

Entropi Tabanlı Gri İlişkisel Analiz Modeliyle En Uygun İHA Modelinin Tarım Faaliyetleri İçin Değerlendirilmesi

Evaluation of the Most Appropriate UAV Model for Agricultural Activities with Entropy-Based Grey Relational Analysis Model

Beyzanur ÇAYIR ERVURAL ¹ 

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü Konya, Türkiye

Öz

Tarım faaliyetleri insanlığın devamı için önemli olup üretimde sürdürülebilirliğin sağlanmasında büyük rol oynamaktadır. Teknolojik gelişmeler sayesinde tarım faaliyetlerinde ve arazi çalışmalarında iyileşme ve verimlilik artmıştır. Hassas tarım uygulamaları sayesinde uzaktan kontrol ve algılama sistemleri ile insansız hava araç (İHA) teknolojileri kullanılarak daha etkili tarım yönetim stratejileri geliştirilmiştir. Güncel teknolojiler sayesinde hem verimlilik artmış hem de ekonomik ve güvenilir biçimde uydu uzay teknoloji entegrasyonu ile geleneksel yöntemlerin dışına çıkılmaktadır. İHA'ların farklı alanlardaki başarısı göz önünde bulundurulduğunda, tarımsal faaliyetlerde etkinliğin artırılmasına yönelik en uygun İHA modelinin belirlenmesi, önemli bir karar verme problemi. Problemin karmaşık yapısı, birden fazla kriter ve alternatifi barındırması, verilerdeki belirsizlik nedeniyle karar verme ve gri ilişkisel analiz (GİA) yaklaşımı kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Öncelikle İHA teknolojisinin tarım sektörü üzerindeki etkilerini daha geniş bir perspektiften değerlendirmek için PEST (politik, ekonomik, sosyal ve teknolojik) analizi yapılmıştır. Ardından çok boyutlu ve stratejik önemde bir karar problemi olması nedeniyle daha güvenilir sonuç sunması beklendiği için iki aşamalı bir yaklaşım olan entropi tabanlı gri ilişkisel analiz yaklaşımı ile ideal İHA modeli araştırılmaktadır. Buna göre A1 modeli en uygun İHA tipi olarak ortaya çıkmış bunu A6, A4, A2, A3 ve A5 modelleri izlemektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların araştırmacılara ve tarım faaliyetlerinde aktif rol alanlara, sunduğu analitik yaklaşımıyla yardımcı olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gri ilişkisel analiz, entropi, tarımsal verimlilik, PEST analizi, İHA

Abstract

Agricultural activities are important for the continuation of humanity and play a major role in ensuring sustainability in production. Thanks to technological developments, improvements and efficiency in agricultural activities and land studies have increased. Thanks to precision agriculture practices, more effective agricultural management strategies have been developed by using remote control and sensing systems and unmanned aerial vehicle (UAV) technologies. In this way, thanks to current technologies, both productivity has increased and traditional methods are overcome with the integration of satellite space technology in an economical and reliable way. Considering the success of UAVs in various fields, determining the most suitable UAV model to improve efficiency in agricultural activities is a significant decision-making problem. Due to the complex nature of the problem, multiple criteria and alternatives, and uncertainty in the data, successful results are obtained by using decision making and grey relational analysis (GRA) approach. First, a political, economic, social and technological (PEST) analysis was conducted to assess the impacts of drone technology on the agricultural sector from a broader perspective. Then, since it is a multidimensional and strategically important decision problem, the ideal UAV model is investigated with the entropy-based grey relational analysis approach, which is a two-stage approach since it is expected to provide more reliable results. Accordingly, the A1 model emerged as the most suitable UAV type, followed by the A6, A4, A2, A3 and A5 models. The results obtained from this study are expected to help researchers and those who take an active role in agricultural activities with the analytical approach it offers.

Keywords: : Grey relationship analysis, entropy, agricultural productivity, PEST analysis, UAV

I. GİRİŞ

İnsansız hava aracı (İHA) teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde ihtiyaç duyulan pek çok alanda hem stratejik hem de operasyonel seviyede yüksek verimlilikte ve hızlı bir şekilde sonuçlar alınabilmektedir. Özellikle yaygın olarak askeri alanda kullanılmakla birlikte keşif, trafik gözlem, yangın söndürme, tarımda, acil tıbbi hizmetlerde, arama kurtarma çalışmalarında, kolluk kuvvetlerinde, ulusal güvenlik ve lojistik gibi temel belli başlı uygulama alanları mevcuttur [1].

Drone olarak da ifade edilebilen İHA'lar, kullanımlarının artmasıyla birlikte, ülkeler bu araçları havacılık düzenleme çerçevelerine dahil etmekte ve ilgili mevzuatlar sürekli olarak gözden geçirilmektedir. Dünya genelinde, her türlü İHA için farklı düzenleyici standartlar uygulanmaktadır. Dronelar mekanik ve elektronik bileşenlerden oluşmaktadır. Buna göre sensor, uygun kamera seçimi, hız, dayanıklılık, pil ömrü gibi unsurlar dronelerin performansını ve tercih edilebilirliğini etkilemektedir. Drone kullanımı kısıtlayan en önemli sınırlılıklardan biri pil süresinin yeterli olmamasıdır [1]. Şuan pil teknolojisi için yapılan çalışmalarda havada şarj edilmesine yönelik ve alternatif batarya teknolojileriyle havada kalış süresini uzatmaya yönelik iyileştirmeler devam etmektedir [2].

Bu çalışmada, geniş bir kullanım alanına sahip olan İHA'ların tarımsal arazilerdeki kullanımına odaklanılmıştır. Tarım arazilerinde verimliliğin artırılması ve işgücüne bağımlılığın azaltılması için otonom sistemlerin yani teknolojik ürünlerin tarım sahasında yaygın ve pratik biçimde uygulanması gerekmektedir. Buna göre tarım piyasasında rakiplere göre daha avantajlı hale gelinmektedir. Ayrıca tüm dünyanın takip ettiği İHA teknolojisinin tarımsal uygulamaları ile küresel dünya ile paralel ilerlenebilmektedir. Bu amaçla, öncelikle, bu teknolojinin tarım sektörü üzerindeki etkilerini daha kapsamlı bir bakış açısıyla değerlendirebilmek amacıyla PEST (politik, ekonomik, sosyal ve teknolojik) analizi gerçekleştirilmiştir. İncelenen konu çok sayıda farklı tipte unsuru (sayısal/sözel veri tipi) içerdiği, verilerde belirsizlikler bulunduğu ve yapısı karmaşık olduğu için analitik karar verme yöntemlerine başvurulması gerekmiştir. Buna göre hangi İHA modelinin tarımsal uygulamalarda başarılı olduğu değerlendirilmiş ve bu değerlendirmenin objektif ve etkin biçimde olabilmesi için iki aşamalı Entropi temelli GİA ilişkisel analiz modeli kullanılmıştır.

İHA'ların teknik donanım uzaktan komuta edilmesi ya da otonom olarak kendi güç sistemiyle çalışabilmesi ve kullanım alanına göre gövdeye takılan yük desteği ile çeşitli görevlerde kullanılabilmektedir. Buna göre

dikey uçuş yapan, yatay uçuş yapan, iki özelliği birleştiren döner kanatlı araçlar olarak tasarlanan modelleri mevcuttur. Farklı teknik özelliklerde çeşitli tasarımlarla çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Çeşitli görevler için tasarlanan farklı şekil ve boyutlarda, farklı kanat ve motor yapılarına sahip İHA'lar geliştirilmiştir. Buna göre sabit kanatlı, döner kanatlı ve hareketli kanat olmak üzere üç farklı İHA kategorisine vurgulama yapılmaktadır:

Sabit kanatlı İHA'lar, göç eden kuşlar gibi kısa mesafelerde uçabilen, aerodinamik tasarımları sayesinde sürüklenmeyi minimize edebilen ve dikey dengede kalabilen hava araçlarıdır [2]. Bu İHA'lar, özellikle araştırma ve geliştirme çalışmalarında büyük bir ilgi görmektedir. Genellikle, sabit kanatlı İHA'lar pervane, motor, ana gövde ve kanatlardan oluşur [2]. Döner kanatlı İHA'lar, üzerlerindeki rotorlar aracılığıyla ürettikleri kuvveti dengeleyerek uçabilen hava araçlarıdır [2]. Yüksek manevra kabiliyeti ile belirli yörüngeleri izleyebilme, dikey iniş ve kalkış yapabilme, ayrıca havada asılı kalabilme gibi özelliklere sahiptirler. Bu özellikleri sayesinde döner kanatlı İHA'lar, geniş bir kullanım alanına sahip olup, pist ya da geniş alan gerektirmediği için araştırma merkezleri ve üniversiteler tarafından havadan yapılan robotik araştırmalarda yaygın olarak tercih edilmektedir [3]. Hareketli kanatlı İHA'lar, kuşlar ve böceklerin kanat çırpma hareketlerinden ilham alarak tasarlanmış hava araçlarıdır. Bu araçlar, biyolojik yapıları kuşlardan ve böceklerden alıp, uçuş dinamikleri açısından diğer İHA'lara göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir [4]. Çoğunlukla elle kontrol edilen bu İHA'lar, ileri yönde başarılı bir şekilde uçuş gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca, dikey iniş ve kalkış yapabilme, havada asılı durabilme gibi özellikleri sayesinde geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir.

