

# Bölüm 11

## TARIMDA TEKNOLOJİ UYGULAMALARI ÖRNEĞİ: DİJİTAL İKİZ

Göksel GÖKKUŞ<sup>1</sup>

Mualla KETEN<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Her geçen gün artan dünya nüfusunun gıda talebini karşılamak için tarımsal üretimin/verimin artırılması amacıyla çeşitli yöntemlerin geliştirilmesi bir gereklilik haline gelmiştir. Bu amaçla, gerek geleneksel yöntemlerle gerekse de yeni teknolojilerin tarıma uyarlanması anlamında çalışmalar yapılmaktadır. Ancak yeni teknolojilerin tarıma uygulanması konusu geleneksel yöntemlere göre teknolojik altyapının yatırım maliyeti ve gereksinimleri sebebiyle oldukça sınırlıdır. Özellikle gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerde teknolojinin tarıma uygulanması konusunda üreticiler/çiftçiler hem bilgi eksikliği hem de maliyet nedeniyle çekimser kalmaktadır. Teknolojik uygulamaların tarıma daha fazla dahil olması tarımsal üretimde artışa sebep olacağı gibi bu işlere ayrılan süreninde azalmasına katkı sağlayacaktır.

Endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti (IoT) gibi teknolojik gelişmelerin her alanda olduğu gibi tarıma da uygulanmasıyla bu alanda yapılan tarımsal faaliyetlerle geçmişe kıyasla günümüzde daha büyük gelişmeler kaydedilebilmektedir. Hassas tarım, izlenebilir tarım ve değişken düzeyli tarım uygulamaları gibi yöntemler tarımda önemli gelişmeler kaydedilen çalışmalardan bazılarıdır. Bahsedilen bu tarımsal uygulamalar uzaktan algılama, sayısal görüntü işleme, yapay zeka, sanal sensörleme, benzetim ve modelleme tekniklerini kullanarak, bitkilerin vejetatif ve generatif süreçlerini, toprağa ait çeşitli parametrelerin takibi (toprak nem, makro ve mikro elementler vb.) ve tahmini yapılabilir. Endüstri 4.0, nesnelerin interneti (IoT), yapay zeka yaklaşımları bir araya gelerek günümüzde pek çok alanda kullanılan dijital ikiz yöntemi tarımsal alanlara da

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, gokselgokkus@nevsehir.edu.tr

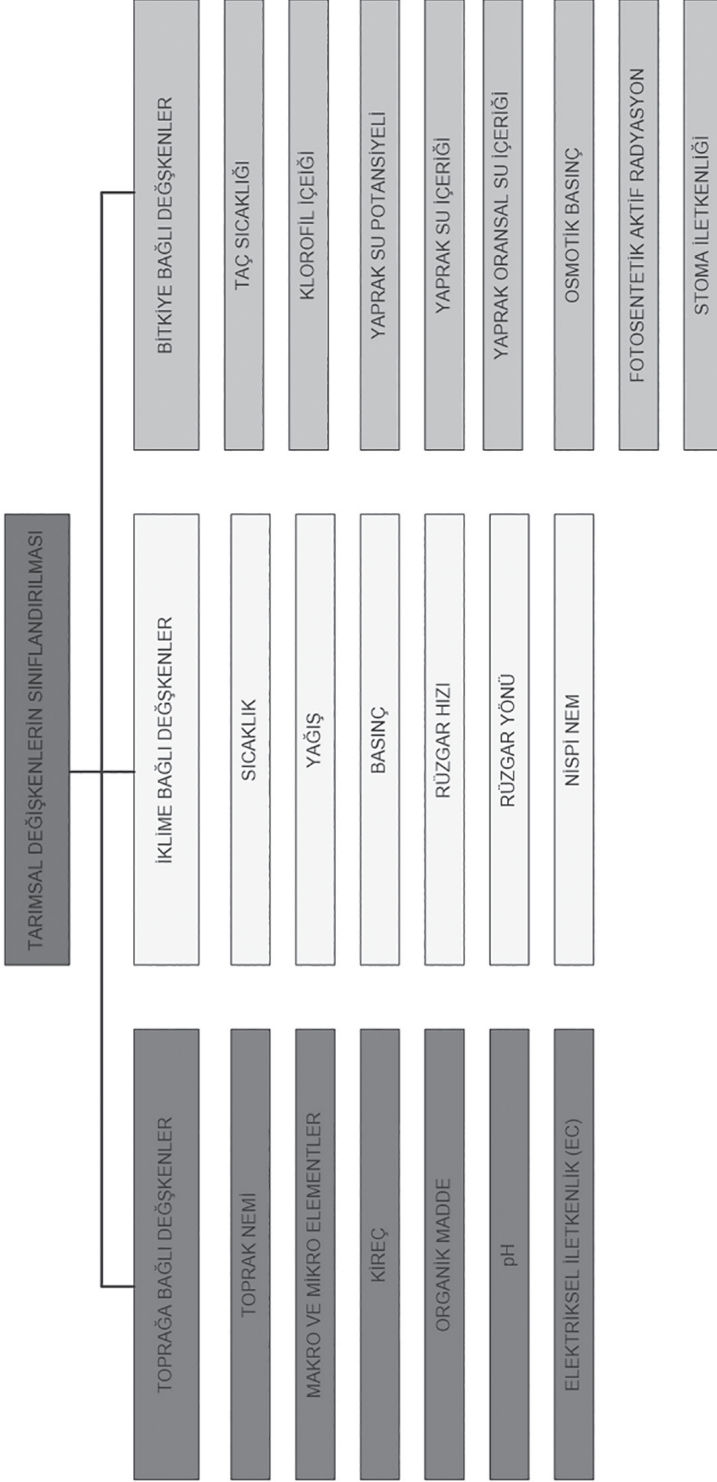
<sup>2</sup> Arş. Gör. Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, mketen@nevsehir.edu.tr

adapte edilebilir hale gelmiştir. (1) Dijital İkiz, gerçek hayattaki bir nesnenin sanal bir ortamda durumunu yansıtan dijital eşdeğeri. Üreticiler doğrudan gözlem ve ölçüm yapmak yerine gerçek zamanlı dijital bilgilere dayalı olarak süreçleri uzaktan yönetebilir. Bu sayede karşılaşılabilecek olası bir olumsuzluk durumunda hemen harekete geçilebilir ve gerçek hayat verilerine dayalı olarak simüle edilebilir. Bu yönüyle dijital ikiz; yer, zaman ve insan gözlemiyle ilgili temel kısıtlamaları ve insan kaynaklı hataları ortadan kaldırır (2;3). Bir başka tanım olarak dijital ikiz uygulamaları; canlı-cansız sistemleri ve süreçleri analiz eden aynı zamanda simüle etmek için kullanılan sayısal temsillerdir (3).

