

Yeni Nesil Akıllı Tarım Sistemlerinde Mekanizasyon Kararları: Tarım İşletmeleri ve Endüstri Profesyonellerinin Traktör Özelliklerine Verdikleri Stratejik Önceliklerin FUCOM Yöntemiyle Karşılaştırmalı Analizi

Bünyamin Çelebi¹

Özet

Bu çalışmanın amacı, yeni nesil akıllı tarım sistemleri kapsamında traktör özelliklerine verilen stratejik öncelikleri, tarım işletmeleri ve endüstri profesyonelleri perspektiflerinden karşılaştırmalı olarak incelemektir. Bu doğrultuda, Eskişehir ilinde faaliyet gösteren 10 tarım işletmesi sahibi ile traktör endüstrisinde görev yapan 10 endüstri profesyoneliinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Araştırmada, katılımcıların traktör özelliklerinde önem verdikleri kriterlerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan FUCOM yöntemi uygulanmıştır. Araştırma bulguları, tarım işletmeleri ile endüstri profesyonellerinin traktör özellikleri bağlamında farklı kriterlere öncelik verdiklerini ortaya koymaktadır. FUCOM analiz sonuçlarına göre, tarım işletmeleri açısından en önemli kriterin malzeme kalitesi ve dayanıklılık olduğu, buna karşılık endüstri profesyonellerinin traktör özelliklerinde en fazla önemi bayi güvenilirliği ve satış sonrası destek kriterine atfettikleri belirlenmiştir. Her iki grup için de bazı kriterlerin görece düşük öneme sahip olduğu ve traktör özelliği önceliğinin belirli kritik kriterler etrafında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu farklılaşma, kullanıcı odaklı beklentiler ile teknik ve ekonomik rasyonalite temelli profesyonel bakış açısı arasındaki algı farkını açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, traktör üreticileri açısından ürün tasarımı ve pazarlama stratejilerinin, tarım işletmelerinin saha deneyimlerine dayalı beklentilerini daha fazla dikkate alması gerektiğine işaret etmektedir. Çalışmanın, hem tarım işletmelerinin mekanizasyon kararlarına hem de traktör üretici ve satıcılarının stratejik planlamalarına katkı sunması beklenmektedir.

1 Arş. Gör., Gaziantep Üniversitesi, İşletme Bölümü, Gaziantep, Türkiye, bunyamincelebi@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2866-4357

1. Giriş

İnsan faaliyetlerinin doğa üzerindeki etkilerinin artmasıyla birlikte ortaya çıkan çevresel sorunlar, özellikle doğal kaynaklara yüksek düzeyde bağımlı sektörlerde daha belirgin hâle gelmiştir (Bayar & Yaşar Uğurlu, 2025). Ekosistemle doğrudan etkileşim içinde bulunan tarım sektörü, bu sorunların hem etkilerini yoğun biçimde hisseden hem de çözüm süreçlerinde kritik rol üstlenen alanlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Artan çevresel baskılar, küresel ölçekte yükselen gıda talebi, iklim değişikliğine bağlı üretim riskleri ve tarımsal girdilerin maliyetlerindeki artış, tarımsal üretim süreçlerinin daha verimli, izlenebilir ve sürdürülebilir biçimde yeniden ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, dijital teknolojilerin tarımsal faaliyetlere entegrasyonunu ifade eden akıllı tarım sistemleri, tarım sektöründe yapısal bir dönüşüm aracı olarak değerlendirilmektedir (Klerkx vd., 2019).

Akıllı tarım sistemleri; karar destek sistemleri, hassas tarım uygulamaları ve dijital tarım platformları aracılığıyla üretim süreçlerinin daha etkin biçimde yönetilmesini amaçlamaktadır. Akıllı tarım sistemlerinin yaygınlaşması, tarımsal üretimde yalnızca teknolojik bir dönüşümü değil, aynı zamanda karar verme süreçlerinin niteliğinde de önemli bir değişimi beraberinde getirmektedir. Nesnelerin interneti (IoT), sensör teknolojileri, büyük veri analitiği ve yapay zekâ temelli uygulamalar aracılığıyla elde edilen yüksek hacimli ve gerçek zamanlı veriler, üreticilerin belirsizlik koşulları altında daha rasyonel, hızlı ve veri temelli kararlar almasına olanak sağlamaktadır (Wolfert vd., 2017; Rose & Chilvers, 2018; Lioutas & Charatsari, 2020). Bu dijitalleşme süreci, özellikle tarımsal üretimde kaynak tahsisi, girdi kullanımı, risk yönetimi ve mekanizasyon yatırımları gibi çok sayıda kriterin eş zamanlı olarak değerlendirilmesini gerektiren karar problemlerini ön plana çıkarmaktadır. Dolayısıyla, akıllı tarım bağlamında karşılaşılan bu karmaşık karar süreçlerinin sistematik ve bütüncül biçimde ele alınabilmesi, çok kriterli karar verme yaklaşımlarının tarım literatüründe giderek artan bir önem kazanmasına neden olmaktadır.

Dijitalleşme sürecinin tarımsal üretime entegrasyonu, mekanizasyon yatırımlarını yalnızca kapasite artırımı ya da maliyet unsuru olarak ele alınan geleneksel kararlar olmaktan çıkarmakta; bu yatırımları veri üretme, veriyi işleme ve dijital sistemlerle etkileşim kurabilme yetkinlikleri üzerinden yeniden tanımlamaktadır. Akıllı tarım uygulamaları kapsamında kullanılan sensörler, konumlandırma sistemleri ve karar destek yazılımlarının etkin biçimde çalışabilmesi, mekanizasyon ekipmanlarının bu dijital teknolojilerle uyumlu ve entegrasyona açık olmasını zorunlu kılmaktadır (Lowenberg-DeBoer & Erickson, 2019). Bu durum, dijitalleşme çağında mekanizasyon

kararlarının; teknik özellikler, ekonomik maliyetler ve operasyonel performansın yanı sıra, dijital uyumluluk, veri paylaşım kapasitesi ve gelecekteki teknolojik dönüşümlere adaptasyon gibi çok boyutlu kriterler çerçevesinde değerlendirilmesini gerekli hâle getirmektedir.

Akıllı tarım sistemlerinde, dijital uyumun somutlaştığı ve üretim süreçlerine doğrudan yansıdığı temel mekanizasyon araçlarının başında traktörler gelmektedir. Traktörler, tarımsal mekanizasyon sistemlerinde merkezi bir rol oynamakta ve akıllı tarım uygulamalarının sahada etkin bir şekilde yürütülmesinde kritik öneme sahiptir. Modern traktörler, otomatik yönlendirme sistemleri, sensör tabanlı ekipmanlar ve veri iletişim altyapılarıyla donatılarak, yalnızca fiziksel güç sağlayan makineler olmaktan çıkmış ve veri temelli tarım süreçlerinin aktif bir parçası hâline gelmiştir. Bu durum, traktör seçim sürecinin yalnızca teknik performans kriterlerine dayanmadığını; aynı zamanda tarım işletmelerinin dijitalleşme ve veri odaklı üretim stratejilerini doğrudan etkileyen çok boyutlu bir karar süreci olduğunu göstermektedir (Tzounis vd., 2017; Eastwood vd., 2019).

