



Plant Protection Machine Selection with Analytical Hierarchy Process: Maize Plant Example

Zeynep Ünal^{1,a,*}

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 51120, Niğde, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 09.02.2024 Accepted : 11.03.2024</p> <p>Keywords: Analytical Hierarchy Process Crop Protection Machine Maize plant Decision-making methods Sprayers</p>	<p>In this study, it is aimed to find a solution to the problem of plant protection machine selection using multi-criteria decision-making methods on the example of a maize plant. The seven determined criteria were presented to experts through an Analytical Hierarchy Process (AHP) survey for three different plant protection machines, and the results were calculated by considering the obtained criterion weights. Among the criteria determined using the literature, the effectiveness of the method (30%) was the most important criterion in the plant protection machine selection problem. The importance levels order of other criteria included in the study are found as application cost (23%), damage caused by the application to the plant (19%), application time (11%), weather conditions (7%), land condition (7%), damage to the environment (4%). Plant protection machines such as tractor-driven sprayers, backpack sprayers and agricultural unmanned aerial vehicles, which are the most common types of sprayers, were included in the study. Since two applications were made in May-June to combat pests in maize production and the phenological phase of the plant was different in each application, these two application periods were considered as early and late in the study. In the early period, the preference weights for plant protection machines were close to each other and it was observed that it was 0.35 for agricultural unmanned aerial vehicle, 0.34 for tractor-driven sprayer and 0.31 for backpack sprayer. In the late period, it was observed that agricultural unmanned aerial vehicles were preferred in four of the seven criteria. These criteria were weather conditions (0.78), effectiveness of the method (0.77), application time (0.71) and damage to the plant (0.77). When all criteria are evaluated together, the most preferred machine in both periods of application was the agricultural unmanned aerial vehicle.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(3): 453-461, 2024

Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Bitki Koruma Makinesi Seçimi: Mısır Bitkisi Örneği

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 09.02.2024 Kabul : 11.03.2024</p> <p>Anahtar Kelimeler: Analitik Hiyerarşi Süreci Bitki Koruma Makinesi Mısır Bitkisi Karar verme yöntemleri Pülverizatör</p>	<p>Bu çalışmada mısır bitkisi örneği üzerinden bitki koruma makinesi seçimi sorununa çok kriterli karar verme yöntemleri ile çözüm aranmaktadır. Belirlenen yedi kriter, üç farklı bitki koruma makinesi için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) değerlendirme formu ile uzmanların görüşlerine sunulmuş ve elde edilen kriter ağırlıklar dikkate alınarak sonuçlar hesaplanmıştır. Literatürden yararlanılarak belirlenen kriterler arasında bitki koruma makinesi seçimi probleminde yöntemin etkililiği (%30) en önemli kriter olmuştur. Çalışmada yer alan diğer kriterlerin önem dereceleri sırasıyla uygulama maliyeti (%23), uygulamanın bitkiye verdiği zarar (%19), uygulama süresi (%11), hava koşulları (%7), arazinin durumu (%7), çevreye zarar (%4) olarak bulunmuştur. Çalışmaya en yaygın pülverizatör çeşitleri olan traktör tahrikli pülverizatörler, sırt pülverizatörleri ve zirai insansız hava araçları gibi bitki koruma makinaları dahil edilmiştir. Mısır üretiminde zararlılar ile mücadele etmek için Mayıs-Haziran aylarında iki defa uygulama yapıldığından ve her uygulamada bitkinin fenolojik evresi farklı olduğundan dolayı çalışmada bu iki uygulama dönemi erken ve geç dönem olarak ele alınmıştır. Erken dönemde bitki koruma makinaları tercih ağırlığı birbirine yakın olup zirai insansız hava aracı için 0,35, traktör tahrikli pülverizatör için 0,34, sırt pülverizatörü için 0,31 olduğu görülmüştür. Geç dönemde yedi kriterin dördünde zirai insansız hava aracı tercih edildiği görülmüştür. Bu kriterler hava koşulları (0,78), yöntemin etkililiği (0,77), uygulama süresi (0,71) ve uygulamanın bitkiye verdiği zarar (0,77) olmuştur. Tüm kriterler birlikte değerlendirildiğinde iki dönem uygulamada da en çok tercih edilen makine zirai insansız hava aracı olmuştur.</p>

^a zeynepunal@ohu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-9954-1151>



Giriş

Tarım ürünlerinde zararlılarla mücadelede en çok tercih edilen yöntemlerden biri olan kimyasal mücadele, ekonomik kayıplara neden olan zararlı etkenleri en yüksek düzeyde ortadan kaldırmayı amaçlar. Bu yöntemin tercih edilme nedenleri arasında üretimde yarattığı artışlar, kolay uygulanması ve etkisinin kısa sürede ortaya çıkması vardır (Demir, 2015). Bu nedenle hastalık, zararlı ve yabancı otların neden olduğu ürün kayıplarının önlenmesinde kimyasal tarım ilaçları (pestisitler) çok önemli bir yere sahiptir. Uygulanacak mücadele programlarında zararlı, hastalık ve yabancı otların mücadelesi birlikte düşünülerek mücadelenin yönetimi ana zararlıların mücadelesi esas alınarak yapılır. Kimyasal mücadele üretimde önemli artışlar sağlar, ancak pestisit kullanımından kaynaklanan tarım, çevre ve sağlık maliyetleri de oldukça yüksektir. Bunun yanında hedef alınan zararlılarda da direnç oluşmaktadır (Coates, 1996; Wilson, 2000; Yıldırım, 2000). Bilinçli yapılmayan kimyasal mücadeleler sonucunda, ilaç kayıpları nedeniyle biyolojik etkinlik düşer ve aşırı ilaç tüketimi nedeniyle ürün maliyetleri artar (Demir, 2015). Bu yüzden kimyasal mücadelede bilinçli davranmak çok önemlidir. Kimyasal mücadele araçları, zararlı organizmaların kontrolünde etkili olabilir, ancak aşırı ve yanlış kullanımı çeşitli olumsuz etkilere neden olabilir.

Mısır bitkisi, tahılın dünya çapındaki gelişiminde oldukça önemli bir rol oynar (Aşık ve ark., 2021; Bai ve ark., 2023). Tüm dünyada tarım ve gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte hayvancılıkta da yem olarak mısır silajı kullanılmaktadır. Çok çeşitli gıda ve endüstriyel ürünlere dönüştürülen mısır, pazarı en dinamik olarak gelişen tarım ürünlerinden biridir (Czarnecka ve ark., 2022). Türkiye’de de 2022 yılı mısır üretimi önceki yıla göre %25,9 düzeyinde rekor bir artış göstererek 8,5 milyon tona ulaşmıştır (TUIK, 2023). Ancak mısır ekim alanlarının çoğu, çeşitli enfeksiyonlara maruz kalmaktadır (Czarnecka ve ark., 2022). Enfeksiyon kaynaklı ürün kaybını önlemede zirai mücadele yöntemleri etkin olarak kullanılmaktadır. Bitki koruma üzerine yapılan çalışmalar, üründen bağımsız olarak toplam giderler içerisinde %2 ila %10 arasında değişen bir paya sahip olan ilaçlama gideri ile, %35-45’lik bir ürün kaybının önlenebileceğini göstermiştir (Birinci ve Uzundumlu, 2009).