Geçmişte hava araçlarının tasarımı, binaların yapısal ve tasarımsal tahminleri, uzay uygulamaları gibi ulaşması daha zor sistemlerin benzetim ve davranışlarının analizlerinde kullanılan dijital ikiz, bilgisayar teknolojilerinin gelişimi, Endüstri 4.0, IoT ve yapay zeka yaklaşımlarının ulaşılabilir olması ile herkes tarafından erişilebilir hale gelmiştir. Literatür taramalarından dijital ikiz üzerine yapılan akademik çalışmalarda son on yılda ciddi bir artış olduğu gözlemlenmiştir. (4) Dijital ikiz, tarım ve gıda alanında henüz çok yeni kullanılan bir uygulamadır. Dijital ikizin bu alanlara entegre edilmesine dair akademik çalışmalar ise bu on yılda son iki, üç yıllık çalışmaları içermektedir. Dijital ikiz bir cihaz veya makina olmayıp çeşitli bileşenleri içeren bir sistemdir. Dijital ikiz geçmişe dayalı verilerle, gerçek ve anlık verileri içerir, bu veriler zamana bağlı çeşitli parametreler, fotoğraflar ve coğrafi veriler, olarak sıralanabilir. Dijital ikiz söz konusu verileri, yapay zeka tekniklerini kullanarak işler, bunun sonucunda verileri alınan sisteme dair geleceğe yönelik tahminler ve sistemin anlık durumu çeşitli araçlarla görselleştirilir. (5)

Bu yönüyle dijital ikiz gün geçtikçe endüstri ve diğer alanlar tarafından daha fazla kullanılmakta olup, onlara yeni fırsatlar getirmektedir. Dijital ikiz uygulamaları, fiziksel varlıklar üzerinde daha önceki uygulamalara göre daha geniş düzeyde kontrol sağlar. Ayrıca bir dizi yeni teknolojik trendleri bünyesine entegre ederek karmaşık sistemlerin yönetilmesine yardımcı olur. Bir başka tanımlama olarak dijital ikiz, gerçek sistemlerin dijital kopyasını oluşturan bir teknoloji sınıfını ifade etmektedir. Sistem dijital kopyası içerisinde hızlı deneyler ve neden-sonuç analizleri yapılabilir ve “eğer” sorularına cevap verebilir (6).

Bu yönüyle dijital ikiz sayesinde hayvancılık ve bitkisel üretim süreçlerinde artık fiziksel yakınlığa ihtiyaç duyulmayacak, sonuçta bu gibi uygulamaların uzaktan ve otomatik olarak yürütülmesini, izlenmesini, kontrolünü ve koordinasyonunu sağlamak mümkün olacaktır. Dijital ikize dayalı uygulamalar, düz-



**Şekil 1.** Toprak, iklim ve bitkiye bağlı tarımsal değişkenlerin sınıflandırılması

gün bir şekilde senkronize edilirse, (beklenen) sapmalar durumunda çiftçilerin ve diğer paydaşların hemen harekete geçmesini sağlanabilecektir (1). Dijital İkizler, akıllı tarımı yeni tarım üretkenliği ve sürdürülebilirlik seviyelerine getirmek için çok umut verici bir uygulamadır (7;8).

Tarımsal uygulamaları ve dijital ikizi içeren çalışmalar incelendiğinde dijital ikize veri kaynağı olarak kullanılacak toprak, iklim ve bitkiye bağlı değişkenlerin sınıflandırılması Şekil 1'de verilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, tarımsal alanlarda dijital ikiz uygulamalarının incelenerek bir konsept önerisinde bulunmaktır. Bu maksatla kısa özetleri verilen akademik çalışmalar incelenmiştir. Tarımda dijital ikiz uygulamalarıyla ilgili mevcut durum daha önceki yapılan çalışmalardan alıntılar yoluyla ortaya koyularak mevcut bilimsel bilgi durumuna genel bir bakış sunulmuştur.

### **Dijital ikiz ve Tarım İlişkili Çalışmalar**

Dijital ikiz kavramı, başlangıçta endüstriyel makineler için ürün yaşam döngüsü yönetiminde kullanılmıştır. Endüstride dijital ikiz, fiziksel donanımların tüm yaşam döngüsü aşamaları için faydalı bilgiler içeren bir bileşen, ürün veya sistemin kapsamlı fiziksel ve işlevsel bir açıklaması olarak görülmüştür (9). Dijital İkizlerin genel kabul görmüş bir tanımı olmamasına rağmen, açıklamalar genellikle iki özelliği öne çıkarır. Bu özelliklerden birincisi, gerçek zamanlı verilerin kullanılabilirliği nedeniyle fiziksel (gerçek yaşam) nesne ile buna karşılık gelen sanal muadili (ikiz) arasındaki sürekli bağlantıyı göstermektir. İkincisi ise, yalnızca fiziksel orijinalin mevcut durumunu temsil etme kapasiteleri değil, aynı zamanda gerçek dünyadaki farklı gelişmelerin nasıl etkileşime girdiğine dair geçmiş verilere dayanarak gelecekteki durumları simüle etme ve tahmin etme kapasitelerini göstermektir (10, 11). Dijital ikiz uygulamalarının faydaları arasında azaltılmış üretim süresi ve maliyeti, heterojen teknolojileri entegre etmenin karmaşıklığını daha yalın bir hale getirme, daha güvenli çalışma ortamları oluşturma ve çevre- sel açıdan daha sürdürülebilir iş alanları oluşturma yer almaktadır (5).