Literatürde traktör ve tarım makineleri seçimine yönelik yapılan çalışmalar incelendiğinde, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir. Ancak bu çalışmaların önemli bir kısmı, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde karar verici tutarlılığını yeterince dikkate almayan yöntemlere dayanmaktadır (Mardani vd., 2015). Bu noktada, kriterler arasındaki tam tutarlılığı esas alan FUCOM (Full Consistency Method) yöntemi, karar vericilerin değerlendirmelerini daha az karşılaştırma ile ve daha yüksek tutarlılık düzeyiyle modele dâhil etme imkânı sunmaktadır (Stević vd., 2018).

Öte yandan akıllı tarım teknolojilerinin benimsenmesi noktasında, tarımsal mekanizasyon kararlarının yalnızca tarım işletmelerinin değil, aynı zamanda sektör profesyonellerinin stratejik önceliklerinden de etkilendiği literatürde vurgulanmaktadır (Kutter vd., 2011). Buna rağmen, literatürde tarım işletmeleri ile endüstri profesyonellerinin traktör özelliklerine verdikleri stratejik önceliklerin karşılaştırmalı olarak ele alındığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, akıllı tarım sistemleri kapsamında traktör özelliklerine verilen stratejik önceliklerin göreceli önem düzeylerini belirlemek ve tarım işletmesi ile endüstri profesyonelinden elde edilen veriler doğrultusunda bu iki grubun önceliklerini FUCOM yöntemiyle karşılaştırmalı olarak analiz etmektir. Çalışmanın, hem tarım işletmelerinin mekanizasyon kararlarına hem de traktör üretici ve satıcılarının stratejik planlamalarına katkı sunması beklenmektedir.

Çalışmanın teorik altyapısını oluşturan ilk bölümde; akıllı tarım sistemleri, akıllı tarım sistemlerinde mekanizasyon kararları ve traktör seçimi ile traktör özelliklerine verilen stratejik öncelikler kapsamlı bir biçimde incelenmiştir. Araştırmanın materyal ve yöntem bölümünde, literatür taraması ve sektörel uzman görüşleri sentezlenerek traktör seçim kararlarında belirleyici olan yedi stratejik özellik tanımlanmıştır. Uygulama aşamasında ise, 10 tarım işletmesi sahibi ve 10 endüstri profesyoneli ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilerek, belirlenen özelliklerin önem derecelerine göre sıralanması sağlanmıştır. Elde edilen verilerin ağırlıklandırılması ve kriterlerin nihai önem düzeylerinin matematiksel olarak doğrulanması noktasında, ÇKKV tekniklerinden biri olan FUCOM yöntemi kullanılmıştır. Uygulama sonunda, her iki paydaş grubunun stratejik öncelikleri hem ayrı bir şekilde hem de karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek sektörel çıkarımlarda bulunulmuştur.

2. Kavramsal Çerçeve

2.1. Akıllı Tarım Sistemleri

Tarım sektöründe artan nüfus, iklim değişikliği, doğal kaynakların sınırlılığı ve üretim maliyetlerindeki yükseliş, tarımsal üretim süreçlerinin daha verimli, sürdürülebilir ve teknoloji odaklı biçimde yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda ortaya çıkan akıllı tarım sistemleri, bilgi ve iletişim teknolojilerinin tarımsal üretim süreçlerine entegre edilmesi yoluyla karar alma mekanizmalarının iyileştirilmesini amaçlayan yenilikçi bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Wolfert vd., 2017).

Akıllı tarım, genel olarak sensör teknolojileri, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri analitiği, yapay zekâ ve otomasyon sistemleri gibi dijital bileşenlerin tarımsal faaliyetlerde kullanılması yoluyla üretim süreçlerinin izlenmesini, analiz edilmesini ve optimize edilmesini ifade etmektedir (Ramu vd., 2025). Bu sistemler sayesinde toprak yapısı, bitki sağlığı, hava koşulları ve girdi kullanımı gibi kritik değişkenler gerçek zamanlı olarak takip edilebilmekte, böylece üretim kararları daha doğru ve zamanında alınabilmektedir (Kamilaris vd., 2017).

Literatürde akıllı tarım sistemlerinin temel amaçları; verimliliğin artırılması, girdi maliyetlerinin azaltılması, çevresel etkilerin minimize edilmesi ve sürdürülebilir tarımsal üretimin desteklenmesi şeklinde öne çıkmaktadır (Liakos vd., 2018). Özellikle su, enerji ve gübre kullanımının optimize edilmesi, akıllı tarım uygulamalarının çevresel sürdürülebilirlik açısından sağladığı önemli katkılar arasında yer almaktadır (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004).

Akıllı tarım sistemleri yalnızca dijital altyapının varlığıyla sınırlı olmayıp, bu altyapının sahada etkin biçimde uygulanmasını sağlayan mekanizasyon unsurlarıyla doğrudan ilişkilidir. Nitekim literatürde, akıllı tarım uygulamalarının başarısının büyük ölçüde kullanılan tarım makinelerinin ve özellikle traktörlerin teknolojik uyumluluğuna bağlı olduğu vurgulanmaktadır (Fountas vd., 2015). Traktörler, akıllı ekipmanların entegrasyonu, veri toplama ve otomasyon uygulamalarının yürütülmesi açısından akıllı tarım sistemlerinin merkezinde yer alan temel mekanizasyon araçlarıdır.

Bu doğrultuda, akıllı tarım sistemleri kapsamında alınan mekanizasyon kararları, yalnızca operasyonel bir tercih değil; işletmelerin uzun vadeli verimlilik, sürdürülebilirlik ve rekabetçilik hedeflerini doğrudan etkileyen stratejik kararlar olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, özellikle traktör seçimi sürecinde dikkate alınan kriterlerin çok boyutlu ve karar vericiye özgü biçimde ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

2.2. Akıllı Tarım Sistemlerinde Mekanizasyon Kararları ve Traktör Seçimi

Akıllı tarım sistemlerinin etkin bir biçimde uygulanabilmesi, yalnızca dijital teknolojilerin tarımsal üretim süreçlerine entegre edilmesiyle sınırlı olmayıp, bu teknolojileri sahada işlevsel hâle getiren mekanizasyon altyapısının doğru biçimde yapılandırılmasına bağlıdır. Mekanizasyon kararları, tarım işletmelerinin üretim kapasitesi, verimlilik düzeyi ve operasyonel esnekliği üzerinde doğrudan etkili olan stratejik kararlar arasında yer almaktadır (Singh, 2006). Dijitalleşme ile birlikte bu kararlar, geleneksel mekanik yaklaşımlardan uzaklaşarak veri temelli ve teknoloji uyumlu bir yapıya dönüşmektedir.

Akıllı tarım sistemleri kapsamında mekanizasyon, hassas tarım uygulamaları, otomasyon ve karar destek sistemleriyle bütünleşik bir yapı arz etmektedir. Özellikle sensör tabanlı ekipmanlar, küresel konumlandırma sistemleri (GPS) ve veri iletişim altyapıları, tarımsal faaliyetlerin daha doğru, zamanında ve izlenebilir biçimde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır (Auernhammer, 2001). Bu gelişmeler, kullanılan tarım makinelerinin ve traktörlerin söz konusu teknolojilerle uyumlu olmasını zorunlu kılmaktadır.

