


Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları

Artificial Intelligence, Deep Learning, and Internet of Things Applications in Agricultural Smart Irrigation Systems

Hasan Şahin¹ 

¹ Harran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): H. Şahin, e-mail (e-posta): hsahin@harran.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 14.03.2024
Düzeltilme tarihi : 02.04.2024
Kabul tarihi : 24.04.2024

Anahtar Kelimeler:

Akıllı Sulama
Su Temini
Yapay Zekâ
Tarım

Atf için:

Şahin, H., (2024). "Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1): 41-60.

ÖZET

Tarımsal sulamada su yönetimi, şüphesiz en önemli başlıklardan birisidir. Tarımsal sulama amaçlı su tedarikinin, gündemde olan iklim değişikliği, küresel ısınma ve su krizi gibi hususlar da göz önüne alındığında, ileriki zamanlarda çok daha önemli bir sorun olarak karşımıza çıkacağı tahmin edilmektedir. Bu yüzden, tarımsal sulamada su kullanımının optimizasyonu ile su kaybının en aza indirilmesi gerekmektedir. Son zamanlarda, bu endişelerle, tarımsal sulamada yapay zekâ (AI) yönetimi, derin öğrenme (DL) teknikleri ve nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarından faydalanılmaktadır. Akıllı sulama sistemleri orta ölçekli çiftçiler için de önerilebilmektedir ancak sistemin verimliliği; sulanan tarım alanının büyüklüğü, arazi topoğrafyası, ürün çeşidi, su kaynağı, çevresel faktörler gibi farklı parametrelere bağlıdır. Büyük ölçekli tarım alanları için akıllı sulama sistemlerinin kullanımı, su kaynaklarının azalmasından dolayı daha da zorunlu hale gelmektedir. Büyük ölçekli tarımsal alanların etkili, doğru ve optimum bir şekilde sulanabilmesi için farklı sensörler, uydu görüntüleri, hava tahmin değerleri ve otomatik kontrol elemanlarından oluşan sistemlerin kullanımı önerilmektedir. Ancak, akıllı sulama sistemleri ve diğer yeni tarım teknolojilerinin kullanımı özendirilirken, çiftçilerin de ilgili kurumlar tarafından bilgilendirilerek yanlış teknolojilere yatırım yapmalarının önlenmesi konusu unutulmaması gereken önemli bir husustur. Yeni tarım teknolojilerinde ithalat yerine, yerli üretimin teşvik edilmesi ve kamu kurumlarının koordinasyonu sağlanmalıdır.

Article Info

Received date : 14.03.2024
Revised date : 02.04.2024
Accepted date : 24.04.2024

Keywords:

Smart Irrigation
Water Supply
Artificial Intelligence
Agriculture

How to Cite:

Şahin, H., (2024). "Artificial Intelligence, Deep Learning, Internet of Things Applications in Agricultural Smart Irrigation Systems", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 20(1): 41-60.

ABSTRACT

Water management in agricultural irrigation is undoubtedly one of the most important topics. Considering the current issues such as climate change, global warming, and the water crisis, water supply for agricultural irrigation purposes is expected to emerge as a much more important problem in the future. Therefore, water loss should be minimized by optimizing water use in agricultural irrigation. Recently, with these concerns, Artificial Intelligence (AI) management, Deep Learning (DL) techniques, and Internet of Things (IoT) applications have been utilized in agricultural irrigation. Smart irrigation systems can also be recommended for medium-scale farmers however the efficiency of the system depends on different parameters, such as the size of the irrigated agricultural area, land topography, product type, water source, and environmental factors. The use of smart irrigation systems for large-scale agricultural areas is becoming more necessary due to the decrease in water resources. To irrigate large agricultural areas effectively, accurately, and optimally, it is recommended to use a system consisting of different sensors, satellite images, weather forecast data, and automatic control systems. However, while promoting the use of smart irrigation systems and other new agricultural technologies, it is important issue that not to overlook the need to inform farmers by relevant institutions to prevent them from investing in the wrong technologies. Instead of importing new agricultural technologies, promoting domestic production and ensuring coordination among public institutions should be facilitated.

1. GİRİŞ

Su yönetimi, günümüz uluslararası toplumun en önemli tartışma konularından biridir. Su temini ve geri kazanımı, yaklaşmakta olan küresel su krizi yönetiminin en önemli başlığıdır. Kuraklıklar ve seller, küresel gıda güvenliği açısından yıkıcı sonuçlar doğurarak ekosistemimizi zorlamaktadır. Küresel tatlı su tüketiminin %72'sini oluşturan tarım, tüm sektörlerin içinde bu küresel krizin çözümünde kilit rol oynamaktadır. Tarım için küresel su talebinin, 2050 yılına kadar %35 daha artması beklenmektedir (FAO, 2018; Perez-Blanco vd., 2020). Bu çok yönlü zorlukların üstesinden gelmek için tarıma yönelik su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımının güvence altına alınması çok önemlidir. Dünya nüfusu arttıkça ve kentleşme hızlandıkça, tamamı suya bağımlı olan farklı ekonomik sektörler arasındaki su temini rekabeti daha da kritik hale gelecektir (Bhatti vd., 2019; UN, 2020). Tarımsal su kullanımı uygulamalarında, aşırı, gereksiz, hatta zararlı su tüketimini azaltmak için yeni sulama teknolojilerinin kullanımı kaçınılmazdır.

Tatlı su kıtlığı, özellikle Akdeniz ülkeleri veya Hindistan gibi Güney Asya ülkelerinde artan bir endişe kaynağıdır. Avrupa ülkeleri arasında Akdeniz ülkeleri kuraklıktan en fazla etkilenen ülkeler olarak kabul edilmektedir. İklim politikaları ile su yönetimi birbirinden bağımsız konular değildir. Su yönetimi, farklı sektörlerden gelen su talebi veya belirli derecelerdeki ısınmanın hidrolojik kaynaklar üzerindeki sonuçları gibi farklı değişkenlerden etkilenebilmektedir (Muthuminal ve Priya, 2023). Küresel ısınmanın olası sonuçları, gıda üretimi ve insanlar için suyun kullanılabilirliğini sağlamak ve ekosistemleri korumak için su adaptasyon önlemlerinin yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır (Phasinam vd., 2022).

Tarımsal sulama sistemlerinden; damla, yağmurlama, pivot ve akıllı sulama sistemleri sıralaması aynı zamanda sulama teknolojilerinin bir kronolojisidir. Tekrarlanan tarımsal aktivitelerin otomasyonunun geleneksel işçi veya makine yaklaşımından daha verimli ve etkili olduğunu bilinmektedir (Şahin, 2022). Özellikle, hali hazırda kullanılmakta olan akıllı sulama sistemleri, yapay zekâ ve nesnelerin interneti uygulamalarıyla adeta bir iş birliğine giderek çok şaşırtıcı ve hızlı bir şekilde kullanım alanı bulmaya devam etmektedir.

Akıllı sulama sistemleri; bitkiye doğru zamanda yeterli miktarda su verilmesi için geliştirilmiş akıllı vana, sensör kontrolü ile arazi ve bitki durumu ölçümlerini karşılaştırarak sulama çözümü sunan sistemlerdir. Etkili dağıtım, koruma ve su kalitesi standartlarını sürdürmek için akıllı su yönetimi uygulamasına ciddi bir ihtiyaç vardır (AlZu'bi vd., 2019; Hachimi vd., 2023). Son zamanlarda, atık su geri dönüşümünde, su dağıtımında, yağmur suyu hasadı ve tarımsal sulamada yapay zeka (AI) yönetimi modelleri uygulanmaktadır. Bu uygulamalar, akıllı su yönetimi sistemlerinin gelecekte nasıl yaygınlaşacağını işaretlerini vermektedir (Bouali vd., 2022; Jain, 2023; Jiménez vd., 2022; Khriji vd., 2021; Ndunagu vd., 2022).

Tarımsal sulamanın tarihsel özetine bakıldığında, "akıllı sulama sistemi" temellerinin aslında 70'li yıllara dayandığı görülmektedir. Akıllı izleme sistemlerinin uygulamaya konulmasını takiben, 1970'ten 1980'li yılların sonuna kadar, sulamada "su kısıtlamaları" ile ilgili çok sayıda araştırma yapıldığı görülmektedir. Nüfusla birlikte su talebinin de artmaya başladığı 1970'lerden itibaren artan talep, doğal kaynakların tükenme tehlikesini gündeme getirerek, tarımsal sulama senaryolarının iyileştirilmesini zorunlu hale getirmiştir (Murgabayev vd., 2022; Ugli, 2022).

Dünyanın en kalabalık nüfusunu barındıran Çin'de sulu tarım, ülkenin toplam su kaynaklarının %60'ına yakını tüketmektedir. Bununla birlikte, nüfus artışı, hızlı sanayileşme ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri, sorunu daha da ağırlaştırmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı, Çin son birkaç yılda su tasarrufuna yönelik ulusal yatırımları önemli ölçüde artırarak, çiftçileri ve yerel su yöneticilerini su tasarrufu konusunda teşvik ederek su tasarrufu yapmaya çalışmaktadır (Zeng vd., 2023).