Birçok amaç için çeşitli alanlarda (sağlık, gıda, tarım, endüstri, sanayi, teknoloji vb.) dijital ikiz geliştirilmiştir. Ancak (8) tarım ve gıda alanında dijital ikiz hala gelişme aşamasındadır. Dijital İkiz, akıllı tarımı yeni tarımsal üretim teknikleri ve tarımda sürdürülebilirlik seviyelerine getirmek için oldukça umut verici uygulamalardır (12). Tarım ve gıda için dijital ikizlerin kullanımı henüz gelişme aşamasında olduğundan, teknoloji üzerine araştırma ve geliştirme sürecine toplumsal değerleri ve istekleri dahil etmek mümkündür (4). Dijital ikizin

tarım-gıda sektöründeki çiftçilerin veya diğer aktörlerin karar verme süreçlerini bilgilendirmek için bilgi sağlama amacı, “akıllı tarım teknolojilerinin” amacıyla örtüşür. Tarih boyunca çiftçiler ve ziraat mühendisleri, farklı tarım yöntemleri kullanarak ürün verimini artırma konusuna odaklanmışlardır. Günümüzün dijitalleşen dünyasında bu teknikler, akıllı tarım sistemlerini ortaya çıkaran IoT teknolojisi ve makine öğrenmesi algoritmaları ile birleştirilmiştir (13). Tarımsal sistemler, insansız hava araçları, robotlar ve yapay zeka sistemleri diğer dijital tarım teknolojileri gibi dijital ikizlerin de tarım-gıda sektöründe insan eylemini etkilemesi yönündedir ve muhtemelen daha geniş toplumsal veya etik etkilere de sebep olacaklardır (4). İlave olarak; bilgi ve iletişim teknolojileri tarımsal üretim için yeni nesil veri, model ve karar destek araçlarını tasarlamak ve uygulamak için geliştirilebilir (14). Bu anlamda tarımsal çalışmalar, bulut bilişim, nesnelerin interneti, büyük veri, makine öğrenimi, artırılmış gerçeklik ve robotik gibi teknolojik gelişimler tarafından yönlendirilen akıllı tarım sistemlerine doğru hızla değişmektedir (15;16).

Dijital ikiz tarımsal alanlarda sulama, gübreleme, nem takibi, bitki stres belirteçleri (CWSI, WDI vb. ) gibi tarlada direkt/gerçek uygulama ve ölçümleri yapılan konularda sanal tasarımlar yapabilir. Bu konuya ilişkin olarak (17), toprak nemi, hava sıcaklığı ve nem dahil saha koşullarını algılamak ve bu bilgileri bir gösterge panosunda görselleştirmek için IoT tabanlı bir prototip geliştirmişlerdir. Dijital ikiz olarak adlandırılan bu prototip verilerin fiziksel ve dijital bir nesne arasında otomatik olarak akışını sağladığını ve dijital İkizin çiftçilerin daha iyi kararlar vermesini; arazi, toprak ve su kaynaklarındaki çevresel etkinin azaltmasını sağlamışlardır. (18), Dijital İkizi bitki özellikleri, agronomistler tarafından yapılan incelemeler ve çevresel koşullar (hava, toprak vb.) hakkında verileri kullanarak yaşam döngüsünü taklit eden ve canlı bitki ile senkronize olan bir bilgisayar modeli olarak tanımlar. Benzer şekilde (19) dikey tarımda; dikey tarımın planlanması, işletilmesi, izlenmesi ve optimizasyonunun yaşam döngüsünü desteklemek için teknik bir IoT (nesnelerin interneti) tabanında prototip tasarlanabilir. Prototipin odak noktası, ışık ve buğulanma yoluyla koşulları algılamak ve kontrol etmektir.

Bitki verimliliğini sürdürmek için toprak kalitesinin izlenmesi ve değerlendirilmesi, tarım çiftliklerinde arazi kullanım stratejilerinin temelidir (20). Bitki sağlığı ve verimliliği, toprağın kalitesine ve özelliklerine bağlıdır. Tarım toprağı hakkında daha detaylı bilgi, potansiyel kimyasal gübre ve ilaç dozlarını azaltabilir, dolayısıyla yeraltı sularını iyileştirebilir, çevre ve insan sağlığını koruyabilir. Ayrıca bitki yoğunluğunun daha verimli bir şekilde tanımlanmasını destekler.

Dijital teknolojiler, bilim insanlarının tarımda toprağı daha iyi anlamalarını ve incelemelerini destekler. Nem, sıcaklık, organik madde ve toprak kirletici sensörleri gibi toprak izleme sensörleri dijital tarımda kritik roller oynamaktadır (21). Örneğın, tarım alanlarındaki sulama verimliliğini değerlendirmek için toprak nemi bilgisi kullanılabilir (22). Ayrıca, akıllı tarım uygulamalarında karar verme sürecini desteklemek için dijital toprak haritalama; arazi ve laboratuvar araştırmalarına dayalı mekansal toprak bilgisi olarak tanımlanabilecek temel bir paradigmadır (23). Dijital toprak değerlendirme yaklaşımları, düşük bitki verimine neden olabilecek bölgeleri belirleyerek bitki verimi ve performansı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Toprak araştırması ve temel toprak özelliklerinin belirlenmesi için dijital alternatif metodolojiler, toprak koşullarının eğilimini nicelleştirme olanağına sahip olabilir (24).

Tarım makineleri aracılığıyla bitkisel üretimin yapıldığı yerlerde özellikle traktör, biçerdöver, gübreleyici ve püskürtücü gibi araçlarda dijital ikiz veya internet ve haberleşme teknolojilerinin kullanımı, yakıt, gübre, insan emeğı, üretimde verimlilik ve sürdürülebilirliği etkiler (25). Dijitalleşme, toplanan bilgileri ve gelişmiş veri analitiğı yaklaşımlarını kullanarak tarım makineleri uygulama ve yönetim politikalarını modernize eder. Performansı optimize etmeye ve üretimde gelişmiş araçların kullanımını geliştirmeye olanak tanır. Örneğın, Avrupa Tarım Makineleri Birliğı'ne bağılı olarak, dijital bir tarım makinesi, sensörler ile internet ve haberleşme araçları aracılığıyla veri gönderip alarak sürücülere yardımcı olup destekler, makine ve cihazların en iyi ve uygun şekilde kullanılmasını sağladığı gibi otomatikleştirmeyi de kolaylaştırır (26).