Traktörler, tarımsal mekanizasyon sistemlerinin merkezinde yer almakta ve akıllı tarım uygulamalarının sahada yürütülmesinde kilit bir rol üstlenmektedir. Modern traktörler; otomatik dümenleme sistemleri, değişken oranlı uygulamalara imkân tanıyan kontrol üniteleri ve veri toplama yetenekleri sayesinde akıllı tarım ekosisteminin aktif bileşenleri hâline gelmiştir (Schueller, 1992; Pedersen vd., 2004). Bu bağlamda traktör seçimi, tarım

işletmelerinin mevcut ve gelecekteki dijital tarım uygulamalarını doğrudan etkileyen kritik bir mekanizasyon kararı olarak değerlendirilmektedir.

Akıllı tarım sistemlerinde traktör seçimi, yalnızca motor gücü veya çekiş kapasitesi gibi teknik özelliklere dayalı bir değerlendirme süreci olmaktan çıkmıştır. Günümüzde traktör seçimi; ekonomik faktörler, dijital teknoloji uyumluluğu, çevresel etkiler ve satış sonrası hizmetler gibi çok boyutlu kriterlerin birlikte ele alınmasını gerektirmektedir (Berge & Heikkilä, 2018). Bu durum, traktör seçimini çok kriterli bir karar problemi hâline getirmekte ve karar vericilerin önceliklerinin sistematik biçimde analiz edilmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda bir sonraki bölümde traktör seçimine yönelik olarak, traktör özelliklerine verilen stratejik öncelikler incelenecektir.

2.3. Traktör Özelliklerine Verilen Stratejik Öncelikler

Traktör özelliklerine verilen stratejik öncelikler, tarım işletmelerinin üretim ölçeği, ekonomik hedefleri ve teknolojik dönüşüm düzeyine bağlı olarak şekillenen çok boyutlu bir karar sürecini ifade etmektedir. Günümüzde traktörlerin değerlendirilmesi, yalnızca fiyat, motor gücü ve çekiş performansı gibi geleneksel ekonomik ve teknik kriterlerle sınırlı kalmamakta; yakıt verimliliği, bakım ve servis altyapısı, operatör ergonomisi, çevresel sürdürülebilirlik ve dijital tarım uygulamalarıyla uyumluluk gibi unsurlar da karar sürecine dâhil edilmektedir. Bu gelişmeler, traktör özelliklerinin tarım işletmeleri açısından basit bir makine tercihi olmaktan çıkarak, uzun vadeli verimlilik ve rekabet gücünü etkileyen stratejik öncelikler hâline geldiğini göstermektedir (Blackmore vd., 2007; Gebbers & Adamchuk, 2010; Trendov vd., 2019).

Literatürde, motor gücü ve yakıt tüketimi gibi teknik özelliklerin, tarım işletmelerinin maliyet yapısı ve operasyonel verimliliği üzerinde doğrudan etkili olduğu belirtilmektedir. Özellikle artan enerji maliyetleri ve üretim belirsizlikleri, yakıt verimliliğini traktör seçiminde öncelikli bir kriter hâline getirmektedir (Puška vd., 2024; Peci vd., 2025). Bununla birlikte, traktörlerin dayanıklılığı, yedek parça bulunabilirliği ve servis ağı gibi özellikler, işletmelerin üretim sürekliliğini sağlamada kritik rol oynamakta ve stratejik karar süreçlerinde önemli bir yer tutmaktadır (Aybek, 2002; Aksoy vd., 2019; Baybas & Aksoy, 2021).

Son yıllarda akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, traktörlerin dijital uyumluluk düzeyi ve hassas tarım teknolojilerini destekleme kapasitesi, stratejik önceliklendirme sürecinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. GPS destekli yönlendirme sistemleri, sensör entegrasyonu ve veri iletişim altyapısına sahip traktörler, tarımsal üretimde

kaynak kullanımının optimize edilmesine ve karar alma süreçlerinin veri temelli hâle gelmesine katkı sağlamaktadır (Gebbers & Adamchuk, 2010; Kutler vd., 2011). Bu bağlamda traktör özellikleri, yalnızca mevcut üretim ihtiyaçlarını karşılayan unsurlar değil, aynı zamanda işletmelerin dijital dönüşüm stratejilerinin temel bileşenleri olarak değerlendirilmektedir.

Konfor unsurları da (ses yalıtımı, kabin ergonomisi, klima ve titreşim düzeyi), traktör özelliklerine verilen stratejik öncelikler arasında önemli bir yer tutmaktadır. Uzun süreli tarımsal faaliyetlerde kullanıcının fiziksel ve zihinsel yükünü azaltan bu özelliklerin, iş verimliliği ve çalışma güvenliği üzerinde doğrudan etkili olduğu literatürde vurgulanmaktadır (Mishra & Satapathy, 2023). Bunun yanı sıra, traktör markalarının yakın çevrede yaygın olarak kullanılması (Aksoy vd., 2019), yedek parça ve servis erişiminin kolaylığı, bilgi paylaşımı ve algılanan riskin azalması gibi nedenlerle karar süreçlerinde belirleyici bir unsur hâline gelmektedir. Bu durum, tarım teknolojilerinin benimsenmesinde sosyal çevrenin ve gözlemsel öğrenmenin etkisini açıklayan yayılma teorisiyle örtüşmektedir (Rogers, 2003). Ayrıca malzeme kalitesi ve dayanıklılık (Baybas & Aksoy, 2021), traktörlerin ekonomik ömrünü ve toplam sahip olma maliyetini doğrudan etkileyen stratejik özellikler arasında yer almakta; zorlu tarımsal koşullara dayanıklı, bakım ihtiyacı düşük makinelerin işletmeler açısından uzun vadeli maliyet etkinliği ve operasyonel süreklilik sağladığı ifade edilmektedir.

Öte yandan, akıllı tarım sistemlerinde mekanizasyon kararları farklı paydaş grupları açısından farklı önceliklerle şekillenebilmektedir. Tarım işletmeleri, traktör seçiminde çoğunlukla maliyet etkinliği, kullanım kolaylığı ve işletme koşullarına uyum gibi kriterlere odaklanırken; endüstri profesyonelleri daha çok teknolojik yenilik üzerinde durmaktadır (Kutler vd., 2011). Bu farklı bakış açıları, traktör seçimi sürecinde traktör özelliklerine verilen stratejik önceliklerin göreceli önem düzeylerinin paydaşlar arasında değişebileceğini göstermektedir. Bu çerçevede, traktör özelliklerine verilen stratejik önceliklerin göreceli önem düzeylerini belirlenmesi ve bu özelliklere verilen önceliklerin farklı karar verici grupları açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Söz konusu önceliklendirme süreci, mekanizasyon kararlarının rasyonel, tutarlı ve stratejik bir zemine oturtulabilmesi açısından kritik olup, bu çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesinde FUCOM yöntemi kullanılmıştır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Materyal