Tarımsal üretimde verimliliğin artırılmasında rol oynayan tarım makineleri, tarımın devamlılığı için çok önemlidir. Tarımın günümüzde daha geniş alanlarda yürütülmesine yardımcı olan bu girdiler, tarımla uğraşan nüfusun sosyal, kültürel ve ekonomik gelişmesine de katkıda bulunmaktadır (Özpinar, 2001). Tarımda makine kullanımı üretimde iş başarısını arttırmakta, daha hızlı ve verimli bir üretim yapılmasına sebep olmaktadır. İşletmelerde toprak işleme, ürün işleme, bitki koruma, hasat, ürün taşıma ve gübreleme gibi birçok işlemde makineler kullanılmaktadır. Tüm makine parkı içinde bitki koruma makinelerinin sayısal payı büyüktür. Bitki korumada kullanılan makineler içerisinde pülverizatörler, mikrogranüle uygulayıcılar, tozlayıcılar, fumigasyon çadırları, sisleyiciler, toprak enjektörleri, ve zirai insansız hava araçları bulunmaktadır (Ürkmez ve Özpinar, 2013; Ay ve İnce, 2015). Bitkisel üretimde, ilaçlama ve ilaçlama işlemlerinin uygun olmayan ilaçlama koşullarında ve teknik özellikleri yetersiz olan makinelerle yapılması,

mekanizasyondan sonra en fazla girdi oluşturan işletme girdilerini gereğinden fazla artırmaktadır (Demir, 2015). Mısır üretiminde de bitki koruma makineleri, tarım alanındaki zararlı organizmaların kontrolü için kullanılan kimyasal mücadele ürünlerini (pestisitleri) bitkilere uygulamak amacıyla kullanılan çeşitli ekipmanları içerir. Zirai mücadele makinelerinin doğru ve etkili bir şekilde kullanılması, zararlı organizmalarla mücadelede başarıyı artırabilir ve çevresel etkileri minimize edebilir.

Koşullara uygun doğru zirai mücadele makinesi seçmek için birçok parametre aynı anda göz önünde bulundurulmalıdır. Seçilecek bitki koruma makinesinin uygulama maliyetinin düşün olmasının yanında, bitki sağlığını etkileyecek diğer parametreler açısından da avantajlı olması gerekmektedir. Birçok kriterin etkili olduğu bu tür karar verme problemlerinde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Tekniği uygulanabilmektedir. Literatürde ÇKKV teknikleri tarımsal karar verme süreçlerinde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Günden ve Miran (2008) çiftçi kararlarının analizini bulanık analitik hiyerarşi süreci kullanarak yapmıştır. Aydın ve ark. (2016) Trakya Bölgesinde çiftçilerin girdi kullanım kararlarını ÇKKV teknikleri kullanarak analiz etmiştir. Sajadian ark. (2017) AHP kullanarak organik tarım göstergeleri analiz etmiştir. Torunlar ve Nazlıcan (2018) soya üretimi için ÇKKV teknikleri ile arazi uygunluk analizi yapmıştır. Ünal ve Çetin (2019) gübre ürünleri için hedef pazar belirleme amacıyla AHP ile TOPSIS yöntemlerini entegre etmiştir. Örük ve Engindeniz örtü altı tarımda girdi kullanım kararı için AHP tekniği uygulamıştır. Tolun ve Tümtürk (2020) tarım makineleri üreten işletmede makine seçimi problemi için AHP ve bütünsel gri ilişkisel analiz yöntemini entegre etmiştir. Bayramoğlu ve Özdemir (2021) tarım arazileri değerlendirilmesinde etki eden faktörleri ÇKKV ile analiz etmiştir. Dengiz ve ark. (2022) arazilerin tarımsal uygunluk derecelerini ÇKKV teknikleri ile doğrusal kombinasyon tekniği kullanarak değerlendirmiştir. Veisi ve ark. (2022) tarımsal sulama sistemlerinin seçimi için AHP tekniği uygulamıştır.

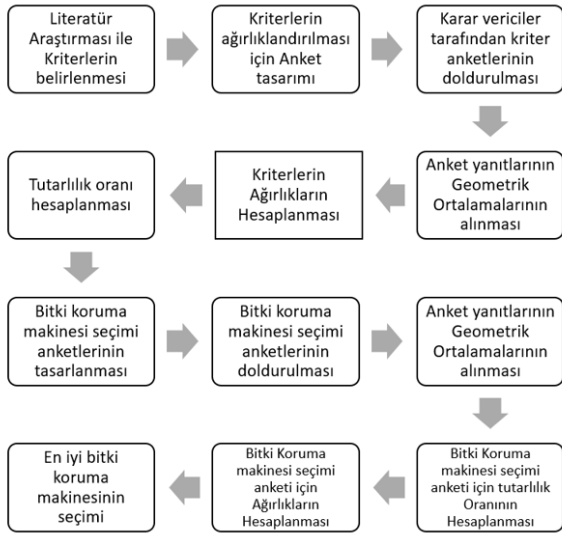
Bu çalışmada amaç mısır bitkisi örneği üzerinden bitki koruma makinası seçimi sorununa çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak çözüm bulmaktır. Literatürden yararlanılarak belirlenen kriterler, uzman görüşlerine sunularak AHP yöntemiyle önem dereceleri belirlenmiştir. Üç farklı bitki koruma makinası için yedi kriter içeren AHP değerlendirme formu yine uzmanların görüşlerine sunulmuş ve elde edilen kriter ağırlıklar dikkate alınarak sonuçlar hesaplanmıştır. Böylece en uygun bitki koruma makinası seçimi yapılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışmanın akış diyagramı Şekil 1’de verilmiş olup, şemada yer alan her aşama alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

Kriterlerin Belirlenmesi

Çalışmada ilk olarak en uygun bitki koruma makinasını seçerken karar sürecinde en etkili kriterlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda literatürdeki çalışmalar incelenmiş ve kritik öneme sahip oldukları belirtilen unsurlar analiz edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın akış diyagramı
Figure 1. Flowchart of the study