Bitkisel üretim süreçlerinin yönetimi hakkındaki karar doğrudan bitkinin su ihtiyacına, toprak özelliklerine ve suyun mevcudiyetine bağılıdır. Akıllı tarımda toprak ve bitki gereksinimlerini yönetmek için akıllı veya hassas su yönetimini belirlemek için dijital teknolojiler kullanılmıştır. Kablosuz sistem ağıları, nesnelerin interneti, uç bilgi işlem, yerel hava durumu tabanlı kontroller ve toprak sensörleri, akıllı sulama sistemlerine dayalı dijital araçlardan bazılarıdır. Bahsedilen araçlar toprak ve sulama sistemlerinin dijital ikizinde kullanılabilir(27). Örneğın (28) bitkilerin sulama gereksinimlerini değerlendirmek ve tahmin etmek, sulama ve su dağıtım planlamasını desteklemek amacıyla akıllı su yönetim sistemi için dijital bir ikiz geliştirmişlerdir. Hava durumu, gübre ve toprak türü gibi fiziksel (tarım alanı) verileri ile toprak ve bitki davranışını simüle eden geliştirilmiş modellerden gelen bilgileri, dijital ikiz için girdi verileri olarak kabul etmişlerdir. Dijital ikiz konsepti ayrıca bir

toprak ajanı (hidrolojik modeller ve toprak verilerini içerir), ürün ajanı (ekin modellerini ve buharlaşma verilerini içerir), jeolojik modeller ve hava durumu verileri gibi çalışma alanının dijital temsili olan bir tarla avatarını oluşturduklar. Geliştirdikleri dijital ikiz konseptinde, toprak avatar ve bitki avatardan gelen bilgilerin tarla avatarını beslediğini, veri dönüşümü ile fiziksel ve sanal dünyalar arasındaki bağlantı için de nesnelere internetini kullandıklarını belirtmişlerdir. Neticede akıllı tarımda toprak ve sulama sistemlerinin dijital ikizi, tarım toprağından gelen bilgilerin dijital olarak temsil edilmesini ve üreticiler için su ihtiyacı ile toprak bileşenlerinin tahminini sağlar. Ayrıca, araştırmacılar tarafından henüz belirlenememiş bitki su ihtiyacına göre farklı sulama önerileri sunulabilir (27).

Akıllı tarım uygulamaları ile ilişkilendirilebilen dijital ikiz, tarımsal üretim sistemi içindeki karşılıklı ilişkilerin daha derinden anlaşılmasını ve bunun sonucunda tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağladığı gibi tarımda dijitalleşmenin önünü de açmıştır. Tarımda dijitalleşmenin temel özellikleri arasında nesnelere interneti, makine öğrenmesi, bilgi ve iletişim teknolojisi vb. uygulamaların kullanılması yer almaktadır (27,29, 30, 31). Akıllı teknolojiler aracılığıyla dijital tarımda veri toplama ve analizi, karmaşık karar verme yaklaşımlarını desteklemektedir. Nihai üretkenliği artırır, maliyetleri düşürür ve karar verme sürecini optimize eder. Ayrıca, bilgi ve iletişim teknoloji araçları tarımsal yönetim, verimlilik, kalite kontrol ve gıda tedarik zincirinin yanı sıra karar destek araçları için avantajlar sunar (32, 33, 34, 35), Tarımsal dijitalleşme, çiftçi veya üreticilere gübre, kimyasal madde, tohum, sulama yönetimi stratejileri, çevre koruma, hastalık ve zararlı, iklim ve bitki büyüme periyodu izleme süreçlerinin yönetimi ve çözümleri hakkında yararlı bilgiler sağlayabilir.

Geliştirilmesine ihtiyaç duyulan kaynak miktarı ve fiziksel ikizlerin karmaşıklığından dolayı dijital ikizlerin henüz uygulanabilir olmadığı durumlar da vardır (36). Fiziksel ve sanal ikizler arasındaki senkronizasyon ulaşılması zor bir hedeftir (37). Tarımda, hayvanlar veya arazi parselleri gibi doğal sistemlerden farklı olarak, tarım ekipmanı gibi insan yapımı sistemlerin sanal sistemle senkronize edilmesi daha kolay olabilir (5). Ayrıca, dijital ikiz bileşenlerinin entegrasyonu zor olabilir (38). Tarımda bu durum, farklı altyapılara, yazılımlara ve son kullanıcılara bağlı olduklarından, ürünler için simülasyon ve izleme bileşenlerini birleştirmek için geçerli olabilir. Dijital ikizin tarımsal uygulamalardaki yaygın başarısı sadece teknolojiye, becerilere veya

veri altyapılarına, kullanılabilirliğe değil, aynı zamanda ilgili iş yönüne de bağlıdır. Bir tarım işletmesinde tanıtılacak her yeni teknolojide olduğu gibi, dijital ikizin de katma değerini ve yatırım getirisini göstermesi gerekir (5). Dijital ikizin tarımda uygulanması ayrıca potansiyel riskler içerir (5, 39), fiziksel ikizleri sanal muadilleri aracılığıyla kontrol etmek, gerçek dünya sistemlerinde ihmale yol açabilir. Tarımda, bu tür bir ihmal, diğer etkenlerin yanı sıra yaşayan dijital ikizlere uygulandığı için geri dönüşü olmayan hasarlara neden olabilir.

### **Tarımsal Uygulamalara Yönelik Dijital İkiz Konsepti**

Fiziksel karşılığı olmayan sistemlerde dijital ikiz geliştirilmesi kolay değildir. Diğer sistemler için dijital ikiz geliştirilmesi üç önemli unsura bağlıdır.

*Veri Oluşturma:* Sanal bir temsil oluşturabilmek için gerekli olan veri oluşturma süreci kablolu-kablosuz sensörleri, geçmiş verileri, otomatik ve manuel veri kayıtları ile birleştiren kapsamlı bir izleme sisteminden oluşmaktadır.

