

2015-2021 yılları arasında SCI ve SCI Expanded endeksli dergilerde yayınlanan Siber-Fiziksel Üretim Sistemleri Konulu Makalelerin İçerik Analizi

B. Türker Palamutçuoğlu^{a, b}, Mustafa Gerşil^c

Özet

Küresel rekabet koşulları altında işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri için rekabetçi üstünlüklere sahip olması gerekmektedir. Bunun için işletmelerin üretim süreçlerini kontrol altında tutmaları, otomatikleştirmeleri, insan-makine etkileşimi emniyetli ve verimli hale getirmeleri gerekmektedir. Üretim hatalarını azaltmak, bakım-onarım maliyetlerini azaltmak, gereksiz faaliyetleri ortadan kaldırıp yalın üretim anlayışını uygulamak günümüzde işletmeler için neredeyse kaçınılmaz hale gelmiştir. Son yıllarda yaşanan eklemeli imalat, nesnelerin interneti, bulut bilişim, artırılmış gerçeklik, yapay zekâ gibi teknolojik yenilikler siber-fiziksel sistemlerin ortaya çıkmaya başlamasına neden olmuştur. Bu makalede geleceğin üretim sistemlerinin temelinde yer alacak bu sistemler hakkında çalışmak isteyen bilim insanlarına ve işletmelerin teknik personellerine yol göstermek ve bir çıkış noktası oluşturmak amacıyla 2015 ve 2021 yılları arasında SCI-expanded ve SCI endeksli dergilerde siber-fiziksel üretim sistemleri konulu makalelerin literatür özeti sunulmuştur. Başlangıçta kavramsal çalışmaların daha fazla olduğu ama uygulamalı çalışmalarında hızlı bir artış gösterdiği görülmüştür. Ayrıca dijital dönüşüm sürecinde işletmelerin karşılaştıkları zorlukları ele alan, siber güvenliğe dikkat çeken önemli çalışmalar da göze çarpmaktadır.

Anahtar Kelimeler

Siber-fiziksel üretim sistemi
Siber-fiziksel imalat sistemi
Dijital ikiz
Makine-insan etkileşimi

Makale Hakkında

Geliş Tarihi: 10.04.2022
Kabul Tarihi: 20.07.2022
Doi: 10.18026/cbayarsos.1101334

Content Analysis of Articles on Cyber-Physical Manufacturing Systems Published in SCI and SCI Expanded Indexed Journals Between 2015-2021

Abstract

Under the conditions of global competition, businesses must have competitive advantages in order to survive. For this, businesses need to keep their production processes under control, automate them, and make human-machine interaction safe and efficient. It has become almost inevitable for businesses today to reduce production errors, reduce maintenance-repair costs, eliminate unnecessary activities and apply the lean production approach. Technological innovations such as additive manufacturing, the internet of things, cloud computing, augmented reality, and artificial intelligence in recent years has led to the emergence of cyber-physical systems. In this paper, a literature summary of the articles on SCI-expanded and SCI on cyber-physical production systems between 2015 to 2021 years is presented in order to guide the scientists and technical personnel of the enterprises who want to work on these systems that will be the basis of the future production systems. It was seen that there were more conceptual studies at the beginning, but a rapid increase in applied studies. In addition, important studies that address the difficulties faced by businesses in the digital transformation process and draw attention to cyber security are also striking.

Keywords

Cyber-Physical Production
System
Cyber-Physical Manufacturing
System
Digital Twins
Machine-Human Interaction

About Article

Received: 10.04.2022
Accepted: 20.07.2022
Doi: 10.18026/cbayarsos.1101334

^a İletişim Yazarı: turker.palamutcuoglu@cbu.edu.tr.

^b Öğr. Gör. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Kula Meslek Yüksekokulu, ORCID: 0000-0002-9251-402X.

^c Doç. Dr. Mustafa GERŞİL, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, ORCID: .

Giriş

Son yıllarda yeni endüstri devriminin gelişimine tanıklık etmekteyiz. Bu endüstri devriminin ortaya çıkmasıyla akıllı üretim, akıllı sensörler, artırılmış gerçeklik, bulut bilişim, blok zincir teknolojisi, siber güvenlik, robotik, nesnelerin interneti, büyük veri analizi, makine öğrenmesi, Kuantum bilişim, siber-fiziksel sistemler, eklemeli imalat gibi kavramlar öne çıkmaya başlamıştır. Endüstri 4.0 olarak adlandırılan yeni endüstri devrimi yapay zeka, makine öğrenmesi ve sensörler yardımıyla fiziksel sistemlerin algılandığı ve makinelerin haberleştiği, bütün makinelerin verilerinin ortak bir veri tabanında tutulduğu, toplanan bu büyük verinin analizi ile süreçlerin otomatik olarak kontrol edildiği sistemleri kapsamaktadır.

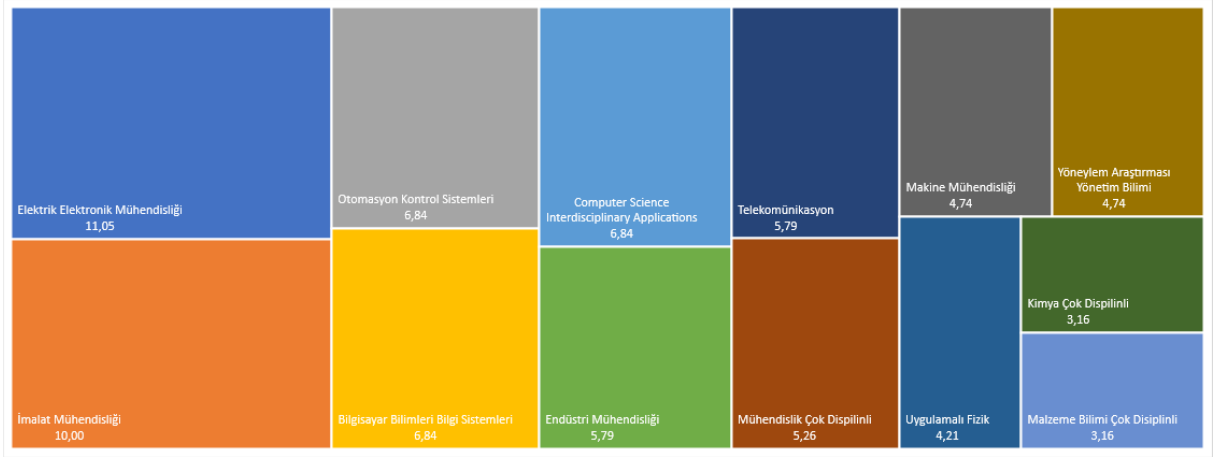
Siber-fiziksel üretim sistemleri (SFÜS), sensörler yardımıyla iş süreçlerinin izlendiği, toplanan verilerin bulut bilişim yoluyla merkezi olarak depolandığı ve analiz edildiği, robotik, yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmalarının öne çıktığı üretim sistemleridir. Bu sistemlerde sadece sensörlerden gelen verilerinin analizi yapılmaz, aynı zamanda bu verilerin analizi ile süreçlerin kontrol altında olup olmadığı anlaşılabilir ve yedek makineler devreye sokarak üretimin sürekliliği sağlanır (Qin vd., 2016:174).

Bu çalışmada SFÜS hakkında SCI-expanded ve SSCI yayınların özeti sunmak amaçlanmıştır. Bu çalışmanın SFÜS hakkında çalışacak bilim insanlarına yol gösterebileceği, literatürde eksik kalan alanları ortaya çıkarabileceği düşünülmektedir.

Yöntem

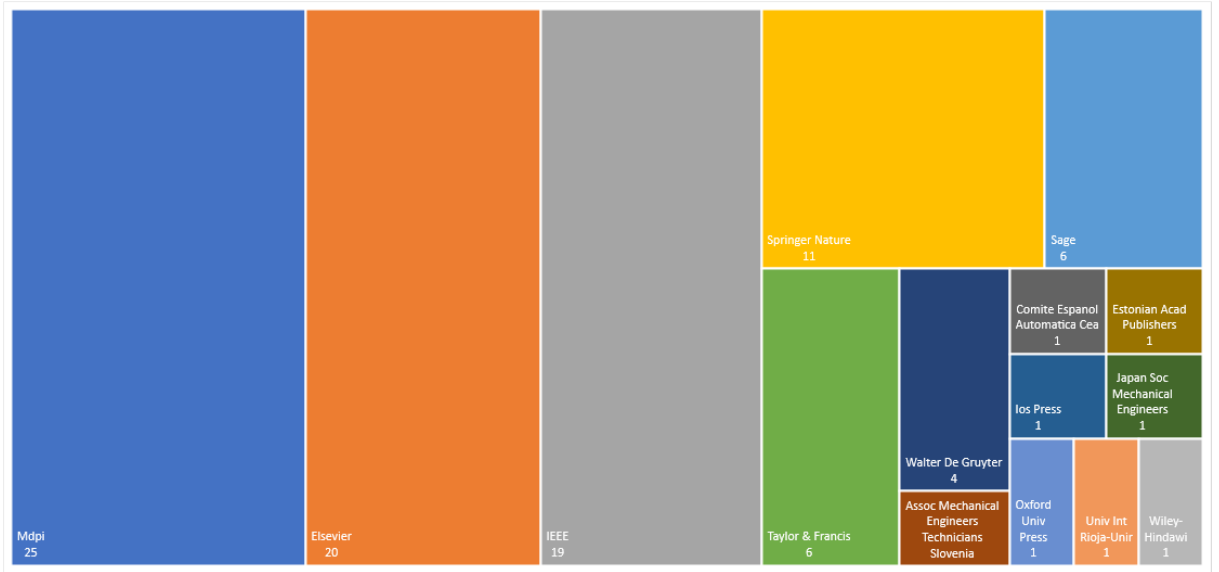
Bu çalışmada 15.12.2022-30.12.2022 zaman aralığında web of science'ın SCI-expanded ve SSCI indekslerinde taranan dergilerdeki makaleler incelenmiştir. Bu amaçla web of science'da makale başlıklarında "cyber-physical production system", "cyber-physical manufacturing system", "cyber physical production system" ve "cyber physical manufacturing system" kelimeleri bütün olarak aranmıştır. Sitenin arama sonuçları "SCI-expanded" ve "SSCI" indekslerini ve açık erişim imkânı olan yayınları içerecek şekilde filtrelenmiştir. Arama sonuçlarında başka herhangi bir filtreleme yapılmamıştır. Makaleler tespit edildikten sonra farklı kriterlere göre dağılımları gösterilmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında "siber-fiziksel üretim sistemi" kavramını ele alan SSCI yayınların 2019, SCI-expanded yayınların ise 2018 yılından itibaren ortaya çıktığı görülmüştür. Araştırma sonucunda 7 SSCI, 75 SCI-expanded makale elde edilmiştir. Elde edilen bu 82 makalenin Web of Science kategorilerine dağılımı şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. İncelenen 82 Makalenin Web of Science Kategorilerine Göre Dağılımı §