Çiftçiler, mısır üretiminde hangi zirai mücadele makinesini kullanacaklarına arazinin durumuna (Demir ve Çelen, 2006; Uzundumlu ve ark., 2017; Yang ve ark., 2018; Qin ve ark., 2023), hava koşullarına (Uzundumlu ve ark., 2017), yöntemin etkinliğine (Yang ve ark., 2018), maliyetine (Gedikli ve ark., 2015; Yang ve ark., 2018), uygulama süresine, uygulamanın bitkiye verdiği zarara (Akyıl ve Özudođru, 2001), çevreye verdiği zarara (Bakker ve ark., 2021) bağlı olarak uygun olanı seçerler. Uzundumlu ve ark. (2017)'nin kimyasal ilaç kullanımını etkileyen faktörleri araştırdıkları çalışmalarında arazinin eğiminin artmasıyla birlikte kullanılan ilaç miktarının azalması yönündeki bulguları arazinin eğimi gibi topografik faktörleri bir kriter olarak dikkate almak gerekliliğini doğrulamaktadır. Bunun yanında aynı çalışmada iklim koşullarının da ilaç kullanımı üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Demir ve Çelen (2006) tarım işletmelerindeki pülverizatörlerin durumu üzerine yaptıkları çalışmalarında, makine seçiminde kullanım alanının büyüklüğünün de dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Birçok araştırmada (Raut ve ark., 2013; Gedikli ve ark., 2015; Yang ve ark., 2018) kullanılan bitki koruma makinesinin maliyetinin uygulayıcılar açısından oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Maliyetlerin uzun vadeli sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından dikkate alınması gerekmektedir. Yang ve ark. (2018) İHA'ların bitki koruma makineleri olarak kullanımını araştırdıkları çalışmalarında arazi durumunun, maliyetlerin ve etkinliğinin, hangi yöntemin uygulanması noktasında önemli olduğunu ortaya koymuştur. Operasyonel çiftlik büyüklüğü artmadığı sürece maliyet, bireysel çiftçiler için bitki korumada İHA'ların yaygın olarak kullanımını sınırlayan önemli bir faktördür. Pestisitlerin insan sağlığı ve çevreye zararlı etkileri gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Yoğun ve bilinçsiz bir şekilde kullanıldıklarında, gıdalarda, toprakta, suda ve havada pestisit kendisi ya da dönüşüm ürünleri kalabilmektedir (Tiryaki ve ark., 2010). Akyıl ve Özudođru (2001) yaptıkları bir çalışmada, üreticilerin tarım işletmelerinde pestisit kullanımıyla ilgili teknik bilgilerinin yetersiz olduğunu keşfetmişlerdir. Üreticilerin pestisit kullanımı ve besin maddeleri üzerindeki kalıntıları konusunda yeterli

bilince sahip olmadıkları görülmüştür. Bakker ve ark. (2021) çiftçilerin pestisit kullanım niyetleri üzerine yaptıkları çalışmalarında, pestisit kullanımını azaltma niyetinin sosyal normlara bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca çiftçiler pestisit kullanımını azaltmak için sınırlı kapasiteye veya özerkliğe sahip olduklarını belirtmişlerdir. Bitki koruma makineleri, hem bir tarım makinesi olarak kazalarla neden olabileceği, hem de kimyasal uygulamada kullanılan makineler olduğu için etkili tarımsal savaş için çok önemlidir. Ayrıca operatörlerin sağlığı ve güvenliği, çevresel etkileri ve gıda güvenliği gibi çok yönlü etkileri vardır (Temel ve Öztekin, 2020).

Literatürdeki bu çalışmalardan yararlanılarak en uygun bitki koruma makinesinin seçimi için 7 farklı kriter belirlenmiştir. Bu kriterler arazinin durumu (AD), hava koşulları (HK), yöntemin etkinliği (YE), uygulama maliyeti (UM), uygulama süresi (US), çevreye verdiği zarar (ÇZ) ve uygulamanın bitkiye verdiği zarar (UBZ) olarak belirlenmiştir.

Araştırmaya Dahil Edilen Bitki Koruma Makinaları

Bu çalışmada karşılaştırılan makineler tarım işletmelerinde en fazla kullanılan bitki koruma makinaları olan pülverizatörlerdir (Akyıl ve Özudođru, 2001). Bitki koruma makinaları olarak kullanılan en yaygın pülverizatör çeşitleri aşağıda açıklanmıştır:

Traktör Tahrikli Pülverizatörler: Tarla bitkileri üretiminde zararlıların etkisini, hastalıkları azaltmak ve yabancı otları öldürmek amacıyla sıvı pestisitleri su veya diğer taşıyıcı maddelerle karıştırarak bitkilere püskürtülen makinelerdir. Sprey tabancaları, sıvıyı bitkilerin yapraklarına homojen bir şekilde uygulamak için kullanılır. Traktörle çekilen pülverizatörler geniş tarım alanlarında kullanılabilir (Dursun, 1994).

Sırt Pülverizatörleri: Sıvı pestisitleri bitkilere sırtta taşınan bir tank aracılığıyla uygulayan makinelerdir. Bu tip pülverizatörler, küçük ve düzensiz şekilli alanlarda, özellikle bahçe ve bağ alanlarında kullanılır (Aygün ve ark., 2021). Sırt tipi püskürtücünün bir türü, operatörün sırtında taşınmasına olanak tanıyan bir koşum takımına sahip basınçlı hava püskürtücüdür. Başka bir sırt tipi püskürtücü türü, sıvı pestisiti bir hortum ve bir veya daha fazla püskürtme memesinden geçiren, elle çalıştırılan bir hidrolik pompaya sahiptir. Pompa genellikle bir kolun hareket ettirilmesiyle çalıştırılır. Pompa pistonuna mekanik bir karıştırıcı plaka takılabilir. Her iki sırt tipi püskürtücünün kapasitesi genellikle 16 lt veya daha azdır (Raut ve ark., 2013). Bu ilaçlamada ilaç dolu tankın tüm ağırlığını işçi taşımak zorunda kalmakta, bu da işçinin yorulmasına ve dolayısıyla verimliliğin azalmasına neden olmaktadır.

Zirai insansız hava araçları (Zirai İHA): Zirai İHA'lar pestisitleri tarım arazisinin yüksekten püskürtmek için kullanılır. Bu belirli bir alanda otonom olarak ilaçlama yapabilir ve çiftçilere zaman ve işgücü tasarrufu sağlayabilir. Ağır hava taşıtlarına göre hareket etme yeteneği nedeniyle, İHA yerden yüksekliğini ilaçladığı bölgeye göre değiştirerek ekinlere daha yakından ilaçlama yapabilmektedir. Bu sayede rüzgâr nedeniyle hedef bölgeden uzaklaşan damlacık sayısı azalır ve çevreyi kirletme olasılığı düşürülür. Havadan ilaçlamanın diğer yöntemlerine kıyasla bu sistem daha ucuzdur. Herhangi bir arazi için kısa bir eğitim sonrası bir püskürtme planı da kolayca oluşturulabilir ve sistemin bu işlemi kendi başına yapması pilot eğitim masraflarını ve

pilotaj hatalarını da azaltacaktır (Ay ve İnce, 2015). Son yıllarda yapılan birçok araştırma, İHA'ların geleneksel kara tabanlı tekniklerle kaplanabilecek alanın neredeyse 10 ila 15 katını kaplayabildiğini kanıtlamıştır (Dileep ve ark., 2020). Geleneksel sırt çantası tipi veya sedye tipi pülverizatörler ile karşılaştırıldığında havadan ilaçlama ürün türünden bağımsız olarak hızlı ve verimli bir şekilde çalışır (Liu ve ark., 2012).