Teknolojik yeniliklerin artmasıyla tarımsal üretimde daha yüksek verim elde etmek mümkün hale gelmiştir. Benzer şekilde, tarımsal alanların durumunu kontrol etmek ve izlemek için nesnelerin interneti çok başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Tarımsal sulamada dağıtılan suyu kontrol etmek için akıllı telefon aracılığıyla kontrol edilebilen akıllı sulama sistemi ile ilgili çalışmalarda yüksek başarılar elde edilmektedir. Olatunji vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, sulama süreci akıllı telefon, bilgisayar programlama ve mikro hesaplamayla otomatikleştirilerek yapılmıştır. Bu araştırma; mikro bilgisayar, internet sürücüsü, su boruları, denetleyiciler ve sensörler kullanılarak gerçekleştirilmiş olup kullanıcı arayüz tasarımında Virtuino ile C++ programlama dili kullanılmıştır. Sistem test edilmiş ve %95,5 verim elde edilmiştir. Benzer çalışmalarda da yüksek verim değerleri elde edilmiştir (Abdelmoamen Ahmed vd., 2021; Lakshmiprabha ve Govindaraju, 2023; Sasi Kumar vd., 2023).

İnternetin kamuya açık hale geldiği 1989'dan sonra, internete ve web tabanlı veri depolamaya dayalı kontrol sistemlerinin gelişimi, nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarına zemin hazırlamıştır. Tarımsal üretimde kullanılmak üzere kablosuz sensör ağı (Wireless Sensor Network-WSN) uygulaması için geliştirilen aktüatörler ve sensörlerin kullanımı da hızla yaygınlaşmaktadır. Tarımsal sulama, gübreleme, zararlı yönetimi, yabancı ot kontrolü ve hastalık tespiti gibi ihtiyaçlar da araştırmacıları teşvik ederek, tarımda ileri teknoloji kullanımının yolunu açmıştır. Bu nedenle günümüzde tarımsal üretimde artık sadece büyük değil, küçük ve orta ölçekli tarım işletmelerinde de makine öğrenmesi (ML), yapay zekâ (AI), insansız hava araçları (İHA) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi ileri teknoloji uygulamaları sıkça görülmektedir (Abernethy, 2010; Aubriot, 2022; Bouali vd., 2022; Fathy ve Ali, 2023; Jain, 2023; Jiménez vd., 2022; Khashiboun vd., 2007; Khrijji vd., 2021; Ndunagu vd., 2022; Otavio vd., 2016; Sharma vd., 2018; Stolojescu-Crisan vd., 2022).

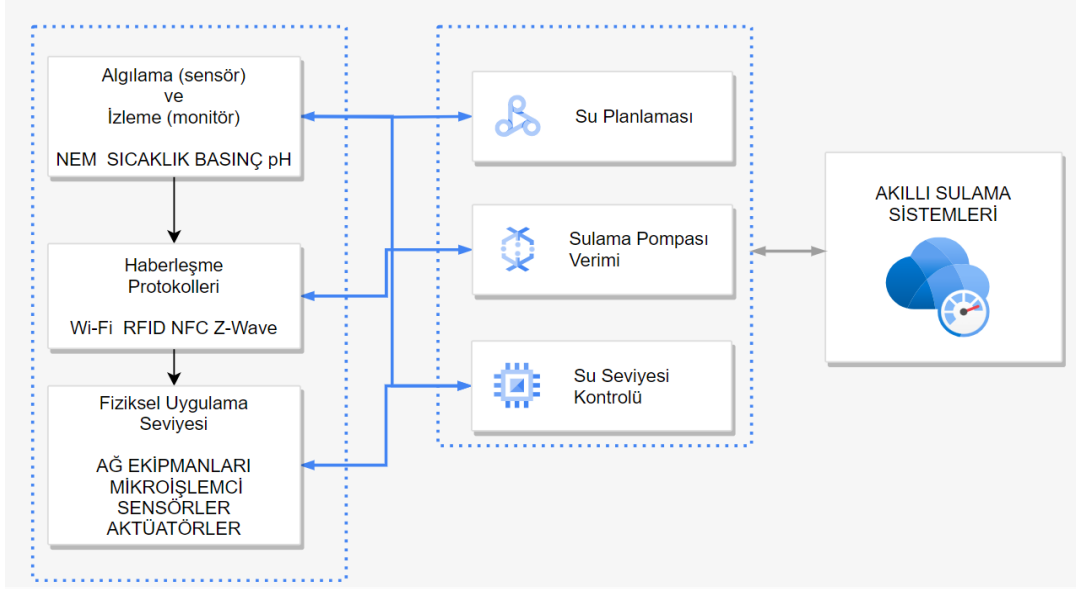
Küresel ısınmanın olası sonuçları, gıda üretimi ve insanlar için suyun kullanılabilirliğini sağlamak ve ekosistemleri korumak için su adaptasyon önlemlerinin yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır (Bojago ve Abrham, 2023; Phasinam vd., 2022). İklim değişikliğinin olası riskleri arasında; su kıtlığının artması, su kalitesinin düşmesi, su ve toprak tuzluluğunun artması, biyolojik çeşitlilik kaybı, sulama gereksinimlerinin artması, acil durum ve iyileştirme eylemlerinin olası maliyetleri de yer almaktadır (Ahansal vd., 2022; Alves vd., 2023; Bhardwaj vd., 2022; Bjornlund vd., 2020; Khachatryan vd., 2020).

2. AKILLI SULAMA SİSTEMLERİNİN TEMEL ELEMANLARI

Akıllı sulama sistemleri, genellikle tarım ve peyzaj uygulamalarında su kullanımını optimize etmek için kullanılan ileri teknolojik sistemlerdir. Temel bir akıllı sulama sistemi; sensörler, kontrolörler, iletişim sistemleri, vanalar ve yağmurlama sistemleri, hava durumu istasyonları ve veri analitiği yazılımından meydana gelmektedir (Şekil 1). Bu bileşenler, su kullanımını optimize etmek, kaynakları korumak, tarım ve peyzaj uygulamalarında sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak amacıyla birlikte kullanılmaktadır. Akıllı su teknolojisinde sulama sistemine entegre edilen akıllı su vanaları,

oransal sulamaya imkân sağlayarak, su tüketiminin uzaktan kontrol edilmesine de olanak tanımaktadır.

Sistemde kullanılan akıllı su vanası; bir vana kontrolörü, bir akış ölçer, kablosuz bağlantı ve bir güç kaynağı içermektedir. Akıllı vana, sulama hatlarındaki su akışını ölçen akış ölçerlerden veri almaktadır. Daha sonra bu bilgiyi kablosuz bağlantı aracılığıyla bulut tarafından yönetilen bir yazılım platformuna göndermektedir. Buradan su kullanım verilerine akıllı telefonda veya bilgisayar erişilerek ayarlamalar yapılmaktadır.



Şekil 1. Akıllı sulama sistemlerinin temel bileşenleri

Akıllı sulama sistemleri şu temel elemanlardan meydana gelmektedir;

