp. 466-471). IEEE.
- Kounalakis T., Triantafyllidis, G.A., & Nalpantidis, L., (2018). A Robotic System Employing Deep Learning for Visual Recognition and Detection of Weeds in Grasslands. In: 2018 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST). IEEE.
- Kounalakis T., Triantafyllidis, G. A., & Nalpantidis, L. (2019). Deep learning-based visual recognition of rumex for robotic precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104973.
- Kushwaha H. L., Sinha, J., Khura, T., Kushwaha, D. K., Ekka, U., Purushottam, M., & Singh, N. (2016, January). Status and scope of robotics in agriculture. In *International Conference on Emerging Technologies in Agricultural and Food Engineering* (Vol. 12, p. 163).
- Lee W. S., Slaughter, D. C., & Giles, D. K. (1999). Robotic weed control system for tomatoes. *Precision Agriculture*, 1(1), 95-113.
- Lottes P., Hoferlin, M., Sander, S., Müter, M., Schulze, P., & Stachniss, L. C. (2016). An effective classification system for separating sugar beets and weeds for precision farming applications. In 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 5157-5163). IEEE.
- Lottes P., Khanna, R., Pfeifer, J., Siegart, R., & Stachniss, C. (2017). UAV-based crop and weed classification for smart farming. In 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 3024-3031). IEEE.
- Lund I., Søgaard, H. T., & Graglia, E. (2006). Micro-spraying with one drop per weed plant. In *Third Danish Plant Production Congress*, Denmark, 10-11 January, 2006 (pp. 451-452). Danish Institute of Agricultural Sciences.
- Mao H., Han, L., Hu, J., & Kumi, F. (2014). Development of a pincette-type pick-up device for automatic transplanting of greenhouse seedlings. *Applied engineering in agriculture*, 30(4), 547-556.
- McAllister W., Osipchev, D., Chowdhary, G., & Davis, A. (2018, October). Multi-agent planning for coordinated robotic weed killing. In 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (pp. 7955-7960). IEEE.
- McCool C., Beattie, J., Firn, J., Lehnert, C., Kulk, J., Bawden, O., ... & Perez, T. (2018). Efficacy of mechanical weeding tools: A study into alternative weed management strategies enabled by robotics. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(2), 1184-1190.
- Mennan H., Ngouajio, M., Sahin, M., Isik, D. (2011). Allelopathic potentials of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars leaves, straw and hull extracts on seed germination of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* L.). *Allelopathy Journal*, 28(2).
- Mennan H., Ngouajio, M., Sahin, M., Isik, D., Kaya Altop, E. (2012). Quantification of momilactone B in rice hulls and the phytotoxic potential of rice extracts on the seed germination of *Alisma plantago-aquatica*. *Weed biology and management*, 12(1), 29-39.
- Michaels A., Haug, S., & Albert, A. (2015). Vision-based high-speed manipulation for robotic ultra-precise weed control. In 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (pp. 5498-5505). IEEE.
- Mohler C. L., Frisch, J. C., & Mt, J. (1997). Evaluation of mechanical weed management programs for corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 123-131.
- Nieuwenhuizen A. T. (2009). Automated detection and control of volunteer potato plants.
- Nishiwaki K., Amaha, K., Otani, R. (2004). Development of nozzle positioning system for precision sprayer. In *Automation Technology for Off-Road Equipment Proceedings of the 2004 Conference* (p. 74). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Nof S. Y. (Ed.). (2009). *Springer handbook of automation*. Springer Science & Business Media.
- Ozer Z., Türkiye I. Herboloji Kongresi Bildirileri Adana, 1993, p.1.
- Pedersen S. M., Fountas, S., Have, H., & Blackmore, B. S. (2006). Agricultural robots—system analysis and economic feasibility. *Precision agriculture*, 7(4), 295-308.
- Peña J. M., Torres-Sánchez, J., Serrano-Pérez, A., De Castro, A. I., & López-Granados, F. (2015). Quantifying efficacy and limits of unmanned aerial vehicle (UAV) technology for weed seedling detection as affected by sensor resolution. *Sensors*, 15(3), 5609-5626.
- Pérez-Ortiz M., Peña, J. M., Gutiérrez, P. A., Torres-Sánchez, J., Hervás-Martínez, C., & López-Granados, F. (2015). A semi-supervised system for weed mapping in sunflower crops using unmanned aerial vehicles and a crop row detection method. *Applied Soft Computing*, 37, 533-544.
- Pérez-Ortiz M., Peña, J. M., Gutiérrez, P. A., Torres-Sánchez, J., Hervás-Martínez, C., & López-Granados, F. (2016). Selecting patterns and features for between-and within-crop-row weed mapping using UAV-imagery. *Expert Systems with Applications*, 47, 85-94.
- Pérez-Ruiz M., Slaughter, D. C., Fathallah, F. A., Gliever, C. J., & Miller, B. J. (2014). Co-robotic intra-row weed control system. *Biosystems engineering*, 126, 45-55.