Havacılık konusunda atılan her adım ülkelerin birbirleriyle olan üstünlük yarışında önemli olmaktadır. Çünkü içinde bulunulan koşullarda hava sahalarının yarıştığı ve egemenlik sağlandığı en büyük arena olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada oldukça geniş uygulama alanı olan İHA'ların tarımsal arazi kullanımlarındaki uygulamalarına değinilecektir. Öncelikle bu teknolojinin tarım sektörü üzerindeki etkilerini daha geniş bir perspektiften değerlendirmek için PEST (politik, ekonomik, sosyal ve teknolojik) analizi yapılmıştır. Kapsadığı çok sayıda nicel ve nitel faktör varlığı, verilerdeki belirsizlik ve karmaşık yapısı nedeniyle analitik karar verme yöntemlerine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada Entropi temelli GİA ilişkisel analiz yönteminden yararlanılarak tarımsal faaliyetlerde en uygun İHA modeli belirlenmeye

çalışılacaktır. Özellikle zirai ve tarımsal süreçlerin planlamasında bu çalışmanın yol gösterici olması beklenmektedir. Entropi yönteminin objektif bir ağırlıklandırma yöntemi olması ve belirsizlik ve eksik veri altında karar vermede GİA yönteminin başarılı sonuçlar sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci kısmında tarımda İHA uygulamalarından ve PEST analizi ile değerlendirilmesinden bahsedilecektir. Üçüncü kısımda genel olarak literatür araştırması ele alınmaktadır. Dördüncü kısımda kullanılan yöntemler açıklanmış ve beşinci kısımda iki aşamalı yöntemin uygulanmasından bahsedilmiştir. Altıncı kısımda elde edilen analiz sonuçları paylaşılmış ve son kısımda sonuç ve gelecek araştırmalara yönelik öneriler verilmiştir.

II. TARIMDA İHA UYGULAMALARININ ÖNEMİ ve PEST ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Tarımda İHA uygulamaları son yıllarda büyük bir gelişme göstermiş ve bu teknolojiler tarım sektörünün farklı alanlarında önemli katkılar sunmaktadır. İHA'lar, tarımda kullanılan geleneksel yöntemlerin yerine daha verimli, hızlı ve hassas çözümler sunmaktadır. Tarımda İHA uygulamalarının önemini anlatan bazı başlıca hususlar şu şekilde açıklanabilir:

- **Verimlilik Artışı:** İHA'lar, tarlaların havadan hızlı bir şekilde izlenmesini sağlayarak, ürünlerin büyüme durumunu, sulama ihtiyacını, hastalık veya zararlıların varlığını daha hızlı tespit etmeye yardımcı olur. Bu da üreticilerin daha etkin ve zamanında müdahalelerde bulunmasına olanak tanır. İHA'ların tarımda kullanımıyla ilgili yapılan araştırmalar ve pilot projeler, verimlilik artışlarının ciddi oranda olduğunu göstermektedir [5]. Özellikle hassas tarım uygulamaları sayesinde toprak sağlığı, bitki gelişimi ve sulama ihtiyaçları daha doğru bir şekilde tespit edilebilmiştir.
- **Hassas Tarım:** İHA'lar, tarlalar üzerinde yüksek çözünürlüklü görüntüler elde ederek, bitkilerin gelişim süreçlerini detaylı şekilde izler. Böylece, her bitkinin ihtiyacına göre farklı müdahaleler yapılabilir. Bu da tarımda su, gübre ve ilaç kullanımını optimize ederek maliyetleri düşürür ve çevreye olan etkileri azaltır. FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) raporlarına göre, tarım sektörü küresel su tüketiminin yaklaşık %70'ini kullanmaktadır [6]. İHA'lar sayesinde su yönetimi daha hassas hale gelirken, su tüketiminin ciddi oranda azaldığı görülmüştür.
- **Zararlı Tespiti ve Hastalık İzleme:** İHA'lar, tarım alanlarında potansiyel zararlıları veya hastalıkları erken aşamalarda tespit edebilir. Bu sayede, kimyasal ilaçların gereksiz yere kullanılmasının önüne geçilerek, hem maliyet düşmekte hem de çevreye zarar verilmemektedir. Bitki hastalıkları ve zararlılar hakkında erken uyarı sistemlerinin daha hızlı ve doğru sonuç verdiği ortaya çıkmıştır[7]. Bu sayede, çiftçiler hastalıkları erken tespit edip gerekli tedbirleri daha hızlı alabilmektedir. İHA teknolojileri sayesinde pestisit kullanımının azaldığı ortaya konulmuştur.
- **Veri Toplama ve Analiz:** İHA'lar, çok sayıda sensörle donatılarak, tarım alanlarındaki verileri (toprak nemi, sıcaklık, ürün sağlığı, vb.) toplar ve bu veriler analiz edilir. Bu sayede, tarım yönetimi daha bilinçli bir şekilde yapılabilir. Araştırmalara göre, gübre dağıtımı ile geleneksel yöntemlere kıyasla yaklaşık %30 daha verimli sonuçlar elde edilmiştir [8].
- **Zaman ve İş Gücü Tasarrufu:** İHA'lar, özellikle geniş arazilere sahip tarım işletmeleri için çok büyük bir zaman ve iş gücü tasarrufu sağlar. Uçuşlar hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir ve insan gücü gereksinimi azalır. Tarımda geniş arazilerde yapılan çalışmalarda, iş gücü ve zaman tasarrufu açısından İHA'ların büyük katkı sağladığı görülmektedir. Özellikle geniş alanların izlenmesinde, geleneksel yöntemlere göre ciddi bir iş gücü tasarrufu sağlanmıştır [9].
- **İklim Değişikliği ile Mücadele:** Tarımda kullanılan su ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması, İHA'ların en büyük katkılarında biri olmuştur. Bu, iklim değişikliğiyle mücadeleye de dolaylı olarak katkı sağlamaktadır. İHA'lar kullanılarak yapılan tarla izleme işlemleriyle, toprak sağlığına ilişkin daha fazla veri toplanmış ve ürün gelişiminde %10-15 arasında bir iyileşme sağlanmıştır. Tarımda İHA kullanımı, karbon salınımını önemli oranda azaltabilir. Bu, çevreye daha az zarar verilmesine ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının teşvik edilmesine olanak tanımaktadır [10].
- **Erken Uyarı Sistemi:** Tarım alanındaki doğal afetler, kuraklık, sel gibi durumlar hakkında erken uyarılar alınabilir. Bu, üreticilerin önceden hazırlık yapmalarına ve olası zararları en aza indirmelerine olanak tanır.

Sonuç olarak, İHA' lar tarım sektörünü dönüştüren önemli bir araç haline gelmiş ve üreticilere daha verimli, çevre dostu ve sürdürülebilir bir tarım yapma imkanı sunmaktadır. İHA' lar, tarımda verimlilikten çevre dostu uygulamalara kadar pek çok açıdan büyük katkı sağlamaktadır. İstatistiksel veriler ve akademik çalışmalar, bu teknolojilerin tarım sektöründe verimlilik artışı, maliyet düşüşü ve çevresel sürdürülebilirlik sağlama konularında ne denli etkili olduğunu göstermektedir. Bu veriler, tarımda İHA uygulamalarının gelecekteki potansiyelinin ve sektördeki yerinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Tarımda İHA kullanımı için bir PEST analizi yapmak, bu teknolojinin tarım sektörü üzerindeki etkilerini daha geniş bir perspektiften değerlendirmek için önemlidir. PEST analizi, dış faktörlerin (Politik, Ekonomik, Sosyal ve Teknolojik faktörler) bir sektöre nasıl etki edebileceğini inceleyen bir yöntemdir. Tarımda İHA kullanımını bu faktörler açısından ele alalım:

Politik Faktörler

Tarımda İHA kullanımının politik boyutu, hükümetlerin ve düzenleyici organların belirlediği yasalar, teşvikler ve düzenlemelerle ilgilidir.

- **Tarım Politikaları ve Teşvikler:** Çiftçilerin İHA teknolojilerini benimsemeleri için devlet destekleri, sübvansiyonlar ve teşvikler önemli bir faktördür. Bazı ülkelerde, tarımda dijitalleşme ve teknolojik yeniliklere yönelik teşvikler mevcuttur. Örneğin, Avrupa Birliği, hassas tarım uygulamalarını teşvik etmek için fonlar sunmaktadır.
- **Düzenlemeler ve Lisanslar:** İHA kullanımına dair belirli hava sahası düzenlemeleri ve güvenlik protokolleri vardır. İHA'ların kullanımı, hava güvenliği ve özel mülk hakları ile ilgili yasal kısıtlamalarla karşılaşabilir.
- **Çevre Düzenlemeleri:** İHA'lar, çevre dostu tarım uygulamaları için teşvik edilebilir. Ancak, aşırı kullanım veya yanlış yönetim, çevreyi olumsuz etkileyebilir, bu da düzenleyicilerin dikkatini çeker.

Örneğin, Türkiye'de Tarım ve Orman Bakanlığı, İHA'ların tarımda kullanımını denetleyen düzenlemeler yayınlamıştır. Ayrıca, çiftçilerin İHA alımlarını kolaylaştırmak için belirli finansal destekler de sağlanmaktadır.

Ekonomik Faktörler

Tarımda İHA kullanımı, ekonomik koşullar ve tarım sektöründeki maliyet yapılarıyla doğrudan ilişkilidir.

- **Yatırım ve İşletme Maliyetleri:** İHA teknolojilerinin başlangıç maliyetleri yüksek olabilir. Ancak, uzun vadede gübre, ilaç ve su gibi kaynakların daha verimli kullanılması, maliyetleri düşürebilir. İHA'lar, geniş alanlarda hızlı veri toplama ve işlem yapma kapasitesi sayesinde iş gücü ve zaman tasarrufu sağlar.
- **Kâr Artışı:** İHA kullanımı, verimliliği artırarak çiftçilerin ürünlerinden elde ettiği kârı artırabilir. Hassas tarım sayesinde gereksiz harcamalar ve kaynak israfı azaltılabilir.
- **Finansman ve Erişim:** İHA'ların tarımda yaygınlaşması, tarım işletmeleri için finansman zorluklarıyla da ilgilidir. Küçük ölçekli çiftçiler için İHA'lar pahalı olabilir. Ancak finansman modelleri, leasing ya da kooperatif bazlı çözümlerle bu engel aşılabılır.