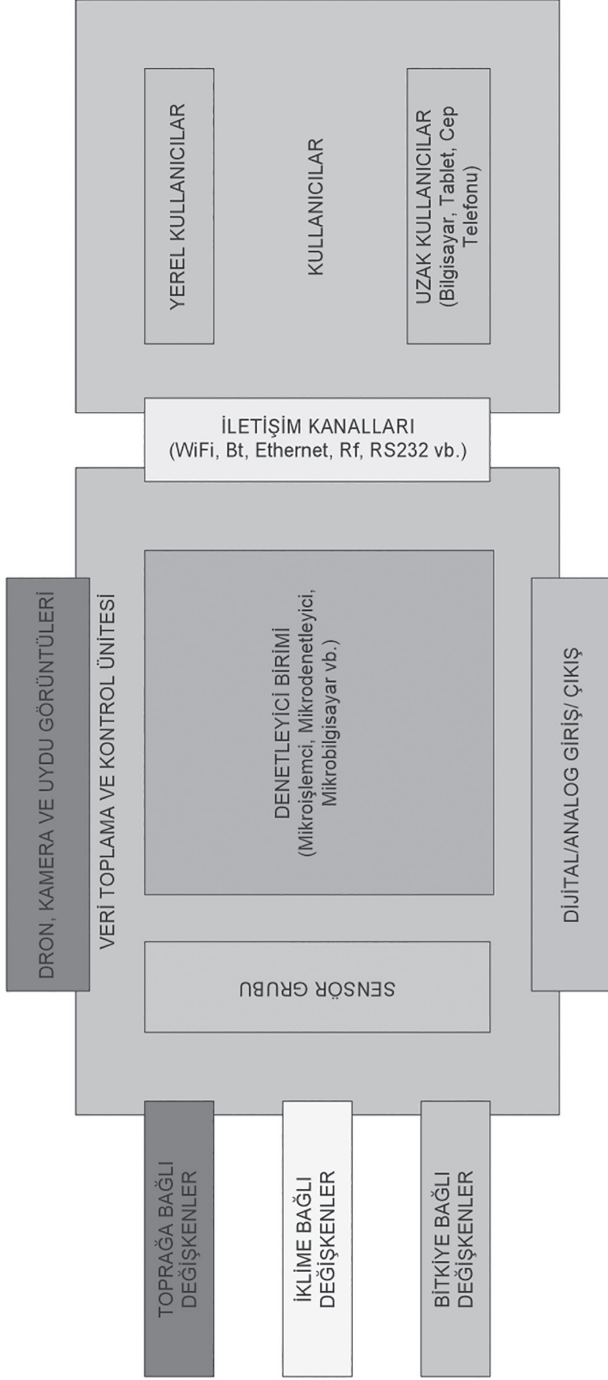
*Veri Analizi:* Veri oluşturma sürecinde elde edilen data yığınları çeşitli yaklaşımlar, teoremler, formülizasyonlar kullanılarak olaylar verilerle ilişkilendirilir. Örneğin; enerji kullanımı ile bitki verimi üzerinde etkili olan temel değişkenleri toplanan geniş veriler arasındaki ilişkilerle analiz ederek belirlenir.

*Veri Modelleme:* Özellikle geçmiş veriler ve yapay zeka yaklaşımlarının kullanımını ile eğitilebilen algoritmalar şu anki veriler üzerinden gelecekteki olası operasyonel senaryoları tahmin edebilir ve sahaya özel modellemeler yapabilir.

Bu bilgiler ışığında tarımsal uygulama alanına yönelik bir konsept önerisinin blok şeması oluşturularak Şekil 2'de verilmiştir.

Bu çalışmada veri oluşturma sürecine yönelik literatür taramalarından elde edilerek gruplaştırılan tarımsal uygulamalara yönelik parametreler 3 başlıkta toplanmış ve Şekil 2'deki blok şemada giriş verileri olarak kullanılmıştır. Bu verilerin elde edilmesinde kablolu/kablosuz, temaslı/temassız, sanal/gerçek nitelikli sensör (örneğin toprak nem sensörleriyle toprak nem verilerinin elde edilmesi) kullanılabilir. Bu sensörler algıladıkları değişkenleri analog veya dijital iletişim kanallarını kullanarak denetleyici birimine iletir. Denetleyici birimleri analog sinyalleri analog dijital dönüşüm (ADC) kanalları üzerinden sayısal verilere dönüştürerek veri oluşturma süreci tamamlanmış olur. Bu sensör gruplarından elde edilen verilere ek olarak dron, kamera ve uydu görüntüleri de veri kaynağı olarak eklenmektedir.