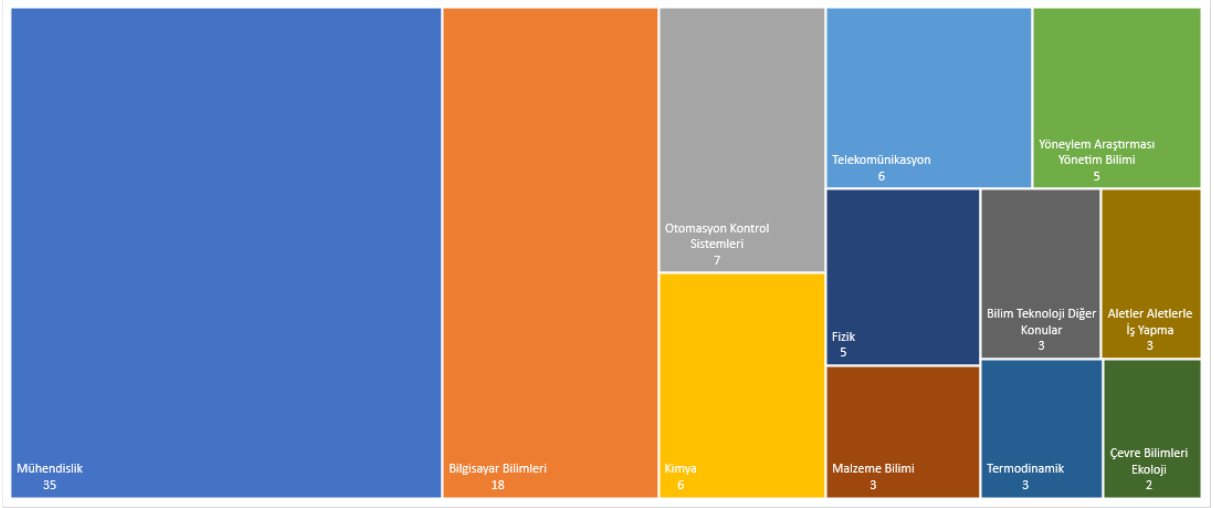
Şekil 1’de en fazla makale yayınlanan kategorilerin elektrik elektronik mühendisliği, imalat mühendisliği, otomasyon kontrol sistemleri, bilgisayar bilimi bilgi sistemleri ve bilgisayar bilimi disiplinler arası uygulamalar kategorilerinde olduğu görülmektedir. Bunları endüstri mühendisliği, telekomünikasyon, mühendislik disiplinler arası, makine mühendisliği ve yöneylem araştırması yönetim bilimi kategorileri izlemektedir. Siber-fiziksel sistemlerin büyük ölçüde elektrik-elektronik ile bilgisayar sistemleri, yapay zeka ve makine öğrenmesi ile gerçekleştirildiği düşünülürse bu sıralamanın şaşırtıcı olmadığı anlaşılabilir. İncelenen makalelerin yayıncılara göre dağılımı şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Makalelerin Yayıncılarına Göre Dağılımı

Şekil 2’de en fazla makale yayınlayan yayıncıların Mdpi, Elsevier, IEEE ve Springer Nature olduğunu göstermektedir. Bu yayın evlerini Sage, Taylor& Francis ve Walter De Gruyter takip etmiştir. Diğer yayıncıların bu konuda literatüre daha az katkı sağladığı görülmüştür. Makalelerin araştırma alanlarına göre dağılımı şekil 3’te gösterilmiştir.

§ Şekil 1, şekil2, şekil 3, şekil 4 ve şekil 6’da veriler yüzde (%) olarak payları göstermektedir.



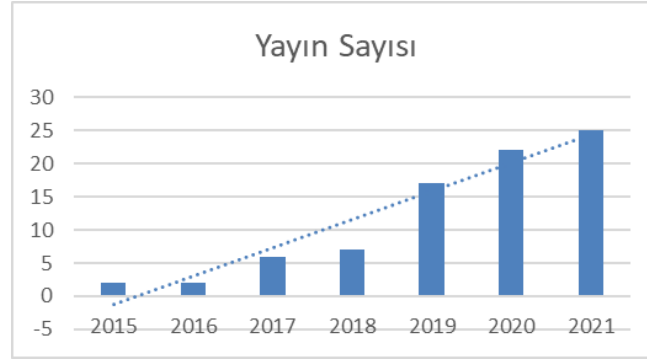
Şekil 3. Makalelerin Araştırma Alanlarına Göre Dağılımı

Şekil 3'te bu konuda en fazla katkı sağlayan alanlar mühendislik, bilgisayar bilimi, otomasyon kontrol sistemleri ve kimya alanları olmuştur. Bu alanları telekomünikasyon, yöneylem araştırması yönetim bilimi, fizik, bilim teknoloji diğer konular, materyal bilimi, termodinamik, kontrol araçları ve çevresel bilimler takip etmektedir. Makalelerin ülkelere göre dağılımı şekil 4'te gösterilmiştir.



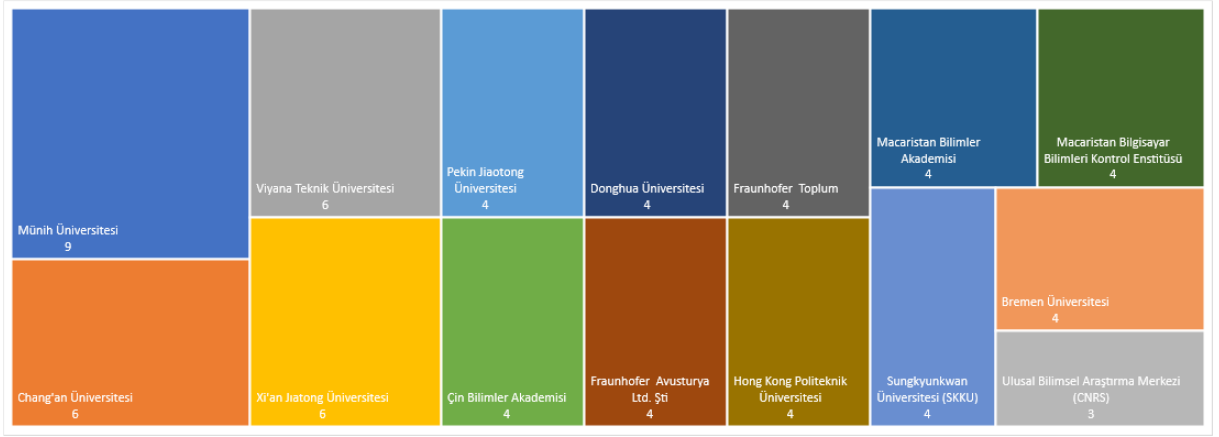
Şekil 4. Makalelerin Ükelere Göre Dağılımı

Şekil 4'te SFÜS alanına en fazla Çin, Almanya, Amerika ve İngiltere olmuştur. Bu ülkeler dışında literatüre en fazla katkıyı İspanya, Avusturya, Yunanistan, Fransa, Macaristan, Romanya, İsveç, Japonya, Hollanda ve Güney Kore yapmıştır. Makalelerin yıllara göre dağılımı şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Makalelerin Yıllara Dağılımı

Şekil 5'ten SFÜS'e ilişkin makalelerin 2015 yılından itibaren literatüre girdiği ve 2021'e kadar üretilen makale sayısının hızlı artış gösterdiği görülebilmektedir. Özellikle son üç yılda üretilen makale sayısının büyük ölçüde artış gösterdiğini söyleyebiliriz. Yayınların Web of Science üyelerine göre dağılımı şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Yayınların Web of Science Üyelerine Göre Dağılımı

Şekil 6'dan SFÜS'e ilişkin literatüre en fazla katkısı olan Web of Science üyeleri: Münih teknik Üniversitesi, Chang'an Üniversitesi, Viyana Teknik Üniversitesi, Xi'an Jiaotong Üniversitesi olmuştur. Bu kuruluşları Pekin Jiaotong Üniversitesi, Çin Bilimler Akademisi, Donghua Üniversitesi, Fraunhofer Austria Res Ltd. Şti, Fraunhofer Grubu, Hong Kong Politeknik Üniversitesi, Macaristan Bilimler Akademisi, Macaristan Bilgisayar Bilimleri Kontrolü Enstitüsü, Sungkyunkwan Üniversitesi, Bremen Üniversitesi ve Fransa Ulusal Araştırma Merkezi (CNRS) izlemiştir.

Makalelerin dağılımları belirlendikten sonra içeriklerine göre tasniflenmişler ve önemli görülen makalelere literatür özetinde yer verilmiştir. Makalenin sonraki bölümünde endüstri 4.0 olarak adlandırılan yeni endüstri devriminde siber-fiziksel sistemlerin yeri ve önemi ele alınacaktır. Daha sonra toplanan 82 yayına ilişkin bir literatür özeti sunulacaktır.

Yeni Endüstri Devriminde Siber-Fiziksel Üretim Sistemlerinin Yeri ve Önemi

Yeni endüstri devrimi Almanya'da hükümetin, endüstriyel şirketlerin akademisyenlerin katkılarıyla endüstriyel üretim ile bilgi ve iletişim teknolojilerinin birleştirilmesi yönündeki girişimlerden kaynaklanmıştır (Baena vd., 2017).

Bu endüstriyel devrimle üretim sistemleri bir dönüşüm geçirecek ve otomasyon ağırlıklı, teknolojiye dayanan entegre sistemler haline gelecektir (TAYSAD, 2016: 78). Endüstri 4.0

dönüşümü ile ortaya çıkacak yeni üretim teknikleri işletmelerin daha yüksek katma değere sahip üretim süreçlerine sahip olmasını (TAYSAD, 2016:76) ve sürdürülebilir rekabet avantajını sağlayarak dünya pazarından daha fazla pay almalarını sağlayacaktır (TÜSİAD, 2016:13).

Endüstri 4.0 kavramı Almanya tarafından 2011 yılında düzenlenmiş olan Hannover fuarında Kagermann tarafından duyurulmuştur. Bu kavram otonom robotları, büyük veri ve makine öğrenme algoritmaları ile yapay zekanın uygulandığı veri analitiğini, gömülü sistemleri, simülasyonu, nesnelerin internetini, bulut bilişimi, arttırılmış gerçeklik, siber-fiziksel sistemler ve eklemeli imalat gibi teknolojileri kapsamaktadır.

Akıllı fabrikalarda ürün için gereken kaynaklar ya depoda hazırdir ya da otomatik olarak siparişi verilir ve fabrikaya geldiğinde depoya otomatik olarak yerleştirilir. Hammaddeler üretim ortamına konveyör bant ve otonom robotlar tarafından taşınırlar. Üretim için insan gücüne ihtiyaç duyulmaz ve sensörler, yapay zekalar ve siber-fiziksel sistemler (SFÜS) nesnelerin interneti vasıtasıyla haberleşerek üretimi gerçekleştirirler. Bu üretim şeklinde direkt işçilik giderleri sıfır olsa da genel üretim giderleri yüksek olacaktır. İnsandan kaynaklanan hataların ortadan kalkması nedeniyle kalitesizlik maliyetleri azalır (Okutmuş, 2019: 1706).

SFÜS fiziksel üretim varlıkları ile bilişim sistemlerinin eş zamanlı ve etkileşimli şekilde çalıştırılmasıyla sensörlerden gelen verileri işleyerek ve öğrenerek faaliyetlerini otomatik olarak düzenleyebilen, diğer siber-fiziksel varlıklarla ve insanlarla iletişim kurabilen, veri gizliliği ve güvenliği yüksek ara yüzler veya sistemler olarak tanımlanabilir (Broy vd., 2012:1).

SFÜS'ler ve gelişmiş sensör ağları, gömülü sistemlerin gelecekteki evrimsel adımını temsil etmektedir. İnternet, çevrimiçi veriler ve hizmetlerle beraber gömülü sistemler (sensörler) siber-fiziksel üretim sistemlerinin temel bileşenleridir. Bu yenilikçi teknolojiler fiziksel ve sanal dünyaların arasındaki sınırları ortadan kaldırmıştır (Soylu, 2017: 46).