Örneğin, Hindistan'da, hükümetin sağladığı tarımda dijitalleşme teşvikleri ve tarımsal krediler, İHA'ların daha yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.

Sosyal Faktörler

Tarımda İHA kullanımının sosyal etkileri, çiftçilerin bu yeni teknolojilere adaptasyonu ve toplumun teknolojiyi kabul etme seviyesini kapsar.

- **Eğitim ve Bilinçlenme:** Çiftçilerin İHA kullanımına yönelik eğitimi önemli bir faktördür. İHA teknolojisi, yeni ve gelişen bir alan olduğu için, çiftçilerin bu konuda bilinçlenmesi ve eğitim alması gerekebilir. İHA'ların kullanımı, çiftçiler arasında dijital okuryazarlık seviyesini artırabilir.
- **Genç Tarım İşgücü:** Genç nüfusun tarım sektörüne ilgisi, teknolojiye olan yatkınlıkları ile artabilir. İHA'lar, genç nesli tarıma çekebilecek bir araç olabilir. Dijital tarım, yeni nesil için cazip bir kariyer alanı yaratabilir.
- **Toplumun Teknolojiye Uyumu:** Tarımda İHA kullanımına karşı toplumsal direnç olabilir. Bazı çiftçiler, teknolojiye karşı temkinli yaklaşabilir ve geleneksel yöntemlere sadık kalabilir. Bu, sosyal uyum ve kabul edilme açısından bir zorluk yaratabilir.

Örneğin, Hollanda'da, tarımda yüksek teknoloji kullanımına karşı halkın büyük bir ilgisi bulunmaktadır ve çiftçiler İHA'ları kullanmak için eğitim programlarına katılmaktadır.

Teknolojik Faktörler

Tarımda İHA kullanımı, teknolojinin gelişimi ve inovasyonu doğrudan ilişkilidir.

- **Teknolojik Gelişmeler:** İHA'lar, yüksek çözünürlüklü kameralar, sensörler ve veri işleme sistemleri gibi gelişmiş teknolojilere dayanır. Bu teknolojiler zaman içinde daha erişilebilir hale gelmekte ve maliyetler düşmektedir. Ayrıca, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi yeni teknolojilerle İHA'lar daha verimli hale gelmektedir.
- **Veri Analizi ve Yapay Zeka:** İHA'lar tarafından toplanan verilerin doğru bir şekilde analiz edilmesi ve işlenmesi, tarımsal verimliliği artırabilir. Bu,

tarımda veri odaklı karar alma süreçlerini güçlendirebilir.

- **Otomasyon:** İHA'ların ve diğer tarımsal robot teknolojilerinin otomasyonu, tarımın geleceğini şekillendirebilir. Daha düşük iş gücü gereksinimi ve daha fazla verimlilik sağlanabilir.

Örneğin, Çin'de, drone teknolojisi kullanılarak yapılan tarımsal ilaçlama ve gübreleme uygulamaları, geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha hızlı ve etkili sonuçlar vermektedir. Ayrıca, yeni teknolojilerle birlikte İHA'lar daha hafif, daha uzun süre uçabilen ve daha ucuz hale gelmiştir.

Politik faktörler

- *Tarım politikaları ve teşvikler
- *Düzenlemeler ve lisanslar
- *Çevre düzenlemeleri

Sosyal faktörler

- *Eğitim ve bilinçlenme
- *Genç tarım işgücü
- *Toplumun teknolojiye uyumu

Ekonomik faktörler

- *Yatırım ve işletme maliyetleri
- *Kâr artışı
- *Finansman ve erişim

Teknolojik faktörler

- *Teknolojik gelişmeler
- *Veri analizi ve yapay zeka
- *Otomasyon

Görüldüğü gibi, tarımda İHA kullanımı, PEST analizinin dört ana faktörü göz önünde bulundurulduğunda, oldukça potansiyelli ancak dikkatle yönetilmesi gereken bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Politika yapımcıların, ekonomik teşviklerin, sosyal kabulün ve teknolojik yeniliklerin uyum içinde çalışması, İHA'ların tarımda başarıyla uygulanmasını destekleyecektir. Yine de, bu teknolojinin yaygınlaşması için eğitim, düzenlemeler ve finansal çözümler gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.

III. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İHA'ların hemen hemen tüm tarım uygulamalarında, görev gereksinimlerini karşılamak için yüksek manevra kabiliyeti ve taşıma kapasitesi gereklidir. Bu nedenle, çok rotorlu tipler, aynı boyuttaki sabit kanatlı dronlardan daha esnek ve güçlü oldukları için giderek daha fazla ilgi görmektedir (Wen ve diğerleri, 2019).

Örneğin, dronlar bulutlu günlerde yüksek kaliteli ve yüksek çözünürlüklü görüntüler sunabilir [3]. Ayrıca, kullanılabilirlikleri ve transfer hızları da diğer faydalarını oluşturur[4]. Uçaklarla karşılaştırıldığında, dronlar oldukça uygun maliyetlidir ve kurulumu ve bakımı kolaydır [5]. Başlangıçta esas olarak askeri amaçlarla kullanılmalarına rağmen, dronlar tedarik

zinciri yönetiminde [6] insani amaçlarda [7] akıllı tarımda, araştırma ve haritalamada, kültürel miras dokümantasyonunda, afet yönetiminde ve orman ve yaban hayatı korumada [8] gibi çok sayıda sivil uygulamaya fayda sağlayabilir.

Tarımda, dronların çok çeşitli uygulama alanları mevcuttur; bunlar, mahsul yönetimini (örneğin, haritalama, izleme, sulama, bitki teşhisi) (H. Huang vd., [9] afet azaltmayı, erken uyarı sistemlerini, yaban hayatı ve ormancılığın korunmasını (Negash vd., [10] desteklemek için yeni teknolojiler, bilgi işlem yetenekleri ve yerleşik sensörlerle entegre edilebilir. Benzer şekilde, dronlar mahsul ve büyüme izleme, verim tahmini, su stresi değerlendirmesi ve yabancı otlar, zararlılar ve hastalık tespiti dahil olmak üzere çeşitli tarımsal faaliyetlerde kullanılabilir (Inoue, [11], Panday vd., [11]. Dronlar yalnızca duyuşal verilerine dayalı izleme, tahmin ve tespit amaçları için değil, aynı zamanda hassas sulama ve hassas yabancı ot, zararlı ve hastalık yönetimi için de kullanılabilir. Başka bir deyişle, dronlar çevresel verilere dayanarak hassas miktarlarda su ve pestisit püskürtebilir. Dronların tarımdaki faydaları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tarımda çok disiplinli ve çok amaçlı bir teknoloji olarak dronlar çeşitli perspektiflerden araştırılmıştır. Örneğin, araştırmacılar tarımda dron uygulamalarını (Kulbacki vd.,[26], Mogili ve Deepak, [27]), hassas tarıma katkılarını (Puri vd., [28], Tsouros vd., [29]) diğer son teknolojilerle tamamlayıcılığını (Al-Thani vd., [30], Dutta ve Mitra, [31], Nayyar vd.,[32]) ve navigasyon ve algılama yeteneklerini geliştirme olanaklarını (Suomalainen vd., [33]) incelemiştir. Tarımda dron uygulamalarına ilişkin araştırmalar

yaygınlaştığından (Khan vd., 2021), mevcut literatürü özetlemeye ve alanın entelektüel yapısını ortaya koymaya ihtiyaç vardır. Ayrıca, sürekli iyileştirmelerin yapıldığı yüksek teknoloji bir alan olarak, mevcut literatürü periyodik olarak özetlemek ve önemli araştırma boşluklarını belirlemek için detaylı incelemelerin yapılması gerekmektedir. Bugüne kadar, tarım sektöründe drone uygulamalarını tartışan birkaç inceleme bulunmaktadır.

Tablo 1. Tarımda dron kullanım alanları (Rejeb ve diğ. [6])

Dronların tarımsal uygulama örnekleri	Kullanılan yöntemler	Kaynak
Zamansal ve mekânsal algılama çözünürlüklerinin geliştirilmesi	Güncel uzaktan algılama sistemlerinin bitki su durumunun incelenmesinde kullanılır	Gago ve diğ., [12]
Hassas tarımın kolaylaştırılması	Bu çalışmaların temel amacı dar ve geniş bantlı çok spektral kameraların hassas tarımdaki yeteneklerini karşılaştırmaktır.	L. Deng ve diğ.,[14] , Kalischuk ve diğ.,[15] ; Maimaitijiang ve diğ., [14].
Mahsullerin sınıflandırılması ve araştırılması	Akıllı tarım için uzaktan algılama alanındaki son gelişmeler, temel alınarak tartışılmaktadır.	Inoue, [11], Kalischuk ve diğ., [13]; López-Granados ve diğ., [15]; Maimaitijiang ve diğ., [14] ; Melville ve diğ., [16], Moharana ve Dutta, [17].
Gübre kullanımı	İHA multispektral uzaktan algılama teknolojisinin hassas tarım için yararlı olduğu, ancak bitki örtüsü için kalibrasyon yöntemleri, son işlem teknikleri ve sağlam nicel çalışmalar konusunda daha fazla çabaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.	L. Deng ve diğ., [18], Guan ve diğ., [19]
Kuraklığın izlenmesi	Çok spektral sensörler, ölçekler arası endeks tabanlı bitki örtüsü izleme çalışmalarında kullanım için iyi bir potansiyel göstermektedir ayrıca diğer çalışmada buğday kuraklık durumunun değerlendirilmesinde İHA tarafından uzaktan algılama RGB görüntülerinin kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.	Fawcett ve diğ., [20], Panday ve diğ., [21]; Su ve diğ., [22]
Biyokütle tahmini	Hassas tarımda mahsul izleme önemlidir. Yer üstü biyokütlesini, tahmin etmek, mahsul canlılığını izlemeye ve verimi tahmin etmeye yardımcı olur. Süper yüksek çözünürlüklü, çok zamanlı küçük bir İHA'dan çekilen kırmızı, yeşil, mavi görüntülerden türetilmiştir.	Bendig ve diğ., [23]
Verim tahmini	Bitkilerin ve toprakların tanısal bilgilerine yönelik uzaktan algılama teknolojisindeki (platformlar, sensörler, algoritmalar) son gelişmeler değerlendirilmiştir.	Inoue, [11], Panday ve diğ., [21]