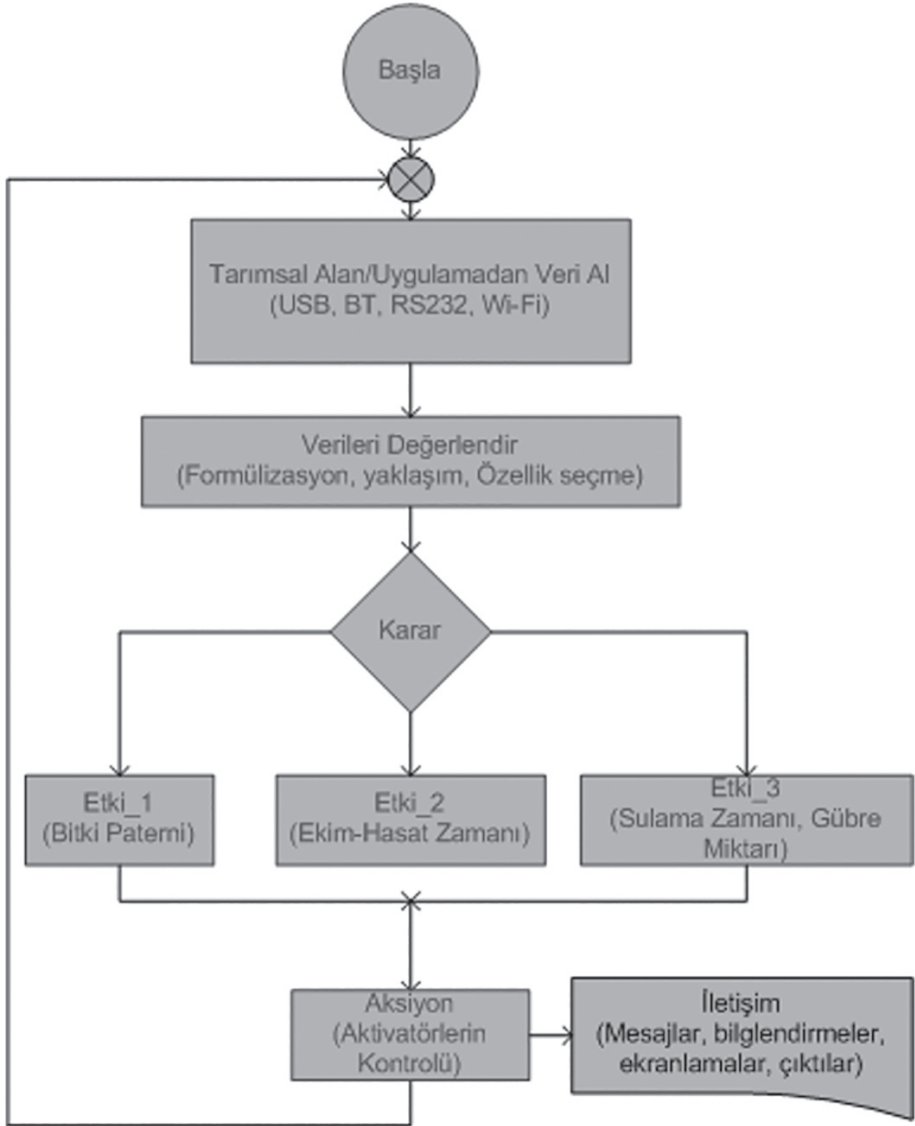


Şekil 2. Tarımsal alana yönelik oluşturulan dijital izik konseptinin blok şeması

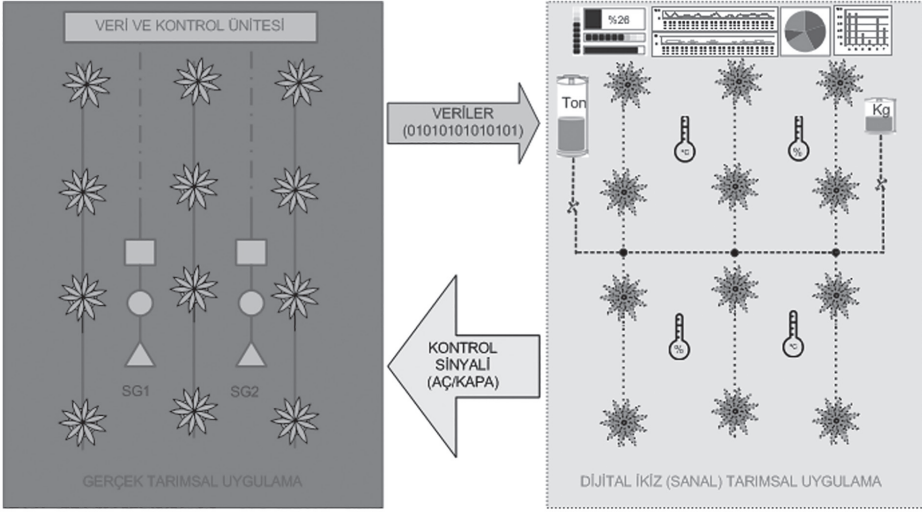
Tarımsal süreçlerde meydana gelen olaylar örneğın ortam ve bitki ta sıcaklığı, nem ile buhar basıncı üzerinde meydana gelen değişimleri sistem bünyesindeki denetleyici olay değişimleri olarak değil de veri yığınlarında meydana gelen değişimler olarak algılar. Aslında ortam ve bitki ta sıcaklığı, nem ile buhar basıncının değişimi bitki su stres indeksini (CWSI) etkiler. Bu bir formül aracılığı ile hesaplanabilir neticesinde ise elde edilen değer ile bir olayın ifadesi ortaya konulabilir. Elde edilen bu indeks sayesinde bitki için sulamanın yapılacağı tarih belirlenmiş olur. Bu süreci olaylar neticesinde bir analiz ve karara bağlama süreci olarak tanımlayabiliriz.

Elde edilen anlık ve geçmişe dayalı veri yığınları ihtiyaçlar doğrultusunda yapay zeka, bulanık mantık, yapay sinir ağları, makine öğrenmeleri gibi yaklaşımlar üzerinden eğitilerek veya değerlendirilerek bir karara bağlanır. Karara bağlama süreci bir olaylar dizisi veya akış şeması üzerinden gerçekleşir. Yapay zeka ve makine öğrenme temeli teknikler bu olaylar dizisi veya akış şemalarını duruma göre sürekli güncellenebilir kabiliyete sahiptirler. Ancak diğer yöntemler bu konuda sınırlı kalmıştır. Şekil 3'te yukarıda bahsedilen olaylara örnek oluşturabilecek bir akış şeması verilmiştir.

Şekil 3'teki akış şeması bazı tarımsal süreçlerin yönetilmesine dair alt yapı oluşturabilecek bir nitelikte olup tüm sistem (sensör, aktivatörler, çıktılar vb.) bakımından dijital ikiz kapsamında değerlendirilebilir. Örneğın bu akış şemasını bitki su stres indeksi (CWSI)'ne uygulandığı düşünülürse "Tarımsal Alan/Uygulamadan veri al" işlemleri ile çalışılan araziden ortam/ta sıcaklığı, nem, basınç vb. veriler alınır. "Verileri Değerlendir" aşamasında alınan veriler (40) 'ın önerdiği ampirik eşitlikle değerlendirmeye alınır. "Karar" aşamasında formülden elde edilen stres indeksi değerleri sonucunda sulamaya hangi sayısal değere gelindiğinde başlanılacağına, kaç günde bir sulama yapılacağına karar verilir. "Aksiyon" aşamasında ise karar verilen sulama zamanına göre selenoid vana/valf, su pompası devreye girer ve sistem sulamayı gerçekleştirir. "Çıktı" aşamasında bu süreçten etkilenen bütün değişkenler iletişim kanalları üzerinden kullanıcıya (mobil veya yerel) iletilerek süreç hakkında bilgi sahibi olması sağlanır. Yukarıda açıklanan süreçlere bitki su tüketimi (ET), su kullanım etkinliği (WUE), sulama suyu etkinliği (IWUE), bitki verim tepki etkinliği, su kısıtı indeksi (WDI), yaprak su potansiyeli gibi toprak, bitki ve su belirteçleri eklenip dijital ikiz çalıştırılabilir. Tarımsal uygulamalarda kullanılacak dijital ikiz konseptine dair örnek Şekil 4'te blok şema halinde verilmiştir.