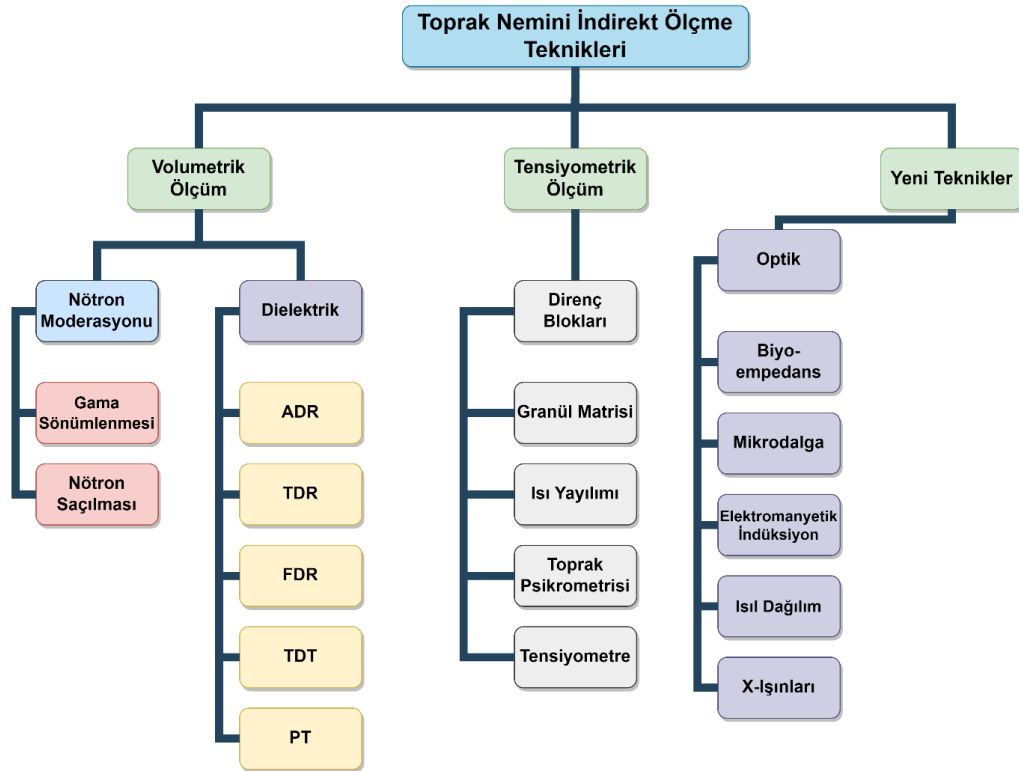
2.1. Sensörler

Sensörler, toprak nemi, sıcaklık, nem ve yağış gibi çevresel koşullara ilişkin verileri toplayarak akıllı sulama sisteminde su kullanımının planlanmasını sağlamaktadır. Bu sensörler, gerçek zamanlı bilgi sağlamak, hassas sulama planlamasına olanak tanımak ve aşırı sulamayı veya su altında kalmayı önlemek için tarlada veya bahçede uygun lokasyonlara yerleştirilmektedir. Özellikle toprak nemi ölçümünde son dönemlerde farklı teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Suyun toprakta geçici olarak depolanması, toprak nemi olarak ifade edilmektedir. Su stresinin tespit edilmesi ve sulamanın yönetilmesi açısından toprak nemi kritik öneme sahiptir. Toprak nemi verileri aynı zamanda kuraklık gibi doğal afetleri tahmin etmek için de kullanılmaktadır. Toprak nemi ölçümünde daha çok indirekt yöntemler tercih edilmektedir (Şekil 2). Bu yöntemler volümetrik teknikler olarak da bilinen tekniklerdir. Bu yöntemlerde, toprak profilindeki bazı değişkenleri ölçerek dolaylı olarak toprak nem içeriği belirlenmekte olup gerçek zamanlı sulama yönetimi kararları için daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. Toprak neminin mekânsal ve zamansal değişimi, iklim, topografya, toprak özellikleri, bitki örtüsü ve arazi kullanımı gibi beş önemli faktörden etkilenmektedir. Örneğin, güneş radyasyonu ve sıcaklık faktörleri toprak nemi üzerinde dolaylı bir etkiye neden olurken, buharlaşma, terleme ve yağış ise doğrudan bir etkiye sahiptir (Haziq vd., 2022; Rasheed vd., 2022; Singh vd., 2019; Srivastava vd., 2016; Susha Lekshmi vd., 2014; Walker vd., 2004). Toprak nemi sensörleri mevcut bir sulama sistemine de entegre edilebilmektedir. Sensör, planlanmış bir sulama eyleminden önce kök bölgesindeki toprak nemini ölçmekte ve toprak nemi belirli bir eşiğin

üzerindeyse döngüyü atlamaktadır. Uygulamalarda farklı tipte toprak nemi sensörleri mevcut olsa da seçilen sensörün sisteme uyumlu olması gerekmektedir. Bazı toprak nemi sensörleri ise hava sıcaklığının sıfırın altına düşmesi durumunda sulama döngüsünü kesebilecek bir toprak donma sensörünü de içermektedir.

Toprak nemi sensörleri, kablolu veya kablosuz sistemler olarak kullanılmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda, toprak nemi sensör sistemlerinin nispeten yağışlı veya normal hava koşullarında sulama suyu tasarrufu sağladığı ifade edilmiştir (Cardenas-Lailhacar vd., 2008, 2010). Bu tip akıllı sulama sistemi konfigürasyonlarında genellikle bir zaman-yağmur sensörü veya sensörsüz tabanlı sulama programı kullanılmaktadır (Krishnan vd., 2020).

Akıllı sulama uygulamalarında en yaygın kullanılan sensörler dielektrik sensörlerdir. Dielektrik sensörler toprağın dielektrik sabitini belirleyerek çalışmaktadır. İletken olmayan bir malzemenin elektromanyetik dalgaları veya pulsları (darbe) iletme yeteneğini ölçmektedir. Kuru toprağın dielektrik sabiti suyunkinden daha düşük olduğundan, toprak miktarındaki küçük değişiklikler bile toprak suyunun elektromanyetik özelliklerini büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Çevredeki ortamda dielektrik sensörler tarafından alternatif bir elektrik alanı oluşturan dielektrik sensörler, çıkış sinyaline bağlı olarak sınıflandırılmaktadır (Arias vd., 2023; Kaur vd., 2007; Raffelli vd., 2017; Wu vd., 2022).



Şekil 2. Toprak nemini indirekt ölçme teknikleri

Toprak nemini indirekt ölçme yöntemlerinden en yaygın olanları şöyledir;

Nötron Saçılma Yöntemi:

Nötron saçılması tekniğinde, hızlı nötronları (ortalama enerji 5 MeV, mega elektron volt) toprağa saçan radyoaktif bir kaynak kullanılmaktadır. Bu hızlı nötronlar toprak su molekülündeki hidrojen çekirdeklerinin çarpışmasıyla yavaşlamaktadırlar. Bu sensörlerde, 1-2 dakikalık tepki süresiyle çeşitli derinliklerde ve hacimlerde toprak nemi ölçülmesinde en doğru sonuçlar elde

edilmektedir. Ancak, bu yöntemin toprak yüzeyine yakın derinliklerde ($\leq 0,3$ m) duyarsızlık, yüksek kurulum maliyeti, taşıma zorluğu, radyasyon riski ve dış etkenlere maruz kalma gibi önemli dezavantajları bulunmaktadır.

Zaman Alanı Reflektometri (TDR) Sensörü:

TDR sensörü, iletilen sinyalin bir uçtan diğerine gitmesi için gereken süreyi ölçmektedir. TDR, yüksek zamansal çözünürlüğü, başarı hızı, tekrarlanabilir tahmin yeteneği ve toprak dokusundan, tuz konsantrasyonundan ve sıcaklıktan bağımsız olması nedeniyle uzun vadeli yerinde ölçümler ve otomasyon için kullanışlıdır. TDR yöntemi, toprak dokusundan, tuz içeriğinden ve sıcaklıktan bağımsız olduğundan toprak kalibrasyonuna gerek duyulmamaktadır. TDR, gama ve nötron sondaları gibi radyasyon yayan kaynaklar olmadan, tahribatsız, yerinde izleme sağlamaktadır. Ancak cihazların ilk kurulum maliyetinin daha yüksek olmasının yanı sıra aşırı tuzlu toprakta yansımayı kaybedip toprak kütlesi ıslakken iletkenliği artırarak hatalara yol açabilmektedir.

Kapasitans sensörü ve Frekans Alanı Reflektometrisi (FDR):

Kapasitans sensörü ve FDR, bir ortamın dielektrik sabitini, o ortamdaki bir kapasitörün aldığı şarj süresini belirleyerek tahmin sağlamaktadır. Yöntemin sonucu toprak özelliklerine göre değiştiğinden, uygulama sırasında sık sık kalibrasyon yapılması gerekmektedir. İlk kurulumun maliyeti TDR'den nispeten daha düşük olup, bu yöntem frekans alanı analizi, toprağın nem içeriğini tahmin etmede zaman alanı reflektometri yöntemlerine göre daha fazla umut vaat etmektedir.

Direnç Sensörü:

Direnç sensörü, toprak nem içeriği ile toprak özdirenci arasındaki ters bağıntı prensibini kullanarak çalışmaktadır. Toprak nem içeriğindeki artışlar toprak özdirencinde bir azalmaya neden olmaktadır. Toprak direnci topraktaki elektrotlar arasındaki direnç veya malzemenin dengedeki direnci kullanılarak her iki şekilde de ölçülebilmektedir. Dirençli sensörler tüm sensörler arasında maliyeti en düşük sensörler olmasına karşın, güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği daha düşük olan sensörlerdir. Bu ölçüm tekniği bireysel kalibrasyon gerektirmekte ve tuzlu toprak ölçümlerinde başarısız sonuçlara neden olmaktadır.

Gama Zayıflaması Yöntemi:

Diğer bir ölçüm tekniği olan gama ışını zayıflaması, radyo sinyallerine dayanmaktadır. Bu teknik, saha ve laboratuvar araştırmalarında toprak su içeriğini 25 mm veya daha az toprak derinliğine kadar yüksek çözünürlükle ölçme yeteneğine sahiptir. Ayrıca tahribatsız yapısı, aynı sahadaki fiziksel toprak parametrelerinin çeşitli dönemlerde tekrar tekrar değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu teknik, toprak kütle yoğunluğu değişikliklerine ve yüzey toprak nemine (SSM-Surface Soil Moisture) duyarlıdır.

2.2.Kontrolörler (Denetleyiciler)

Denetleyiciler, akıllı bir sulama sisteminin beyni görevini yürütmektedir. Akıllı sulama sistemleri, su kullanımını optimize etmek için genellikle sensörler, kontrolörler (denetleyiciler) ve iletişim teknolojilerinden oluşan çeşitli cihazlar kullanmaktadır. Kontrolörler (denetleyiciler), sensörlerden ve diğer kaynaklardan gelen verilere göre sulama sisteminde gerekli ayarlamalar yaparak sistemi yöneten elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Piyasada her biri belirli uygulamalar için tasarlanmış çeşitli mikro denetleyiciler bulunmaktadır. Yaygın mikro denetleyici türleri ve kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir.