Tablo 1. Tarımda dron kullanım alanları (Rejeb ve diğ. [6]) (devamı)

Afet azaltma	Pahalı uyduların aksine, belirli sensörler ve araçlarla donatılmış İHA'lar kanıta dayalı planlama ve mekansal veri toplamada tarımı desteklemede büyük bir potansiyele sahiptir.	Negash ve diğ.[10]
Yaban hayatının ve ormancılığın korunması	Uzaktan algılama teknolojisindeki (platformlar, sensörler, algoritmalar) son gelişmeler değerlendirilmiştir.	Negash ve diğ.[10], Panday ve diğ., [21]
Su stresinin değerlendirilmesi	Uzaktan algılama teknolojisindeki (platformlar, sensörler, algoritmalar) son gelişmeler	(Inoue, [11])
Zararlı, yabancı otlar ve hastalık tespiti	Tarım alanlarındaki yabancı otların doğru tespiti ve tedavisi, ürün verimini yönetmek ve herbisit kirliliğinden kaçınmak için gerekli bir prosedürdür. Bu makalede, otomatik ve manuel yöntemleri birleştiren yabancı ot haritalarının oluşturulması için dört bağımsız sınıflandırma algoritmasını ve ayrıca iki alt kümede ayrı ayrı kullanılan nesne tabanlı ve piksel tabanlı sınıflandırma yaklaşımlarını test edilmiştir.	Gašparović ve diğ., [25], Inoue[11]

Örneğin, Mogili ve Deepak [27], drone'ların mahsul izleme ve pestisit püskürtme üzerindeki etkilerini kısaca incelemektedir. Inoue [11], tarımda uzaktan algılamada uydu ve drone kullanımını incelemektedir. Yazar, akıllı çiftçiliği benimsemenin teknolojik zorluklarını ve vaka çalışmaları ve en iyi uygulamalara dayalı olarak uyduların ve drone'ların katkılarını araştırmaktadır. Tsouros ve diğerleri [29], çeşitli veri toplama ve işleme yöntemlerini vurgulayarak farklı drone tiplerini ve tarımdaki ana uygulamalarını özetlemektedir. Daha yakın zamanda, Aslan ve diğerleri [34], tarımsal faaliyetlerde İHA uygulamalarını kapsamlı bir şekilde incelemiş ve serada bir İHA için eş zamanlı yerleştirme ve haritalamanın önemini vurgulamıştır.

Çalışmalar değerlendirildiğinde temel olarak üç başlıkta toparlanmıştır: İlki uzaktan algılama ve sensör teknolojilerini kullanarak tarımda İHA uygulamaları, ikincisi toprak ve ürün verimliliği gibi tohum ve gübreleme faaliyetlerine dayalı İHA uygulaması ve üçüncüsü temel olarak karar verme yaklaşımlarını kullanarak İHA kullanımıyla tarımda iyileştirme yapan çalışmalardır. Öncelikle sensör ve uzaktan algılama yaklaşımlarına entegre eden İHA uygulamasına örnekler şöyledir: Diaz-Gonzalez ve diğ.[35], farklı makine öğrenme teknikleri ve uzaktan algılama sistemlerine dayalı mahsul verimi üretimine ilişkin son çalışmaları incelemiştir. Buna göre, İHA'ların toprak göstergelerini tahmin etmede yararlı olduğunu ve mekansal çözünürlük, bilgi zamansallığı ve esneklik açısından uydu sistemlerinden daha iyi performans sağladığını göstermiştir. Awais vd. [36], su durumunu tahmin etmek için mahsullerde İHA uzaktan algılama verilerinin uygulanmasını ve atık stresi uygulaması için

İHA uzaktan algılamanın olası kapasitesinin ölçülmesinde yararlanmıştır. Son olarak, Aquilani vd. [37], mera bazlı hayvancılık sistemlerinde uygulanan öngörülü çiftçilik teknolojilerini incelemiş ve İHA'lar tarafından sağlanan uzaktan algılamanın biyokütle değerlendirmesi ve sürü yönetimi için avantajlı olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca, son zamanlarda İHA'ları hayvanların izlenmesi, takip edilmesi ve toplanmasında kullanma çabaları da belirtilmiştir. Marin vd. [38], ürün hasarını belirlemek için multispektral kamera ile donatılmış bir İHA kullanmanın, çiftçilerin doğru kararlar almasına ve üretim kayıplarını azaltmasına yardımcı olmak için zamanında ve kesin bilgiler sağlayabileceğini belirtmiştir.

Ürün verimliliği, tohum ekme, gübreleme gibi tarım arazilerini iyileştirme ve verimlilik artırma amaçlı şu çalışmalar örnek verilebilir: Vayssade ve diğ. [39], çiftlik hayvanlarını izlemek için etkili bir yol önermiş ve Xu ve diğ. [40], ürün verim tahmininde dronedan yararlanmıştır. Nahiyoond vd. [41], havadan ilaçlama için İHA kullanmayı önermiş ve ortalama öldürücü damlacık sayısını ve biyosidal yarıçaplarını değerlendirerek ilaçlama parametrelerinin pestisitlerin etkinliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu durumda, İHA kimyasal ve gübre dağıtımının hassas kontrolünde yardımcı olarak milyarlarca dolar tasarruf sağlayabileceği fark edilmiş ve bu sayede kimyasal kullanımın ve potansiyel çevre kirliliğinin önemli ölçüde azaltılabileceği ortaya konulmuştur. Wu vd. [42], bir İHA'ya bir tohum ekme makinesi monte ederek toprakta daha iyi bir dağılım için tohumların yörüngesini değiştirmek üzere bir engel halkası tasarlamıştır. İHA ile doğrudan tohumlamanın uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

Karar verme yaklaşımlarını ele alan çalışmalar değerlendirildiğinde şu şekilde özetlenebilir. Kara vd. [43] itfaiye dronları arasından en uygun olanının seçilmesi için AHP temelli COPRAS yaklaşımı ile yangın müdahalesi konusunu ele almışlardır. Buna göre çalışmada ele alınan kriterler tank kapasitesi, püskürtme hızı, uçuş hızı, tam kapasiteli havada kalma süresi, optimum atış irtifası ve birim fiyatı şeklindedir.

Göncü [44] çalışmasında tarımsal ilaçlama işlemi için kullanılacak dron tercihlerini etkileyen faktörleri değerlendirmek için SWARA yöntemini kullanmıştır. Buna göre taşınabilecek yük miktarı en önemli faktör olarak ortaya çıkarken ağırlık kriteri en az öneme sahip faktör şeklinde elde edilmiştir. Eren ve diğ.[45] afet durumunda kullanılan İHA'ların olay yerine en hızlı ulaşımına yönelik bir karar modeli geliştirmişlerdir buna göre AHP tabanlı TOPSIS yöntemiyle en uygun İHA'lar temel olarak havada kalma süresi, yük taşıma kapasitesi, birim fiyat, menzil ve ağırlık kriterlerine göre seçilmiştir. Kara ve Eren [46] afet bölgelerinde en uygun dron seçim problemi Pisagor bulanık AHP temelli PROMETHEE ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak seçilmiş ve hasar tespit çalışmalarında en yüksek verimde görüntü alma kabiliyeti olan dron seçimi yapılmıştır. Demir ve Boz (2024) sağlık sektöründe ilaç dağıtımında kullanılacak dronlar için DEMATEL ve SWARA temelli MAUT yaklaşımı kullanılarak ideal dron seçiminin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Singh ve diğ. [47], sürdürülebilir tarım faaliyetlerinde drone kullanımının önündeki engelleri incelemiştir. Sürdürülebilir tarımda drone uygulamasının önündeki engelleri analiz etmek için hibrit bulanık-DEMATEL-MMDE-ISM tabanlı bir yaklaşım önermiştir. Bulanık-DEMATEL tekniği benimsenmiştir. Ardından, engellerin üç seviyeli hiyerarşik yapısını oluşturmak için yorumlayıcı yapısal modelleme yöntemi için eşik değerini belirlemek üzere maksimum ortalama de-entropi yöntemi uygulanmıştır. En önemli engellerin kararlılık ve güvenilirlik, drone sensor kalitesi ve drone yük kapasitesi olduğu görülmüştür. Uçuş süresi, yüksek ilk maliyet ve bakım altyapısı, önemli engeller ile kamu algısı ve psikolojik engel arasında bağlantı engelleri olarak hizmet etmektedir.

Literatürde İHA'nın tarım uygulamaları hakkında farklı çalışmalar olsa da halen konunun öneminden dolayı pek çok uygulamaya ihtiyaç vardır. Ayrıca incelemelerden elde edilen sonuca göre, bu çalışmada ele alındığı biçimde hem PEST analiz yapılarak hem de entropi tabanlı GİA yaklaşımını kullanan entegre bir model önerisine rastlanmamış bu açıdan literatüre katkı sunulması beklenmektedir.

IV. YÖNTEMLER

Bu kısımda çalışmada kullanılan yöntemlerden öncelikle entropi yöntemi açıklanacak ardından gri ilişkisel analiz yöntemine değinilecektir.