Son yıllarda karşımıza çıkan dijital ikiz (Dİ) kavramıyla siber-fiziksel sistemler yakından ilişkilidir. SFÜS'ler sensör verilerini işlemek ve fiziksel sistemi kontrol etmek amacıyla dijital bir ikiz kullanabilir. (Alam ve El Saddik, 2017). Bu sistemde sensörlerden elde edilen bilgiler toplanır analiz edilir ve anlamlandırılarak yapay zekalarca karar oluşturulur. Oluşturulan karar fiziksel ortama iletilerek süreç kontrol edilir. Fiziksel ortamdan dijital ikize veri akışı ve dijital ikizden fiziksel ortama karar akışı sürekli devam eder (Yükçü ve Aydın, 2020: 570).

SFÜS'nin kullanıldığı karanlık fabrikalarda insan gücüne, aydınlatmaya ihtiyaç duyulmaz ve 24 saat üretim yapılabilir. Bu sistemlerde hammadde, yarı mamul ve mamul stoklarının yönetiminde, üretimin, bakımların planlamasında, ürünlerin müşterilere sevkiyatı ve teslimatında yapay zekaların etkili olduğu süreçler kullanılır. Bu sistemler yalnız üretim, tam zamanında üretim gibi gereksiz faaliyetlerin sınırlandırıldığı üretim sistemlerinin kurulmasını kolaylaştırır.

Bulgular

Makalenin bu bölümünde öncelikle incelenen yayınlar yazarları, yayın yılını, yayın adını, yayının türünü ve web of science'da yayının aldığı atıf sayısını içeren bir tablo şeklinde özetlenmiştir. Daha sonra incelenen 82 yayın içinde Web of Science'da 20'den fazla atıf alan 26 çalışmanın özeti sunulmuştur.

Tablo 1. İncelenen SCI-Expanded ve SSCI Yayınlar

Yazar/Yazarlar	Yayın Yılı	Yayının Adı	Türü	Web Of Science Atıf Sayısı
Lanza vd.	2015	Optimization of selective assembly and adaptive manufacturing by means of cyber-physical system based matching	Uygulama	50
Vogel-Heuser vd.	2015	Agents enabling cyber-physical production systems	Uygulama	2
Huang vd.	2016	A PetriNet-Based Approach for Supporting Traceability in Cyber-Physical Manufacturing Systems	Teorik	14
Trappey vd.	2016	A Review of Technology Standards and Patent Portfolios for Enabling Cyber-Physical Systems in Advanced Manufacturing	Uygulama	78
Chhetri ve Al Faruque	2017	Side Channels of Cyber-Physical Systems: Case Study in Additive Manufacturing	Uygulama	18
Pan vd.	2017	Taxonomies for Reasoning About Cyber-physical Attacks in IoT-based Manufacturing Systems	Teorik	35
Urbina vd.	2017	Cyber-Physical Production System Gateway Based on a Programmable SoC Platform	Uygulama	9
Yu vd.	2017	Formal modeling and control of cyber-physical manufacturing systems	Uygulama	4
Zheng ve Ming	2017	Construction of cyber-physical system-integrated smart manufacturing workshops: A case study in automobile industry	Uygulama	7
Cardin	2018	Classification of cyber-physical production systems applications: Proposition of an analysis framework	Teorik	41
Elhabashy vd.	2018	A cyber-physical attack taxonomy for production systems: a quality control perspective	Uygulama	18
Jiang vd.	2018a	Distributed Dynamic Scheduling for Cyber-Physical Production Systems Based on a Multi-Agent System	Uygulama	23
Jiang vd.	2018b	Method of tasks and resources matching and analysis for cyberphysical production system	Uygulama	4

Yazar/Yazarlar	Yayın Yılı	Yayının Adı	Türü	Web Of Science Atıf Sayısı
Lee vd.	2018	Implementation of Cyber Physical Production Systems for Quality Prediction and Operation Control in Metal Casting	Uygulama	41
Ribeiro ve Björkman	2018	Transitioning From Standard Automation Solutions to Cyber-Physical Production Systems: An Assessment of Critical Conceptual and Technical Challenges	Teorik	29
Tomiyama ve Moyen	2018	Resilient architecture for cyber-physical production systems	Teorik	20
Ansari vd.	2019	PriMa: a prescriptive maintenance model for cyber-physical production systems	Uygulama	33
Beregi vd.	2019	A novel fluid architecture for cyber-physical production systems	Uygulama	7
Bin Islam vd.	2019	Exploiting visual cues for safe and flexible cyber-physical production systems	Uygulama	3
Lhachemi vd.	2019	Augmented Reality, Cyber Physical Systems, and Feedback Control for Additive Manufacturing: A Review	Teorik	6
Mahmood vd.	2019	Development of cyber-physical production systems based on modelling technologies	Uygulama	1
Nouiri vd.	2019	Towards Energy Efficient Scheduling of Manufacturing Systems through Collaboration between Cyber Physical Production and Energy Systems	Uygulama	4
Salazar vd.	2019	Cyber-physical production systems architecture based on multi-agent's design pattern comparison of selected approaches mapping four agent patterns	Uygulama	29
Stern ve Becker	2019	Concept and Evaluation of a Method for the Integration of Human Factors into Human Oriented Work Design in Cyber-Physical Production Systems	Uygulama	5
Talkhestani vd.	2019	An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System	Uygulama	28

Yazar/Yazarlar	Yayın Yılı	Yayının Adı	Türü	Web Of Science Atıf Sayısı
Tan vd.	2019	Application of IoT-Aided Simulation to Manufacturing Systems in Cyber-Physical System	Uygulama	16
Tao vd.,	2019	Digital twins and cyber-physical systems toward smart manufacturing and industry 4.0: correlation and comparison	Teorik	132
Thramboulidis vd.	2019	CPuS-IoT: A cyber-physical microservice and IoT-based framework for manufacturing assembly systems	Uygulama	13
Tran vd.	2019	Development of a Smart Cyber Physical Manufacturing System in the Industry 4.0 Context	Uygulama	19
Yao vd.	2019	Smart manufacturing based on cyber-physical systems and beyond	Teorik	69
Zhou vd.	2019	Human-cyber-physical systems (HCPSS) in the context of new – generation intelligent manufacturing	Teorik	59
Bayhan vd.	2020	Presentation of a novel real time production supply concept with cyber-physical systems and efficiency validation by process status indicators	Uygulama	1
Brandman vd.	2020	A physical hash for preventing and detecting cyber-physical attacks in additive manufacturing systems	Uygulama	4
Farooq vd.	2020	Flow-Shop Predictive Modeling for Multi-Automated Guided Vehicles Scheduling in Smart Spinning Cyber–Physical Production Systems	Uygulama	2
Fischbach vd.	2020	CAAI—a cognitive architecture to introduce artificial intelligence in cyber-physical production systems	Uygulama	2
Grochowski	2020	Formal methods for reconfigurable cyber-physical systems in production	Uygulama	3
Gupta vd.	2020	Additive Manufacturing Cyber Physical System: Supply Chain Cybersecurity and Risks	Uygulama	17

2015-2021 yılları arasında SCI ve SCI Expanded endeksli dergilerde yayınlanan Siber-Fiziksel Üretim Sistemleri Konulu Makalelerin İçerik Analizi

Yazar/Yazarlar	Yayın Yılı	Yayının Adı	Türü	Web Of Science Atıf Sayısı
Hozdić vd.	2020	A Cyber-Physical Approach to the Management and Control of Manufacturing Systems	Uygulama	6
Kim vd.	2020	Simulation Framework for Cyber-Physical Production System: Applying Concept of LVC Interoperation	Uygulama	1
Malik vd.	2020	I-nteract: A Cyber-Physical System for Real-Time Interaction With Physical and Virtual Objects Using Mixed Reality Technologies for Additive Manufacturing	Uygulama	1
Mörth vd.	2020	Cyber-physical systems for performance monitoring in production intralogistics	Uygulama	8
Neghina vd.	2020	Early-stage analysis of Cyber-physical production systems through collaborative modelling	Uygulama	1
Nikolakis vd.	2020	On a containerized approach for the dynamic planning and control of a cyber-physical production system	Uygulama	11
Park vd., 2020	2020	Digital twin-based cyber physical production system architectural framework for personalized production	Uygulama	32
Pinzone vd.	2020	A framework for operative and social sustainability functionalities in Human-Centric Cyber-Physical Production Systems	Uygulama	22
Qian vd.	2020	Cyber-Physical Integrated Intrusion Detection Scheme in SCADA System of Process Manufacturing Industry	Uygulama	3
Romero-Silva ve Hernandez-Lopez	2020	Shop-floor scheduling as a competitive advantage: A study on the relevance of cyber-physical systems in different manufacturing contexts	Uygulama	12

Yazar/Yazarlar	Yayın Yılı	Yayının Adı	Türü	Web Of Science Atıf Sayısı
Runji vd.	2020	Switchable Glass Enabled Contextualization for a Cyber Physical Safe and Interactive Spatial Augmented Reality PCBA Manufacturing Inspection System	Uygulama	1
Saez vd.	2020	Context-Sensitive Modeling and Analysis of Cyber-Physical Manufacturing Systems for Anomaly Detection and Diagnosis	Uygulama	7
Wan ve Zeng	2020	An Event-Based Programming Model with Geometric Spatial Semantics For Cyber-Physical Production Systems	Uygulama	23
Waschull vd.	2020	Work design in future industrial production: Transforming towards cyberphysical systems	Teorik	16
Yin vd., 2020	2020	Understanding Data-Driven Cyber-Physical-Social System (D-CPSS) Using a 7C Framework in Social Manufacturing Context	Uygulama	2
Ait-Alla vd.	2021	Simulated-based methodology for the interface configuration of cyber-physical production systems	Uygulama	2
Bampoula vd.	2021	A Deep Learning Model for Predictive Maintenance in Cyber-Physical Production Systems Using LSTM Autoencoders	Uygulama	7
Chen vd.	2021	A Hyper Heuristic Algorithm Based Genetic Programming for Steel Production Scheduling of Cyber-Physical System-ORIENTED	Uygulama	35
Chuang vd.	2021	Smart cyber-physical production system enabled workpiece production in digital twin job shop	Uygulama	45
Dhiman vd Röcker	2021	Middleware for providing activity-driven assistance in cyber-physical production systems	Uygulama	1
Harrison vd.	2021	A Connective Framework to Support the Lifecycle of Cyber-Physical Production Systems	Uygulama	4
Iber vd.	2021	Auditory augmented process monitoring for cyber physical production systems	Uygulama	2

2015-2021 yılları arasında SCI ve SCI Expanded endeksli dergilerde yayınlanan Siber-Fiziksel Üretim Sistemleri Konulu Makalelerin İçerik Analizi

Yazar/Yazarlar	Yayın Yılı	Yayının Adı	Türü	Web Of Science Atıf Sayısı
Khalid vd.	2021	Understanding vulnerabilities in cyber physical production systems	Uygulama	31
Kondoh vd.	2021	A method for redesigning business workflow for cyberphysical production system	Uygulama	12
Leiden vd.	2021	Cyber-physical production system approach for energy and resource efficient planning and operation of plating process chains	Uygulama	5
Macherki vd.	2021	QHAR: Q-Holonic-Based ARchitecture for Self Configuration of Cyber-Physical Production Systems	Uygulama	35
Martín-Gómez vd.	2021	Holonic Reengineering to Foster Sustainable Cyber-Physical Systems Design in Cognitive Manufacturing	Uygulama	3
Ralph vd.	2021	Transformation of a rolling mill aggregate to a cyber physical production system: from sensor retrofitting to machine learning	Uygulama	33
Strohschein vd.	2021	Cognitive capabilities for the CAAI in cyber-physical production systems	Uygulama	53
Suvarna vd.	2021	Cyber-physical production systems for data-driven, decentralized, and secure manufacturing-a perspective	Teorik	0
Traganos vd.	2021	The HORSE framework: A reference architecture for cyber-physical systems in hybrid smart manufacturing	Uygulama	111
Villalonga vd.	2021	A decision-making framework for dynamic scheduling of cyber-physical production systems based on digital twins	Uygulama	3
Vogel-Heuser vd.	2021	(Re)deployment of Smart Algorithms in Cyber-Physical Production Systems Using DSL4hDNCS	Uygulama	2
Wiemer vd.	2021	A Holistic Quality Assurance Approach for Machine Learning Applications in Cyber-Physical Production Systems	Teorik	49