32-bit Mikro denetleyiciler: Bu mikro denetleyiciler 16-bit olanlardan daha güçlü olup, endüstriyel kontrol, otomotiv ve tıbbi ekipman gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

ARM Mikro denetleyiciler: ARM, mikro denetleyicilerde kullanılan popüler bir mimaridir. Cep telefonu, tablet ve gömülü sistemler dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

AVR Mikro denetleyicileri: AVR mikro denetleyicileri tüketici elektroniği, otomotiv sistemleri ve tıbbi cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Raspberry Pi Mikro denetleyicileri: Raspberry Pi, robotik, ev otomasyonu ve IoT cihazlarını içeren birçok uygulamada kullanılan popüler bir mikro denetleyicidir.

Arduino Mikro denetleyicileri: Hobi elektroniği meraklılarının ev otomasyonu ve robotik gibi çeşitli projeler için kullandığı popüler bir mikro denetleyici grubudur.

2.3. İletişim Sistemleri

İletişim sistemleri, sensörler, kontrolörler ve akıllı sulama sisteminin diğer bileşenleri arasında veri alışverişini sağlamaktadır. Bu işlem kesintisiz bilgi aktarımına imkân veren kablolu veya kablosuz ağlar vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. İletişim sistemleri ayrıca uzaktan izleme ve kontrolü (mobil, akıllı telefon, PC ile) kolaylaştırarak, kullanıcıların sulama sistemine her yerden erişmesine ve yönetmesine olanak tanımaktadır.

2.4. Vanalar ve Yağmurlama Elemanları

Vanalar ve yağmurlama sistemi elemanları, tarım ürünlerine su dağıtmaktan sorumludur. Akıllı bir sulama sisteminde bu bileşenler; akış kontrolü, basınç regülasyonu, bölge kontrolü gibi gelişmiş özelliklerle donatılmıştır. Bu elemanlar, su dağıtımını hassas bir şekilde yaparak, su israfını en aza indirmekte ve her bitkinin yeterli miktarda su almasını sağlamaktadır.

2.5. Meteoroloji Hava Tahmin İstasyonları

Sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve güneş radyasyonunu gibi meteorolojik verileri toplamak için meteoroloji istasyonları akıllı sulama sistemlerine entegre edilmektedir. Sistem, hava durumu bilgileri ile doğal yağış, buharlaşma ve terleme oranlarını da dikkate alarak sulama programlarını ayarlamaktadır. Bu veriler, gereksiz sulamanın önlenmesine ve su kaynaklarının korunmasına yardımcı olmaktadır.

2.6. Veri Analizi ve Yazılım

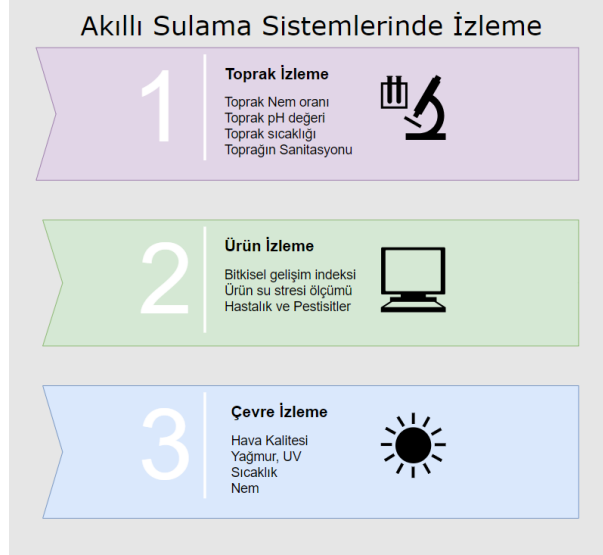
Veri analizi ve yazılım, toplanan verileri işleyip yorumlayan akıllı bir sulama sisteminin temel bileşenleridir. Gelişmiş algoritmalar ve yazılım uygulamaları, öneriler oluşturmak için sensör verilerini, hava durumu bilgilerini ve diğer ilgili faktörleri analiz etmektedir. Bu analizler ve yazılım, kullanıcıların sulama yönetimi konusunda daha doğru kararlar almasına imkân vererek, verimli su kullanımı ve sürdürülebilirliği desteklemektedir.

Genellikle, halihazırda kullanılmakta olan bir sulama sisteminin akıllı sulama sistemine dönüştürülmesi tavsiye edilmemektedir. Bunun yerine; toprak nemi, yağmur, rüzgar veya don sensörü gibi sensörlerle desteklenen yeni bir akıllı sulama sistemi tercih edilmelidir. Bazı üreticiler tek bir aparat kullanarak birden fazla çevresel unsuru ölçebilen sensörlerle donatılmış paket cihazlarda üretmektedir.

Su kullanım verimliliğini artırmak için bitki gelişimini ve büyümesini etkileyen belirli faktörlerin takip edilmesi gerekmektedir. Akıllı sulama sistemlerinde izleme; toprak izleme (nem, sıcaklık, pH,

ve sanitasyon), ürün izleme (bitkisel gelişim indeksi, su stresi, hastalık ve pestisitler) ve çevre (nem, sıcaklık, UV) izleme olmak üzere üç alanda yapılmaktadır (Şekil 3).

Akıllı sulamanın bağlamsal izlenmesi, en son iletişim teknolojileri aracılığıyla toprak durumu, bitki sağlığı ve ekilen bölgedeki iklim değişkenleri hakkında gerçek verilerin toplanmasını gerektirmektedir (Abioye vd., 2020).



Şekil 3. Akıllı sulama sistemlerinde izleme teknikleri

3. AKILLI SULAMA SİSTEMLERİNDE DERİN ÖĞRENME VE MAKİNE ÖĞRENMESİ

Makine öğrenmesi (Machine Learning-ML) bilgiyi bilgisayarlara kodlamak yerine, örneklerden ve gözlemlerden anlamlı ilişkileri ve kalıpları otomatik olarak öğrenmeyi amaçlamaktadır. Bu alandaki ilerlemeler, iş ve kişisel yaşama nüfuz eden ve elektronik pazarlardaki ağ bağlantılı etkileşimleri şekillendiren, insan benzeri bilişsel kapasiteye sahip akıllı sistemlerin son zamanlarda yükselişine de imkân vermiştir (Şekil 4). Hatta büyük şirketler üretkenlik, katılım ve çalışanlara yönelik karar alma süreçlerinde de bu teknolojilerden faydalanmaktadır (Fischer vd., 2020; Shrestha vd., 2021).



Şekil 4. Makine öğrenmesi kavramları ve sınıfları Venn şeması (Goodfellow, 2016)

Derin öğrenme (DL) ve makine öğrenmesine (ML) dayalı sistemler genellikle yapay zekâ (AI) olarak adlandırılan gelişmiş problem çözme kapasitesi, tahminler, kurallar, cevaplar, öneriler veya benzer sonuçlar üretebilen analitik modeller üzerine inşa edilmektedir. Yeni programlama çerçevelerinin uygulanabilirliği, veri kullanılabilirliği ve gerekli bilgi işlem gücüne geniş erişim ile desteklenen analitik modeller, günümüzde genel olarak makine öğrenmesi diye adlandırılan teknikle oluşturulmaktadır (Ransbotham vd., 2017; Ruiz-Real vd., 2021; Wang vd., 2022).

Makine öğrenmesi aslında, problem çözmek için programlanmaya ihtiyaç duymadan, algoritmalar kullanan bir yapay zekâ biçimidir. Bu yaklaşım genellikle geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve daha etkilidir. Makine öğrenmesinin en yararlı olduğu alanlardan biri de toprak nemi ölçümü ve dolayısıyla akıllı sulama sistemleridir. Makine öğrenmesi, toprağın nem içeriğini doğru bir şekilde tahmin edebilen ve daha sonra sulama veya başka amaçlar için kullanılacak yeni algoritmalar geliştirme yeteneğine sahiptir (Abdulla ve Marhoon, 2023; Ahmad vd., 2010; Sami vd., 2022). Uzaktan algılanan verileri kullanarak toprak nemini tahmin etmek için makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri birçok araştırmada başarıyla uygulanmıştır (Wang vd., 2022; Abdulla ve Marhoon, 2023; Kurtulmuş vd., 2022; Yonbawi vd., 2023). Derin öğrenme (DL) ve makine öğrenmesi (ML), hava, toprak ve ürün parametreleriyle birleştirilmiş farklı bitki örtüsü indeksleri ve spektral bant yaklaşımını kullanarak toprak yüzey nemini (SSM-Surface Soil Moisture) tahmin etmeye çalışmaktadır. Son yıllarda yapay sinir ağları (ANN-Artificial Neural Networks) ve evrişimli sinir ağları (CNN- Convolutional Neural Networks) gibi makine öğrenmesi algoritmaları bu amaçla başarıyla kullanılmaktadır (Chen vd., 2020; Mateo-Sanchis vd., 2021; Vij vd., 2020). Bu teknik, hava koşullarından etkilenmeden uzun süreler boyunca yüksek performanslı toprak nemi sensörleri geliştirmek için de uygulanmaktadır. Bu da çiftçilerin kurak bölgelerde değerli bir kaynak olan sulama suyundan tasarruf etmelerine yardımcı olmaktadır (Wang vd., 2022; Li vd., 2022; Xie vd., 2021).