4.1. Entropi Yöntemi

Entropi kavramı, mühendislik ve fen bilimleri gibi birçok temel disiplinde, ayrıca matematik ve bilgi teorisi alanlarında önemli bir rol oynamaktadır. Entropi yöntemi, karar verme süreçlerinde, AHP ve Delphi gibi geleneksel yöntemlere göre, karar vericinin subjektif yargılarına gerek kalmadan kriterlerin önem derecelerini belirlemede kullanılan objektif bir değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemin adımları şu şekilde sıralanabilir:

$$\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

burada x_{ij} : i . alternatifin j . kriterine göre başarı değeridir, $i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, n$.

1. Karar Matrisi Normalizasyonu (Eşitlik 1)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad j = 1 \dots n \quad (1)$$

i : alternatif j : kriter r_{ij} : normalize değerler

x_{ij} : i . alternatifin j . kriter için karar matrisinde karşı gelen değeri

2. Kriterlere ait entropi değerlerinin elde edilmesi (Eşitlik 2):

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n r_{ij} \ln(r_{ij}) \quad i = 1 \dots m \quad (2)$$

k entropi sabiti, e_j entropi değeri (Eşitlik 3)

$$k = 1/\ln(m) \quad (3)$$

3. Bilginin farklılaşma derecesi hesabı (Eşitlik 4)

$$d_j = 1 - e_j \quad j = 1 \dots n \quad (4)$$

4. Entropi kriter ağırlıklarının hesaplanması (Eşitlik 5-6)

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (6)$$

4.2. Gri İlişkisel Analiz

Gri İlişkisel Analiz (GİA), çok kriterli karar verme süreçlerinde, alternatiflerin belirli kriterler açısından değerlendirilmesinde kullanılan objektif bir yöntemdir. GİA, özellikle belirsizlik ve eksik veri içeren durumlarda etkili bir analiz aracı sunar. Bu yöntem, belirli bir alternatifin diğerleriyle olan ilişkisini

ölçerek, en uygun çözümü bulmak için kullanılır. GİA'nın temel avantajı, veri setindeki belirsizliğe karşı dayanıklı olması ve subjektif yargıların minimize edilmesidir.

Bu yöntem, belirsizlik altında verilerle etkili sonuçlar elde edebilmesi, az sayıda veriyle uygulanabilir olması, gri ilişkisel katsayıları kolayca hesaplayabilmesi ve veri setinin belirli bir dağılıma uymasını gerektirmemesi gibi avantajlara sahiptir.

GİA'nın temeli, her alternatifin, belirli kriterlere göre diğer alternatiflerle ilişkisini incelemektir. Bu ilişki, bir gri ilişkisel katsayısı kullanılarak hesaplanır. Gri ilişkisel katsayısı, alternatiflerin ne kadar benzer olduğunu gösterir; yüksek bir katsayı, alternatiflerin birbirine daha yakın olduğunu, düşük bir katsayı ise daha uzak olduklarını ifade eder. GİA yönteminin adımları aşağıdaki şekildedir:

1. Karar matrisinin oluşturulması:

m adet alternatif n adet kriterden oluşan matris bütünüdür. Burada y_{ij} , i . alternatif j . kriterdeki performansı göstermektedir.

2. Verilerin normalize edilmesi:

Çalışmada değerlerde fayda esaslı ise yani maksimum çıkması istenen verilerden oluşursa aşağıdaki Eşitlik 7 ile normalize edilir:

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \min\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}}{\max\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - \min\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}} \quad j = 1 \dots n \quad (7)$$

Çalışmada değerlerde maliyet esaslı ise yani minimum çıkması istenen verilerden oluşursa Eşitlik 8 ile normalize edilir:

$$x_{ij} = \frac{\max\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - y_{ij}}{\max\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - \min\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}} \quad j = 1 \dots n \quad (8)$$

Çalışmada değerlerde fayda veya maliyet esaslı durum değil de belirli bir optimal değere göre normalizasyon yapılması gerekirse aşağıda verilen Eşitlik 9 kullanılır:

$$x_{ij} = 1 - \frac{|y_{ij} - y_j^*|}{\max\{\max\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - y_j^*, y_j^* - \min\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}\}} \quad j = 1, 2 \dots n \quad (9)$$

3. Gri ilişkisel katsayı matrisinin oluşturulması:

x_{ij} 'nin x_{0j} 'ye ne kadar yakın olduğunu belirlemek için gri ilişkisel katsayısı (Eşitlik 10-12) kullanılmaktadır.

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta_{\max}} \quad i = 1, 2 \dots m \quad j = 1, 2 \dots n \quad (10)$$

$$\Delta_{ij} = |x_{0j} - x_{ij}| \quad (11)$$

$$\Delta_{\min} = \min\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

$$\Delta_{\max} = \max\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\} \quad \zeta (0 \leq \zeta \leq 1) \quad (12)$$

burada $\zeta (0 \leq \zeta \leq 1)$ ayırt edilebilirlik indeksi olarak ifade edilmektedir ve bu değer ne kadar küçükse ayırt edilebilirliği o kadar yüksektir. Genellikle ζ orta seviyede bir ayırt edicilik katsayısını yansıtmak için 0,5 değerini almaktadır [48]–[50].

4. Gri ilişkisel derecelerin hesaplanması:

Eşit önem seviyesindeki kriterler için Eşitlik 13 kullanılmaktadır. Ancak farklı önem seviyesindeki kriterler için ikinci sıradaki formül olan Eşitlik 14 kullanılmaktadır.

$$x_{ij} = 1 - \Gamma_{0i} = 1/m \sum_{j=1}^n \gamma_{0i}(j) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^n [w(j) * \gamma_{0i}(j)] \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

Gri ilişkisel dereceler hesaplandıktan sonra, seriler arasındaki benzerlik oranı referans seriye göre değerlendirilir ve en yüksek gri ilişkisel derecesine sahip alternatif, en iyi alternatif olarak belirlenir.

V. UYGULAMA

Son yıllarda tarım sektörü, verimliliği artırmak, hasat üretkenliğini artırmak, tarım alanlarını izlemek ve yönetmek, hastalık ve zararlıları kontrol etmek gibi bir dizi görevde teknolojik çözümlere yönelmektedir. Dronelar, bu gereksinimleri karşılamak için ideal bir araç olabilir, ancak farklı drone modelleri arasında seçim yapmak zorlu bir süreç olabilir. Her geçen gün teknolojik gelişmelerle yeni kalifikasyonlara sahip üst model dronelerin sisteme katılmasıyla aralarında en uygun ve en etkinin belirlenmesinde yer alan çoklu kriter ve alternatif çeşitliliği karar verme modellerinin kullanılması faydalı olmaktadır. Uzman görüşlerine ve literatürdeki araştırmalara göre tarım sektöründeki önemli olan hususları dikkate alarak taşıma kapasitesi, havada kalma süresi, optimum artış irtifası, fiyat, püskürtme hızı, uçuş hızı ve saatlik iş verimliliği gibi yedi temel kriter ve altı model drone için değerlendirme yapılacaktır. Her bir modelin farklı özelliklere sahip olması objektif karar verme sürecini zorlaştırmaktadır. Ele alınan kriterler kısaca şu şekilde açıklanabilir:

Taşıma kapasitesi: İHA'ların taşıma kapasitesi, kullanılan modele, tasarımına ve amaçlarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Tarımda kullanılan İHA'lar genellikle daha hafif ve orta büyüklükte olur, ancak taşınabilecek yük miktarı yine de önemli bir faktördür [45].

Havada kalma süresi: Kullanılan modelin batarya kapasitesine, taşıdığı yük miktarına, hava koşullarına ve İHA'nın tasarımına bağlı olarak değişir. Tarımda kullanılan İHA'lar genellikle verimlilik ve uzun uçuş süreleri için optimize edilmiştir[45].

Optimum artış irtifası: Bir uçuşun veya aracın en verimli şekilde yüksekliğini artırabileceği irtifadır. Bu kavram, özellikle uçaklar için kullanılır ve uçuşun başlangıcından itibaren yakıt tüketimi, hava koşulları, yük ve aerodinamik faktörlere bağlı olarak belirlenir. Optimum artış irtifası, uçuş planlamasında önemli bir faktör olup, uçakların mümkün olan en verimli irtifada kalmalarını sağlamaya yardımcı olur [43,51].

Fiyat: Drone modelleri arasındaki fiyat farkları ve ekonomik avantajlar da önemli bir karar faktörüdür. Tarım İHA'ları, yüksek kaliteli sensörler ve kameralarla donatıldığından, fiyatları genellikle yüksek seviyede olur [43,45].

Püskürtme hızı: Tarımda kullanılan İHA'ların püskürtme hızı, genellikle kullanılan sistemin kapasitesine ve tasarımına bağlı olarak değişir. Püskürtme hızı, bitkilere ilaç veya gübre püskürtme işleminde ne kadar hızlı ve verimli çalışıldığını belirler. Bu hız, İHA'nın taşıma kapasitesi, püskürtme başlıklarının sayısı, ilaç tankının kapasitesi ve hava koşulları gibi faktörlerden etkilenir [43,51].

Uçuş hızı: Özellikle tarımsal alanlarda yapılan ilaçlama ve diğer tarım görevlerinde uçuşun verimliliğini etkileyebilir. Çok yüksek hızlarda uçmak, ilaçların düzgün bir şekilde yayılmasını engelleyebilir ve çevresel faktörlerden (örneğin rüzgar) etkilenerek daha fazla kayıp olabilir. İHA'nın hızının, uçuşun görevine, alandaki koşullara ve kullanılan sensörler veya ekipmanlara göre optimize edilmesi önemlidir [43,45].

Saatlik iş verimliliği: Tarımsal İHA'ların saatlik iş verimliliği, uçuş hızına, püskürtme kapasitesine, İHA'nın taşıma kapasitesine ve işlenecek alana göre değişir. Saatlik verimlilik, genellikle hektar başına yapılan iş miktarıyla ölçülür. Tarımsal İHA'lar, özellikle ilaçlama ve gübreleme gibi işlemlerde büyük verimlilik sağlar, çünkü geleneksel yöntemlere göre çok daha hızlı ve hassas bir şekilde çalışabilirler [52].