Bu çalışmanın amacı, akıllı tarım sistemleri kapsamında traktör özelliklerine verilen stratejik önceliklerin göreceli önem düzeylerini belirlemek ve tarım işletmesi ile endüstri profesyonellerinden elde edilen veriler doğrultusunda bu iki grubun önceliklerini FUCOM yöntemiyle karşılaştırmalı olarak analiz etmektir. Bu doğrultuda ilk olarak, literatür taraması (Aybek, 2002; Gebbers & Adamchuk, 2010; Aksoy vd., 2019; Baybas & Aksoy, 2021; Mishra & Satapathy, 2023; Puška vd., 2024; Peci vd., 2025) ve sektörel uzman görüşleri sentezlenerek traktör seçim kararlarında belirleyici olan yedi stratejik özellik tanımlanmıştır. Tanımlanan söz konusu özellikler aşağıda belirtildiği gibidir:

- Fiyat (K1)
- Bayi güvenilirliği ve satış sonrası destek (K2)
- Yakıt tüketimi (K3)
- Teknolojik altyapı (otomatik dümenleme, şanzıman teknolojileri, ISOBUS uyumluluğu, gelişmiş görüş sistemleri, otonom sürüş vb.) (K4)
- Konfor (ses yalıtımı, kabin rahatlığı, klima vb.) (K5)
- Yakın çevrenin yaygın kullanımı (K6)
- Malzeme kalitesi ve dayanıklılık (K7)

Araştırma kapsamında, Eskişehir ili Çifteler ilçesinde büyük ölçekli (250 dekar ve üzeri) tarımsal faaliyette bulunan 10 tarım işletmesi sahibi ile Eskişehir ilinde traktör endüstrisinde istihdam edilen 10 endüstri profesyoneliyle yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Örneklem, araştırmanın amacı doğrultusunda belirlenen ölçütleri karşılayan katılımcılardan oluşturulmuş olup, bu süreçte amaçlı örnekleme yöntemi benimsenmiştir. Amaçlı örnekleme kapsamında tanımlanan katılımcı profiline ulaşmak amacıyla, saha erişimini kolaylaştırmak için kartopu örnekleme tekniğinden de yararlanılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde, hem araştırma problemine en uygun katılımcıların seçilmesi hem de sektör içi deneyim ve bilgi birikimine sahip bireylere ulaşılması hedeflenmiştir. Elde edilen verilerin ağırlıklandırılması ve kriterlerin nihai önem düzeylerinin matematiksel olarak doğrulanması noktasında, ÇKKV tekniklerinden biri olan FUCOM yöntemi kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Ölçüt ağırlıklarının hesaplanması amacıyla Pamucar vd. (2018) tarafından literatüre kazandırılan FUCOM, yenilikçi bir ÇKKV metodolojisidir. Bu yöntem, kısıtlı sayıda ikili karşılaştırma yapılmasına olanak tanınması ve kriterlerin ideal ağırlık katsayılarını belirlerken tanımlanan spesifik kısıtlar sayesinde operasyonel hata payını en aza indirmektedir. FUCOM, elde edilen ağırlık vektörlerinin tutarlılığını ölçmek için bir hata metriği kullanarak; AHP veya BWM gibi geleneksel tekniklerde karşılaşılan ve çok sayıda ikili kıyaslamadan kaynaklanan karmaşık işlem yükünü önemli ölçüde hafifletmektedir (Pamucar vd., 2018).

Pamucar vd. (2018), Ecer (2021) ile Ayçin ve Aşan (2021) tarafından belirtilen çerçevede, FUCOM metodunun uygulama süreci birbirini takip eden üç temel evreden meydana gelmektedir. Söz konusu işlem basamakları aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır:

• 1. Adım: Kriterlerin Önem Düzeylerine Göre Sıralanması

Bu ilk basamakta, karar verme sürecine dahil edilen kriterler, karar verici veya uzman grubu tarafından en kritik olandan en az öneme sahip olana doğru sistematik bir biçimde derecelendirilmektedir. Bu önceliklendirme faaliyeti sonucunda, kriterler arasında Eşitlik (1)'de formüle edilen hiyerarşik bir sıralama yapısı tesis edilmektedir.

$$C_j(1) > C_j(2) > \dots > C_j(k) \quad (1)$$

• 2. Adım: Kriterlerin Göreceli Öncelik Değerlerinin Belirlenmesi

Sürecin bu evresinde, bir önceki basamakta karar verici(ler) tarafından hiyerarşik olarak sıralanan kriterlerin birbirlerine kıyasla sahip oldukları göreceli öncelik katsayıları ($\phi k/(k+1)$) hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar neticesinde, analiz sürecinin temel taşlarından biri olan ve Eşitlik (2)'de formüle edilen karşılaştırmalı öncelik vektörüne ulaşılmaktadır. Söz konusu modelde $\phi k/k+1$ parametresi, hiyerarşik sıralamada yer alan $C_j(k)$ kriterinin, kendisinden bir sonraki sırada bulunan $C_j(k+1)$ kriterine nispeten taşıdığı göreceli önem düzeyini veya öncelik katsayısını temsil etmektedir. Bu önem katsayılarının sayısal olarak ifade edilmesi aşamasında metodoloji; tam sayılar, ondalık değerler veya önceden yapılandırılmış bir ölçüm skalasının kullanımına olanak tanıyarak ikili kıyaslamaların esnek bir yapıda gerçekleştirilmesine imkan sunmaktadır. Bu esneklik, değerlendirme aşamasında hassas ölçümlerin yapılmasına zemin hazırlamaktadır. Mevcut araştırma kapsamında ise kriterler arası göreceli önem düzeylerini belirlemek amacıyla, aşağıda yer alan Tablo 1'deki "İkili Karşılaştırma Ölçeği" referans alınmıştır.

$$\Phi = (\varphi 1/2, \varphi 2/3, \dots \varphi k/(k+1)) \quad (2)$$

Tablo 1. İkili Karşılaştırma Ölçeği

Önem Düzeyi	Tanım
1	Eşit Önemli
2	Çok Çok Az Önemli
3	Biraz Önemli
4	Orta Düzeyde Önemli
5	Önemli
6	Daha Önemli
7	Çok Önemli
8	Çok Çok Fazla Önemli
9	Aşırı Önemli

Kaynak: Mercan ve Can, 2023.

• 3. Adım: Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Hesaplanması

Metodolojinin son aşamasında, karar problemine temel teşkil eden kriterlerin nihai önem ağırlıkları ($w_1, w_2, \dots, w_n$)^T hesaplanmaktadır. Söz konusu ağırlık değerlerinin geçerli bir biçimde elde edilebilmesi için aşağıda belirtilen iki temel koşulun eş zamanlı olarak sağlanması zorunluluk arz etmektedir:

- Koşul 1: Ağırlık katsayılarının birbirine oranı, Eşitlik (3)'te formüle edildiği üzere, sürecin ikinci basamağında saptanan kriterler arası göreceli öncelik değerlerine tekabül etmektedir.

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3)$$

- Koşul 2: Elde edilen nihai ağırlık katsayılarının matematiksel açıdan geçişlilik (transitivity) prensibini karşılaması gerekmektedir. Bu doğrultuda; ardışık kriterler arasındaki öncelik ilişkisinin $\varphi k/(k+1) \otimes \varphi(k+1)/(k+2) = \varphi k/(k+2)$ eşitliğini sağlaması bir zorunluluktur. Bunun yanı sıra; $\varphi k/(k+1) = \frac{w_k}{w_{k+1}}$ ve $\varphi(k+1)/(k+2) = \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}}$ olduğundan dolayı $\frac{w_k}{w_{k+1}} \otimes \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}} = \frac{w_k}{w_{k+2}}$ olarak elde edilir. Bu noktada, kriterlere ait nihai ağırlık katsayılarının geçerliliği için sağlanması gereken bir diğer temel kriter, Eşitlik (4) ile tanımlanan matematiksel ifade doğrultusunda saptanmaktadır.