Analytik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Saaty (1977) tarafından önerilen AHP yöntemi, birçok alanda karmaşık problemlerin çözümü için başarıyla uygulandığı gibi tarımda karşılaşılan karar problemlerinin çözümü için de yararlanılan bir tekniktir (Ünal ve Çetin, 2019). Çok kriterli karar verme teknikleri birçok alanda karar verme problemlerinde başarıyla uygulanmaktadır (Ekşili, ve ark., 2017). Çok kriterli karar verme tekniklerin biri olan AHP, kriterlerin ikili karşılaştırmaları içeren değerlendirme formu yardımıyla karmaşık karar problemini daha basit bileşenlere ayırarak karar vericileri objektif yargılara yönlendirmektedir (Wind ve Saaty, 1980). Ayrıca tekniğin içerisinde yer alan tutarlılık kontrolü karar vericinin olası çelişkili yanıtları tekrar gözden geçirilmesini sağlamaktadır (Chen ve Huang, 2004).

Kriterlerin ağırlıklandırılması için değerlendirme formu tasarımı

AHP yönteminde önerilen karar matrisinin uzmanlar tarafından anlaşılması zor olduğundan Şekil 2’de verilen AHP değerlendirme formu tasarlanmıştır. Bu değerlendirme formun her satırında kriterler birbiri ile bir kez karşılaştırılacak şekilde karşılıklı verilmiştir. Kriterlerin arasında ise değerlendirmelerin yapılabileceği bir alan ayrılmıştır. Bu alanda Saaty (1977) tarafından oluşturulmuş 1-9 ölçeğine yer verilmiştir. Ölçeğin merkezinde 1 değeri yer almaktadır. Örneğin “Hava Koşulları” ve “Arazinin Durumu” kriterlerinin eşit önemde olduğu düşünülüyorsa 1 değerinin olduğu sütuna işaretleme yapılır. Eğer “Hava Koşulları” kriterinin “Arazinin Durumu” kriterinden daha önemli olduğu düşünülüyorsa önem derecesi dikkate alınarak değerlendirme formunun sol tarafında ilgili sütuna işaretleme yapılır. Bu yargının tersi durumunda, yani “Arazinin Durumu” kriterinin “Hava Koşulları” kriterinden daha önemli olduğu düşünülüyorsa önem derecesi dikkate alınarak değerlendirme formunun sağ tarafında ilgili sütuna işaretleme yapılır. Araştırmanın çalışma grubunu Türkiye genelinde Ziraat Fakülteleri mezunları olup aktif çalışma hayatını sürdüren kişiler, aynı fakültede görev yapan akademik personel ve Türkiye sınırları içinde zirai faaliyetler yürüten çiftçiler oluşturmaktadır. Çalışmaya 10 katılımcı dahil edilmiştir. Uzmanlardan ve uygulayıcılardan oluşan bu 10 katılımcıya ağırlıkların belirlenebilmesi için toplam 10 adet değerlendirme formu doldurtulmuştur.

Değerlendirme formu yanıtlarının Geometrik Ortalamalarının alınması

Tasarlanan AHP değerlendirme formu katılımcılar tarafından doldurulduktan sonra katılımcılar tarafından verilen yanıtların geometrik ortalaması alınarak grup kararı olarak adlandırılan değerlendirme formu değerleri oluşturulur. Geometrik ortalama hesaplamasında Denklem (1) kullanılmaktadır.

$$\left(\prod_{i=1}^n x_i\right)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{x_1 x_2 x_3 \dots x_n} \quad (1)$$

	Kecin Oran	Çok Fazla Oran	Çok Daha Oran	Daha Oran	Eşit Oran	Daha Oran	Çok Daha Oran	Çok Fazla Oran	Kecin Oran	
Hava Koşulları										Arazinin Durumu
Hava Koşulları										Yöntem Etkiliği
Hava Koşulları										Çevreye Zarar
Hava Koşulları										Uygulama Maliyeti
Hava Koşulları										Uygulama Stresi
Hava Koşulları										Uygulamanın Bitkiye Verdiği Zarar
Arazinin Durumu										Yöntem Etkiliği
Arazinin Durumu										Çevreye Zarar
Arazinin Durumu										Uygulama Maliyeti
Arazinin Durumu										Uygulama Stresi
Arazinin Durumu										Uygulamanın Bitkiye Verdiği Zarar
Yöntem Etkiliği										Çevreye Zarar
Yöntem Etkiliği										Uygulama Maliyeti
Yöntem Etkiliği										Uygulama Stresi
Yöntem Etkiliği										Uygulamanın Bitkiye Verdiği Zarar
Çevreye Zarar										Uygulama Maliyeti
Çevreye Zarar										Uygulama Stresi
Çevreye Zarar										Uygulamanın Bitkiye Verdiği Zarar
Uygulama Maliyeti										Uygulama Stresi
Uygulama Maliyeti										Uygulamanın Bitkiye Verdiği Zarar
Uygulama Stresi										Uygulamanın Bitkiye Verdiği Zarar

Şekil 2. Kriterlerin ağırlıklandırılması için değerlendirme formu
Figure 2. Evaluation form for weighting the criteria

Kriterlerin Ağırlıklarının Hesaplanması

Geometrik ortalamaları içeren grup kararı karar matrisine aktarılır. Bu çalışmada 7 adet kriter kullanıldığından Denklem (2)’de verilen 7×7 boyutlu kare matris oluşturulmuştur.

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} \\ 1/a_{12} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} & a_{37} \\ 1/a_{14} & 1/a_{24} & 1/a_{34} & a_{44} & a_{45} & a_{46} & a_{47} \\ 1/a_{15} & 1/a_{25} & 1/a_{35} & 1/a_{45} & a_{55} & a_{56} & a_{57} \\ 1/a_{16} & 1/a_{26} & 1/a_{36} & 1/a_{46} & 1/a_{56} & a_{66} & a_{67} \\ 1/a_{17} & 1/a_{27} & 1/a_{37} & 1/a_{47} & 1/a_{57} & 1/a_{67} & a_{77} \end{bmatrix} \quad (2)$$

M: Belirlenen Kriterlerin Karar Matrisi

Bu kare matrisindeki değerlere normalizasyon işlemi Denklem (3) kullanılarak uygulanır ve normalize edilmiş yeni matris oluşturulur.

$$b_{i,j} = \frac{a_{i,j}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}} \quad (3)$$

Bu aşamadan sonra hesaplamalarda normalize edilmiş matris kullanılır. Normalize matris satır ortalamaları Denklem (4) kullanılarak hesaplanır ve kriterlerin ağırlıkların elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{i,j}}{n} \quad (4)$$

Tutarlılık Oranlarının Hesaplanması

Hesaplanan ağırlıkların tutarlı olup olmadığını anlamak için tutarlılık analizi yapılır. Bu aşamada önce Denklem (5) kullanılarak tutarlılık indeksi hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1)} \quad (5)$$

Daha sonra Denklem (6) yardımıyla tutarlılık oranı hesaplanır.