Çalışmada yer alan alternatif ve kriter kümesine ilişkin oluşturulan karar matrisi Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Entropi için karar matrisi

Hedef	ma ks.	maks.	maks .	min.	maks.	ma ks.	maks.
Drone Modeli	Ta şı ma ka pa sit esi (l) (C 1)	Ort. havada kalma süresi (dak) (C2)	Opti mum artış irtifa sı(m) (C3)	Ort. fiyat (USD) (C4)	Püsk ürtme hızı (L/dk) (C5)	Uç uş hızı (m/ sn) (C6)	Ort. saatlik iş verimliliğ i (hektar/sa at) (C7)
DJI Agras T40 (A1)	40	23	5000	\$27. 000	16	20	10
DJI Agras T10 (A2)	10	25	5000	\$11. 000	8	18	8
DJI AGRAS MG1-P (A3)	10	25	2500	\$5.0 00	6	15	4
DJI AGRAS T20 (A4)	20	18	5000	\$14. 000	8	18	6
DJI AGRAS MG1-S (A5)	10	25	2500	\$5.0 00	6	15	4
DJI AGRAS T30 (A6)	30	28	5000	\$17. 000	12	18	8

Tablo 3'te normalize karar matrisi yer almaktadır.

Tablo 3. Normalize karar matrisi

Dro ne Mo deli	Taşı ma Kapa sitesi	Ort. havada kalma süresi	Optim um Artış İrtifası	Or t. fi ya t	Püs kürt me Hızı	Uç uş Hı zı	Ort. saatlik iş verimli liği
A1	0,33 3	0,159	0,2	0, 05 6	0,28 5	0, 19 2	0,25
A2	0,08 3	0,173	0,2	0, 13 8	0,14 23	0, 17 3	0,2
A3	0,08 3	0,173	0,1	0, 30 3	0,10 71	0, 14 4	0,1
A4	0,16 66	0,125	0,2	0, 10 8	0,14 28	0, 17 3	0,15
A5	0,08 33	0,173	0,1	0, 30 3	0,10 71	0, 14 4	0,1
A6	0,25	0,194	0,2	0, 08 9	0,21 4	0, 17 3	0,2

Ardından entropi yöntemi için gerekli adımlar uygulanmıştır. Kriterler için entropi değerleri aşağıdaki Tablo 4'de sunulmuştur. Bir önceki tabloda normalize edilmiş değerler logaritma değerleri ile çarpılmıştır. Daha sonra bu işlemde hesaplanan değerler toplanarak entropi değeri elde edilmiştir. Formüldeki entropi katsayısı k , $1/\ln 6$ (0,558) hesaplanarak bulunmuş ve formüle uyarlanmıştır.

Tablo 4. Entropi değerleri

Drone Modeli	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	-	-	-	-	-	-	-
	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3
	66	93	21	61	57	17	46
A2	-	-	-	-	-	-	-
	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
	07	04	21	73	78	03	21
A3	-	-	-	-	-	-	-
	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
	07	04	30	62	39	79	30
A4	-	-	-	-	-	-	-
	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
	98	59	21	41	78	03	84
A5	-	-	-	-	-	-	-
	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
	07	04	30	62	39	79	30
A6	-	-	-	-	-	-	-
	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3
	46	18	21	15	30	03	21

Buna göre elde edilen değerler sırasıyla 0.9112, 0.9953, 0.9756, 0.9020, 0.9614, 0.9970, 0.9686 olmuştur. Daha sonra 1'den çıkarılarak bilginin farklılaşma dereceleri (d_j) hesaplanmıştır (0.0888, 0.0047, 0.0244, 0.0980, 0.0386, 0.0030). Tablo 5'e göre faktörlerin entropi dereceleri ve her bir kriterin ağırlık değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Tablo 5. Entropi ve faktör ağırlığı değerleri

Entropi	0,91	0,99	0,97	0,90	0,96	0,99	0,96
i	1	5	5	2	1	7	8
Ağırlık	0,30	0,01	0,08	0,33	0,13	0,01	0,10
k	7	6	4	9	3	0	8
Rank	2	6	5	1	3	7	4

Karşılaştırma matrislerini elde etmek için, referans serileri birinci adımda oluşturulan Tablo 6'da karar matrislerine ilk satır olarak eklenmiştir.

Tablo 6. GİA için karar matrisi

Drone Modeli	Taşıma Kapasitesi	Ort. Havada Kalma Süresi	Optimum İrtifası	Artış	Ort. Fiyat	Püskürtme Hızı	Uçuş Hızı	Ort. Saatlik Verimliliği-Hektar	İş
wj	0,307	0,016	0,084		0,339	0,133	0,010	0,108	
Referans	40	28	5.000		0,000370	16	20	10	
A1	40	23	5.000		0,000037	16	20	10	
A2	10	25	5.00		0,00009	8	18	8	
A3	10	25	2.50		0,0002	6	15	4	
A4	20	18	5.000		0,000071	8	18	6	
				4					
A5	10	25	2.500		0,0002	6	15	4	
A6	30	28	5.000		0,000058	12	18	8	

Tablo 7'de Normalizasyon matrisi oluşturulurken maksimum çıkmasının fayda sağlayacağı formül, fiyat

kriterinde ise minimum çıkmasının fayda sağlayacağı formül kullanılmıştır.

Tablo 7. Normalize karar matrisi

Referans	1	1	1	1	1	1	1
A1	1	0,5	1	1	1	1	1
A2	0	0,7	1	0,669	0,2	0,6	0,666
A3	0	0,7	0	0	0	0	0
A4	0,333	0	1	0,789	0,2	0,6	0,333
A5	0	0,7	0	0	0	0	0
A6	0,666	1	1	0,866	0,6	0,6	0,666

Tablo 8'de, mutlak değer tablosu, normalizasyon matrislerindeki değerler ile bu matrislerde kullanılan

referans serilerinin değerleri arasındaki mutlak farklar hesaplanarak oluşturulmuştur.

Tablo 8. Mutlak değer tablosu

A1	0	0,5	0	0	0	0	0
A2	1	0,3	0	0,330	0,8	0,4	0,333
A3	1	0,3	1	1	1	1	1
A4	0,666	1	0	0,211	0,8	0,4	0,666
A5	1	0,3	1	1	1	1	1
A6	0,333	0	0	0,134	0,4	0,4	0,333

Gri ilişkisel katsayı matrisinin (Tablo 9) oluşturulmasında kullanılan formüldeki ayrııcı katsayının, literatür araştırmalarında 0.5 olarak

önerildiği tespit edildiği için hesaplamalarda 0.5 değeri kullanılmıştır.

Tablo 9. Gri ilişkisel katsayı matrisi

A1	1	0,5	1	1	1	1	1
A2	0,333	0,625	1	0,601	0,384	0,555	0,6
A3	0,333	0,625	0,333	0,333	0,3333	0,3333	0,333
A4	0,428	0,333	1	0,703	0,3846	0,5555	0,428
A5	0,333	0,625	0,333	0,333	0,3333	0,333	0,333
A6	0,6	1	1	0,789	0,5555	0,555	0,6
Δ mak	1						
Δ min	0						
f	0,5						

Öncelikle, gri ilişkisel dereceler (Tablo 10), tüm değişkenlerin (kriterlerin) eşit derecede önemli olduğu kabul edilerek hesaplanmıştır.

Tablo 10. Gri ilişkisel dereceler

								Gri ilişkisel derece	Sıra
A1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,928	1
A2	0,33	0,625	1	0,60	0,38	0,55	0,6	0,585	3
A3	0,33	0,625	0,333	0,33	0,33	0,33	0,33	0,375	5
A4	0,42	0,333	1	0,70	0,38	0,55	0,42	0,547	4
A5	0,33	0,625	0,333	0,33	0,33	0,33	0,33	0,375	5
A6	0,6	1	1	0,78	0,55	0,55	0,6	0,728	2

Belirlenen değerler 0 ile 1 arasında değişmektedir. 1'e en yakın performans puanına sahip olan drone, en ideal İHA modeli olarak kabul edilmiş ve bu doğrultuda sıralamalar gerçekleştirilmiştir. Eşit önem ağırlığına sahip olduğunda elde edilen sıralama $A1 > A6 > A2 > A4 > A5$, A3 şeklinde yer almıştır (Tablo 10).

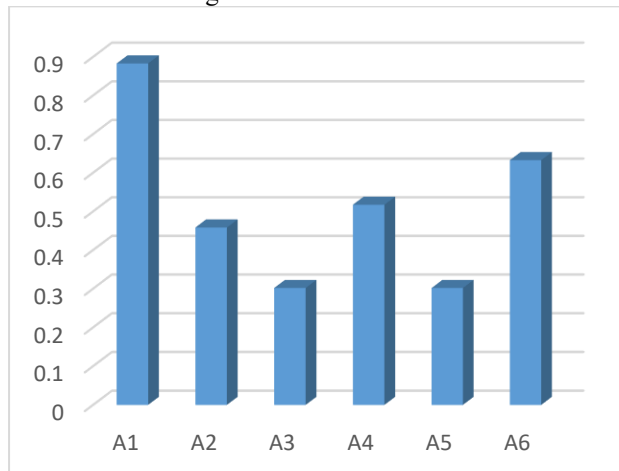
Tablo 11'de görüleceği gibi, ardından entropi yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları yansıtılarak Tablo 11'deki alternatif sıralamalar şöyle elde edilmiştir, $A1 > A6 > A4 > A2 > A5, A3$.