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi k / (k+1) \otimes \varphi (k+1) / (k+2) \quad (4)$$

Sistemdeki tam tutarlılık durumu, Eşitlik (3) ve (4) ile tanımlanan kısıtların eş zamanlı olarak sağlanması neticesinde elde edilmektedir. Bir diğer ifadeyle, söz konusu kriterlerin karşılanması, tam tutarlılıktan sapma (TTS) miktarının minimize edilmesini garanti altına almaktadır. Bu doğrultuda, maksimum tutarlılık düzeyine ulaşıldığında, hesaplanan kriter ağırlıkları için belirlenen sapma katsayısı $\chi = 0$ değerini alarak ideal çözüm kümesini oluşturmaktadır. Kriterlerin nihai önem ağırlıklarını hesaplayabilmek amacıyla, Eşitlik (5)'te sunulan doğrusal programlama modelinin çözülmesi gerekmektedir.

$$\text{Min } \chi \quad (5)$$

$$\left| \frac{W_{j(k)}}{W_{j(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi, \forall j$$

$$\left| \frac{W_{j(k)}}{W_{j(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \forall j$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \forall j$$

Eşitlik (5)'te sunulan doğrusal programlama modelinin çözülmesi ile kriterlerin nihai önem ağırlıkları $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ve $TTS(\chi)$ değeri hesaplanır.

4. Uygulama

Araştırma kapsamında, Eskişehir ili Çifteler ilçesinde büyük ölçekli tarımsal faaliyette bulunan 10 tarım işletmesi sahibi ile Eskişehir ilinde traktör endüstrisinde istihdam edilen 10 endüstri profesyoneliyle yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiş, FUCOM yöntemiyle gerçekleştirilen öncelik sıralamasına ek olarak katılımcılara ilişkin tanımlayıcı bilgiler de toplanmıştır.

Tablo 2. Tarım İşletmesi Sahiplerine Ait Tanımlayıcı Bilgiler

Tarım İşletmesi Kodu	Deneyim (Yıl)	Cinsiyet	Ekilen Ürünler	Traktör Sayısı	Traktör Markası
Tİ1	35	E	Arpa, buğday, ayçiçeği, mısır, kabak çekirdeği.	3	Massey Ferguson (2)/Case IH (1)
Tİ2	8	E	Arpa, buğday, ayçiçeği, mısır, kabak çekirdeği.	3	Massey Ferguson (2)/Case IH (1)
Tİ3	15	E	Arpa, buğday, ayçiçeği, mısır, kabak çekirdeği, şeker pancarı.	2	Başak (1)/John Deere (1)
Tİ4	6	E	Arpa, buğday, ayçiçeği, mısır, kabak çekirdeği.	2	Massey Ferguson (1)/Başak (1)
Tİ5	35	E	Arpa, buğday, ayçiçeği, mısır, kabak çekirdeği.	2	Massey Ferguson (1)/Başak (1)
Tİ6	20	E	Arpa, buğday, ayçiçeği, mısır, kabak çekirdeği.	4	John Deere (3)/Massey Ferguson (1)
Tİ7	8	K	Arpa, buğday, ayçiçeği, mısır, kabak çekirdeği, kanola.	3	Massey Ferguson (2)/Başak (1)
Tİ8	20	K	Arpa, buğday, ayçiçeği, yonca, kabak çekirdeği.	3	Massey Ferguson (3)
Tİ9	30	E	Arpa, buğday, ayçiçeği, mısır, kabak çekirdeği, kanola.	3	Massey Ferguson (2)/Başak (1)
Tİ10	22	E	Arpa, buğday, ayçiçeği, mısır, kabak çekirdeği, şeker pancarı.	3	John Deere (1)/Fendt (1)/Steyr (1)

Tablo 2 incelendiğinde, tarım işletmesi sahiplerinin büyük çoğunluğunun uzun yıllara dayanan deneyime sahip olduğu ve örneklemin ağırlıklı olarak erkek işletme sahiplerinden oluştuğu görülmektedir. İşletmelerin çoğunda birden fazla traktör bulunduğu ve ekim deseninin arpa, buğday, ayçiçeği, mısır ve kabak çekirdeği gibi bölgeye özgü ürünler etrafında yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Traktör markası tercihlerinde ise Massey Ferguson'un

baskın bir konuma sahip olduğu, bunu John Deere ve Başak gibi markaların izlediği anlaşılmaktadır.

Tablo 3. Endüstri Profesyonellerine Ait Tanımlayıcı Bilgiler

Endüstri Profesyoneli Kodu	Cinsiyet	Deneyim (Yıl)	Pozisyon
EP1	E	23	Bayi Sahibi
EP2	E	30	Bayi Sahibi
EP3	E	10	Servis Müdürü
EP4	E	3	Servis Danışmanı
EP5	K	2	CRM Uzmanı
EP6	K	18	Satış Sorumlusu
EP7	K	5	CRM Uzmanı
EP8	E	14	Servis Müdürü
EP9	E	7	Bayi Sahibi
EP10	E	17	Satış Sorumlusu

Tablo 3 incelendiğinde, endüstri profesyonellerinin büyük çoğunluğunun erkeklerden oluştuğu ve deneyim düzeylerinin geniş bir aralıkta (2–30 yıl) dağıldığı görülmektedir. Katılımcıların önemli bir kısmının bayi sahibi, servis yöneticisi ve satış sorumlusu gibi karar süreçlerinde doğrudan etkili pozisyonlarda yer alması, elde edilen bulguların sektörel bakış açısını yansıtmaya gücünü artırmaktadır. Ayrıca CRM ve satış alanlarında görev yapan profesyonellerin varlığı, müşteri odaklı değerlendirmelerin analizlere dâhil edilmesine olanak sağlamaktadır.

İşletmelere ve endüstri profesyonellerine ilişkin tanımlayıcı bilgilerin elde edilmesi sonrasında, belirlenen traktör özellikleri (kriterler) katılımcılara sunulmuş ve bu özellikleri önem derecelerine göre sıralamaları talep edilmiştir. Elde edilen verilerin ağırlıklandırılması ve kriterlerin nihai önem düzeylerinin matematiksel olarak doğrulanması noktasında FUCOM yöntemi kullanılmıştır.

FUCOM yönteminin aşamaları çerçevesinde, ilk adımda özellikler, işletme sahipleri ve endüstri profesyonelleri tarafından en yüksek önceliğe sahip olandan en düşük önceliğe sahip olana doğru bir sıralamaya tabi tutulmuştur. Tablo 4 ve Tablo 5’de kriterler için yapılan sıralamalar gösterilmiştir.