Yazar/Yazarlar	Yayın Yılı	Yayının Adı	Türü	Web Of Science Atıf Sayısı
Wilhelm vd.	2021	Review of Digital Twin-based Interaction in Smart Manufacturing: Enabling Cyber Physical Systems or Human-Machine Interaction	Teorik	51
Hästbacka vd.	2022	Dynamic Edge and Cloud Service Integration for Industrial IoT and Production Monitoring Applications of Industrial Cyber-Physical Systems	Uygulama	1
Zhou vd	2022	Intelligent Small Object Detection for Digital Twin in Smart Manufacturing With Industrial Cyber-Physical Systems	Uygulama	1
Yu vd.	2017	Trustworthiness Modeling and Analysis of Cyber-physical Manufacturing Systems	Uygulama	18
García vd.	2018a	Automation Architecture based on Cyber Physical Systems for Flexible Manufacturing within Oil&Gas Industry	Uygulama	6
García vd.	2018b	UML-Based Cyber-Physical Production Systems on Low-Cost Devices under IEC-61499	Uygulama	5
Andronie vd.	2021a	Sustainable, Smart, and Sensing Technologies for Cyber-Physical Manufacturing Systems: A Systematic Literature Review	Teorik	2
Beregi vd.	2021a	Manufacturing Execution System Integration through the Standardization of a Common Service Model for Cyber-Physical Production Systems	Uygulama	0
Andronie vd.	2021b	Sustainable Cyber-Physical Production Systems in Big Data-Driven Smart Urban Economy: A Systematic Literature Review	Teorik	4
Beregi vd.	2021b	Towards trustworthy Cyber physical Production Systems: A dynamic agent accountability approach	Uygulama	1

Yazar/Yazarlar	Yayın Yılı	Yayının Adı	Türü	Web Of Science Atıf Sayısı
Andronie vd.	2021c	Artificial Intelligence-Based Decision-Making Algorithms, Internet of Things Sensing Networks, and Deep Learning Assisted Smart Process Management in Cyber-Physical Production Systems	Teorik	0

Lanza ve arkadaşlarının 2015’de yayınlanan makalelerinde (50 atıf) genetik optimizasyon temelli bir algoritma ile siber-fiziksel sistemi kontrol ettiklerini duyurmuşlardır. Algoritma değişen koşullara göre 6 stratejiden birini seçmektedir. Bu stratejiler yazarlar tarafından geleneksel montaj, seçici montaj (sınıflamalı), bireysel montaj (sınıflamasız), seçici montaj ve adaptif imalat, bireysel montaj ve adaptif imalat ve bireysel imalat olarak adlandırılmıştır. Algoritma stratejileri değerlendirirken üretim maliyeti, kalite maliyeti, stok maliyetine göre hesaplanan uygunluk değerleriyle seçim yapmaktadır (Lanza, 2015).

Vogel-Heuser ve arkadaşlarının 2015’de yayınladıkları makalede (45 atıf) yazarlar siber-fiziksel sistemlerin gereksinimlerini ve ajanların etkinleştirici teknoloji olarak yeteneklerini tartışmışlardır. Siber-fiziksel sistemi gerçekleştirmek için, gerçek zamanlılığa ve güvenilirliğe ilişkin farklı gereksinimlere sahip üç seçilmiş kullanım durumuna göre ajanların uygulanabilirliğine örnek göstermişlerdir. Yazarlar ilk olarak makinenin kendini izlemesi ve kestirimci bakımı için kullanılan Watchdog Agent®’ı tanıtmışlardır. İkinci olarak süreç ve kalite kontrolüne entegre olan çok ajanlı sistemi göstermişlerdir. Son olarak ise esneklik, kendi kendini onaran üretim için dinamik yeniden yapılandırmayı göstermişlerdir (Vogel-Heuser vd., 2015).

Trapey ve arkadaşları 2016’da yayınlanan makalelerinde (78 atıf) en son siber-fiziksel sistemler literatürünün birleştirilmiş özetini, uluslararası standartların incelemesini ve Le vd.’nin (2015) 5C’ler Siber-fiziksel sistemler mimarisi modeliyle ilgili patent portföylerinin eksiksiz bir analizini sunmuşlardır. Yazarlar siber-fiziksel sistemler patentlerinde uluslararası standartların ve fikri mülkiyet haklarının kritiğini yapmışlardır. Bu çalışmada Uluslararası Standardizasyon Örgütü, uluslararası Elektroteknik Komisyonu ve Çin’in Guobiao standartlarından ortaya çıkan Endüstri 4.0 standartları ile ABD, Avrupa, Çin ve Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü’nde verilen küresel patentleri incelemişlerdir (Trapey vd., 2016).

Pan ve arkadaşları 2017’de yayınlanan makalelerinde (35 atıf) potansiyel tehlikeleri anlamak, üretim süreçlerine yönelik siber-fiziksel saldırıları ve bu saldırıları önlemek için kalite kontrol ölçütlerini sınıflandırmışlardır. Yazarlar, bu sınıflandırmaların nesnelere interneti tabanlı üretim sisteminin güvenlik açıkları, olası saldırılar ve kalite kontrol ölçütleri arasında bağlantı kurmak için uygun bir düzen sağladığını ifade etmişlerdir. Yazarlar bu sınıflandırmaların gereksiz kalite kontrol önlemlerini azaltacağını ve kalite maliyetlerini düşürmeye yardımcı olabileceğini raporlamışlardır. Pan ve arkadaşları mevcut nesnelere interneti tabanlı üretim sürecini taklit eden bir analiz aracı geliştirerek saldırıları tespit edecek algoritmalar geliştirmeyi planladıklarını bildirmişlerdir (Pan vd., 2017).

Jiang ve arkadaşları 2018'de yayınlanan makalelerinde (23 atıf) siber-fiziksel sistemler için çok etmenli sistemlere dayalı dağıtık optimal çizelgeleme ve yeniden çizelgeleme algoritması geliştirmişlerdir. Yazarlar bu algoritmayı bir atölyenin çizelgeleme koşullarında test etmiştir. Atölye üç süreci uygulayan 7 makinadan oluşmaktadır. Bu süreçlerde gerçekleşen üretimler için önerilen algoritmayla elde edilen çizelgeler siparişlerin bekleme süreleri, maliyetleri, kaliteleri ve işlem zamanları bakımından geleneksel yolla elde edilen çizelgelerle karşılaştırılmışlardır. Yazarlar önerdikleri yöntemin daha etkili olduğunu göstermişlerdir (Jiang vd., 2018).

Lee ve arkadaşları 2018 yılında yayınlanan makalelerinde (41 atıf) metal döküm kalitesini ve operasyon kontrolünü tahmin etmek için siber-fiziksel üretim sisteminin gerçek bir fabrikada uygulamasını yapmıştır. Yazarlar ilk olarak, metal dökümünde kalite tahmini ve operasyon kontrolü için nesnelerin interneti, yapay zekâ, simülasyonlar, üretim yürütme sistemleri, gelişmiş planlama ve çizelgeleme sistemleri arasındaki iş birliğini tanımlayan bir siber-fiziksel üretim sistemi mimari çerçevesi tasarladıklarını ve bunu bir üretim tesisinde uyguladıklarını raporlamışlardır. Fiziksel sisteme döküm kalitesini etkileyen en önemli faktör olan sıcaklığı ölçen sensörler ve nesnelerin interneti cihazları eklemiştir. Kalite tahmini için R yazılımı ile karar ağacı, rastgele orman, yapay sinir ağı ve destek vektör makinesi gibi makine öğrenmesi algoritmaları kullanmışlar ve karşılaştırmışlardır. Yazarlar bu çalışmanın nicel etkileri tahmin ederek siber-fiziksel üretim sisteminin kullanılabilirliğini doğruladığını ve çalışmanın siber-fiziksel sistemlerin endüstride yaygınlaşmasına katkıda bulunmasını beklediklerini raporlamışlardır (Lee vd., 2018).

Ribiero ve arkadaşları 2018'de yayınlanan makalelerinde (29 atıf) siber-fiziksel sistemlerin tutarlı bir şekilde tasarlanmasından önce ele alınması gereken önemli zorluklara dikkate çekmişlerdir. Yazarlar, günümüzün otomasyon teknikleriyle olası siber-fiziksel sistemlerin karşılaştırmalı analizini yapmışlardır. Yazarlar mevcut otomasyon sistemlerinin siber-fiziksel sisteme dönüşüm sürecinde karşılaşılan teknik ve kavramsal zorlukları ele almışlardır. Makalede aynı zamanda, modüler siber-fiziksel sistemlerin entegrasyonundan kaynaklanan sistem düzeyinde uyumluluk ve etkileşim tasarımı zorluklarını göstermektedir (Ribiero vd., 2018).

Ansari ve arkadaşları 2019 yılında yayınlanan makalelerinde (33 atıf) bakımı endüstri 4.0 bağlamında yeniden düşünerek mevcut yaklaşım ve zorlukları incelemişlerdir. Böylece yazarlar PriMa ismini verdikleri yeni bir kestirimci bakım modeli tanıtarak üretim yönetimi ve planlaması literatürüne katkı sunmuşlardır. PriMa veri yönetimi, kestirimci veri analitiği araç kutusu, tavsiye ve karar destek paneli, anlam tabanlı öğrenme ve akıl yürütme için kapsayıcı bir katmandan oluşmaktadır. Yazarlar bu uygulamayı bir endüstri şirketinde uygulayarak doğrulamışlardır (Ansari vd., 2019).

Cardin 2019 yılındaki makalesinde (41 atıf) siber-fiziksel üretim sistemlerinin sınıflandırmasını yapmıştır. Yazar bu sınıflandırma işlemi için 7 kriter belirlemiştir: geliştirme kapsamı, bilimsel araştırma eksenini, iletişim standartları, istihbarat birikimi, bilişsel yetenekler, yaygın ölçüm araçları, insan-makine ara yüzü. Geliştirme kapsamı: laboratuvar deneyleri, kavram kanıtı, endüstriyel uygulama, öğrenen fabrika düzeylerini içerir; araştırma eksenini: çeviklik, teknoloji ve sürdürülebilirlik kriterlerini içerir; iletişim standartları: TCP/IP, TCP/IP&USB, RFID, PROFINET, OPC UA, RS232, wifi, Ethernet, OPC protokollerini içerir; istihbarat birikimi: makineleri, ürünleri ve taşımaları, dijital ikizleri içerir; bilişsel yetenekler: C1: bağlantı düzeyi, C2: değişim düzeyi, C3:siber düzey, C4: biliş düzeyi ve C5: yapılandırma

düzeyini içerir; yaygın ölçüm araçları: sensörleri, bilinmeyenleri, RFID düzeyleri içerir; insan-makine ara yüzü: tam (insan, herhangi bir müdahale olmaksızın gerekli tüm kararları alabilen SFÜS'nin yalnızca denetim rolüne sahiptir), otomasyon (siber-fiziksel sistem, kararların çoğunu alarak insana görevi sırasında rehberlik eder ve uyumu insana bırakır), araç (insan, siber-fiziksel sisteme rehberlik eder ve kararların çoğundan sorumludur), kılavuz (siber-fiziksel sistem, yalnızca tüm kararlardan sorumlu olan insana veri sağlar) seviyelerini içerir. Yazar bu tasniflemeyi kendi seçtiği yayınlar üzerinde uygulayarak göstermiştir (Cardin, 2019).