$$Tutarlılık Oranı (CR) = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

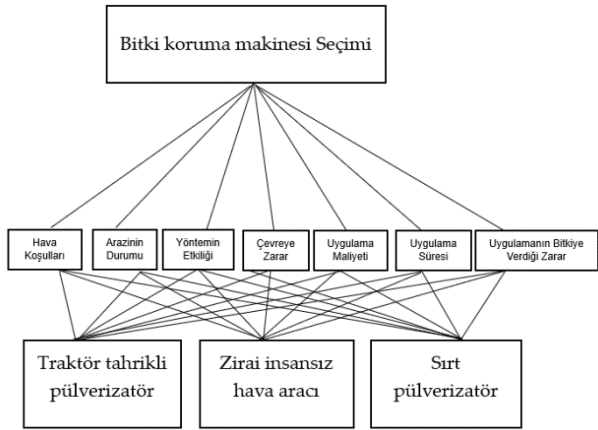
Buradaki RI değeri Ortalama Rassel Tutarlılık endeksini ifade etmektedir. RI değerleri Saaty (1977) tarafından önerildiği şekilde Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Ortalama endeksi Rassal Tutarlılık
Table 1. Mean index of random consistency

N	RI
1	0
2	0
3	0,58
4	0,9
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

	Kesin Olarak	Çok Fazla	Çok Daha	Daha	Eşit	Daha	Çok Daha	Çok Fazla	Kesin Olarak	
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Traktör tahrikli pülverizator										Zirai insansız hava aracı
Traktör tahrikli pülverizator										Sırt pülverizator
Zirai insansız hava aracı										Sırt pülverizator

Şekil 3. Bitki koruma makinesi seçimi için değerlendirme formu
Figure 3. Evaluation form for plant protection machine selection



Şekil 4. Bitki koruma makinesi seçimi hiyerarşisi
Figure 4. Plant protection machine selection hierarchy

Elde edilen tutarlılık oranı 0,10 değerinin üzerinde ise tüm değerlendirme formları tekrar gözden geçirilir ve karar vericilerden değerlendirmeleri gözden geçirmesi istenir. Bu işlem tutarlı değerlendirme elde edene kadar tekrarlanır.

Bitki koruma makinesi seçimi değerlendirme formlarının tasarlanması

Bitki koruma makinesi seçimi karşılaştırılan 3 farklı makine ismi içeren AHP değerlendirme formu tasarlanmıştır. Tasarlanan değerlendirme formu Şekil 2’de verilmiştir.

Katılımcılardan Şekil 3’te verilen değerlendirme formunu her kriter için ayrı ayrı doldurması istenmiştir. Örneğin “erken dönem uygulama için çalışmada kullanılan bölgede sadece “Hava şartları” kriterini düşünerek bitki koruma makinelerini aralarında karşılaştırınız” şeklinde yönerge verilmiştir. Daha sonra sırayla tüm kriterler için aynı değerlendirme formu uygulanmıştır. Daha sonra her katılımcıdan alınan 7 kriter açısından bitki koruma makinelerinin karşılaştırmasını içeren değerlendirme formu için Denklem (7)’de verilen 3×3 boyutlu 7 adet kare matris oluşturulmuştur.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ 1/a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (7)$$

KM: Bitki koruma makinesi karar matrisi

Oluşturulan her karar matrisi için AHP tekniği adımlarını takip edilerek her kriter için bitki koruma makinesi önemi hesaplanmıştır. Elde edilen önem dereceleri kriter ağırlıkları ile çarpılır ve böyle bitki koruma makinesi problem için sonuç sıralama elde edilir. Çalışmada ele alınan problemin hiyerarşik yapısı Şekil 4’de görülmektedir.

Bulgular ve Tartışma

Literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak bitki koruma makinesi seçimi için Hava Koşulları (HK), Arazinin Durumu (AD), Yöntemin Etkililiği (YE), Çevreye Zarar (ÇZ), Uygulama Maliyeti (UM), Uygulama Süresi (US), Uygulamanın Bitkiye Verdiği Zarar (UBZ) gibi farklı 7 kriter belirlenmiştir. Kriterlerin önem derecelerini içeren AHP değerlendirme formunun katılımcılar tarafından doldurulması sağlanmıştır. Bu amaçla çalışmaya dahil edilen 10 katılımcıdan toplam 10 adet değerlendirme formu alınmıştır. Kriterler için oluşturulan geometrik ortalamaların yer aldığı karar matrisi Çizelge 2’te verilmiştir.

Kriter ağırlıkların hesaplanması için önceki bölümlerinde açıklanan adımlar kullanılmıştır. Kriterler için oluşturulan karar matrisinin tutarlılık oranı 0,0102 olarak hesaplanmıştır. AHP tekniği ile hesaplanan ağırlıklar Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3’te verilen sonuçlara göre bitki koruma makinesi seçimi probleminde “Yöntemin Etkililiği (%30)” en önemli kriter olmuştur. Daha sonra sırasına göre en etkili kriterler Uygulama Maliyeti (%23), Uygulamanın Bitkiye Verdiği Zarar (%19), Uygulama Süresi (%11), Hava Koşulları (%7), Arazinin Durumu (%7), Çevreye Zarar (%4) şeklinde sıralanmıştır. Sonuçların da gösterdiği gibi yöntemin etkililiği en önemli kriter olarak karşımıza çıkmıştır. Bitki koruma zamanla yarışılan, eğer başarılı olunmazsa mahsulde büyük oranda kayba yol açan bir durumdur. Mevcut bitki koruma uygulamalarına rağmen, zararlılardan kaynaklanan toplam küresel potansiyel kayıpların mısır bitkisinde %31 civarında olduğu tahmin edilmektedir (Oerke, 2006). Başka bir çalışmada toplam giderler içerisinde %2 ila %10 bir paya sahip olan ilaçlama gideri ile, %35-45’lik bir ürün kaybının önlenebileceği ortaya konmuştur (Birinci ve Uzundumlu, 2009). Ancak bitki üretim maliyetleri içinde bitki koruma maliyetleri oldukça önemli bir yer tutar. Bu yüzden ikinci kriter olarak maliyetler dikkat çekmektedir. Üretim maliyetleri içinde bitki koruma maliyetleri hem akaryakıt hem de ilaç giderleri olarak karşımıza çıkar (Aktaş ve Yurdakul, 2005). Üçüncü en önemli kriter uygulamanın bitkiye verdiği zarar olmuştur. Uygulayıcılar bitkiyi koruma amaçlı bu yöntemleri tercih etmektedirler. Dolayısıyla bitkiyi korurken zarar veren yöntemler verimliliği düşürmektedir. En düşük önem derecesine sahip kriter makinenin çevreye verdiği zarar olmuştur. Akyıl ve Özüdoğru (2001), tarafından yapılan çalışmada çiftçilerin yetersiz bilince sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sürdürülebilirlik bilinci üzerine yapılan çalışmalar çevresel bilincin düşük olduğunu ortaya koymaktadır (Gulzar ve ark., 2023). Bakker ve ark. (2021) çiftçilerin pestisitlerin çevreye verdiği zararın farkında olmadıklarını ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde Özalp ve Güldal (2017) da mısır üreticilerinin Adana ilinde tohum, kimyasal gübre ve ilaç kullanımı nedeniyle çevre ve insan sağlığı açısından genel olarak duyarlı olmadığını belirlemişlerdir.