Tablo 4. Kriterlerin Önem Sıralamaları (Tİ)

Tarım İşletmesi Kodu	Sıralama
Tİ1	K7>K4>K3>K2>K5>K1>K6
Tİ2	K1>K7>K3>K2>K5>K4>K6
Tİ3	K7>K2>K1>K3>K5>K4>K6
Tİ4	K5>K7>K4>K2>K3>K6>K1
Tİ5	K1>K2>K3>K5>K6>K7>K4
Tİ6	K7>K3>K5>K4>K1>K2>K6
Tİ7	K7>K3>K1>K2>K4>K5>K6
Tİ8	K2>K3>K4>K1>K7>K5>K6
Tİ9	K4>K5>K3>K2>K7>K1>K6
Tİ10	K5>K7>K4>K3>K2>K1>K6

Tablo 5. Kriterlerin Önem Sıralamaları (EP)

Endüstri Profesyoneli Kodu	Sıralama
EP1	K6>K2>K1>K3>K7>K5>K4
EP2	K2>K1>K3>K6>K5>K7>K4
EP3	K6>K2>K7>K4>K5>K3>K1
EP4	K1>K6>K4>K3>K2>K5>K7
EP5	K7>K5>K2>K6>K3>K1>K4
EP6	K2>K3>K1>K7>K5>K4>K6
EP7	K1>K7>K3>K2>K5>K4>K6
EP8	K2>K7>K6>K3>K4>K5>K1
EP9	K2>K1>K6>K5>K7>K4>K3
EP10	K2>K1>K3>K5>K7>K4>K6

Yöntemin ikinci adımında işletme sahipleri ve endüstri profesyonelleri, en önemli olarak gördükleri kriterin diğer kriterlere kıyasla ne derece öncelikli olduğuna dair ikili karşılaştırmalar yoluyla karşılaştırmalı önem düzeylerini tayin etmişlerdir. Bu çalışmada, daha önce de ifade edildiği gibi Tablo 1’de sunulan İkili Karşılaştırma Ölçeği’nden faydalanılmıştır. İlk olarak işletme sahipleri için belirlenen karşılaştırmalı öncelikler aşağıdaki gibidir:

- Tİ1’e göre K7 kriteri K4 kriterinden 2 kat; K3 kriterinden 3 kat; K2 kriterinden 4 kat; K5 kriterinden 5 kat; K1 kriterinden 6 kat; K6 kriterinden 7 kat daha önemlidir.

- Tİ2'ye göre K1 kriteri K7 kriterinden 3 kat; K3 kriterinden 4 kat; K2 kriterinden 5 kat; K5 kriterinden 7 kat; K4 kriterinden 8 kat; K6 kriterinden 9 kat daha önemlidir.
- Tİ3'e göre K7 kriteri K2 kriterinden 3 kat; K1 kriterinden 4 kat; K3 kriterinden 5 kat; K5 kriterinden 6 kat; K4 kriterinden 7 kat; K6 kriterinden 9 kat daha önemlidir.
- Tİ4'e göre K5 kriteri K7 kriterinden 2 kat; K4 kriterinden 3 kat; K2 kriterinden 4 kat; K3 kriterinden 5 kat; K6 kriterinden 6 kat; K1 kriterinden 7 kat daha önemlidir.
- Tİ5'e göre K1 kriteri K2 kriterinden 2 kat; K3 kriterinden 3 kat; K5 kriterinden 4 kat; K6 kriterinden 5 kat; K7 kriterinden 6 kat; K4 kriterinden 7 kat daha önemlidir.
- Tİ6'ya göre K7 kriteri K3 kriterinden 3 kat; K5 kriterinden 4 kat; K4 kriterinden 5 kat; K1 kriterinden 6 kat; K2 kriterinden 7 kat; K6 kriterinden 8 kat daha önemlidir.
- Tİ7'ye göre K7 kriteri K3 kriterinden 3 kat; K1 kriterinden 4 kat; K2 kriterinden 5 kat; K4 kriterinden 6 kat; K5 kriterinden 7 kat; K6 kriterinden 9 kat daha önemlidir.
- Tİ8'e göre K2 kriteri K3 kriterinden 2 kat; K4 kriterinden 3 kat; K1 kriterinden 4 kat; K7 kriterinden 5 kat; K5 kriterinden 6 kat; K6 kriterinden 8 kat daha önemlidir.
- Tİ9'a göre K4 kriteri K5 kriterinden 2 kat; K3 kriterinden 3 kat; K2 kriterinden 4 kat; K7 kriterinden 5 kat; K1 kriterinden 6 kat; K6 kriterinden 7 kat daha önemlidir.
- Tİ10'a göre K5 kriteri K7 kriterinden 4 kat; K4 kriterinden 5 kat; K3 kriterinden 6 kat; K2 kriterinden 7 kat; K1 kriterinden 8 kat; K6 kriterinden 9 kat daha önemlidir.

İkinci olarak endüstri profesyonelleri için belirlenen karşılaştırmalı öncelikler aşağıdaki gibidir:

- EP1'e göre K6 kriteri K2 kriterinden 2 kat; K1 kriterinden 3 kat; K3 kriterinden 4 kat; K7 kriterinden 5 kat; K5 kriterinden 6 kat; K4 kriterinden 8 kat daha önemlidir.
- EP2'ye göre K2 kriteri K1 kriterinden 3 kat; K3 kriterinden 4 kat; K6 kriterinden 5 kat; K5 kriterinden 7 kat; K7 kriterinden 8 kat; K4 kriterinden 9 kat daha önemlidir.

- EP3'e göre K6 kriteri K2 kriterinden 2 kat; K7 kriterinden 3 kat; K4 kriterinden 4 kat; K5 kriterinden 5 kat; K3 kriterinden 6 kat; K1 kriterinden 7 kat daha önemlidir.
- EP4'e göre K1 kriteri K6 kriterinden 3 kat; K4 kriterinden 4 kat; K3 kriterinden 5 kat; K2 kriterinden 6 kat; K5 kriterinden 7 kat; K7 kriterinden 9 kat daha önemlidir.
- EP5'e göre K7 kriteri K5 kriterinden 3 kat; K2 kriterinden 4 kat; K6 kriterinden 5 kat; K3 kriterinden 6 kat; K1 kriterinden 7 kat; K4 kriterinden 9 kat daha önemlidir.
- EP6'ya göre K2 kriteri K3 kriterinden 3 kat; K1 kriterinden 4 kat; K7 kriterinden 5 kat; K5 kriterinden 6 kat; K4 kriterinden 7 kat; K6 kriterinden 8 kat daha önemlidir.
- EP7'ye göre K1 kriteri K7 kriterinden 3 kat; K3 kriterinden 4 kat; K2 kriterinden 5 kat; K5 kriterinden 6 kat; K4 kriterinden 7 kat; K6 kriterinden 8 kat daha önemlidir.
- EP8'e göre K2 kriteri K7 kriterinden 2 kat; K6 kriterinden 3 kat; K3 kriterinden 4 kat; K4 kriterinden 5 kat; K5 kriterinden 6 kat; K1 kriterinden 8 kat daha önemlidir.
- EP9'a göre K2 kriteri K1 kriterinden 2 kat; K6 kriterinden 3 kat; K5 kriterinden 4 kat; K7 kriterinden 5 kat; K4 kriterinden 6 kat; K3 kriterinden 7 kat daha önemlidir.
- EP10'a göre K2 kriteri K1 kriterinden 3 kat; K3 kriterinden 4 kat; K5 kriterinden 5 kat; K7 kriterinden 6 kat; K4 kriterinden 7 kat; K6 kriterinden 8 kat daha önemlidir.