Şekil 3. Tarımsal üretim sürecinin yönetimine dair dijital ikiz akış şeması örneği



Şekil 4. Önerilen dijital ikiz konsepti

Bu şemaya göre tarımsal alandan çeşitli sensörler vasıtasıyla elde edilen veriler tarımsal alanın dijital ikizini oluşturabilmek amacıyla sağlıklı bir veri akışı kanalı üzerinden sisteme alınır. Sensörler aracılığı ile elde edilen gerçek zamanlı veriler çeşitli gösterge ve grafiklerle okunabilir hale getirilir. Zamana göre değişim gösteren birden fazla parametrenin bir arada bulunduğu durumlarda pasta grafiği vb. araçlarla parametreler yorumlanabilir hale getirilir, grafikler aracılığıyla gerçek zamanlı veriler veya geçmişe dönük veriler çizdirilebilir. Sulama hattına ait çeşitli veriler (basınç, su miktarı, debi gibi) gözlemlenebilir. Tarlaya ait toprak sıcaklığı, ortam sıcaklığı, taç sıcaklığı, nem, açık hava basıncı da dijital ikiz sayesinde gözlemlenebilir. Geçmiş ve anlık verilerden yola çıkılarak sulama zamanı, bitki deseni, gübreleme miktarı gibi çıktılar da dijital ikiz ile karara bağlanabilir.

## SONUÇ

Önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre endüstri 4.0, nesnelerin interneti, yapay zeka alanındaki gelişmeler yüksek işlem kabiliyetine sahip bilgisayarların herkes tarafından ulaşılabilir olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımsal alanlarda yoğun kullanımı son tüketicinin ihtiyaçları doğrultusunda ortaya çıkan akıllı ve izlenebilir tarım gereksinimi gibi pek çok etki neticesinde önceleri spesifik (uzay, hava araçları vb.) alanlarda kullanılabilen dijital ikiz tarımsal uygulamalara da adapte edilebilir hale gelmiştir. Dijital ikiz saye-

sinde gerçek zamanlı aktivitelerin sanal yöntemlerle kısa sürede ve zahmetsiz bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkün hale gelmiştir. Gerçek ve geçmişe dönük veriler kullanılarak yapay zeka yaklaşımları üzerinden geleceğe dair muhtemel senaryoların geliştirilmesi de sağlanabilir. Son yıllarda üzerine çalışılan dijital ikiz birçok sektörde olduğu gibi tarım sektöründe de gelişme göstermiştir. Bu çalışma kapsamında literatür çalışmalarından yola çıkılarak tarımsal uygulamalarda dijital ikiz konseptine uyarlanabilecek muhtemel tarımsal süreçlerden bir tanesi üzerine dijital ikiz tasarımı yapılmıştır.

Çalışmada örnek olarak tasarlanan CWSI ile gerçekleştirilen dijital ikiz örneğinde sıcaklık, nem, basınç gibi veriler elde edildikten sonra bir formülüzasyon değerlendirilmesinden geçirilerek sulama zamanına karar verilmiş ve çeşitli teknolojilerle (sensör, otomasyon vb.) sulama gerçekleştirilebileceği düşüncesine varılmıştır. Çalışmada CWSI üzerine yapılan dijital ikiz konsepti tarımda da bitki su tüketimi hesabı, yaprak su potansiyeli, sulama ve gübreleme süreçleri, ekim ve hasat zamanı, bitki deseni tahmini gibi diğer uygulamalarda da kullanılabilir.

Tüm bu yönleriyle dijital ikiz, statik sistemleri dinamik hale getirmesi, tarımsal süreçlerin izlenmesine ve yürütülmesine kolaylık sağlaması ve tarımda dijitalleşme ile ilgili pek çok süreci kapsar.

## **KAYNAKLAR**

1. Verdouw CN, Wolfert J, Beulens AJM, Rialland A. Virtualization of food supply chains with the internet of things, *Journal of Food Engineering*; 2019;176:128-136.
2. Verdouw CN, Beulens AJM, Reijers HA, Vorst JGAJ, vd. A control model for object virtualization in supply chain management. *Comput. In*; 2015; 68, 116–131.
3. Verdouw CN, Wolfert J, Beulens AJM, Rialland A. Virtualization of food supply chains with the internet of things. *J. Food Eng.* 2016;176, 128–136.
4. Burg SVD, Kloppenburg S, Kok EJ, Voort, MVD. Digital twins in agri-food : Societal and ethical themes and questions for further research. *Impact in Agricultural and Life Sciences.* 2021;93(1):98-125.
5. Pylaniadis C, Osinga S, Athanasiadis IN. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 2021;184 : 105942.
6. Li B, Zhong H, Chen Y, Leung C. Arming Decision Support Systems with Digital Twin and Internet of Things: A Desiderata. *International Journal of Information Technology* 2019; 25 No. 2.
7. Schleich B, Anwer N, Mathieu L, Wartzack S.. Shaping the Digital Twin for design and production engineering. *CIRP Ann.* 2017; 66 (1), 141–144.

8. Jones D, Snider C, Nassehi A, Yon J, Hicks B. Characterising the digital twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2020;29, 36–52. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>.
9. Boschert S. ve Rosen R. Digital Twin –2016. The Simulation Aspect. In: Hehenberger P. & Bradley D. (Eds.), *Mechatronic Futures*. Springer, Cham.
10. Verdouw C, ve Kruize JW. Digital twins in farm management: Illustrations from the FIWARE accelerators smartagrifood and fractals. In Nelson, W (ed), 7th AsianAustralasian Conf. *Precis. Agric.* 1–5. Hamilton, New Zealand: Precision Agricultural Association New Zealand. 2017. <https://doi.org/10.5281/zenodo.893662>.
11. Wright L, Davidson S. How to tell the difference between a model and a digital twin. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, 2020;7, 13. <https://doi.org/10.1186/s40323-020-00147-4>.
12. Verdouw C, Tekinerdoğan B, Beulens A, Wolfert S. Digital twins in smart farming. *Journal of Agricultural Systems*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103046>.
13. Angin P, Anisi MH, Göksel F, Gürsoy C, Büyükgülcü A. AgriLoRa: A Digital Twin Framework for Smart Agriculture. *Journal of Wireless Mobile Networks*, 2020; 11(4):77-96.
14. Janssen SJ, Porter CH, Moore AD, Athanasiadis IN, Foster I, Jones JW, Antle JM. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Information and communication technology. *Agric. Syst.* 2017;155, 200–212. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.09.017> <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308521X16305637>. ISSN 0308521X..
15. Kamilaris A, Prenafeta-Boldú FX. Deep learning in agriculture: a survey. *Comput. Electron. Agric.* 2018;147, 70–90.
16. Zhai Z, Martínez JF, Beltran V, Martínez NL. Decision support systems for agriculture 4.0: survey and challenges. *Comput. Electron. Agric.* 2020;170, 105256.
17. Alves RG, Souza G, Maia RF, Tran ALH, Kamienski C, Soinenen JP, Aquino Jr PT, Lima F. A Digital Twin for Smart Farming. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference Seattle -2019; USA*.
18. Skobelev P, Laryukhin V, Simonova E, Goryanin O, Yalovenko V, Yalovenko O. Developing a smart cyber-physical system based on Digital Twins of plants. In: *Fourth World Conference on Smart Trends in Systems*, 2020. Security and Sustainability (WorldS4), London, United Kingdom, ;pp. 522–527.
19. Monteiro J, Barata J, Veloso M, Veloso L, Nunes J. Towards sustainable Digital Twins for vertical farming. *Thirteenth International Conference on Digital Information Management (ICDIM)*, Berlin, Germany 2018;234–239.
20. Vilček J, Štefan K. Integrated index of agricultural soil quality in Slovakia. *J. Maps*, 2018;14, 68–76. (CrossRef).
21. Yin H, Cao Y, Marelli B, Zeng X, Mason AJ, Cao C. Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture. *Adv. Mater.* 2021, 33, 2007764. (CrossRef) (PubMed)
22. Basterrechea DA, Rocher J, Parra M, Parra L, Marin JF, Mauri PV, Lloret J. Design and Calibration of Moisture Sensor Based on Electromagnetic Field Measurement