- Philipp I., & Rath, T. (2002). Improving plant discrimination in image processing by use of different colour space transformations. *Computers and electronics in agriculture*, 35(1), 1-15.
- Raja R., Nguyen, T. T., Slaughter, D. C., & Fennimore, S. A. (2020). Real-time weed-crop classification and localisation technique for robotic weed control in lettuce. *biosystems engineering*, 192, 257-274.
- Raja R., Slaughter, D. C., Fennimore, S. A., Nguyen, T. T., Vuong, V. L., Sinha, N., ... & Siemens, M. C. (2019). Crop signalling: A novel crop recognition technique for robotic weed control. *biosystems engineering*, 187, 278-291.
- Ren G., Lin, T., Ying, Y., Chowdhary, G., & Ting, K. C. (2020). Agricultural robotics research applicable to poultry production: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105216.
- Rouveure R., Faure, P., & Monod, M. O. (2016). PELICAN: Panoramic millimeter-wave radar for perception in mobile robotics applications, Part 1: Principles of FMCW radar and of 2D image construction. *Robotics and Autonomous Systems*, 81, 1-16.
- Schor N., Bechar, A., Ignat, T., Dombrovsky, A., Elad, Y., & Berman, S. (2016). Robotic disease detection in greenhouses: combined detection of powdery mildew and tomato spotted wilt virus. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 1(1), 354-360.
- Shaner D. L. (2014). Lessons learned from the history of herbicide resistance. *Weed Science*, 62(2), 427-431.
- Singh S., Bergerman, M., Cannons, J., Grocholsky, B., Hamner, B., Holguin, G., ... & Li, G. (2010). Comprehensive automation for specialty crops: Year 1 results and lessons learned. *Intelligent Service Robotics*, 3(4), 245-262.
- Slaughter D. C., Giles, D. K., & Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and electronics in agriculture*, 61(1), 63-78.
- Slaughter D. C., Giles, D. K., & Tauzer, C. (1999). Precision offset spray system for roadway shoulder weed control. *Journal of transportation engineering*, 125(4), 364-371.
- Steketee. (2017). ICultivator. <https://www.steketee.com/en/steketee-ic-weeder/>.
- Stentz A., Dima, C., Wellington, C., Herman, H., & Stager, D. (2002). A system for semi-autonomous tractor operations. *Autonomous Robots*, 13(1), 87-104.
- Sujaritha M., Annadurai, S., Satheshkumar, J., Sharan, S. K., & Mahesh, L. (2017). Weed detecting robot in sugarcane fields using fuzzy real time classifier. *Computers and electronics in agriculture*, 134, 160-171.
- Sujaritha M., Lakshminarasimhan, Mahesh, Jude Fernandez, Colin, Chandran, Mahesh. (2016). Greenbot: A solar autonomous robot to uproot weeds in a grape field. *International journal of computer science and engineering communications*, 4(2), 1351-1358.
- Su W. H., Slaughter, D. C., & Fennimore, S. A. (2020). Non-destructive evaluation of photostability of crop signaling compounds and dose effects on celery vigor for precision plant identification using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168, 105155.
- Sünderhauf N., McCool, C., Upcroft, B., & Perez, T. (2014). Fine-Grained Plant Classification Using Convolutional Neural Networks for Feature Extraction. In *CLEF (Working Notes)* (pp. 756-762).
- Søgaard H.T., & Lund, I. (2005). Investigation of the accuracy of a machine vision based robotic micro-spray system. In *Investigation of the accuracy of a machine vision based robotic micro-spray system* (pp. 613-619).
- 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), 171-178.
- Tillett N. D., Hague, T., & Miles, S. J. (2002). Inter-row vision guidance for mechanical weed control in sugar beet. *Computers and electronics in agriculture*, 33(3), 163-177.
- Utstumo T., Urdal, F., Brevik, A., Dørum, J., Netland, J., Overskeid, Ø., Berge, T. W., Gravidahl, J. T. (2018). Robotic in-row weed control in vegetables. *Computers and electronics in agriculture*, 154, 36-45.
- Xue J., Zhang, L., & Grift, T. E. (2012). Variable field-of-view machine vision based row guidance of an agricultural robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 85-91.
- Van Der Weide R., Bleeker, P. O., Achten, V. T. J. M., Lotz, L. A. P., Fogelberg, F., & Melander, B. (2008). Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed research*, 48(3), 215-224.
- Van Evert F. K., Polder, G., Van Der Heijden, G. W. A. M., Kempenaar, C., & Lotz, L. A. P. (2009). Real-time vision-based detection of *Rumex obtusifolius* in grassland. *Weed Research*, 49(2), 164-174.
- Van Evert F. K., Samsom, J., Polder, G., Vijn, M., Dooren, H. J. V., Lamaker, A., ... & Lotz, L. A. (2011). A robot to detect and control broad-leaved dock (*Rumex obtusifolius* L.) in grassland. *Journal of Field Robotics*, 28(2), 264-277.
- Van Henten E. J., Van Tuijl, B. V., Hemming, J., Kornet, J. G., Bontsema, J., & Van Os, E. A. (2003). Field test of an autonomous cucumber picking robot. *Biosystems engineering*, 86(3), 305-313.

©Türkiye Herboloji Derneği, 2021

Geliş Tarihi/ Received: Mart/March, 2021
Kabul Tarihi/ Accepted: Ağustos/Agust, 2021

To Cite : Çolak E.Ş. and Işık D. (2021) Current Approach in Weed Control: Robotics. *Turk J Weed Sci*, 24(2):166-176.

Alıntı İçin : Çolak E.Ş. ve Işık D. (2021). Yabancı Otlar ile Mücadelede Güncel Yöntem: Robotikler. *Turk J Weed Sci*, 24(2):166-176.