Kriterlerin karşılaştırmalı öncelikleri belirlendikten sonra yöntemin üçüncü adımında, her bir işletme sahibi ve endüstri profesyoneli için her bir kriterin nihai ağırlığı hesaplanmıştır. İşletme sahipleri ve endüstri profesyonellerinin görüşleri dikkate alınarak hesaplanan kriter ağırlıkları Tablo 6 ve Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Tarım İşletmesi Sahiplerinin Görüşlerine Göre Kriter Ağırlıkları

İşletme Kodu	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Tİ1	0.053	0.080	0.107	0.160	0.064	0.046	0.321
Tİ2	0.342	0.068	0.086	0.043	0.049	0.038	0.114
Tİ3	0.088	0.117	0.070	0.050	0.058	0.038	0.350
Tİ4	0.046	0.080	0.064	0.107	0.321	0.053	0.160
Tİ5	0.333	0.167	0.111	0.048	0.083	0.067	0.056
Tİ6	0.057	0.049	0.114	0.068	0.085	0.043	0.341
Tİ7	0.095	0.076	0.127	0.063	0.054	0.042	0.382
Tİ8	0.083	0.330	0.165	0.110	0.055	0.041	0.066
Tİ9	0.058	0.088	0.117	0.350	0.175	0.050	0.070
Tİ10	0.044	0.050	0.059	0.070	0.352	0.039	0.088

Tablo 7. Endüstri Profesyonellerinin Görüşlerine Göre Kriter Ağırlıkları

Endüstri Profesyoneli Kodu	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
EP1	0.107	0.160	0.080	0.040	0.053	0.321	0.064
EP2	0.114	0.342	0.086	0.038	0.049	0.068	0.043
EP3	0.050	0.117	0.058	0.088	0.070	0.350	0.117
EP4	0.321	0.053	0.064	0.080	0.046	0.107	0.036
EP5	0.050	0.088	0.058	0.039	0.117	0.070	0.350
EP6	0.083	0.330	0.110	0.055	0.066	0.041	0.083
EP7	0.342	0.068	0.086	0.049	0.057	0.043	0.114
EP8	0.041	0.330	0.083	0.066	0.055	0.110	0.165
EP9	0.175	0.350	0.050	0.058	0.088	0.117	0.070
EP10	0.114	0.342	0.086	0.049	0.069	0.043	0.057

Son aşamada, kriterlerin nihai ağırlıklarını saptamak maksadıyla, 10 işletme sahibinin ve endüstri profesyonelinin her bir kritere yönelik atamış oldukları ağırlık değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak birleştirilmiştir. Her bir kriterin nihai ağırlıklandırma sonucu Tablo 8 ve Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 8. Nihai Kriter Ağırlıkları (Tİ)

Kriterler	Ağırlık
K7 (Malzeme kalitesi ve dayanıklılık)	0.205
K5 (Konfor)	0.130
K1 (Fiyat)	0.120
K2 (Bayi güvenilirliği ve satış sonrası destek)	0.110
K3 (Yakıt tüketimi)	0.109
K4 (Teknolojik altyapı)	0.102
K6 (Yakın çevrenin yaygın kullanımı)	0.046

Tablo 9. Nihai Kriter Ağırlıkları (EP)

Kriterler	Ağırlık
K2 (Bayi güvenilirliği ve satış sonrası destek)	0.214
K6 (Yakın çevrenin yaygın kullanımı)	0.137
K1 (Fiyat)	0.129
K7 (Malzeme kalitesi ve dayanıklılık)	0.110
K3 (Yakıt tüketimi)	0.076
K5 (Konfor)	0.069
K4 (Teknolojik altyapı)	0.052

FUCOM yöntemiyle elde edilen bulgular, tarım işletme sahiplerinin traktör özelliklerinde en fazla K7 kriterine önem verdiklerini göstermektedir. K7 kriterini sırasıyla K5 ve K1 kriterleri izlemektedir. Buna karşılık, K6 kriteri tüm işletmeler genelinde en düşük ağırlığa sahip kriter olarak öne çıkmıştır. Bu durum, tarım işletmelerinin traktör seçim kararlarında performans ve stratejik fayda sağlayan özelliklere daha fazla odaklandıklarını göstermektedir. Buna karşılık FUCOM yöntemi sonuçları, endüstri profesyonellerinin traktör özelliklerinde en yüksek önceliği K2 kriterine verdiklerini, bunu K6 ve K1 kriterlerinin izlediğini göstermektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Akıllı tarım sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte tarımsal üretimde dijitalleşme, mekanizasyon yatırımlarının karar mantığını dönüştürerek bu yatırımları yalnızca fiziksel kapasite artışına yönelik tercihler olmaktan çıkarmış; dijital uyumluluk, veri üretimi ve teknoloji entegrasyonu gibi unsurlar üzerinden stratejik bir nitelik kazanmasına neden olmuştur. Diğer bir ifadeyle sensör teknolojileri, veri temelli karar destek sistemleri ve

otomasyon uygulamalarının etkin biçimde kullanılabilmesi, mekanizasyon altyapısının bu dijital teknolojilerle uyumlu olmasını zorunlu kılmaktadır (Lowenberg-DeBoer & Erickson, 2019). Bu bağlamda tarımsal üretimde temel mekanizasyon aracı olan traktörler, yalnızca tarımsal faaliyetlerin yürütülmesinde kullanılan fiziksel üretim araçları değil; aynı zamanda veri üretimi, iletimi ve işlenmesi yoluyla akıllı tarım uygulamalarının sahadaki temel taşıyıcıları olarak öne çıkmaktadır (Tzounis vd., 2017; Eastwood vd., 2019). Dolayısıyla traktör seçimi, dijitalleşme çağında teknik, ekonomik ve operasyonel kriterlerin yanı sıra dijital uyumluluk ve entegrasyon kapasitesini de içeren çok boyutlu bir karar süreci olarak değerlendirilmekte; bu durum, farklı paydaşların söz konusu kararlara ilişkin önceliklerinin sistematik yöntemlerle analiz edilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmada FUCOM yöntemi kullanılarak tarım işletmeleri ile endüstri profesyonellerinin traktör özelliklerinde önem atfettikleri kriterler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, iki paydaş grubunun karar önceliklerinde belirgin farklılıklar bulunduğunu ortaya koymaktadır. Tarım işletmeleri (Tİ) grubunda K7 (malzeme kalitesi ve dayanıklılık) kriterinin en yüksek ağırlığa (0.205) sahip olması, işletmelerin mekanizasyon yatırımlarını öncelikle operasyonel süreklilik ve fiziksel sağlamlık temelinde değerlendirdiğini göstermektedir. Diğer taraftan, endüstri profesyonelleri (EP) grubunda K2 (bayi güvenilirliği ve satış sonrası destek) kriterinin ilk sırada (0.214) yer alması, sektör profesyonellerinin sürdürülebilir bir müşteri ilişkisi ve teknik destek ağını pazarın en kritik bileşeni olarak gördüğünü kanıtlamaktadır. Özellikle EP grubunda K6 (yakın çevrenin yaygın kullanımı) kriterinin ikinci sırada yer alması, profesyonellerin teknolojinin benimsenmesinde Rogers (2003) tarafından tanımlanan sosyal çevrenin ve gözlemlenebilirliğin gücüne rasyonel bir güven duyduklarını göstermektedir. Ancak Tİ grubunun bu kriteri (K6) son sıraya koyması, son kullanıcıların artık sosyal referanslardan ziyade makinenin doğrudan performans ve dayanıklılık verilerine odaklandığına işaret eden dikkat çekici bir bulgudur. Bu durum, Kutter ve ark. (2011) tarafından belirtilen, teknoloji sağlayıcılar ile kullanıcılar arasındaki öncelik farklarının dijital adopsiyonu yavaşlatabileceği riskiyle örtüşmektedir.