Tarımsal sulamada su israfı önlemenin en önemli yolu, sulama sürecinde su kaybının en aza indirilmesidir. Geleneksel sulama yöntemlerinde, büyük miktarda su kullanımına ihtiyaç duyduğundan, makine öğrenmesi (ML) ve nesnelerin interneti (IoT) gibi son teknolojilerin yardımıyla tasarlanan “akıllı tarımsal sulama sistemleri” ile daha az su kullanımı mümkün hale gelmektedir. Yapılan çalışmalarda, IoT destekli, derin öğrenme özellikli akıllı sulama sistemi (IoTDL-SIS) tekniği denemelerinde başarılar elde edilmiştir (Abdulla ve Marhoon, 2023; Hadidi vd., 2022; Jain, 2023; Kavyashree T ve Shreedhara KS, 2021; Khriji vd., 2021; Stolojescu-Crisan vd., 2022). IoTDL-SIS tekniğinde asıl amaç, daha az insan müdahalesi ile etkili ve gerektiği kadar su kullanımını sağlamaktır. IoTDL-SIS tekniğinde, veri toplama amacıyla toprak nemi, sıcaklık, hava sıcaklığı ve nemi gibi farklı sensörler kullanılmaktadır. Sensör verileri Arduino modülüne iletilmekte ve bu modül de daha sonra sensör verilerini sonraki işlemler için bulut sunucusuna iletmektedir. Bulut sunucusu, veri analizi sürecini regresyon, kümeleme ve ikili sınıflandırma olmak üzere üç farklı işlemi kullanarak gerçekleştirmektedir. Atmosferik basınç, yağış, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı gibi toprak ve çevresel parametrelerin önceden tahmin edilmesi için Derin Destek Vektör Makinesi (DSVM-Deep Support Vector Machine) tabanlı regresyondan yararlanılmaktadır (Suresh vd., 2022).

4. TARIMSAL AKILLI SULAMA SİSTEMLERİNİN ZORLUKLARI VE DEZAVANTAJLARI

Tarımsal akıllı sulama sistemlerinin de diğer yüksek teknolojik ve elektronik sistemler gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajların bir kısmı sistemden kaynaklanmakta ise de büyük

bir kısmı da; kullanıcı (çiftçi), tarla büyüklüğü, arazi topoğrafyası, ürün çeşidi, su kaynağı, çevresel faktörler gibi parametrelere bağlıdır.

- *Başlangıç Maliyeti:* Akıllı sulama sistemlerinin temel zorluklarından biri ilk yatırım maliyetidir. Bu sistemler genellikle sensörler, kontrolörler, yazılımlar, motor ve sulama ekipmanından oluşmaktadır. Tüm bu elemanların maliyeti ilk yatırım için yüksek olabilmektedir. Bu maliyet, akıllı sulama teknolojisini benimsemek isteyen küçük ve orta ölçekli çiftçiler için bir engel teşkil edebilmektedir (Gbodji vd., 2023; Serote vd., 2021; Zhang ve Khachatryan, 2019).
- *Sistemin Karmaşıklığı:* Akıllı sulama sistemlerinin kurulumu, bakımı ve onarımı her bireyin kendi kendine yapamayacağı kadar karmaşık olabilmektedir. Bakım ve onarım gibi işler ancak yetkili uzmanlar tarafından yapılmakta ve bu da maliyetli olabilmektedir. Sensör yerleştirme, kontrolörleri programlama ve yazılım arayüzünü anlama gibi konular, bilgi sahibi olmayı gerektirmektedir. Çiftçiler veya teknik uzmanlığı olmayan kullanıcılar, akıllı sulama sistemlerini kurmakta ve sorunlarını gidermekte zorlanabilmektedir (Serote vd., 2021).
- *Teknolojiye Bağımlılık:* Akıllı sulama sistemleri büyük ölçüde sensörler, kontrolörler ve yazılım gibi ileri teknolojik elemanlardan meydana gelmektedir. Sistemdeki herhangi bir arıza veya aksaklık, sistem arızalarına veya su dağıtımında büyük hatalara yol açabilmektedir. Ayrıca, enerji kesintileri veya bağlantı sorunları akıllı sulama sistemlerinin işlevselliğini olumsuz etkileyecektir (Suh vd., 2017).
- *Veri Doğruluğu ve Yorumlanması:* Akıllı sulama sistemleri, toprağın nem seviyesini, hava durumunu ve bitkinin su gereksinimini belirlemek için sensörler vasıtasıyla veri toplamaktadır. Ancak bu verilerin doğruluğu sensör kalibrasyonu, çevre koşulları ve toprak değişkenliği gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir. Verilerin yorumlanması ve sulama programlarının buna göre ayarlanması, sürekli izleme ve ayarlama gerekliliği gibi zorluklar barındırmaktadır (Bhardwaj vd., 2022; Vallejo-Gómez vd., 2023).
- *Bakım ve Onarım Gereksinimleri:* Her teknolojik sistem gibi akıllı sulama sistemleri de düzgün çalışabilmesi için düzenli bakım gerektirmektedir. Bunlar, sensörlerin kalibrasyonu, yazılım güncellenmesi, akü/pil değiştirilmesi ve arızalı bileşenlerin onarılması veya değiştirilmesi gibi iş ve işlemlerdir. Sistemin bakımının zamanında yapılmaması verimin düşmesine ve gereksiz su tüketimine yol açabilmektedir.
- *Uyumluluk ve Entegrasyon:* Akıllı sulama sistemlerini mevcut sulama altyapısına veya tarımsal uygulamalara entegre etmek çok kolay olmamaktadır. Farklı bileşenler veya yazılım platformları arasında uyum sorunları ortaya çıkabilmekte ve çözülmesi için ek zaman ve maliyet gerekebilmektedir.
- *Veri Gizliliği ve Güvenliği:* Bilindiği gibi, akıllı sulama sistemleri, su kullanımı, mahsul verimi ve hava koşulları hakkında bilgiler de dahil olmak üzere çok sayıda hassas veriyi toplamakta ve saklamaktadır. Veri gizliliğinin ve güvenliğinin sağlanması, bu bilgilere yetkisiz kişilerin erişiminin engellenmesi için önlem almak gerekmektedir (Ilyas vd., 2022; Khachatryan vd., 2019; Masseroni vd., 2020; Muthuminal ve Priya, 2023).

Bunlara ek olarak, tarımsal akıllı sulama sistemlerinin tasarımı, işlevselliği ve kullanılabilirliği geliştirmek için sürekli araştırma, geliştirme ve eğitime ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, politika

yapıcıların ve paydaşların zorlukları aşmak ve sürdürülebilir sulama uygulamalarını teşvik etmek için iş birliği yapması gerekmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ortalama bir çiftçi için akıllı bir sulama sisteminin tavsiye edilip edilemeyeceği, çiftçinin ihtiyaçları, kaynakları ve tarımsal faaliyetlerin özel koşulları dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Tarımsal amaçlı bir akıllı sulama sisteminin bir çiftçiye veya çiftliğe uygun olup olmadığının belirlenmesinde göz önüne alınması gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır (Bjornlund vd., 2020; Bojago ve Abrham, 2023; Dyantyi ve Njenga, 2022):

Kaynak kullanılabilirliği: Akıllı sulama sistemleri genellikle sensörler, kontrolörler, yazılım ve kurulum maliyetleri açısından önemli bir başlangıç yatırımına ihtiyaç duyulmaktadır. Sıradan çiftçilerin bu teknolojiye yatırım yapacak mali kaynaklara sahip olup olmadıklarını tespit etmek için bir fizibilite çalışması yapması/yaptırması gerekmektedir.

Teknik bilgi ve beceri: Akıllı bir sulama sisteminin işletilmesi ve bakımı belirli düzeyde teknik bilgi ve beceriye ihtiyaç duyulmaktadır. Çiftçilerin sistemi etkili bir şekilde kurma, kalibre etme ve sorun giderme konusunda uzmanlığa sahip olmaları veya etkin bir servis ağında yardım almaları gerekmektedir.

Çiftlik büyüklüğü ve karmaşıklığı: Çiftliğin büyüklüğü ve karmaşıklığı akıllı sulama sisteminin uygunluğunu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Çeşitli mahsullere ve değişken toprak koşullarına sahip daha büyük çiftlikler, akıllı sistemlerin sunduğu hassas sulama özelliklerinden daha fazla yararlanabilmektedir. Buna karşın, daha basit sulama ihtiyaçları olan daha küçük çiftlikler ise geleneksel yöntemleri daha pratik ve uygun maliyetli uygulama imkanına sahiptir.