Bitki koruma makinesi seçimi karşılaştırılan 3 farklı makine ismi içeren AHP değerlendirme formu katılımcılar tarafından her kriter için ayrı ayrı doldurulmuş ve her değerlendirme formu için karar matrisi oluşturulmuştur. Hava Koşulları kriteri için elde edilen karar matrisi örnek olarak Çizelge 4'te verilmiştir.

Tarım işletmelerinde mısır üretiminde kullanılan tohum erken dönem Mart ayında ilaçlanarak ekilmektedir. Zararlılar ile mücadele etmek için ise geç dönem Mayıs-Haziran aylarında iki defa kullanılır. (Akyıl ve Özüdoğru,

2001; Özcan, 2009). Bu yüzden her iki dönem için ayrı değerlendirme yapılması istenmiştir.

Çalışmaya dahil edilen 10 katılımcıdan erken dönem için 10 adet, geç dönem için 10 adet olmak üzere toplam 20 adet değerlendirme formu toplanmıştır. Her dönem için elde edilen değerlendirme formları ayrı değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıklarının hesaplanması için önceki bölümlerde açıklanan adımlar kullanılmıştır. Her dönem için grup karar matrisi oluşturulmuştur, bu matrislerden elde edilen ağırlıklar Çizelge 5'te verilmiştir.

Bitki koruma makinesi seçimi problemi için sonuç değerleri elde etmede Çizelge 5'te verilen değerler ağırlıkları ile çarpılmış ve satır toplamları alınarak Çizelge 6'da verilen önem dereceleri elde edilmiştir.

Erken dönemde hava koşulları kriteri dikkate alındığında en çok tercih edilen yöntemin traktör tahrikli pülverizatör (0,56) olduğu görülmüştür. Bu durumun erken dönem hava koşullarının zirai İHA'ya imkân vermemesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 2. Kriterler için oluşturulan karar matrisi

Table 2. Decision matrix created for criteria

K	HK	AD	YE	ÇZ	UM	US	UBZ
HK	1,00	1,23	0,25	2,62	0,21	0,85	0,29
AD	0,81	1,00	0,43	2,46	0,24	0,47	0,24
YE	4,07	2,35	1,00	5,60	1,07	3,79	3,83
ÇZ	0,38	0,41	0,18	1,00	0,17	0,52	0,28
UM	4,78	4,21	0,94	5,78	1,00	0,96	1,15
US	1,17	2,12	0,26	1,93	1,04	1,00	0,39
UBZ	3,41	4,17	0,26	3,56	0,87	2,53	1,00

K: Kriterler

Çizelge 3. Kriterlerin ağırlıkları

Table 3. Weights of criteria

Kriterler	Ağırlıklar (%)
Hava Koşulları	7,2
Arazinin Durumu	6,9
Yöntemin Etkililiği	30,0
Çevreye Zarar	3,9
Uygulama Maliyeti	22,6
Uygulama Süresi	10,8
Uygulamanın Bitkiye Verdiği Zarar	18,6

Çizelge 4. Hava koşulları kriteri için oluşturulan karar matrisi

Table 4. Decision matrix created for the weather conditions criterion

	TTP	ZİH	SP
Traktör tahrikli pülverizatör	1	7	9
Zirai İHA	1/7	1	5
Sırt pülverizatör	1/9	1/5	1

TTP: Traktör tahrikli pülverizatör; ZİH: Zirai İHA; SP: Sırt pülverizatör

Çizelge 5. AHP tekniği ile elde edilen bitki koruma makinesi tercihlerinin kriterlere göre dağılımı.

Table 5. Distribution of plant protection machine preferences obtained using AHP technique according to criteria.

Dönem	Bitki koruma makinesi	HK	AD	YE	ÇZ	UM	US	UBZ
Erken Dönem	Traktör tahrikli pülverizatör	0,56	0,41	0,45	0,32	0,24	0,22	0,27
	Zirai İHA	0,15	0,36	0,31	0,33	0,12	0,71	0,54
	Sırt pülverizatör	0,29	0,23	0,24	0,35	0,64	0,07	0,19
Geç Dönem	Traktör tahrikli pülverizatör	0,08	0,41	0,11	0,35	0,24	0,22	0,06
	Zirai İHA	0,78	0,36	0,77	0,31	0,12	0,71	0,77
	Sırt pülverizatör	0,14	0,23	0,12	0,33	0,64	0,07	0,17

Çizelge 6. AHP tekniği ile elde edilen bitki koruma makinesi seçimi sonuçları
Table 6. Results of plant protection machine selection obtained using AHP technique

Dönem	Bitki koruma makinesi	HK	AD	YE	ÇZ	UM	US	UBZ	%
	Kriter Ağırlıkları	7,2	6,9	30,0	3,9	22,6	10,8	18,6	
Erken Dönem	Traktör tahrikli pülverizatör	4,0	2,9	13,4	1,3	5,3	2,4	5,1	34,3
	Zirai İHA	1,1	2,5	9,4	1,3	2,8	7,7	10,1	34,9
	Sırt pülverizatör	2,1	1,6	7,2	1,4	14,5	0,7	3,5	30,9
Geç Dönem	Traktör tahrikli pülverizatör	0,6	2,9	3,4	1,4	5,3	2,2	1,2	16,9
	Zirai İHA	5,6	2,5	23,1	1,2	2,8	7,6	14,2	57,1
	Sırt pülverizatör	1,0	1,6	3,4	1,3	14,5	1,0	3,1	26,0

Arazi durumuna göre ise 0,05 farkla traktör tahrikli pülverizatör (0,41) tercih edilmiştir. Bu durumun Niğde çevresinde mısır ekilen arazilerin engebeli olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yöntemin etkililiği açısından da traktör tahrikli pülverizatör (0,45) tercih edilmiştir. Bitki boyunun kısa olması bu etkiye neden olmaktadır. Uygulama maliyeti açısından ise erken dönem ve geç dönemde sırt pülverizatörü tercih edilmiştir (0,64). Katılımcıların değerlendirme formunu doldururken referans aldıkları arazi büyüklüğünün 10 da olduğu göz önüne alındığında tüm yöntemler içinde maliyeti en düşük olan yöntemin sırt pülverizatörü olması anlamlıdır. Gelecek çalışmalarda farklı arazi büyüklükleri dikkate alınarak uygulamalar yapılabilir. Daha büyük arazilerde çiftçi sırt pülverizatörü ile uygulamayı tek başına yapamayacağı için ek iş gücü maliyetinin ortaya çıkması muhtemeldir. Uygulama süresi açısından zirai İHA (0,71) en çok tercih edilen yöntem olmuştur. İHA modeline bağlı olarak 10 dekarı 10-20 dakika içinde ilaçlama kapasitesine sahiptir. Uygulamanın bitkiye verdiği zarar göz önüne alındığında erken dönemde de geç dönemde de zirai İHA tercih edilmiştir. Erken dönemde traktör lastiğinin bitkiye verdiği zarar tercihleri etkilemiştir.