- for Irrigation Monitoring. *Chemosensors*, 2018;9, 251. (CrossRef).
23. Söderström M, Sohlenius G, Rodhe L, Piikki K. Adaptation of regional digital soil mapping for precision agriculture. *Precis. Agric.*, 2016;17, 588–607. (CrossRef).
  24. Searle R, McBratney A, Grundy M, Kidd D, Malone B, Arrouays D, Stockman U, Zund P, Wilson P, Wilford J, et al. Digital soil mapping and assessment for Australia and beyond: A propitious future. *Geoderma Reg.*, 2021;24, e00359. (CrossRef).
  25. Reis ÂVD, Medeiros FA, Ferreira MF, Machado RLT, Romano LN, Marini VK, Franco TR, Machado ALT. Technological trends in digital agriculture and their impact on agricultural machinery development practices. *Revi. Ciência Agronômica*, 2021;51, e20207740. (CrossRef)
  26. Anonim. CEMA. Digital Farming: What Does It Really Mean? Availableonline:[https://www.cema-agri.org/images/publications/position-papers/CEMA\\_Digital\\_Farming\\_-\\_Agriculture\\_4.0\\_\\_13\\_02\\_2017\\_0.pdf](https://www.cema-agri.org/images/publications/position-papers/CEMA_Digital_Farming_-_Agriculture_4.0__13_02_2017_0.pdf) (accessed on 4 January 2022).
  27. Nasirahmadi A, Hensel O. Toward the Next Generation of Digitalization in Agriculture Based on Digital Twin Paradigm. *Sensors*, 2022; 22, 498. <https://doi.org/10.3390/s22020498>.
  28. Villani G, Castaldi P, Toscano A, Stanghellini C, Cinotti TS, Maia, RF, Tomei F, Taumberger M, Zanetti P, Panizzi S. Soil Water Balance Model CRITERIA-ID in SWAMP Project: Proof of Concept. In Proceedings of the 2018 23rd Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Bologna, Italy, 2018;13–16 November pp. 398–404.
  29. Goel RK, Yadav CS, Vishnoi S, Rastogi R. Smart agriculture—Urgent need of the day in developing countries. *Sustain. Comput. Inform. Syst.* 2021; 30, 100512. (CrossRef)
  30. Mehrabi Z, McDowell MJ, Ricciardi V, Levers C, Martinez JD, Mehrabi N, Wittman H, Ramankutty N, Jarvis A. The global divide in data-driven farming. *Nat. Sustain.* 2021; 4, 154–160. (CrossRef).
  31. Jakku E, Taylor B, Fleming A, Mason C, Fielke S, Sounness C, Thorburn P. If they don't tell us what they do with it, why would we trust them? Trust, transparency and benefit-sharing in Smart Farming. *NJAS Wagening. J. Life Sci.* 2019;90–91, 100285.
  32. Jakku E, Taylor B, Fleming, A, Mason C, Thorburn P. Big Data, Trust and Collaboration: Exploring the Socio-Technical Enabling Conditions for Big Data in the Grains Industry; CSIRO: Brisbane, Australia, 2016; p. 34.
  33. Wolfert S, Ge L, Verdouw C, Bogaardt MJ. Big Data in Smart Farming—A review. *Agric. Syst.*, 2017; 153, 69–80. (CrossRef)
  34. Ingram J, Maye D. What are the implications of digitalisation for agricultural knowledge? *Front. Sustain. Food Syst.* 2020;4, 66. (CrossRef).
  35. Chergui N, Kechadi MT, McDonnell M. The Impact of Data Analytics in Digital Agriculture: A Review. In Proceedings of the 2020 International Multi-Conference on: Organization of Knowledge and Advanced Technologies (OCTA), Tunis, Tunisia, 2020; 6–8 February; pp. 1–13.
  36. West TD, Blackburn M. Is Digital Thread/Digital Twin Affordable? A Systemic Assessment of the Cost of DoD's Latest Manhattan Project. In: *Procedia Computer Science*, 2017;vol. 114. Elsevier B.V., pp. 47–56. doi: 10.1016/j.procs.2017.09.003.

37. Talkhestani BA, Jazdi N, Schlogl, W, Weyrich M. A concept in synchronization of virtual production system with real factory based on anchor-point method. In: Procedia CIRP,2018, vol. 67. Elsevier B.V., pp. 13–17. doi: 10.1016/j. procir.2017.12.168.
38. Kurth R, Tehel R, Paßler T, Putz M, Wehmeyer K, Kraft C, Schwarze H. Forming 4.0: Smart machine components applied as a hybrid plain bearing and a tool clamping system. Procedia Manuf. 2019;27, 65–71. doi: 10.1016/j. promfg.2018.12.045. ISSN 23519789.
39. Smith MJ. Getting value from artificial intelligence in agriculture. Anim. Prod. Sci. 2018; <https://doi.org/10.1071/AN18522>. <http://www.publish.csiro.au/?paper=AN18522>. ISSN 1836-0939.
40. Idso SB, Jackson RD, Pinter PJ, Hatfield JL. Normalizing the stres–degree–day parameter for environmental variability. Agric. Meteorol. 1981; 24: 45-55.