Salazar ve arkadaşları 2019'da yayınlanan makalelerinde (29 atıf) çok ajanlı sistem geliştiricilerini desteklemek için mevcut çok etmenli sistemleri tanımlamışlar ve iki kritere göre sınıflandırmışlardır. Yazarlar Alman Etmen Sistemleri Komitesi'nden uzmanlarla 20'den fazla çok etmenli sistemi değerlendirmiş ve seçtikleri dört modeli sundukları kriterler ve terminolojilerle karşılaştırmışlardır. Yazarlar, etmen tabanlı mimarilerin siber-fiziksel sistem tasarımına büyük ölçüde fayda sağladıklarını göstermişlerdir (Salazar vd., 2019).

Talkhestani ve arkadaşları 2019'da yayınlanan makalelerinde (28 atıf) bir akıllı otomasyon sisteminde çeşitli kullanım durumlarını gerçekleştirmek için dijital ikizin katma değerini vurgulamışlar ve dijital ikizlerin çeşitli tanımlarını ve mimarilerini tartışmışlardır. Yazarlara göre dijital ikizin üç özelliği olmalıdır: Gerçek varlıkla senkronizasyon, gerçek ortamdaki veri toplama ve simülasyon yeteneği. Akıllı dijital ikiz ise yapay zekâ özelliklerini içermelidir. Akıllı dijital ikizler otonom siber-fiziksel sistemlerin gerçekleştirilmesi için kullanılabilirler. Yazarlar, dijital ikiz için önerilen mimariyi gerçekleştirme amacıyla çeşitli yöntemler (çapa noktası yöntemi, heterojen veri toplama, dijital ikizler arasında ortak bir simülasyon geliştirmek için etmen tabanlı bir yöntem) uygulamış ve değerlendirmişlerdir. Bu sistemi yazarlar, modüler bir üretim sistemi ve metal şekillendirme endüstriyel vakalarında uygulamışlardır. Akıllı dijital ikiz kısmen metal şekillendirme vakasında kullanılmıştır ve sonraki çalışmalarında akıllı dijital ikizin yeni makine öğrenme yaklaşımlarıyla geliştirileceği ve optimize edileceği yazarlar tarafından raporlanmıştır.

Tao ve arkadaşları 2019'da yayınlanan makalelerinde (132 atıf) akıllı üretimin önemli parçaları olan SFÜS' ve Dİ'lerin farklılık ve benzerliklerini vurgulamak amacıyla birçok açıdan incelemişlerdir. Yazarlar SFÜS'lerin Ulusal Bilim Vakfı'nda Helen Gill tarafından önerildiğini, Dİ kavramının ise 2003 yılında Michael Grieves tarafından Michigan Üniversitesi'nde ürün yaşam döngüsü yönetimi üzerine bir sunumda önerildiğini tespit etmişlerdir. Yazarlar, SFÜS ile Dİ arasında etkileşim ve iletişimi incelemişler, hiyerarşik olarak üç seviyede (birim, sistem, sistemlerin sistemi-SoS) ele almışlardır. Yazarlar yeni bilişim teknolojileriyle SFÜS'in ve Dİ'lerin işleyişlerini ve entegrasyonunu gösterip benzerlik ve farklılıklarını ortaya çıkarmışlardır. Yazarlar SFÜS'lerin güçlü hesaplama, iletişim ve kontrol kapasitesine odaklanırken Dİ'lerin sanal modellere odaklandığını, SFÜS'lerin bire-çok iletişim sağlarken Dİ'lerin bire bir iletişim sağladığını, SFÜS'lerin sensörler ve işleyicilerin üzerinde dururken, Dİ'lerin modeller ve verilerin üzerinde durduklarını raporlamışlardır. Yazarlar bir Dİ'nin SFÜS'den daha kolay ve hızlı bir şekilde yeni bilişim teknolojilerine entegre olabileceğini bildirmişlerdir (Tao vd., 2019).

Yao ve arkadaşlarının 2019'ya yayınlanan makalelerinde (69 atıf) siber-fiziksel sistemlerin kapsamlı bir literatür araştırmasını sunmuşlardır. Ardında nesnelere interneti, hizmetlerin interneti, içerik ve bilgilerin interneti, insanların interneti ile siber-fiziksel sistemlerden oluşan dokuz boyutlu sosyal siber-fiziksel sisteme dayanan akıllı üretim sistemini önermişlerdir. Çalışmada akıllı ve bilgili üretim için mimariler ve karakteristikler ele alınarak birbirleriyle

bağlantıları kurmuşlar ve ilişkilerini netleştirmişlerdir. Yazarlar bu çalışma ile imalat entegrasyonu için teorik ve kapsamlı bir kavramsal çerçeve sunmuşlardır (Yao vd., 2019).

Zou ve arkadaşları 2019'da yayınlanan makalelerinde (59 atıf) akıllı üretimin evrimsel gelişimi, insan-siber-fiziksel sistemleri (İSFÜS) ve yeni nesil akıllı imalat için İSFÜS'lerin etkilerini, özelliklerini, teknik çerçevesini ve temel teknolojilerini incelemişlerdir. Çalışmada İSFÜS'lerin uygulanmasındaki ana zorlukları incelemişlerdir (Zou vd. 2019).

Park ve arkadaşları 2020'de yayınlanan makalelerinde (32 atıf) bir dijital ikiz temelli siber-fiziksel üretim sistemi mimari çerçevesi önermişlerdir. Önerilen mimari çerçevede yazarlar, kişiselleştirilmiş üretimin performans sorunlarını gidermek için ürün, süreç, plan, tesis ve kaynak bilgi modeline dayalı bilgiler üzerinde çalışan 5 farklı hizmet oluşturmuşlardır. Yazarlar bu siber-fiziksel sistemin bir mikro akıllı fabrikaya uygulanması ve çeşitli ürünlerin kişiselleştirilmiş üretimi için gelişmiş bir çözüm sunduğunu, akıllı mikro fabrikada bu siber-fiziksel sistemi kullanarak ortalama çevrim süresinde %26,7'lik bir iyileşme sağladıklarını raporlamışlardır (Park vd. 2020).

Pinzone ve arkadaşları (2020) makalelerinde (22 atıf) üretim sistemlerinde siber-fiziksel sistemler ve sosyal sürdürülebilirlikle ilgili literatür özeti sunmuşlardır. Daha sonra bütünsel bir çerçeve olan CyFL Matrix'i kavramsallaştırmışlar. Makalede, bir siber-fiziksel sistemin işlevlerinin, fark analiz düzeylerindeki operasyonel ve sosyal sürdürülebilirlikle ilgili performans etkileriyle ilişkisini analiz etmek için bir kılavuz sunulmuştur. Yazarlar son olarak CyFL Matrisini ve ilişkili kılavuzu bir endüstriyel kullanım durumuna uygulamışlardır (Pinzone vd., 2020).

Wan ve Zeng (2020) makalelerinde (23 atıf) bütünleşik programlamayı gerçekleştirmek, özellikle mevcut sisteme yeni fiziksel cihazların eklenmesinin yeniden yapılandırılmasında tasarım çabasını azaltmak için geometrik uzaysal anlambilimi göz önünde tutan yeni bir olay tabanlı programlama modeli olan GePro'yu önermişlerdir. GeoPro'nun prototipi bir montaj siber-fiziksel üretim sisteminde uygulanmış ve doğrulanmıştır. Yazarlar, yeniden yapılandırma için bu modeli kullanmanın programlama zamanında geleneksel modele göre tasarruf sağladığını raporlamışlardır (Wan ve Zeng, 2020).

Chen ve arkadaşları 2021'de yayınlanan makalelerinde (35 atıf) siber-fiziksel sistem odaklı bir çelik işletmesinde üretim çizelgeleme sistemi önermişlerdir. Yazarlar dinamik çelik çizelgeleme modeli özelliklerini inceleyerek ontoloji tabanlı bir siber-fiziksel sistem üretim çizelgeleme bilgi modeli önermişlerdir. Dinamik çizelgeleme için genetik programlamaya dayalı üst sezgisel bir algoritma sunmuşlardır. Yazarlar, düşük seviyeli sezgisel yöntemleri yönetmek için öğrenmeye dayalı yüksek seviyeli bir seçim yöntemi kullanmışlardır. Yazarlar, bu kural tabanlı çıkarım çerçevesini, üstün sezgisel kuralları oluşturmak, yönetmek ve farklı üretim çizelgeleme problemlerini çözmek için tasarlamışlardır. Chen ve arkadaşları son olarak geliştirdikleri algoritmayı simülasyonlarla doğrulamışlardır (Chen vd., 2021).

Chuang ve arkadaşları 2021'deki makalelerinde (45 atıf) atölyelerde süreç seviyesinde üretim iş parçacıklarını gerçekleştirmek için dijital ikizler, nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler gibi mevcut teknolojilerin nasıl kullanılacağını incelemişlerdir. Yazarlar, dijital ikiz atölyesinde iş parçacıklarının üretimini süreç, operasyon ve nesnelerin interneti/sensör seviyelerine ayırarak incelemişlerdir. İlk olarak üretim ve süreç çizelgelerine göre süreç düzeyindeki üretim gereksinimleri oluşturulur ve bu gereksinimler ilgili iş parçacıkları için RFID etiketlerine yazılır. İş parçası, RFID okuyucular aracılığıyla farklı iş istasyonlarıyla

dinamik bir etkileşime girerek üretim gereksinimini sağlamaktadır. Nesnelerin interneti/sensör seviyesinde, RFID aygıtları üretim kaynaklarını izlemek için siber-fiziksel sistem olarak işlem görür. Farklı akıllı sensörler bağımsız sensör SFÜS'leri olarak makine parçalarının çalışma durumunu izlerler. Yazarlar, önerdikleri modellerin ve yöntemlerin uygulanabilir olduğunu göstermek için bir dijital atölye ikizini örnek göstermişlerdir (Chuang vd., 2021).

Khalid ve arkadaşları 2021'de yayınlanan makalelerinde (31 atıf), bir siber-fiziksel sistemin güvenlik açıklarına dayalı bir risk değerlendirme yaklaşımı geliştirmişler ve insan işçi güvenliği üzerindeki nedensel etkileri belirlemek amacıyla siber saldırı başlatan bir simülasyon yaklaşımı geliştirmişlerdir. Yazarlar önerdikleri sistemin fizibilitesi için, bir yük robotunu kullanan endüstriyel bir montaj sürecini görselleştirmek için endüstriyel bir senaryo uygulamışlardır. Yazarlar, simülasyonların güvenliği tehlikeye giren bir fiziksel varlığın, yüksek bağlantı nedeniyle siber-fiziksel sistemde ciddi bir güvenlik sorununa neden olabileceğini gösterdiğini raporlamışlardır. Bu nedenle yazarlar, bir insan-robot iş birliği sisteminin tasarımının entegre emniyet ve güvenlik kavramlarını içermesi gerektiğini ifade etmişlerdir (Khalid vd., 2021).

Macherki ve arkadaşları 2021'de yayınlanan makalelerinde (35 atıf) holonik ve holonik olmayan birkaç mimariyi inceleyerek güvenilir ve verimli yeniden yapılandırmaya olanak veren holonik bir mimari önermişlerdir. Yazarlar QHAR adını verdikleri fiziksel, siber, insan ve enerjiyi içeren dört boyutlu ve enerji, veri ve malzeme akışını sağlayan sistemi bir Q-holon fikrine dayanarak oluşturmuşlardır. Bu sistem üç seviyede yapılandırılmıştır: merkezi kontrol seviyesi, merkezi olmayan kontrol seviyesi ve yürütme seviyesi. QHAR sistemi hem hiyerarşik hem de heterarşik kontrol yaklaşımlarını uygulayarak oligarşik bir kontrol mimarisi sağlamaktadır. Bu tüm sistem performansını ve tehlikelere karşı tepkiselliği sağlar. Yazarlar önerdikleri bu mimariyi bir vaka çalışmasında test etmiş ve doğrulamışlardır (Macherki vd., 2021).