Kriterlerin orta sıralarındaki dağılım incelendiğinde, K5 (konfor) kriterinin tarım işletmeleri nezdinde ikinci en önemli öncelik olarak ortaya çıkması, son kullanıcılar için operatör odaklı ergonominin stratejik bir verimlilik unsuru olarak kabul edildiğini göstermektedir. Buna karşın, endüstri profesyonellerinin konforu ve yakıt tüketimini (K3) daha alt sıralarda konumlandırması, sektörün pazarlama stratejilerinde hala bayi güvencesi gibi geleneksel güven unsurlarının fonksiyonel özelliklerin önünde

tutulduğuna işaret etmektedir. Fiyat (K1) kriterinin her iki grupta da benzer bir ağırlıkla orta seviyede kalması ise, akıllı tarım ekosisteminde kararların salt maliyet odaklılıktan çıkarak, toplam sahip olma maliyeti ve hizmet kalitesi eksenine kaydığını kanıtlamaktadır.

Her iki grubun önceliklendirme listesinde K4 (teknolojik altyapı) kriterinin nispeten alt sıralarda yer alması, akıllı tarım sistemlerine geçiş sürecinde teknolojinin kendisinden ziyade, bu teknolojiyi ayakta tutan mekanik sağlamlık ve servis altyapısının hala “ön koşul” olarak algılandığını göstermektedir. Sonuç olarak, gelecekteki dijital tarım stratejileri için traktör üreticilerinin, “akıllı” özellikleri sadece teknolojik birer eklenti olarak değil, tarım işletmelerinin en çok önemsendiği “dayanıklılık” ve “operasyonel süreklilik” vaatlerini güçlendiren temel fonksiyonlar olarak sunmaları kritik bir önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma traktör özelliklerini önceliklendirilmesi kararlarının çok boyutlu, paydaş temelli ve bağlama duyarlı bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. FUCOM yöntemi, hem tarım işletmeleri hem de endüstri profesyonelleri açısından kriter önceliklerinin açık ve tutarlı biçimde belirlenmesine olanak sağlamış; akıllı tarım sistemleri bağlamında karar vericilere stratejik bir analiz çerçevesi sunmuştur. Gelecek araştırmalarda, bu çalışmada kullanılan FUCOM yönteminin sonuçlarını farklı çok kriterli karar verme metodolojileriyle karşılaştırarak tutarlılık analizi yapılması ve farklı coğrafi bölgelere odaklanan spesifik analizlerin gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Kaynakça

- Aksoy, A., Demir, N., & Demir, O. (2019). An analysis on determinants of farmers' tractor purchasing behavior in Erzurum Province. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50(1), 75–83.
- Auernhammer, H. (2001). Precision farming—The environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30(1–3), 31–43.
- Aybek, A. (2002). Kahramanmaraş yöresi tarım işletmecilerinin traktör satın alırken dikkate aldıkları faktörler. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 88–94.
- Ayçin, E., & Aşan, H. (2021). İş zekâsı uygulamaları seçimindeki kriterlerin önem ağırlıklarının FUCOM yöntemi ile belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 195–208.
- Bayar, Y., & Uğurlu, Ö. Y. (2025). İşletme Alanında Yeşil Girişimcilik Konusunda Yayınlanmış Makalelerin Bilim Haritalama Teknikleri ile Bibliyometrik Analizi. *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(4), 1864–1881.
- Baybas, S., & Aksoy, A. (2021). Erzurum ili çiftçilerinin traktör marka tercihini etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(2), 376–389.
- Blackmore, S., Godwin, R. J., & Fountas, S. (2003). The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystems Engineering*, 84(4), 455–466.
- Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5(4), 359–387.
- Eastwood, C., Klerkx, L., Ayre, M., & Dela Rue, B. (2019). Managing socio-ethical challenges in the development of smart farming: From a fragmented to a comprehensive approach for responsible research and innovation. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 32(5), 741–768.
- Ecer, F. (2021). Sürdürülebilir tedarikçi seçimi: FUCOM subjektif ağırlıklandırma yöntemi temelli MAIRCA yaklaşımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 26–48.
- Fountas, S., Sørensen, C. G., Tsiropoulos, Z., Cavalaris, C., Liakos, V., & Gemtos, T. (2015). Farm machinery management information system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 110, 131–138.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828–831.
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23–37.
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions

- and a future research agenda. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, 100315.
- Kutter, T., Tiemann, S., Siebert, R., & Fountas, S. (2011). The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. *Precision Agriculture*, 12(1), 2–17.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- Lioutas, E. D., & Charatsari, C. (2020). Smart farming and short food supply chains: Are they compatible?. *Land use policy*, 94, 104541.
- Lowenberg-DeBoer, J., & Erickson, B. (2019). Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*, 111(4), 1552–1569.
- Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications: A review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research – Ekonomika Istraživanja*, 28(1), 516–571.
- Mercan, T., & Can, A. (2023). İşgören seçiminde etkili olan faktörlerin FUCOM yöntemi ile değerlendirilmesi: Bir havayolu işletmesinde uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 14(40), 1311–1329.
- Mishra, D., & Satapathy, S. (2023). Reliability and maintenance of agricultural machinery by MCDM approach. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 14(1), 135–146.
- Pamucar, D., Stevic, Z., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full consistency method (FUCOM). *Symmetry*, 10(9), 393. <https://doi.org/10.3390/sym10090393>
- Peci, A., Puška, A., Marinković, D., & Nedeljković, M. (2025). Evaluation of tractors based on sustainability criteria using multi-criteria decision-making methods. *Engineering Review*, 45(1). <https://doi.org/10.30765/er.2706>
- Pedersen, S. M., Fountas, S., Have, H., & Blackmore, B. S. (2006). Agricultural robots—System analysis and economic feasibility. *Precision Agriculture*, 7(4), 295–308.
- Puška, A., Štilić, A., Nedeljković, M., Božanić, D., Milić, A., & Tešić, D. (2024). Application of fuzzy-rough approach in tractor selection. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*, 3(4), 434–446.
- Ramu, P., Ram Kumar, B. A. V., Gopala Raju, P., & Sowmya, M. (2025). Applications of Internet of Things (IoT) in agriculture: A review. *Journal of Agrometeorology*, 27(4), 544–554. <https://doi.org/10.54386/jam.v27i4.3084>
- Rose, D. C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 387545.

- Schueller, J. K. (1992). A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production. *Fertilizer Research*, 33(1), 1–34.
- Singh, G. (2006). Estimation of a mechanisation index and its impact on production and economic factors—A case study in India. *Biosystems Engineering*, 93(1), 99–106.
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231.
- Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). *Digital technologies in agriculture and rural areas: Status report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture: Recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, 164, 31–48.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.