Burada iki yöntemde en önemli olan seçeneğin 1. alternatif ardından 6. alternatif olduğu görülmektedir. Eşit ağırlıklı GİA yapıldığında en az önemli olan 3.alternatif ve 5. alternatif iken, entropi ağırlıklı GİA yapıldığında da aynı şekilde 3.alternatif ve 5. alternatif son sırada yer almıştır. Sıralamalar birbirine çok yakın elde edilmiştir. Her iki durumda sadece 3. Sıradaki alternatifin sıralaması değişmiştir. Eşit ağırlıklı GİA'da 2. alternatif üçüncü sırada iken, entropi ağırlıklı GİA'dan elde edilen sonuçta da 4. alternatif üçüncü sırada yer almıştır. Burada elde edilen sonuçların çok yakın elde edilmesi analiz sonuçlarının tutarlı ve gerçekçi olduğunu göstermektedir.

Tablo 11. Entropi temelli GİA yöntemiyle elde edilen sıralama

Ağırlıklı ar	0,307	0,016	0,084	0,339	0,133	0,010	0,109	roi	Sıralama
A1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,883	1
A2	0,33	0,62	1	0,601	0,384	0,55	0,6	0,458	4
A3	0,33	0,62	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,30	5
A4	0,42	0,33	1	0,7	0,384	0,55	0,42	0,517	3
A5	0,33	0,62	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,30	5
A6	0,6	1	1	0,789	0,55	0,55	0,6	0,632	2

Tablo 12'de ilgili İHA modelleri için sıralama sütun grafik ile sunulmuştur.

Tablo 12. Entropi temelli GİA yöntemine göre sütun grafik ile sıralama

Gerçek hayat problemlerinde karar verme süreci karmaşıklığının nedenlerinden biri, kriterlerin doğru ve tutarlı biçimde analiz edilerek değerlendirilmemesidir. Bu sebeple en önemli olan kritere daha yüksek önem seviyesinin atanması beklenirken daha az önemli kritere daha düşük önem seviyesinin atanması beklenmektedir. Bu çalışmada öncelikle eşit ağırlıkla değerlendirilmiş ardından entropi yöntemiyle önem seviyeleri belirlenerek ataması sağlanmıştır. Entropi yönteminin objektif bir yöntem olması bu derecelendirmeyi doğru ve güvenilir biçimde yapmayı kolaylaştırmaktadır.

VI. DUYARLILIK ANALİZİ ve KARŞILAŞTIRMA

Verilerle yapılan bazı değişikliklerin çözüme etkisini incelemek ve modelin kararlılığını değerlendirmek için duyarlılık analizine ihtiyaç vardır. Çalışmada uygulanan yöntemin geçerliliğini sınamak için entropi ağırlıklı GİA yöntemine alternatif olarak eşit ağırlıklı olarak değerlendirme yapılmaya çalışılmış ve buna göre elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Tüm kriterler eşit ağırlıklı olarak 0,143 olarak alındığında ikinci ve dördüncü alternatiflerin sıralamasında ufak bir değişiklik olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmada farklı ağırlık değerleriyle de analiz değerlendirilmiş ve genel olarak aynı sonuca ulaşıldığı gözlenmiştir.

Tablo 13. Eşit ağırlıklı GİA yöntemi ile karşılaştırma

Eşit ağırlıklı GİA yöntemi	Entropi ağırlıklı GİA yöntemi
A1	A1
A6	A6
A2	A4
A4	A2
A3	A5
A5	A3

Tablo 13'te iki yaklaşımla elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve A2 ve A4 alternatifleri arasında değişiklik olduğu görülmüştür. Ağırlıklarda meydana gelen değişikliklerin önerilen yaklaşımın sonuçlarını büyük ölçüde değiştirmediği ve yöntemin güvenilir olduğu söylenebilir.

Karşılaştırmalı alternatif yöntem olarak da entropi ağırlıklı SAW yöntemi ile değerlendirilmiştir. Buna göre öncelikle normalize edilen veri setine SAW yönteminin aşamaları entegre edilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 14'te şu şekilde ortaya çıkmıştır.

Tablo 14. Entropi ağırlıklı SAW yöntemi ile karşılaştırma

Entropi ağırlıklı SAW yöntemi	Entropi ağırlıklı GİA yöntemi
A1	A1
A6	A6
A4	A4
A2	A2
A3	A5
A5	A3

Entropi ağırlıklı GİA yöntemi ile karşılaştırıldığında aynı sıralama elde edilmiş ve analiz sonuçlarının tutarlı ve gülbüz olduğu ortaya çıkmaktadır.

VII. SONUÇ VE GELECEK ARAŞTIRMALAR

Teknolojik gelişmelere paralel olarak ülkelerin en büyük yatırım planı işgücüne bağlı sektörlerde kolaylık sağlamaktır. Bu kapsamda İHA'ların yaygın bir kullanım alanı mevcut iken insanlık için önemli olan tarımsal uygulamalar da son dönemlerde ilk sıralarda yer almaktadır. Bu sayede tarım ve arazi kullanımında verimlilik ve başarı artarak işgücüne bağımlılık azalmakta bu sayede zaman ve enerji tasarrufu sağlanarak insan kaynaklı hataların önüne geçilmektedir. Örneğin, zamanında sulama ya da hastalık tespiti ve/veya mahsulde kayıp anında gözlenerek olası tedbirler alınabilmektedir. İnsan ile uzun süreli yapılabilecek eylemler daha kısa sürede üst düzey sensor algılama mekanizmasıyla hızlı ve etkin biçimde değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada birden çok kriter ve alternatifin olduğu tarımsal uygulamalarda en uygun dronun belirlenmesi sürecinde problem belirsiz ve karmaşık bir yapı sergilemektedir. Bu yüzden karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada entropi tabanlı GİA yaklaşımıyla iki aşamalı bir model önerilerek tarımsal uygulamalarda ideal drone modeli belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikle entropi yaklaşımı objektif bir ağırlıklandırma yöntemi olarak ele alınmış ve kriterin önem seviyeleri elde edilmiştir. Ardından bu kriter ağırlıklarına göre GİA ile uygun drone seçenekleri sıralanmıştır. GİA yöntemi eksik veya kesin olmayan veri kümesinde ideal sonuçlar sağlamaktadır.

En uygun tarımsal uygulama aracı olarak öncelik A1 alternatifi ardından A6, A4 alternatifi ve A2 alternatifi yer almıştır. Son sırada A5 ve A3 alternatifleri bulunmaktadır. Burada, sıralama kriterlerinin önem derecesi etki yaratmaktadır. Çünkü eşit önem seviyesinde de karşılaştırma yapıldığı sıralamalarda bazı farklılıkların olduğu görülmektedir. Seçilen İHA modellerinin çiftçilere sağladığı yararlar şu şekilde sunulabilir: Hassas tarım uygulamaları sayesinde bitki yoğunluğuna göre akıllı ilaçlama ve gübreleme yapılabilir. Sağlanana püskürtme sistemi özelliği sayesinde daha homojen ve etkili uygulama sağlanır. Zaman ve işgücünde tasarruf sağlanır ve bu sayede geniş alanlarda traktörle günler sürecektir iş, bu dronelar sayesinde birkaç saatte tamamlanabilir. Verimlilik artabilir ve bu sayede sağlıklı olmayan bitki alanları erkenden tespit edilebilir ve ayrıca uçuş rotaları ve verim haritaları sayesinde ilaç/gübre israfı önlenir. Maliyetler düşerek mazot, işçilik ve kimyasal giderlerinde ciddi azalma sağlanır. Engebeli, çamurlu veya erişilmesi zor tarlalarda ilaçlama/gübreleme kolaylıkla yapılabilir. Ayrıca bu dronelar sayesinde akıllı rota planlaması yapılabilir.

Gelecek araştırmalar için daha fazla faktör ve alternatif katılarak geniş perspektiften değerlendirmeler yapılabilmektedir. Ayrıca eksik bilgi ve belirsizlik altında bulanık yaklaşımların ideal sonuç vermesi nedeniyle bulanık küme yaklaşımı kullanılabilir. Sistematik bir uygulama sağlamak için bir karar destek sisteminin geliştirilmesi sürecin daha kolay analiz edilmesini sağlayabilir. Gelecek araştırmalarda kullanılabilecek yöntemler arasında bulanık AHP, bulanık TOPSIS, bulanık SWARA vb. yaklaşımlar ve/veya bulanık yaklaşımların güncel uygulama türleri olan pythagorean ve neutrosophic yaklaşımlar ile de değerlendirmeler yapılabilir. Ayrıca kullanılan entropi yaklaşımı yerine farklı ağırlıklandırma tekniklerinden TOPSIS, VIKOR, AHP, ELECTRE gibi çok kriterli karar verme yaklaşımları ile ağırlıklandırma yapılabilir. Gelecek araştırmalarda çalışmanın kapsamı genişleterek değişen hava koşullarına ve veya ürün türüne ve arazi yapısına göre değerlendirmeler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Özgüven, D. M., & Altaş, Z. (2022). Tarımda drone kullanımı ve geleceği. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(1), 64–83. <https://doi.org/10.54370/ORDUBTD.1097519>
- [2] Kutlu, G., Avaroğlu, E., & Yazar, S. (2024). İHA'ların batarya seviyelerinin makine öğrenmesi ile tahmini. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 6(2), 56–62. <https://doi.org/10.51534/TIHA.1437254>
- [3] Gupta, A., Afrin, T., Scully, E., & Yodo, N. (2021). Advances of UAVs toward future transportation: The state-of-the-art, challenges, and opportunities. *Future Transportation*, 1(2), 326–350. <https://doi.org/10.3390/futuretransp1020019>
- [4] AUAV. (2016). İHA türleri: Çok rotorlu, sabit kanatlı, tek rotorlu, hibrit VTOL. Retrieved June 11, 2025, from <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>
- [5] Liu, Z., & Li, J. (2023). Application of unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Agriculture*, 13(7), 1375. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071375>
- [6] Ritchie, H., & Roser, M. (2018). Water use and stress. *Our World in Data*. <https://doi.org/10.4060/CB6241EN>
- [7] Abbas, A., et al. (2023). Drones in plant disease assessment, efficient monitoring, and detection: A way forward to smart agriculture. *Agronomy*, 13(6), 1524. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061524>
- [8] Akkemiş, M., & Çalışkan, S. (2020). İnsansız hava araçları ve tarımsal uygulamalarda kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 8–16. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tiha/issue/54200/707831>
- [9] Wang, L., et al. (2022). Progress in agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) applied in China and prospects for Poland. *Agriculture*, 12(3), 397. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030397>
- [10] Narzari, R., Burhan, U., Choudhury, G., Singhal, K., & Choudhary, K. K. (2025). A critical review of how UAVs can transform precision agriculture in the realm of agroecology. *Discover Soil*, 2(1), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s44378-025-00055-2>
- [11] Inoue, Y. (2020). Satellite- and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming – A review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(6), 798–810. <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1738899>
- [12] Gago, J., et al. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, 153, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.020>
- [13] Kalischuk, M., et al. (2019). An improved crop scouting technique incorporating unmanned aerial vehicle-assisted multispectral crop imaging into conventional scouting practice for gummy stem blight in watermelon. *Plant Disease*, 103(7), 1642–1650. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-18-1373-RE>
- [14] Maimaitijiang, M., et al. (2017). Unmanned aerial system (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 134, 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.10.011>
- [15] López-Granados, F., Torres-Sánchez, J., Serrano-Pérez, A., de Castro, A. I., Mesas-Carrascosa, F. J., & Peña, J. M. (2016). Early season weed mapping in sunflower using UAV technology: Variability of herbicide treatment maps against weed thresholds. *Precision Agriculture*, 17(2), 183–199. <https://doi.org/10.1007/s11119-015-9415-8>
- [16] Melville, B., Lucieer, A., & Aryal, J. (2019). Classification of lowland native grassland communities using hyperspectral unmanned aircraft system (UAS) imagery in the Tasmanian Midlands. *Drones*, 3(1), 5. <https://doi.org/10.3390/drones3010005>
- [17] Moharana, S., & Dutta, S. (2016). Spatial variability of chlorophyll and nitrogen content of rice from hyperspectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 122, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.09.002>
- [18] Deng, L., Mao, Z., Li, X., Hu, Z., Duan, F., & Yan, Y. (2018). UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.09.008>