Geç dönemde ise yedi kriterin dördünde zirai İHA tercih edilmiştir. Bu kriterler hava koşulları (0,78), yöntemin etkililiği (0,77), uygulama süresi (0,71) ve uygulamanın bitkiye zararı (0,77) olmuştur. Haziran ayına denk gelen geç dönem ilaçlama, rüzgârın olmamasından dolayı İHA'ların kullanılmasını kolaylaştırır. İHA'lar ile gece ilaçlama mümkündür. Bu durumda da ilaçların buharlaşarak etkisinin azalmasının önüne geçilebilmektedir. Geç dönemde bitki boyunun yüksek olması İHA'ları etkili bir yöntem yapar. Pervanelerin yarattığı akım ile ilaç bitki yüzeyine yapışır ve nüfuz eder.

Çizelge 6'da görüldüğü üzere erken dönem ilaçlamada zirai İHA %0,6 farkla traktör tahrikli pülverizatöre oranla daha fazla tercih edilmiştir. Çalışma Niğde bölgesinde yapıldığı için arazilerin engebesiz olması, çiftçilerin genelinde traktör ve pülverizatör olması geleneksel yöntem olarak hala traktörün önemli oranda kullanıldığını göstermektedir. Ancak bu tablodan çıkan önemli sonuçlardan biri zirai İHA'ların bu erken dönemde en çok tercih edilen yöntem olmasıdır.

Geç dönem ilaçlamada büyük bir farkla zirai İHA tercih edilmiştir. Katılımcıların en önemli kriterler olarak belirlediği etkililik, maliyet ve uygulamanın bitkiye zararı dikkate alındığında seçimleri tutarlıdır. Geç dönemde mısır bitkisinin boyu ve gelişimi nedeniyle traktörün ürüne vereceği zarar fazladır. Bu da maliyetleri artırır. Geç dönemde sırt pülverizatörünün etkililiği düşmektedir. Bitki ilaçlamada zirai İHA kullanımı birçok çalışmada konu

edilmiştir (He ve Zhang, 2014; Ay ve İnce, 2015; Akkemiş ve Çalışkan, 2020; Bai ve ark., 2023). Yang ve ark. (2018) İHA'ların tarım alanlarında kullanımına yönelik yaptıkları çalışmalarında verimli bir yöntem olmakla birlikte maliyetlerin henüz yüksek olmasının tercih edilmesini olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. Ancak çalışmamızda İHA'lar traktör tahrikli pülverizatörlere tercih edilmiştir. Bu durumun, traktörün de başta akaryakıt, bakım ve onarım olmak üzere maliyetinin yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Sonuç

Bu çalışmada AHP ile en uygun bitki koruma makinesinin seçimi amaçlanmıştır. Uygulamada en fazla kullanılan bitki koruma makinesi olan pülverizatörler araştırma kapsamına alınmış ve traktör tahrikli pülverizatör, sırt pülverizatörü ve zirai İHA olarak üç çeşidi seçilmiştir. Literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak en uygun bitki koruma makinesinin seçimi için yöntemin etkililiği, uygulama maliyeti, uygulamanın bitkiye verdiği zarar, uygulama süresi, hava koşulları, arazinin durumu ve çevreye zarar olmak üzere yedi farklı kriter belirlenmiştir.

Analizler sonucunda bu kriterlerden önemli olanları sırasıyla yöntemin etkililiği, uygulama maliyeti, uygulamanın bitkiye verdiği zarar, uygulama süresi, hava koşulları, arazinin durumu ve çevreye verdiği zarar olmuştur. Bu doğrultuda katılımcılar erken dönem ilaçlamada ve geç dönem ilaçlamada ise zirai İHA'yı tercih etmektedirler. Bu faktörler, bir bitki koruma makinesi seçerken dikkate alınması gereken genel kriterlerdir. Ancak her durum farklı olduğu için, kullanıcı ihtiyaçlarına ve tarla koşullarına özel bir değerlendirme yapmak önemlidir.

Etik Kurul İzni

Bu çalışma için etik kurul izni Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Etik Kurulunun 31/01 / 2024 tarihli ve 2024/01-47 numaralı kararı ile alınmıştır.

Kaynaklar

- Akkemiş, M., ve Çalışkan, S. (2020). İnsansız hava araçları ve tarımsal uygulamalarda kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 8-16.
- Aktaş, E., ve Yurdakul, O. (2005). Destekleme ve Teknoloji Politikalarının Çukurova Bölgesinde Mısır Tarımı Üzerine Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, (1), 19-28.