Çevresel koşullar: Yerel iklim, toprak türü ve hava koşulları akıllı sulama sistemlerinin etkinliğini etkilemektedir. Çiftçiler, bölgelerindeki çevresel koşulların sensörlerin ve kontrolörlerin güvenilir çalışmasını destekleyip desteklemediğini dikkate almalıdır. Şiddetli yağmur veya kuraklık gibi aşırı hava olayları, sulama planlama algoritmalarının doğruluğunu etkileyebilmektedir.

Amortisman: Çiftçiler, akıllı bir sulama sisteminin uygulanmasıyla bağlantılı potansiyel yatırım getirisini iyi değerlendirmelidir. Peşin maliyetler önemli olsa da su tasarrufu, artan mahsul verimi ve iş gücü verimliliği gibi uzun vadeli faydalar, zaman içinde ilk yatırımdan daha ağır basabilmektedir. Maliyet-fayda (ekonomik fizibilite) analizi yapmak, çiftçilerin akıllı sulama teknolojilerini doğru değerlendirmesine yardımcı olacaktır.

Özetle, akıllı sulama sistemleri su yönetimi ve bitkisel üretim için gelişmiş imkanlar sunarken, sıradan çiftçilere uygunluğu çeşitli faktörlere bağlıdır. Çiftçiler akıllı sulama teknolojisine yatırım yapıp yapmayacağına karar vermeden önce ihtiyaçlarını, kaynaklarını ve hedeflerini dikkatle değerlendirmelidir. Tarım uzmanları, tedarikçiler ve meslektaşlarıyla iş birliği yapmak, çiftçilerin bilinçli kararlar almasına ve akıllı sulama sistemlerinin potansiyel faydalarını en üst düzeye çıkarmasına yardımcı olacaktır.

Sulanması planlanan tarımsal alanın büyüklüğü, akıllı sulama sistemi seçerken dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Küçük arazi veya bahçe sulamaları için, akıllı sulama sistemleri faydalı olabilmektedir. Ancak, bu kullanıcılar temel sensör tabanlı sistemleri veya manuel kontrollü damla sulama gibi daha basit çözümleri tercih edebilmektedir.

Orta ölçekli sulama ihtiyacı olan çiftlikler, daha geniş alanlarda su kullanımını optimize etmek için sensör ağları, hava durumu verileri ve daha gelişmiş kontrolörlerden oluşan akıllı sulama

sistemlerini tercih etmelidir. Büyük ölçekli tarımsal operasyonlar için akıllı sulama sistemlerinin kullanımı kaçınılmazdır. Bu çiftlikler genellikle geniş bir sulama alanına sahiptir. Ayrıca gelişmiş akıllı sulama teknolojilerinin sunduğu hassasiyet ve verimlilikten büyük ölçüde yararlanabilmektedir. Geniş alanlardaki sulamayı etkili bir şekilde yönetmek için sensörler, uydu görüntüleri ve otomatik kontrol sistemlerinden oluşan bir akıllı sulama sistemi kombinasyonu kullanmaları önerilmektedir.

Akıllı sulama sistemleri farklı operasyon ölçeklerindeki çiftlikler için önerilebilirken, karmaşıklık düzeyi ve gereken yatırım, sulanan tarım alanının büyüklüğüne, mevcut kaynaklara ve kullanıcıların teknik uzmanlığına bağlı olarak değişecektir.

Akıllı sulama sistemleri ve diğer yeni tarım teknolojilerinin satışı, projelendirilmesi ve ithalatının, ilgili kamu kurumları tarafından mutlaka denetim altına alınması, gerekiyorsa yeni yasal düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Yeni tarım teknolojilerinde ithalat yerine, yerli üretimin teşvik edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, savunma sanayinde olduğu gibi büyük bir kamusal hassasiyet ve gayretle kurumların koordinasyonu gerekmektedir. Aksi halde, “yeni tarım teknolojileri” adı altında ülkemize birçok ülkeden ithal edilen düşük kaliteli ve yanlış ürünler, ekonomik kaynakların israfına yol açacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdelmoamen Ahmed, A., Al Omari, S., Awal, R., Fares, A., ve Chouikha, M. (2021). A distributed system for supporting smart irrigation using Internet of Things technology. *Engineering Reports*, 3(7), e12352. <https://doi.org/10.1002/eng2.12352>
- Abdulla, M., ve Marhoon, A. (2023). Deep learning and IoT for monitoring tomato plant. *Iraqi Journal for Electrical and Electronic Engineering*, 19(1), 70-78. <https://doi.org/10.37917/ijeec.19.1.9>
- Abernethy, C. L. (2010). Governance of irrigation systems: Does history offer lessons for today? *Irrigation and Drainage*, 59(1), 31-39. <https://doi.org/10.1002/ird.552>
- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., Ishak, M. H. I., Rahman, M. K. I. A., Otuoze, A. O., Onotu, P., ve Ramli, M. S. A. (2020). A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105441. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105441>
- Ahansal, Y., Bouziani, M., Yaagoubi, R., Sebari, I., Sebari, K., ve Kenny, L. (2022). Towards smart irrigation: A literature review on the use of geospatial technologies and machine learning in the management of water resources in arboriculture. *Agronomy*, 12(2), 297. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020297>
- Ahmad, S., Kalra, A., ve Stephen, H. (2010). Estimating soil moisture using remote sensing data: A machine learning approach. *Advances in Water Resources*, 33(1), 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2009.10.008>
- Alves, R. G., Maia, R. F., ve Lima, F. (2023). Development of a Digital Twin for smart farming: Irrigation management system for water saving. *Journal of Cleaner Production*, 388, 135920. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135920>
- AlZu'bi, S., Hawashin, B., Mujahed, M., Jararweh, Y., ve Gupta, B. B. (2019). An efficient employment of internet of multimedia things in smart and future agriculture. *Multimedia Tools and Applications*, 78(20), 29581-29605. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7367-0>

- Arias, M., Notarnicola, C., Campo-Bescós, M. Á., Arregui, L. M., ve Álvarez-Mozos, J. (2023). Evaluation of soil moisture estimation techniques based on Sentinel-1 observations over wheat fields. *Agricultural Water Management*, 287, 108422. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108422>
- Aubriot, O. (2022). The history and politics of communal irrigation: A Review. *Water alternatives*, 15(2), 307-340.
- Bhardwaj, A., Kumar, M., Alshehri, M., Keshta, I., Abugabah, A., ve Sharma, S. K. (2022). Smart water management framework for irrigation in agriculture. *Environmental Technology*, 45(12), 2320-2334. <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2039783>
- Bhatti, E. U. H., Khan, M. M., Shah, S. A. R., Raza, S. S., Shoab, M., ve Adnan, M. (2019). Dynamics of water quality: Impact assessment process for water resource management. *Processes*, 7(2), 102. <https://doi.org/10.3390/pr7020102>
- Bjornlund, H., van Rooyen, A., Pittock, J., Parry, K., Moyo, M., Mdemu, M., ve de Sousa, W. (2020). Institutional innovation and smart water management technologies in small-scale irrigation schemes in southern Africa. *Water International*, 45(6), 621-650. <https://doi.org/10.1080/02508060.2020.1804715>
- Bojago, E., ve Abrham, Y. (2023). Small-scale irrigation (SSI) farming as a climate-smart agriculture (CSA) practice and its influence on livelihood improvement in Offa District, Southern Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12, 100534. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100534>
- Bouali, E. T., Abid, M. R., Boufounas, E. M., Hamed, T. A., ve Benhaddou, D. (2022). Renewable energy integration into cloud IoT-based smart agriculture. *IEEE Access*, 10, 1-17. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138160>
- Cardenas-Lailhacar, B., Dukes, M. D., ve Miller, G. L. (2008). Sensor-based automation of irrigation on bermudagrass, during wet weather conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(2), 120-128. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2008\)134:2\(120\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2008)134:2(120))
- Cardenas-Lailhacar, B., Dukes, M. D., ve Miller, G. L. (2010). Sensor-based automation of irrigation on bermudagrass during dry weather conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(3), 184-193. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000153](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000153)
- Chen, H., Chen, A., Xu, L., Xie, H., Qiao, H., Lin, Q., ve Cai, K. (2020). A deep learning CNN architecture applied in smart near-infrared analysis of water pollution for agricultural irrigation resources. *Agricultural Water Management*, 240, 106303. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106303>
- Dyanty, O., ve Njenga, J. (2022). Awareness and perceptions of smart irrigation technologies by small scale farmers in Rural South Africa. *2022 IST-Africa Conference, IST-Africa 2022*. <https://doi.org/10.23919/IST-Africa56635.2022.9845613>
- FAO, ve FAO <http://www.fao.org/nr/water>. (2018). CROPWAT 8.0. *Land and Water, Databases and Software, CropWat*.
- Fathy, C., ve Ali, H. M. (2023). A secure IoT-based irrigation system for precision agriculture using the expeditious cipher. *Sensors*, 23(4), 2091. <https://doi.org/10.3390/s23042091>
- Fischer, M., Heim, D., Hofmann, A., Janiesch, C., Klima, C., ve Winkelmann, A. (2020). A taxonomy and archetypes of smart services for smart living. *Electronic Markets*, 30(1), 131-149. <https://doi.org/10.1007/s12525-019-00384-5>