- [19] Guan, S., et al. (2019). Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. *Remote Sensing*, 11(2), 112. <https://doi.org/10.3390/rs11020112>
- [20] Fawcett, D., et al. (2020). Multi-scale evaluation of drone-based multispectral surface reflectance and vegetation indices in operational conditions. *Remote Sensing*, 12(3), 514. <https://doi.org/10.3390/rs12030514>
- [21] Panday, U. S., Pratihast, A. K., Aryal, J., & Kayastha, R. B. (2020). A review on drone-based data solutions for cereal crops. *Drones*, 4(3), 41. <https://doi.org/10.3390/drones4030041>
- [22] Su, J., Coombes, M., Liu, C., Guo, L., & Chen, W. H. (2018). Wheat drought assessment by remote sensing imagery using unmanned aerial vehicle. In *2018 Chinese Control Conference (CCC)* (pp. 10340–10344). IEEE. <https://doi.org/10.23919/CHICC.2018.8484005>
- [23] Bendig, J., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Eichfuss, S., & Bareth, G. (2014). Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) derived from UAV-based RGB imaging. *Remote Sensing*, 6(11), 10395–10412. <https://doi.org/10.3390/rs61110395>
- [24] Negash, L., Kim, H. Y., & Choi, H. L. (2019). Emerging UAV applications in agriculture. In *2019 7th International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications (RiTA)* (pp. 254–257). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RITAPP.2019.8932853>
- [25] Gašparović, M., Zrinjski, M., Barković, Đ., & Radočaj, D. (2020). An automatic method for weed mapping in oat fields based on UAV imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105385. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105385>
- [26] Kulbacki, M., et al. (2018). Survey of drones for agriculture automation from planting to harvest. In *2018 IEEE 22nd International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)* (pp. 353–358). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INES.2018.8523943>
- [27] Mogili, U. R., & Deepak, B. B. V. L. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*, 133, 502–509. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063>
- [28] Puri, V., Nayyar, A., & Raja, L. (2017). Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*, 20(4), 507–518. <https://doi.org/10.1080/09720510.2017.1395171>
- [29] Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>
- [30] Al-Thani, N., Albuainain, A., Alnaimi, F., & Zorba, N. (2020). Drones for sheep livestock monitoring. In *2020 20th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)* (pp. 672–676). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MELECON48756.2020.9140588>
- [31] Dutta, P. K., & Mitra, S. (2021). Application of agricultural drones and IoT to understand food supply chain during post COVID-19. In *Agricultural Informatics Automation Using IoT and Machine Learning* (pp. 67–87). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119769231.ch4>
- [32] Nayyar, A., Nguyen, B. L., & Nguyen, N. G. (2020). The internet of drone things (IoDT): Future envision of smart drones. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 1045, pp. 563–580). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0029-9_45
- [33] Suomalainen, J., et al. (2013). A light-weight hyperspectral mapping system for unmanned aerial vehicles – The first results. In *2013 5th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/WHISPERS.2013.8080721>
- [34] Aslan, M. F., Durdu, A., Sabanci, K., Ropelewski, E., & Gültekin, S. S. (2022). A comprehensive survey of the recent studies with UAV for precision agriculture in open fields and greenhouses. *Applied Sciences*, 12(3), 1047. <https://doi.org/10.3390/app12031047>
- [35] Diaz-Gonzalez, F. A., Vuelvas, J., Correa, C. A., Vallejo, V. E., & Patino, D. (2022). Machine learning and remote sensing techniques applied to estimate soil indicators – Review. *Ecological Indicators*, 135, 108517. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108517>
- [36] Awais, M., et al. (2022). UAV-based remote sensing in plant stress imaging using high-resolution thermal sensor for digital agriculture practices: A meta-review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(1), 1135–1152. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03801-5>
- [37] Aquilani, C., Confessore, A., Bozzi, R., Sirtori, F., & Pugliese, C. (2022). Review: Precision livestock farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal*, 16(1), 100429. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429>
- [38] Marin, D. B., Ferraz, G. A. S., Schwerz, F., Barata, R. A. P., de Oliveira Faria, R., & Dias, J. E. L. (2021). Unmanned aerial vehicle to evaluate frost damage in coffee plants. *Precision Agriculture*, 22(6), 1845–1860. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09815-w>

- [39] Vayssade, J. A., Arquet, R., & Bonneau, M. (2019). Automatic activity tracking of goats using drone camera. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 767–772. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.021>
- [40] Xu, R., Li, C., & Paterson, A. (2017). Cotton flower detection using aerial color images. In *2017 ASABE Annual International Meeting*. ASABE. <https://doi.org/10.13031/aim.201701080>
- [41] Lu, N., Zhou, J., Han, Z., Li, D., Cao, Q., Yao, X., Tian, Y., Zhu, Y., & Cao, W. (2019). Improved estimation of aboveground biomass in wheat from RGB imagery and point cloud data acquired with a low-cost unmanned aerial vehicle system. *Plant Methods*, 15, 17. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0391-9>
- [42] Zhou, X., Zheng, H. B., Xu, X. Q., He, J. Y., Ge, X. K., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Cao, W. X., & Tian, Y. C. (2017). Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 246–255. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.05.003>
- [43] Yue, J., Feng, H., Jin, X., Yuan, H., Li, Z., Zhou, C., Yang, G., Tian, Q., & Feng, H. (2019). A comparison of crop parameters estimation using images from UAV-mounted snapshot hyperspectral sensor and high-definition digital camera. *Remote Sensing*, 11(2), 166. <https://doi.org/10.3390/rs11020166>
- [44] Gao, F., Jin, Y., & Masek, J. G. (2009). Calibration and validation of BRDF and albedo products derived from MODIS data for crop and pasture sites in the USA. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(5), 672–686. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.10.015>
- [45] Maes, W. H., & Steppe, K. (2019). Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in Plant Science*, 24(2), 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.007>
- [46] Wan, L., Li, Y., Cen, H., Zhu, J., Yin, W., Wu, W., Wu, C., & Zhu, H. (2018). Combining UAV-based vegetation indices and image classification to estimate wheat grain yield. *International Journal of Remote Sensing*, 39(21), 6693–6717. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1466089>
- [47] Li, W., Niu, Z., Chen, H., Li, D., Wu, M., & Zhao, W. (2016). Remote estimation of canopy height and aboveground biomass of maize using high-resolution stereo images from a low-cost unmanned aerial vehicle system. *Ecological Indicators*, 67, 637–648. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.036>
- [48] Cen, H., Wan, L., Zhu, J., Li, Y., Li, X., Zhu, Y., & Weng, H. (2019). Dynamic monitoring of biomass of rice under different nitrogen treatments using UAV-based multispectral imagery. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1176. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01176>
- [49] Duan, T., Zheng, B., Guo, W., Ninomiya, S., Guo, Y., & Chapman, S. C. (2017). Comparison of ground cover estimates from experiment plots in cotton, sorghum, and sugarcane based on images and ortho-mosaics captured by UAV. *Functional Plant Biology*, 44(1), 169–183. <https://doi.org/10.1071/FP16123>
- [50] Bareth, G., & Schellberg, J. (2018). Replacing manual rising plate meter measurements with UAV-based biomass monitoring in grassland for high-throughput applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 226–238. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.007>
- [51] Khaliq, A., Comba, L., Biglia, A., Ricauda Aimonino, D., Chiaberge, M., & Gay, P. (2019). Comparison of satellite and UAV-based multispectral imagery for vineyard variability assessment. *Remote Sensing*, 11(4), 436. <https://doi.org/10.3390/rs11040436>
- [52] Vibhute, A., & Bodhe, S. K. (2012). Applications of image processing in agriculture: A survey. *International Journal of Computer Applications*, 52(2), 34–40. <https://doi.org/10.5120/8176-1295>