Ralph ve arkadaşları 2021'de yayınlanan makalelerinde (33 atıf) bir haddehanenin tam bütünleşmiş bir siber-fiziksel sisteme dönüşmesini göstermişlerdir. Araştırmacılar bu süreçte mevcut yük sensörlerini endüktif ve manyetik sensörler ile değiştirmiş, kalibrasyondan sonra bunları akıllı şekillendirme laboratuvarında bir dijitalleşme mimarisine entegre etmişlerdir. Bu sistemde biri mevcut durumu izleyen, diğeri metal levhaları tanıyarak doğru haddeleme programını tahmin eden ve bu programlardan öğrenebilen iki insan-makine ara yüzü oluşturmuşlardır. Geliştirilen bu ara yüzler farklı saç kalınlıkları için farklı haddeleme süreç adımlarında meydana gelen program değişikliklerine ilişkin veriye dayalı bir dijital ikiz görevi görmektedir. Yazarlar geliştirilen bu algoritmanın üniversite öğrencilerine veri bilimi ve makine öğrenmesinin temellerini öğrenebilme imkânı sunduğunu ve farklı materyallerin işlem sonuçları üzerindeki etkisini tahmin etmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Ralph vd., 2021).

Strohschein ve arkadaşlarının 2021'de yayınlanan makalelerinde (53 atıf) siber-fiziksel üretim sistemlerinde yapay zeka için bilişsel mimarinin bilişsel modülü tanıtmışlardır. Bu sistemde bir büyük veri platformu, işlem hatlarını somutlaştırmakta ve bilişsel modül vasıtasıyla siber-fiziksel üretim sistemini izlemektedir. Böylece bilişsel modül, değişen koşullarda işlem süreç hatları için uygun ve sağlam konfigürasyonları seçebilmektedir. Ayrıca bu sistem modelleri ve algoritmaları model kalitelerine ve kaynak tüketimlerine uyarlamaktadır. Bilişsel modül ayrıca, test fonksiyonlarında farklı sınıflardan algoritmaları

değerlendirmek için ek işlemleri başlatmaktadır. Bu sistemde bağımsız modüllerin sanallaştırılması ve yönetilmesi için Docker, Kubernetes, and Kafka'ya dayalı bir uygulama gerçek dünyadaki bir durumu değerlendirmek için modül iletişimi mesajlaşma teknolojisi olarak kullanılmaktadır. Yazar bu sistemi durum izleme, tahmine dayalı bakım veya teşhis gibi çeşitli durumları çözmek için tasarladıklarını raporlamışlardır (Strohschein vd., 2021).

Traganos ve arkadaşları 2021'de yayınlanan makalelerinde (111 atıf) endüstri 4.0 teknolojilerini bir üretim sistemine entegre ederek insan-robot iş birliğini destekleyen HORSE ismini verdikleri bir siber-fiziksel sistem mimarisi geliştirmişlerdir. Bu mimari yazılım mühendisliğinin iyi bilinen uygulamaları, yerleşik üretim standartlarına ve pratik endüstri araçlarına dayanan tasarım araştırmalarıyla geliştirilmiştir. Bu mimari 5 seviyede bileşenlerden oluşmaktadır: Seviye 0'da gerçekleşen üretim süreci yer alırken, seviye 1'de algılama ve manipülasyon, seviye 2'de denetleyici kontrol ve otomatik kontrol süreci, seviye 3'te üretim operasyonları yönetimi ve son olarak seviye 4'de iş planlaması ve lojistik yer almaktadır. Yazarlar bu makalede HORSE mimarisinin Avrupa genelinde kendine has özellikleri olan 10 üretim tesisinde uygulanışını ve değerlendirilmesini özetlemişlerdir. Yazarlar bu mimarinin iyi bir siber-fiziksel sistem tasarımı için bir temel oluşturabildiğini göstermişlerdir (Traganos, 2021).

Wiemer ve arkadaşları 2021'de yayınlanan makalelerinde (49 atıf) bir siber-fiziksel sistemde yapay zeka hatalarının en önemli kaynaklarından biri olan veri kalitesinin adım adım ve seviye bazında kontrol edilmesi ve iyileştirilmesi için V-modeline dayanan kavramsal bir yöntem sunmuşlardır. V-modeli siber-fiziksel sistemin planlanması ve uygulanması, üretim sisteminin çalıştırılması ve veri işleme adımlarından oluşmaktadır. Öncelikle aşamalardaki iş adımları ve veri kalitesine etkileri belirlenir. Kontrol edilebilen kalite özellikleri her iş adımında belirlenir. Bu şekilde veri kalitesi her üretim aşamasında artırılabilir. Yazarlar bu yaklaşımı karıştırma tesisleri için "kestirimci bakım sistemleri" ve "Üretimde bütünsel makine öğrenimi" gibi çeşitli araştırma projelerinde uygulamış ve test etmişlerdir (Wiemer, 2021).

Wilhelm ve arkadaşları 2021'de yayınlanan makalelerinde (51 atıf) PRISMA-ScR yöntemi ile akıllı imalat sistemlerinde insan ile dijital ikizin entegrasyonu ve etkileşimi (İME) üzerine bir analiz sunmuşlardır. Çalışma, dijital ikiz tabanlı insan-makine etkileşimi sanatının mevcut durumunu, çıkarımlarını ve gelecekteki araştırma yönlerini içermektedir. Yazarlar eriştikleri 124 yayından 23'ü İME kavramını içermesi nedeniyle seçtiklerini, 13 vakada insan makine etkileşiminin iki yönlü, 10 vakada ise sadece operatörün alıcı olduğunu, incelenen çalışmalarda 11 uygulama görüldüğü raporlamışlardır (Wilhelm vd., 2021).

Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Küresel rekabetle başa çıkabilmek ve başarılı olmak için işletmeler yeni üretim teknolojilerine yakından takip etmeye ve yeni endüstri devrimine hazırlık yapmaya zorlanmaktadır. Sadece işletmelerin değil aynı zamanda devletlerinde yeni endüstri devrimine hazırlıklı olması ve işletmeleri de bu hazırlığı yapmaya teşvik etmesi gerekmektedir. Bu nedenle her geçen gün sıfır hata ile üretim, yalın üretim, tam zamanında üretim, verimli ve kaliteli üretim yapabilmek için hem bilim insanları hem de iş hayatının profesyonelleri yeni malzemeler, yöntemler, süreçler ve organizasyon yapılarını araştırmaktadır. Bütün bu çabalar en az maliyetle en yüksek miktar ve kalitede çıktı sağlamak, her tüketiciyi bireysel olarak tatmin ederek müşteri memnuniyeti sağlamak, rekabetçi üstünlükler elde etmek amacıyla harcanmaktadır. Öngörülebilir üretim koşulları sağlama,

esnek imalat, sıfır hatayla üretim için tüketici de dahil olmak üzere tedarik zincirindeki bütün paydaşlarla birlikte planlama yapılması bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bütün çabaları gerçekleştirebilmek için profesyonel şirketler, devletler ve bilim insanları yeni teknolojiler geliştirmiş ve yeni endüstri devrimini başlatmışlardır. Endüstri 4.0 olarak bilinen bu devrim siber-fiziksel sistemleri, dijital ikizleri, gömülü sistemleri, nesnelerin internetini, bulut bilişimi, arttırılmış gerçekliliği, eklemeli imalatı kapsamaktadır. Günümüzde bütün işletmeler bu endüstri devriminin nimetlerinden faydalanabilmek için üretim süreçlerini dijital dönüşüme tabi tutmaktadır. İşletmeler, bu süreçte çeşitli problemlerle karşılaşabilmekte ve bilim insanlarını da bu sürece dahil ederek bu problemlere çözümler üretmektedir. Böylece yeni endüstri devriminin literatürü de hızlı bir şekilde oluşmaktadır.

Bu makalenin amacı yeni endüstri devrimine hazırlanmak isteyen işletmelerdeki profesyonellere veya bilim insanlarına siber-fiziksel sistemler hakkında bir literatür özeti sunmaktır. Bu alandaki en prestijli dergilerle yayınlanan bu makaleler siber-fiziksel sistemlerle ilgilenenler için bir başlangıç ve başvuru noktası olabileceği düşünülmüştür. Bu çalışmada incelenen eserler kavramsal ve uygulamalıdır. Bazı çalışmalarda siber-fiziksel sistemler tanımlanmış, kavramsal olarak neleri içermesi gerektiği belirlenmiş iken, bazı çalışmalar bu sistemlerin sınıflandırılması için yol göstermiştir. Bazı çalışmalar ise siber güvenliğe dikkat çekerek siber fiziksel sistem tasarımlarına bu konudaki önlemlerin mutlaka eklenmesini önermişlerdir. Makaleler içinde ayrıca yapay zeka, makine öğrenme teknikleri, dijital ikiz gibi mekanizmaları içeren uygulamalarda görülmüştür.

Siber-fiziksel sistemler alanında yeni endüstri devriminin (endüstri 4.0) nesnelerin interneti (IoT), bulut bilişim, büyük veri, yapay zeka ve makine öğrenmesi, uçtan uca yazılım entegrasyonu, siber güvenlik, arttırılmış gerçeklik, simülasyon, robotik, 3 boyutlu baskı gibi teknolojilerini kullanarak daha yüksek otomasyon derecesine ulaşacağı söylenebilir. Makinelere gelen verilerin analizi ile siber-fiziksel sistemler daha doğru ve daha akıllı kararlar verebilirler. Makineler arasında etkili iletişim ile üretim sürecinin her aşamasının etkin kontrolü sağlanabilir, üretim koşullarında oluşan yeni koşullara göre siber-fiziksel sistemlerin hızlı adaptasyonu bu teknolojiler ile sağlanabilir.

Gelecek çalışmalarda araştırmacılar kendi uygulamalarını farklı sektörlerde uygulayabilirler, yaşanan problemleri ve elde ettikleri sonuçları paylaşabilirler. Adım adım dijital dönüşümü gerçekleştirerek akıllı üretim sistemlerini hayata geçirebilirler. Bu sistemlerin hizmet ve kamu sektöründe nasıl uygulanabileceğini araştırıp uygulayarak süreci ve elde ettikleri sonuçları paylaşarak literatüre ve işletmelere katkıda bulunabilirler. Her uygulama bir deneyim olduğu için küçük veya büyük sistemlerde denenmeli ve paylaşılmalıdır. Bulunan çözüm yöntemleri başka bir işletmenin ve ülkemiz ekonomisinin dijital dönüşüm sürecini hızlandırabilir ve yapılabilecek önemli hataların önlenmesini sağlayabilir.

Kaynakça

Ait-Alla, A., Kreutz,, M., Rippel,, D., Lütjen, M., & Freitag, M. (2021). Simulated-based methodology for the interface configuration of cyber-physical production systems, *International Journal of Production Research*, 59 (17), 5388-5403. Doi: 10.1080/00207543.2020.1778209.