- Gbodji, K. K., Quarmin, W., ve Minh, T. T. (2023). Effective demand for climate-smart adaptation: A case of solar technologies for cocoa irrigation in Ghana. *Sustainable Environment*, 9(1), 2258472. <https://doi.org/10.1080/27658511.2023.2258472>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., ve Courville, A. (2016). Deep learning. The MIT Press, ISBN: 9780262337373. <https://mitpress.mit.edu/9780262035613/deep-learning/>.
- Hachimi, C. El, Belaqziz, S., Khabba, S., Sebbar, B., Dhiba, D., ve Chehbouni, A. (2023). Smart weather data management based on artificial intelligence and big data analytics for precision agriculture. *Agriculture*, 13(1), 95. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010095>
- Hadidi, A., Saba, D., ve Sahli, Y. (2022). Smart irrigation system for smart agricultural using IoT: Concepts, architecture, and applications. R. Bhatnagar, N. K. Tripathi, N. Bhatnagar, ve C. K. Panda (Editörler), *The Digital Agricultural Revolution: Innovations and Challenges in Agriculture through Technology Disruptions*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119823469.ch7>
- Haziq, M., Pang, W. L., Chan, K. Y., Lee, I. E., Chung, G. C., ve Wong, S. K. (2022). High-efficiency low-cost smart IoT agriculture irrigation, soil's fertility and moisture controlling system. *Universal Journal of Agricultural Research*, 10(6), 785-793. <https://doi.org/10.13189/ujar.2022.100616>
- Ilyas, A., Parkinson, S., Vinca, A., Byers, E., Manzoor, T., Riahi, K., Willaarts, B., Siddiqi, A., ve Muhammad, A. (2022). Balancing smart irrigation and hydropower investments for sustainable water conservation in the Indus basin. *Environmental Science and Policy*, 135, 147-161. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.04.012>
- Jain, R. K. (2023). Experimental performance of smart IoT-enabled drip irrigation system using and controlled through web-based applications. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100215>
- Jiménez, A. F., Cárdenas, P. F., ve Jiménez, F. (2022). Intelligent IoT-multiagent precision irrigation approach for improving water use efficiency in irrigation systems at farm and district scales. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106635. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106635>
- Kaur, K., Mahajan, R., Bagai, D., ve Student, M. E. (2007). A review of various soil moisture measurement techniques. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5(4), 5774-5778.
- Kavyashree T, ve Shreedhara KS. (2021). Intelligent IoT based smart irrigation system. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 9(2), 2709-2722.
- Khachatryan, H., Rihn, A., Suh, D. H., ve Dukes, M. (2020). Homeowners' preferences for smart irrigation systems and features. *EDIS*, 2020(5), FE1080. <https://doi.org/10.32473/edis-fe1080-2020>
- Khachatryan, H., Suh, D. H., Xu, W., Useche, P., ve Dukes, M. D. (2019). Towards sustainable water management: Preferences and willingness to pay for smart landscape irrigation technologies. *Land Use Policy*, 85, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.03.014>
- Khashiboun, K., Zilberman, A., Shaviv, A., Starosvetsky, J., ve Armon, R. (2007). The fate of *Cryptosporidium parvum* oocysts in reclaimed water irrigation-history and non-history soils irrigated with various effluent qualities. *Water, Air, and Soil Pollution*, 185, 33-41. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9420-2>
- Khriji, S., El Houssaini, D., Kammoun, I., ve Kanoun, O. (2021). Precision irrigation: An IoT-enabled Wireless Sensor Network for smart irrigation systems. S. Khriji, D. El Houssaini, I. Kammoun, ve

- O. Kanoun (Editörler). Women in Precision Agriculture. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49244-1_6
- Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., Thong, P. H., ve Son, L. H. (2020). Fuzzy Logic based smart irrigation system using Internet of Things. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119902. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119902>
- Kurtulmuş, E., Arslan, B., ve Kurtulmuş, F. (2022). Deep learning for proximal soil sensor development towards smart irrigation. *Expert Systems with Applications*, 198, 116812. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116812>
- Lakshmiprabha, K. E., ve Govindaraju, C. (2023). Hydroponic-based smart irrigation system using Internet of Things. *International Journal of Communication Systems*, 36(12), e4071. <https://doi.org/10.1002/dac.4071>
- Li, X., Wang, Y., Hu, Y., Zhou, C., ve Zhang, H. (2022). Numerical investigation on stratum and surface deformation in underground phosphorite mining under different mining methods. *Frontiers in Earth Science*, 10, 831856. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.831856>
- Masseroni, D., Arbat, G., ve de Lima, I. P. (2020). Editorial-managing and planning water resources for irrigation: Smart-irrigation systems for providing sustainable agriculture and maintaining ecosystem services. *Water*, 12(1), 263. <https://doi.org/10.3390/w12010263>
- Mateo-Sanchis, A., Piles, M., Amorós-López, J., Muñoz-Marí, J., Adsua, J. E., Moreno-Martínez, Á., ve Camps-Valls, G. (2021). Learning main drivers of crop progress and failure in Europe with interpretable machine learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104, 102574. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102574>
- Murgabayev, S. S., Maldybekova, L. D., Bakhtybaev, M. M., Zhetybaev, K. M., Gursoy, M., ve Sizdikov, B. S. (2022). History of the syganak irrigation. *Povolzhskaya Arkheologiya*, 2(40), 206-214. <https://doi.org/10.24852/PA2022.2.40.206.214>
- Muthuminal, R., ve Priya, R. M. (2023). An outlook over smart irrigation system for sustainable rural development. R. Muthuminal, ve R. M. Priya (Editörler). *Smart village infrastructure and sustainable rural communities*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6418-2.ch008>
- Ndunagu, J. N., Ukhurebor, K. E., Akaaza, M., ve Onyanha, R. B. (2022). Development of a wireless sensor network and IoT-based smart irrigation system. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022, 7678570. <https://doi.org/10.1155/2022/7678570>
- Olatunji, K. A. , Oguntimilehin A. ve Adeyemo O. A (2020). A mobile phone controllable smart irrigation system. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(1), 279-284. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/42912020>
- Otavio, N. A. S., Marcos, V. F., Bruno, P. L., Jefferson, V. J., Eder, D. F. J., Joao, P. F., Irineu, P. de S. A., ve Renata, A. S. (2016). Irrigation history and pruning effect on growth and yield of jatropa on a plantation in southeastern Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 11(50), 5080-5091. <https://doi.org/10.5897/ajar2016.11696>
- Perez-Blanco, C. D., Hrast-Essenfelder, A., ve Perry, C. (2020). Irrigation technology and water conservation: A review of the theory and evidence. *Review of Environmental Economics and Policy*, 14(2), 216-239. <https://doi.org/10.1093/REEP/REAA004>
- Phasinam, K., Kassanuk, T., Shinde, P. P., Thakar, C. M., Sharma, D. K., Mohiddin, M. K., ve Rahmani, A. W. (2022). Application of IoT and Cloud Computing in automation of agriculture irrigation. *Journal of Food Quality*, 2022, 8285969. <https://doi.org/10.1155/2022/8285969>