- Akyıl, N., ve Özüdoğru, T. (2001). Türkiye Tarımında Kimyasal ilaç Kullanımı: Etkinsizlik, Sorunlar ve Alternatif Düzenlemelerin Etkileri. *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü*.
- Aşık, M., Yetik, A. K., Candođan, B. N., ve Kuşçu, H. (2021). Determining the yield responses of maize plant under different irrigation scenarios with AquaCrop model. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 5(3), 260-270. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2021.3.2>
- Ay, F., ve İnce, G. (2015). Application of pesticide using unmanned aerial vehicle. In *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1268-1271). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIU.2015.7130069>
- Aydın, B., Unakıtan, G., Yılmaz, F., Azabađaođlu, Ö., ve Demirkol, C. (2016). Bitkisel üretimde çiftçilerin girdi kullanım kararlarının analizi: Trakya Bölgesi örneği. *Uludađ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(2), 45-56.
- Aygün, İ., Urkan, E., Alayunt, F. N., ve Çakmak, B. (2021). Tarımsal Faliyetlerde Sırtta Taşınarak Kullanılan Bazı Makinaların Ergonomik Açından Deđerlendirilmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(3), 109-116. <https://doi.org/10.29137/umagd.1014574>
- Bai, Y., Zhang, B., Xu, N., Zhou, J., Shi, J., ve Diao, Z. (2023). Vision-based navigation and guidance for agricultural autonomous vehicles and robots: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 205, 107584. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107584>
- Bakker, L., Sok, J., Van Der Werf, W., ve Bianchi, F. J. J. A. (2021). Kicking the habit: what makes and breaks farmers' intentions to reduce pesticide use?. *Ecological Economics*, 180, 106868. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106868>
- Bayramoğlu, Z., ve Özdemir, Ş. (2021). Tarım arazilerinin değeri üzerine etki eden faktörlerin analizi: Ankara ili Evren ilçesi örneği. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(5), 848-854.
- Birinci, A., ve Uzundumlu, A. S. (2009). An assessment of producer's approach to agricultural pesticide usage in potato production: a case study in Erzurum, Turkey. *Academic Journals*, 4(11), 1225-1228.
- Chen, C. J., ve Huang, C. C. (2004). A multiple criteria evaluation of high-tech industries for the science-based industrial park in Taiwan. *Information & Management*, 41(7), 839-851. <https://doi.org/10.1016/j.im.2003.02.002>
- Coates, W. (1996). Spraying technologies for cotton: deposition and efficacy. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(3), 287-296. <https://doi.org/10.13031/2013.25651>
- Czarnecka, D., Czubačka, A., Agacka-Mołdoch, M., Trojak-Goluch, A., ve Księżak, J. (2022). The occurrence of fungal diseases in maize in organic farming versus an integrated management system. *Agronomy*, 12(3), 558. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030558>
- Demir, B. (2015). İç Anadolu bölgesinin bitki koruma makineleri projeksiyonu. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 28(1), 27-32.
- Demir C. ve Çelen İ. H. (2006). Tekirdađ ilindeki tarımsal işletmelerdeki pülverizatörlerin durumu ve sorunları üzerine bir araştırma. *Ankara, Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(1), 23-28.
- Dengiz, O., Ormancı, İ. F., ve Özkan, B. (2022). Çok kriterli karar verme ve doğrusal kombinasyon tekniği ile arazilerin tarımsal uygunluk derecelerinin belirlenmesi pilot çalışması: Ankara-Gölbashi özel çevre koruma alanı ve yakın çevresi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 10(1), 44-57.
- Dileep, M. R., Navaneeth, A. V., Ullagaddi, S., ve Danti, A. (2020, November). A study and analysis on various types of agricultural drones and its applications. In *2020 Fifth International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks* (pp. 181-185). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRCICN50933.2020.9296195>
- Dursun, E. (1994). Tarla Pülverizatörlerinde İlaçlama Özelliklerinin İyileştirilmesi
- Olanakları. A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı Doktora Tezi. Ankara.
- Ekşili, N., Ünal, Z., ve Çetin, E. İ. (2017). Analyzing retrenchment strategies of five star hotels during the crisis periods using fuzzy DEMATEL method. *Business and Economics Research Journal*, 8(2), 259-273.
- Gedikli, O., Uzundumlu, A. S., ve Tozlu, G. (2015). Mısır Üretiminde Kimyasal İlaç Kullanımını Etkileyen Faktörlerin Analizi: Samsun İli Örneği. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 1-8.
- Gulzar, Y., Eksili, N., Caylak, P. C., ve Mir, M. S. (2023). Sustainability Consciousness Research Trends: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 15(24), 16773. <https://doi.org/10.3390/su152416773>
- Günden, C., ve Miran, B. (2008). Bulanık analitik hiyerarşi süreci kullanılarak çiftçi kararlarının analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45(3), 195-206.
- He, Y., ve Zhang, Y. (2014). Current status and future of the agricultural Unmanned Aerial System. *Modern Agricultural Machinery*, 1, 1-5.
- Liu, W., Wang, X., Ding, W., ve Qiu, W. (2012). Design and characteristics analysis of variable spraying control system for knapsack sprayer. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 28(9), 16-21.
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Örük, G., ve Engindeniz, S. (2019). Örtüaltı domates yetiştiren üreticilerin girdi kullanım kararlarının analitik hiyerarşi süreci ile analizi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(3), 343-348.
- Özalp, B., ve Güldal, H. T. (2017). Tohum, kimyasal gübre ve ilaç kullanımı açısından mısır üreticilerinin çevre ve insan sağlığı üzerine duyarlılığı: Adana ili örneği. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 23(1), 13-24. <https://doi.org/10.24181/tarekoder.315313>
- Özcan, S. (2009). Modern dünyanın vazgeçilmez bitkisi mısır: genetiği değiştirilmiş (transgenik) mısırın tarımsal üretime katkısı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 1-34.
- Özpinar, A. (2001). Çanakkale ili domates ekim alanlarında bitki koruma sorunlarının belirlenmesi. *Türkiye IX. Fitopatoloji Kongresi*, 3-8.
- Qin, W., Chen, P., ve Wang, B. (2023). Productivity model and experiment of field crop spraying by plant protection unmanned aircraft. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1168228. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1168228>
- Raut, L. P., Jaiswal, S. B., ve Mohite, N. Y. (2013). Design, development and fabrication of agricultural pesticides sprayer with weeder. *International Journal of Applied Research and Studies*, 2(11), 1-8.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Sajadian, M., Khoshbakht, K., Liaghati, H., Veisi, H., ve Damghani, A. M. (2017). Developing and quantifying indicators of organic farming using analytic hierarchy process. *Ecological Indicators*, 83, 103-111.
- Temel, U., ve Öztekin, Y. (2020). Evaluation of Plant Protection Machines Used in Tokat Province in Point of Product Safety. *Tekirdađ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(3). <http://doi.org/10.33462/jotaf.639208>
- Tiryaki, O., Canhilal, R., ve Horuz, S. (2010). Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. *Erciyes üniversitesi fen bilimleri enstitüsü fen bilimleri dergisi*, 26(2), 154-169.
- Tolun, B. G., ve Tümtürk, A. (2020). AHP ile bütünlük gri ilişkisel analiz yöntemi ile makine seçimi: tarım makinaları üretim işletmesinde bir uygulama. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 27(1), 21-34.

- Torunlar, H., ve Nazlıcan, A. N. (2018). Türkiye'de ana ürün olarak yetiştirilecek soyanın (*glycine max L. merrill*) çok kriterli karar verme yöntemiyle arazi uygunluk analizinin yapılması. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(3), 270-281.
- TUIK. (2023). Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri.
- Uzundumlu, A. S., Kılıç, B., ve Tozlu, G. (2017). Fındık üretiminde kimyasal ilaç kullanımını etkileyen faktörlerin analizi: Giresun İli Örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 1-9.
- Ünal, Z., ve Çetin, E. İ. (2019). Gübre üreticisinin hedef pazar seçiminde bütünlük AHP-TOPSIS yöntemi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(3), 357-364. <https://doi.org/10.29136/mediterranean.584120>
- Ürkmez, Ü., ve Özpinar, S. (2013). Bitki Koruma Makinalarının Uygulamadaki Sorunlarının Belirlen-mesi: Çanakkale İli. 28. *Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi (4-6 Eylül 2013, Konya) Bildirileri*, 253-261.
- Veisi, H., Deihimfard, R., Shahmohammadi, A., ve Hydarzadeh, Y. (2022). Application of the analytic hierarchy process (AHP) in a multi-criteria selection of agricultural irrigation systems. *Agricultural Water Management*, 267, 107619.
- Wilson, C. (2000). Environmental and human costs of commercial agricultural production in South Asia. *International Journal of Social Economics*, 27(7/8/9/10), 816-846. <https://doi.org/10.1108/03068290010335244>
- Wind, Y., ve Saaty, T. L. (1980). Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management science*, 26(7), 641-658.
- Yang, S., Yang, X., ve Mo, J. (2018). The application of unmanned aircraft systems to plant protection in China. *Precision agriculture*, 19, 278-292. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9516-7>
- Yıldırım, E. (2000). Tarımsal Zararlılarla Mücadele Yöntemleri ve Kullanılan İlaçlar, *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları*.