- Alam, K. M., & El Saddik, A. (2017). "C2PS: A digital twin architecture reference model for the cloud-based cyber-physical systems". *IEEE Access*, 5, 2050–2062. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2657006.
- Andronie, M., Lazaroiu, G., Iatagan, M., Hurloiu, I., & Dijmarescu, I. (2021b). Sustainable Cyber-Physical Production Systems in Big Data-Driven Smart Urban Economy: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13(2). Doi: 10.3390/su13020751.
- Andronie, M., Lazaroiu, G., Iatagan, M., Uta, C., Stefanescu, R., & Cocosatu, M. (2021c). Artificial Intelligence-Based Decision-Making Algorithms, Internet of Things Sensing Networks, and Deep Learning-Assisted Smart Process Management in Cyber-Physical Production Systems. *Electronics*, 10(20). Doi: 10.3390/electronics10202497.
- Andronie, M., Lazaroiu, G., Ştefanescu, R., Uta, C., & Dijmarescu, I. (2021). Sustainable, Smart, and Sensing Technologies for Cyber-Physical Manufacturing Systems: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13 (10). Doi: 10.3390/su13105495
- Ansari, F., Glawar, R., & Nemeth, T. (2019). PriMa: a prescriptive maintenance model for cyber-physical production systems, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32 (4-5), 482-503. Doi: 10.1080/0951192X.2019.1571236
- Baena, F., Guarín, A., Mora, J., Sauza J., & Retat, S. (2017). Learning factory: The path to industry 4.0. 7th Conference on Learning Factories, CLF - *Procedia Manufacturing*, 9, 73–80.
- Bampoula, X., Siaterlis, G., Nikolakis, N. ve Alexopoulos, K. (2021). A Deep Learning Model for Predictive Maintenance in Cyber-Physical Production Systems Using LSTM Autoencoders. *Sensors*, 21(3). Doi: 10.3390/s21030972.
- Bayhan, H., Meißner, M., Kaiser, P., Meyer, M., & ten Hompel, M. (2020). Presentation of a novel real-time production supply concept with cyber-physical systems and efficiency validation by process status indicators. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108(1-2), 527-537. Doi: 10.1007/s00170-020-05373-z.
- Beregi, R., Pedone, G., & Mezgár, I. (2019). A novel fluid architecture for cyber-physical production systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32:4-5, 340-351, DOI: 10.1080/0951192X.2019.1571239
- Beregi, R., Pedone, G., Háy, B., & Váncza, J. (2021). Manufacturing Execution System Integration through the Standardization of a Common Service Model for Cyber-Physical Production Systems. *Applied Sciences*. 11 (16). Doi: 10.3390/app11167581.
- Beregi, R., Pedone, G., & Preuveneers, D. (2021). Towards trustworthy Cyber-physical Production Systems: A dynamic agent accountability approach. *Journal Of Ambient Intelligence And Smart Environments*, 13 (2), 157-180. Doi: 10.3233/AIS-210593.
- Bin Islam, S.O., Lughmani, W.A., Qureshi, W.S., Khalid, A., Mariscal, M.A., & Garcia-Herrero, S. (2019). Exploiting visual cues for safe and flexible cyber-physical production systems. *Advances in Mechanical Engineering*, 11 (12), 1-13. Doi: 10.1177/1687814019897228.
- Brandman, J., Sturm, L., White, J., & Williams, C. (2020). A physical hash for preventing and detecting cyber-physical attacks in additive manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 202-212. Doi: 10.1016/j.jmsy.2020.05.014
- Broy, M., Cengarle, M. V., & Geisberger, E. (2012). *Cyber-Physical Systems: Imminent Challenges. In Monterey workshop 2012: Large-Scale Complex IT Systems. Development, Operation and Management* (pp. 1-28). March 2018, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cardin, O. (2019). Classification of cyber-physical production systems applications: Proposition of an analysis framework. *Computers in Industry*, 104, 11-21. Doi: 10.1016/j.compind.2018.10.002.
- Chen, X.W., Jiang, G.Z., Xiao, Y.M., Li, G.F., & Xiang, F. (2021). A Hyper Heuristic Algorithm Based Genetic Programming for Steel Production Scheduling of Cyber-Physical System-ORIENTED. *Mathematics*, 9(18). Doi: 10.3390/math9182256.
- Chhetri, S.R., & Al Faruque, M.A. (2018). Side Channels of Cyber-Physical Systems: Case Study in Additive Manufacturing. *IEEE Design&Test*, 34 (4), 18-25. Doi: 10.1109/MDAT.2017.2682225.

- Chuang, W., Guanghui, Z., & Junsheng, W. (2021). Smart cyber-physical production system enabled workpiece production in digital twin job shop. *Advances in Mechanical Engineering*, 13 (9), 1-15. Doi:10.1177/16878140211040888.
- Dhiman, H., & Röcker, C. (2021). Middleware for providing activity-driven assistance in cyber-physical production systems. *Journal of Computational Design and Engineering*, 8 (1), 428–451. Doi: 10.1093/jcde/qwaa088.
- Elhabashy, A.E., Wells, L.J., Camelio, J.A., & Woodall, W.H. (2019). A cyber-physical attack taxonomy for production systems: a quality control perspective. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30 (6), 2489-2504. Doi: 10.1007/s10845-018-1408-9.
- Farooq, B., Bao, J., & Ma, Q. (2020). Flow-Shop Predictive Modeling for Multi-Automated Guided Vehicles Scheduling in Smart Spinning Cyber-Physical Production Systems. *Electronics*, 9(5). Doi: 10.3390/electronics9050799.
- Fischbach, A., Strohschein, J., Bunte, A., Stork, J., Faeskorn-Woyke, H., Moriz, N., & Bartz-Beielstein, T. (2020). CAAI—a cognitive architecture to introduce artificial intelligence in cyber-physical production systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111 (1-2), 609-626. Doi: 10.1007/s00170-020-06094-z.
- García, C.A., Castellanos, E.X., & García, M.V. (2018). UML-Based Cyber-Physical Production Systems on Low-Cost Devices under IEC-61499. *Machines*, 6 (2). Doi: 10.3390/machines6020022.
- García, M.V., Irisarri, E., Pérez, F., Estévez, E., & Marcos, M. (2018). Automation Architecture based on Cyber Physical Systems for Flexible Manufacturing within Oil&Gas Industry. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 15 (2), 156-166. Doi: 10.4995/riai.2017.8823.
- Grochowski, M., Simon, H., Bohlender, D., Kowalewski, S., Löcklin, A., Müller, T., Jazdi, N., Zeller, A., & Weyrich, M. (2020). Formal methods for reconfigurable cyber-physical systems in production. *at - Automatisierungstechnik*, 68 (1), 3-14. Doi: 10.1515/auto-2019-0115.
- Gupta, N., Tiwari, A., Bukkapatnam, S.T.S., & Karri, R. (2020). Additive Manufacturing Cyber-Physical System: Supply Chain Cybersecurity and Risks. *IEEE Access*, 8, 47322-47333. Doi: 10.1109/ACCESS.2020.2978815.
- Harrison, R., Vera, D.A., & Ahmad, B. (2021). A Connective Framework to Support the Lifecycle of Cyber-Physical Production Systems. *Proceedings of the IEEE*, 109 (4), 568-581. Doi: 10.1109/JPROC.2020.3046525.
- Hästbacka, D., Halme, J., Barna, L., Hoikka, H., Pettinen, H., Larrañaga, M., Björkbom, M., Mesä, H., Jaatinen, A., & Elo, M. (2022). Dynamic Edge and Cloud Service Integration for Industrial IoT and Production Monitoring Applications of Industrial Cyber-Physical Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(1), 498-508. Doi: 10.1109/TII.2021.3071509.
- Hozdić, E., Kozjek, D., & Butala, P. (2019). A Cyber-Physical Approach to the Management and Control of Manufacturing Systems. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 66 (1), 61-70. Doi: 10.5545/sv-jme.2019.6156.
- Huang, J., Zhu, Y., Cheng, B., Lin, C., & Chen, J. (2016). A PetriNet-Based Approach for Supporting Traceability in Cyber-Physical Manufacturing Systems. *Sensors*, 16 (3). Doi: 10.3390/s16030382.
- Iber, M., Lechner, P., Jandl, C., Mader, M., & Reichmann, M. (2021). Auditory augmented process monitoring for cyber physical production systems. *Personal and Ubiquitous Computing*, 25 (4), 691-704. Doi: 10.1007/s00779-020-01394-3
- Jiang, Z., Jin, Y., Mingcheng, E., & Li, Q. (2018a). Distributed Dynamic Scheduling for Cyber-Physical Production Systems Based on a Multi-Agent System. *IEEE Access*, 6, 1855-1869. Doi: 10.1109/ACCESS.2017.2780321.
- Jiang, Z., Jin, Y., Mingcheng, E., & Li, Q. (2018b). Method of tasks and resources matching and analysis for cyberphysical production system. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(5), 1-9. Doi: 10.1177/1687814018777828.

- Khalid, A., Khan, Z.H., Idrees, M., Kirisci, P., Ghrairi, Z., Thoben, K.D., & Pannek, J. (2021): Understanding vulnerabilities in cyber physical production systems, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, DOI:10.1080/0951192X.2021.1992656.
- Kim, B.S., Nam, S., Jin, Y., & Seo, K.M. (2020). Simulation Framework for Cyber-Physical Production System: Applying Concept of LVC Interoperation. *Complexity*, 2020. Doi:10.1155/2020/4321873.
- Kondoh, S., Furukawa, Y., & Kishita, Y. (2021). A method for redesigning business workflow for cyberphysical production system. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 15 (5). Doi: 10.1299/jamdsm.2021jamdsm0063.
- Lanza, G., Haefner, B., & Kraemer, A. (2015). Optimization of selective assembly and adaptive manufacturing by means of cyber-physical system based matching. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 64 (1), 399-402. Doi: 10.1016/j.cirp.2015.04.123.
- Lee, J.H., Noh, S.D., Kim, H.J., & Kang, Y.S. (2018). Implementation of Cyber-Physical Production Systems for Quality Prediction and Operation Control in Metal Casting. *Sensors*, 18(5). Doi: 10.3390/s18051428.
- Leiden, A., Herrmann, C., & Thiede, S. (2021). Cyber-physical production system approach for energy and resource efficient planning and operation of plating process chains. *Journal of Cleaner Production*, 280(2). Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125160.
- Lhachemi, H., Malik, A., & Shorten, R. (2019). Augmented Reality, Cyber-Physical Systems, and Feedback Control for Additive Manufacturing: A Review. *IEEE Access*, 7, 50119-50135. Doi: 10.1109/ACCESS.2019.2907287.
- Macherki, D., Diallo, T.M.L., Choley, J.Y., Guizani, A., Barkallah, M., & Haddar, M. (2021). QHAR: Q-Holonic-Based ARchitecture for Self-Configuration of Cyber-Physical Production Systems. *Applied Sciences-Basel*, 11(19). Doi: 10.3390/app11199013.
- Mahmood, K., Karaulova, T., Otto, T., & Shevtshenko, E. (2019). Development of cyber-physical production systems based on modelling technologies. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 68 (4), 348-355. Doi: 10.3176/proc.2019.4.02.
- Malik, A., Lhachemi, H., & Shorten, R. (2020). I-nteract: A Cyber-Physical System for Real-Time Interaction With Physical and Virtual Objects Using Mixed Reality Technologies for Additive Manufacturing. *IEEE Access*, 8, 98761-98774. Doi: 10.1109/ACCESS.2020.2997533.
- Martín-Gómez, A., Ávila-Gutiérrez, M. J., & Aguayo-González, F. (2021). Holonic Reengineering to Foster Sustainable Cyber-Physical Systems Design in Cognitive Manufacturing. *Applied Sciences*, 11 (7). Doi: 10.3390/app11072941.
- Mörth, O., Emmanouilidis, C., Hafner, N., & Schadler, M. (2020). Cyber-physical systems for performance monitoring in production intralogistics. *Computers&Industrial Engineering*, 142. Doi: 10.1016/j.cie.2020.106333.
- Neghina, M., Zamfirescu, C.B., & Pierce, K. (2020). Early-stage analysis of cyber-physical production systems through collaborative modelling. *Software and Systems Modeling*, 19 (3), 581-600. Doi: 10.1007/s10270-019-00753-w.
- Nikolakis, N., Senington, R., Sipsas, K., Syberfeldt, A., & Makris, S. (2019). On a containerized approach for the dynamic planning and control of a cyber - physical production system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 64. Doi: 10.1016/j.rcim.2019.101919.
- Nouiri, M., Trentesaux, D., & Bekrar, A. (2019). Towards Energy Efficient Scheduling of Manufacturing Systems through Collaboration between Cyber Physical Production and Energy Systems. *Energies*. 12 (23). Doi: 10.3390/en12234448.
- Pan, Y., White, J., Schmidt, D.C., Elhabashy, A., Sturm, L., Camelio, J., & Williams, C. (2017). Taxonomies for Reasoning About Cyber-physical Attacks in IoT-based Manufacturing Systems. *International Journal Of Interactive Multimedia And Artificial Intelligence*, 4 (3), 45-54. Doi: 10.9781/ijimai.2017.437.