- Raffelli, G., Previati, M., Canone, D., Gisolo, D., Bevilacqua, I., Capello, G., Biddoccu, M., Cavallo, E., Deiana, R., Cassiani, G., ve Ferraris, S. (2017). Local- and plot-scale measurements of soil moisture: Time and spatially resolved field techniques in plain, hill and mountain sites. *Water*, 9(9), 706. <https://doi.org/10.3390/w9090706>
- Ransbotham, S., Kiron, D., Gerbert, P., ve Reeves, M. (2017). Reshaping business with Artificial Intelligence: Closing the gap between ambition and action. *MIT Sloan Management Review*. 59(1), 59181.
- Rasheed, M. W., Tang, J., Sarwar, A., Shah, S., Saddique, N., Khan, M. U., Imran Khan, M., Nawaz, S., Shamshiri, R. R., Aziz, M., ve Sultan, M. (2022). Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review. *Sustainability*, 14(18), 11538. <https://doi.org/10.3390/su141811538>
- Ruiz-Real, J. L., Uribe-Toril, J., Torres, J. A., ve Pablo, J. D. E. (2021). Artificial intelligence in business and economics research: Trends and future. *Journal of Business Economics and Management*, 22(1), 98-117. <https://doi.org/10.3846/jbem.2020.13641>
- Şahin, H. (2022). Digital Agriculture , Agriculture 4 . 0 , Intelligent Agriculture , Robotic Applications and autonomous. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 18, 68–83.
- Sami, M., Khan, S. Q., Khurram, M., Farooq, M. U., Anjum, R., Aziz, S., Qureshi, R., ve Sadak, F. (2022). A deep learning-based sensor modeling for smart irrigation system. *Agronomy*, 12(1), 212. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010212>
- Sasi Kumar, G., Nagaraju, G., Rohith, D., ve Vasudevarao, A. (2023). Design and development of smart irrigation system using Internet of Things (IoT) - A case study. *Nature Environment and Pollution Technology*, 22(1), 523-526. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2023.v22i01.052>
- Serote, B., Mokgehle, S., Plooy, C. Du, Mpandeli, S., Nhamo, L., ve Senyolo, G. (2021). Factors influencing the adoption of climate-smart irrigation technologies for sustainable crop productivity by smallholder farmers in arid areas of South Africa. *Agriculture*, 11(12), 1222. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121222>
- Sharma, A. K., Hubert-Moy, L., Buvaneshwari, S., Sekhar, M., Ruiz, L., Bandyopadhyay, S., ve Corgne, S. (2018). Irrigation history estimation using multitemporal landsat satellite images: Application to an intensive groundwater irrigated agricultural watershed in India. *Remote Sensing*, 10(6), 893. <https://doi.org/10.3390/rs10060893>
- Shrestha, Y. R., Krishna, V., ve von Krogh, G. (2021). Augmenting organizational decision-making with deep learning algorithms: Principles, promises, and challenges. *Journal of Business Research*, 123, 588-603. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.068>
- Singh, A. K., Bhardwaj, A. K., Verma, C. L., ve Mishra, V. K. (2019). Soil moisture sensing techniques for scheduling irrigation. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*, 11(1), 68-76.
- Srivastava, P. K., Petropoulos, G. P., ve Kerr, Y. H. (2016). Satellite soil moisture retrieval: Techniques and applications. P. K. Srivastava (Editör). *Satellite soil moisture retrieval: Techniques and applications*. Elsevier.
- Stolojescu-Crisan, C., Butunoi, B. P., ve Crisan, C. (2022). An IoT based smart irrigation system. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 11(3), 50-58. <https://doi.org/10.1109/MCE.2021.3084123>
- Suh, D. H., Khachatryan, H., Rihn, A., ve Dukes, M. (2017). Relating knowledge and perceptions of sustainable water management to preferences for smart irrigation technology. *Sustainability*, 9(4), 607. <https://doi.org/10.3390/su9040607>

- Suresh, P., Aswathy, R. H., Arumugam, S., Albraikan, A. A., Al-Wesabi, F. N., Hilal, A. M., ve Alamgeer, M. (2022). IoT with evolutionary algorithm based deep learning for smart irrigation system. *Computers, Materials and Continua*, 71(1), 1713-1728. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.021789>
- Susha Lekshmi, S. U., Singh, D. N., ve Shojaei Baghini, M. (2014). A critical review of soil moisture measurement. In *Measurement: Journal of the International Measurement*, 54, 92-105. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.007>
- Ugli, A. M. I. (2022). History of irrigation in the Fergana Valley. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(4), 157-159. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40960>
- UN. (2020). Goal 11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable. *United Nations*.
- Vallejo-Gómez, D., Osorio, M., ve Hincapié, C. A. (2023). Smart irrigation systems in agriculture: A systematic review. *Agronomy*, 13(2), 342. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020342>
- Vij, A., Vijendra, S., Jain, A., Bajaj, S., Bassi, A., ve Sharma, A. (2020). IoT and Machine Learning Approaches for Automation of Farm Irrigation System. *Procedia Computer Science*, 167, 1250-1257. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.440>
- Walker, J. P., Willgoose, G. R., ve Kalma, J. D. (2004). In situ measurement of soil moisture: A comparison of techniques. *Journal of Hydrology*, 293(1-4), 85-99. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.008>
- Wang, Z., Li, M., Lu, J., ve Cheng, X. (2022). Business innovation based on artificial intelligence and Blockchain technology. *Information Processing and Management*, 59(1), 102759. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102759>
- Wang A, Y., G., Hu, P., Lai, X., Xue, B., ve Fang, Q. (2022). Root-zone soil moisture estimation based on remote sensing data and deep learning. *Environmental Research*, 212, 113178. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113278>
- Wu, X., Walker, J. P., Jonard, F., ve Ye, N. (2022). Inter-comparison of proximal near-surface soil moisture measurement techniques. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 2370-2378. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3156878>
- Xie, W., Li, X., Jian, W., Yang, Y., Liu, H., Robledo, L. F., ve Nie, W. (2021). A novel hybrid method for landslide susceptibility mapping-based geodetector and machine learning cluster: A case of Xiaojin County, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 93. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020093>
- Yonbawi, S., Alahmari, S., Raju, B. R. S. S., Rao, C. H. G., Ishak, M. K., Alkahtani, H. K., Varela-Aldás, J., ve Mostafa, S. M. (2023). Modeling of sensor enabled irrigation management for Intelligent Agriculture using Hybrid Deep Belief Network. *Computer Systems Science and Engineering*, 46(2), 2319-2335. <https://doi.org/10.32604/csse.2023.036721>
- Zeng, W., Ao, C., ve Lei, G. (2023). History of irrigation in China: Schedule and Method Development. S. Eslamian, ve F. Eslamian (Editörler). *Handbook of Irrigation Hydrology and Management: Irrigation Case Studies*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003353928-12>
- Zhang, X., ve Khachatryan, H. (2019). Investigating homeowners' preferences for smart irrigation technology features. *Water*, 11(10), 1996. <https://doi.org/10.3390/w11101996>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

Agricultural water use and management is one of the most important issues in today's world. Current discussions such as water consumption, wastewater management, and utilization of rainwater are actually a harbinger of the upcoming water crisis. The way to successfully manage this crisis is to use advanced technologies in water consumption and evaluation. In agricultural water use, it has become a necessity to choose "Smart Irrigation Systems" where Artificial Intelligence (AI), Deep Learning (DL) and Internet of Things (IoT) applications are used together to prevent water waste. The sequence of drip irrigation, sprinkler irrigation, pivot and smart irrigation systems that have begun to replace traditional irrigation systems is also a technological irrigation chronology.

Recently, Artificial Intelligence (AI) management, Deep Learning (DL) and Internet of Things (IoT) applications in wastewater recycling, water distribution, rainwater harvesting and agricultural irrigation show signs of how they will become widespread in the future.

The aim of this study is to introduce smart irrigation systems in general terms, their usage areas and the technologies used in these systems. Additionally, the issues that farmers should know before investing in these technologies are mentioned. By including the latest studies in the literature, an attempt has been made to shed light on the development process of smart irrigation systems in the world. It has been emphasized that higher efficiency in agricultural production can be achieved by using smart irrigation technologies.

Methodology

Nowadays, when agricultural irrigation and domestic water consumption increases, preventing water waste is of great importance. Nearly 300 national and international articles published in recent years (2020-2023) on new technologies such as smart water systems, artificial intelligence, and the internet of things were examined and evaluated. In the articles, smart irrigation system technologies, application methods, results and warnings and recommendations are taken into consideration.

Another purpose of the study is to shed some light on our farmers by trying to determine the current situation of new agricultural technologies in the world and in our country. It is thought that the content and bibliography of this study will be useful to researchers interested in the subject and working on similar subjects. For this reason, current studies published in indexed journals were cited as much as possible.

Results and Conclusions

Whether a smart irrigation system is recommended for an ordinary farmer depends on several factors, including the farmer's needs, resources and the specific conditions of agricultural operations. These;

Issues such as resource availability, technical knowledge and skills, farm size and complexity, environmental conditions, return on investment. Farmers should carefully consider their needs, resources, and goals before deciding whether to invest in smart irrigation technology. Collaborating with agricultural experts, suppliers and colleagues will help farmers make informed decisions and maximize the potential benefits of smart irrigation systems. Moreover, while smart irrigation systems can be recommended for ordinary farmers at different scales of operation, the level of complexity and investment required will vary depending on the size of the irrigated agricultural

area, available resources and technical expertise of the users. It is important to consider factors such as cost effectiveness, scalability, convenience.

It is urgent that the sale, project design and import of smart irrigation systems and other new agricultural technologies be controlled by the relevant public institutions and, if necessary, new legal regulations be made. Instead of importing new agricultural technologies, domestic production should be encouraged and institutions should be coordinated with great public sensitivity and effort, just like the defense industry. Otherwise, our economic resources will be wasted with low quality and wrong products imported to our country under the name of "new agricultural technologies".

Yazarın Biyografisi



Doç. Dr. Hasan ŞAHİN

ODTÜ Gaziantep Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünde bir süre okuduktan sonra, Lisans ve Yüksek Lisans derecesini, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Doktora derecesini ise aynı üniversitede Tarım Makineleri Anabilim Dalında tamamladı. Araştırma konuları; mikrodalga ve elektrik akımı ile yabancı ot kontrolü, tarımsal mekatronik uygulamalar, güneş enerjisinin tarımsal uygulamaları, tarımsal iş sağlığı ve güvenliği, ısıtma soğutma havalandırma sistemleridir. Halen Elektronik ve Otomasyon Bölümü Mekatronik Programında görev yapmaktadır.

İletişim hsahin@harran.edu.tr

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-3977-4252>