- Park, K.T., Lee, J., Kim, H.J., & Noh, S. (2020). Digital twin-based cyber physical production system architectural framework for personalized production. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(5-6), 1787-1810. Doi: 10.1007/s00170-019-04653-7
- Pinzone, M., Albè, F., Orlandelli, D., Barletta, I., Berlin, C., Johansson, B., & Taisch, M. (2020). A framework for operative and social sustainability functionalities in Human-Centric Cyber-Physical Production Systems. *Computers&Industrial Engineering*, 139. Doi: 10.1016/j.cie.2018.03.028.
- Qian, J., Du, X., Chen, B., Qu, B., Zeng, K., & Liu, J. (2020). Cyber-Physical Integrated Intrusion Detection Scheme in SCADA System of Process Manufacturing Industry. *IEEE Access*, 8, 147471-147481. Doi: 10.1109/ACCESS.2020.3015900.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Changeable, Agile, Reconfigurable & Virtual Production - Procedia CIRP*, 52, 173-178.
- Ralph, B.J., Sorger, M., Hartl, K., Schwarz-Gsaxner, A., Messner, F., & Stockinger, M. (2022). Transformation of a rolling mill aggregate to a cyber physical production system: from sensor retrofitting to machine learning. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 33(2), 493-518. Doi: 10.1007/s10845-021-01856-2.
- Ribeiro, L., & Bjorkman, M. (2018). Transitioning From Standard Automation Solutions to Cyber-Physical Production Systems: An Assessment of Critical Conceptual and Technical Challenges. *IEEE Systems Journal*, 12(4), 3816-3827. Doi: 10.1109/JSYST.2017.2771139.
- Romero-Silva, R., & Hernandez-Lopez, G. (2020). Shop-floor scheduling as a competitive advantage: A study on the relevance of cyber-physical systems in different manufacturing contexts. *International Journal of Production Economics*, 224. Doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107555.
- Runji, J.M., & Lin, C.Y. (2020). Switchable Glass Enabled Contextualization for a Cyber-Physical Safe and Interactive Spatial Augmented Reality PCBA Manufacturing Inspection System. *Sensors*, 20(15). Doi: 10.3390/s20154286.
- Saez, M.A., Maturana, F.P., Barton, K., & Tilbury, D.M. (2020). Context-Sensitive Modeling and Analysis of Cyber-Physical Manufacturing Systems for Anomaly Detection and Diagnosis. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 17(1), 29-40. Doi: 10.1109/TASE.2019.2918562.
- Salazar, L.A.C., Ryashentseva, D., Luder, A., & Vogel-Heuser, B. (2019). Cyber-physical production systems architecture based on multi-agent's design pattern-comparison of selected approaches mapping four agent patterns. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(9), 4005-4034. Doi: 10.1007/s00170-019-03800-4.
- Soylu, A. (2017). Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 32, s.43-57.
- Stern, H., & Becker, T. (2019). Concept and Evaluation of a Method for the Integration of Human Factors into Human-Oriented Work Design in Cyber-Physical Production Systems. *Sustainability*, 11(16). Doi: 10.3390/su11164508.
- Strohschein, J., Fischbach, A., Bunte, A., Faeskorn-Woyke, H., Moriz, N., & Bartz-Beielstein, T. (2021). Cognitive capabilities for the CAAI in cyber-physical production systems. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 115, 11-12. Doi: 10.1007/s00170-021-07248-3
- Suvarna, M., Yap, K.S., Yang, W., Li, J., Ng, Y.T., & Wang, X. (2021). Cyber-Physical Systems for Data-Driven, Decentralized, and Secure Manufacturing-A Perspective. *Engineering*, 7 (9), 1212-1223. Doi: 10.1016/j.eng.2021.04.021.
- Talkhestani, B.A., Jung, T., Lindeman, B., Sahlab, N., Jazdi, N., Schloegl, W., & Weyrich, M. (2019). An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System. *At-Automatisierungstechnik*, 67 (9), 762-782. Doi: 10.1515/auto-2019-0039.

- Tan, Y., Yang, W., Yoshida, K., & Takakuwa, S. (2019). Application of IoT-Aided Simulation to Manufacturing Systems in Cyber-Physical System. *Machines*, 7 (1). Doi: 10.3390/machines7010002.
- Tao, F., Qi, Q.L., Wang, L.H., & Nee, A.Y.C. (2019). Digital Twins and Cyber-Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. *Engineering*, 5(4), 653-661. Doi: 10.1016/j.eng.2019.01.014.
- TAYSAD. (2016). Tasarım Teknoloji Tedarik Dünyada İlk 10. Sayı 88 Mart-Nisan. <http://www.taysadmag.com/uploads/tasarim-teknoloji-tedarik05072019091357.pdf> (Erişim Tarihi: 01.10.2019).
- Thramboulidis, K., Vachtsevanou, D.C., & Kontou, I. (2019). CPuS-IoT: A cyber-physical microservice and IoT-based framework for manufacturing assembly systems. *Annual Reviews in Control*, 47, 237-248. Doi: 10.1016/j.arcontrol.2019.03.005.
- Tomiyama, T., & Moyon, F. (2018). Resilient architecture for cyber-physical production systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 67 (1), 161-164. Doi: 10.1016/j.cirp.2018.04.021
- Traganos, K., Grefen, P., Vanderfeesten, I., Erasmus, J., Boultadakis, G., & Bouklis, P. (2021). The HORSE framework: A reference architecture for cyber-physical systems in hybrid smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 461-494. Doi: 10.1016/j.jmsy.2021.09.003.
- Tran, N.H., Park, H.S., Nguyen, Q.V., & Hoang, T.D. (2019). Development of a Smart Cyber-Physical Manufacturing System in the Industry 4.0 Context. *Applied Sciences*, 9 (16). Doi: 10.3390/app9163325.
- Trappey, A.J.C., Trappey, C.V., Govindarajan, U.H., Sun, J.J., & Chuang, A.C. (2016). A Review of Technology Standards and Patent Portfolios for Enabling Cyber-Physical Systems in Advanced Manufacturing. *IEEE Access*, 4, 7356-7382. Doi: 10.1109/ACCESS.2016.2619360.
- TÜSİAD. (2016). Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0 Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi, Mart 2016, TÜSİADT/2016-03/576.
- Urbina, M., Atarloa, A., Lázaro, J., Bidarte, U., Villalta, I., & Rodriguez, M. (2017). Cyber-Physical Production System Gateway Based on a Programmable SoC Platform. *IEEE Access*, 5, 20408-20417. Doi: 10.1109/ACCESS.2017.2757048.
- Villalonga, A., Negri, E., Biscardo, G., Castano, F., Haber, R.E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2021). A decision-making framework for dynamic scheduling of cyber-physical production systems based on digital twins. *Annual Reviews in Control*, 51, 357-373. Doi: 10.1016/j.arcontrol.2021.04.008.
- Vogel-Heuser, B., Lee, J., & Leitão, P. (2015). Agents enabling cyber-physical production systems. *at - Automatisierungstechnik*. 63 (10), 777-789. Doi: 10.1515/auto-2014-1153.
- Vogel-Heuser, B., Trunzer, E., Hujo, D., & Sollfrank, M. (2021). (Re)deployment of Smart Algorithms in Cyber-Physical Production Systems Using DSL4hDNCS. *Proceedings of the IEEE*, 10 (4), 542-555. Doi: 10.1109/JPROC.2021.3050860.
- Wan, G., & Zeng, P. (2020). An Event-Based Programming Model with Geometric Spatial Semantics For Cyber-Physical Production Systems. *Applied Sciences-Basel*, 10(21). Doi: 10.3390/app10217651.
- Waschull, S., Bokhorst, J.A.C., Molleman, E., & Wortmann, J.C. (2020). Work design in future industrial production: Transforming towards cyberphysical systems. *Computers&Industrial Engineering*, 139. Doi: 10.1016/j.cie.2019.01.053.
- Wiemer, H., Dementyev, A., & Ihlenfeldt, S. (2021). Holistic Quality Assurance Approach for Machine Learning Applications in Cyber-Physical Production Systems. *Applied Sciences*, 11(29). Doi: 10.3390/app11209590.
- Wilhelm, J., Petzoldt, C., Beinke, T., & Freitag, M. (2021). Review of Digital Twin-based Interaction in Smart Manufacturing: Enabling Cyber-Physical Systems for Human-Machine Interaction,

- International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 34(10), 1031-1048, Doi: 10.1080/0951192X.2021.1963482
- Yao, X., Zhou, J., Lin, Y., Li, Y., Yu, H., & Liu, Y. (2019). Smart manufacturing based on cyber-physical systems and beyond. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30 (8), 2805-2817. Doi: 10.1007/s10845-017-1384-5.
- Yin, D., Ming, X., & Zhang, X. (2020). Understanding Data-Driven Cyber-Physical-Social System (D-CPSS) Using a 7C Framework in Social Manufacturing Context. *Sensors*, 20(18). Doi: 10.3390/s20185319.
- Yu, Z., Ouyang, J., Li, S., & Peng, X. (2017). Formal modeling and control of cyber-physical manufacturing systems. *Advances in Mechanical Engineering*, 9 (10), 1-12. Doi: 10.1177/1687814017725472.
- Yu, Z., Zhou, L., Ma, Z., & El-Meligy, M.A. (2017). Trustworthiness Modeling and Analysis of Cyber-physical Manufacturing Systems. *IEEE Access*, 5, 26076-26085. Doi: 10.1109/ACCESS.2017.2777438.
- Yükçü, S., & Aydın, Ö. (2020). Maliyet Düşürme Yöntemi Olarak Dijital İkiz. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 22(3),563-579.
- Zheng, M., & Ming, X. (2017). Construction of cyber-physical system-integrated smart manufacturing workshops: A case study in automobile industry. *Advances in Mechanical Engineering*, 9 (10), 1-17. Doi: 10.1177/1687814017733246.
- Zhou, J., Zhou, Y.H., Wang, B., & Zang, J.Y. (2019). Human-Cyber-Physical Systems (HCPSs) in the Context of New-Generation Intelligent Manufacturing. *Engineering*, 5 (4), 624-636. Doi: 10.1016/j.eng.2019.07.015.
- Zhou, X., Xu, X., Liang, W., Zeng, Z., Shimizu, S., Yang, L.T., & Jin, Q. (2022). Intelligent Small Object Detection for Digital Twin in Smart Manufacturing With Industrial Cyber-Physical Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18 (2), 1377-1386. Doi: 10.1109/TII.2021.3061419.