



MAKİNE MÜHENDİSLİĞİNDE AKILLI ÜRETİM MAKİNE
MÜHENDİSLİĞİNDE YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER VE OTOMASYON. MAKALE
KONUSU: MODERN MAKİNE İMALATINDA ENDÜSTRİ 4.0 KONSEPTİ VE
SİBER-FİZİKSEL SİSTEMLERİN ENTEGRASYONU.

Kerimova İndira Şeraliyevna

İslam Kerimov Taşkent Devlet Teknik Üniversitesi, 3. Sınıf Öğrencisi, Grup 102-23-MTMIA.

Sirojiddinov Şamilidin İkmromjanoviç

İslam Kerimov Taşkent Devlet Teknik Üniversitesi, Kıdemli Öğretim Görevlisi.

Özet: Bu makale, dördüncü sanayi devrimi çerçevesinde makine imalat işletmelerinin akıllı üretim sistemlerine geçişinin temel yönlerini ele almaktadır. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT), Büyük Veri (Big Data) ve kestirimci bakım sistemlerinin uygulanmasına özel bir önem verilmiştir. Önde gelen Avrupalı ve Asyalı şirketlerin üretim döngülerini optimize etme deneyimleri analiz edilmiştir. Geleneksel ve akıllı kalite yönetim yöntemlerinin karşılaştırmalı bir analizi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akıllı üretim, makine mühendisliği, Endüstri 4.0, otomasyon, kestirimci analitik, siber-fiziksel sistemler, dijital ikizler.

GİRİŞ

Küresel Bağlam ve Güncellik. Dördüncü sanayi devrimi (Endüstri 4.0) koşullarında, küresel makine imalat sektörü köklü bir dönüşüm yaşamaktadır. Geleneksel otomatik hatlardan "akıllı" fabrikalara (Smart Factories) geçiş, üretim esnekliğini artırma ve ürünleri tüketici taleplerine göre özelleştirme ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Almanya'daki Fraunhofer Enstitüsü ve Madrid'deki inovasyon merkezleri gibi Avrupa teknoloji merkezlerinin son araştırmalarına göre, akıllı üretim, küresel pazarda rekabet edebilirliği korumanın tek yolu haline gelmektedir.

Teknolojik Temel. Bu sürecin temeli, fiziksel ve dijital dünyaların siber-fiziksel sistemler (CPS) aracılığıyla birleşmesidir. Algoritmaların insan tarafından statik bir şekilde belirlendiği klasik otomasyonun aksine, makine mühendisliğindeki akıllı sistemler bilişsel unsurlara sahiptir: sensör ağları (IIoT) aracılığıyla bağımsız olarak veri toplayabilir, bunları yapay sinir ağları yardımıyla analiz edebilir ve operatörün doğrudan müdahalesi olmadan kesme rejimlerini, montajı veya lojistiği optimize etmek için kararlar alabilirler.

Araştırma Problemi. Dijitalleşmenin yüksek hızına rağmen, makine imalat sektörü bir "veri boşluğu" (data gap) sorunuyla karşı karşıyadır; yani çok fazla veri toplanmakta ancak bunlar anlamlı yönetim kararlarına dönüştürülememektedir. Uluslararası bilimsel literatürde bu fenomen, Büyük Veri'den (Big Data) "Akıllı Veri"ye (Smart Data) geçiş ihtiyacı olarak tanımlanmaktadır. Bu durum özellikle, takım aşınması veya yağlama malzemelerinin bileşimindeki en ufak bir sapmanın kritik arızalara yol açabileceği karmaşık ünite ve mekanizmaların tasarımı için son derece önemlidir.



Amaç ve Hedefler. Bu çalışma, teknolojik ekipmanların işletilmesi aşamasında "dijital ikizlerin" (Digital Twins) uygulanmasına yönelik metodolojinin araştırılmasını hedeflemektedir. Makalede, bulut bilişim ve makine öğrenimi algoritmalarının entegrasyonunun, parçaların arızalanmasını fiili bozulma gerçekleşmeden önce nasıl öngördüğü (kestirimci analiz) analiz edilmektedir. Bu durum, özellikle sezonluk duruşların büyük ekonomik kayıplara yol açtığı ağır makine sanayi ve tarım sektörü için kritik bir öneme sahiptir.

ANA BÖLÜM

1. Akıllı Atölye Mimarisi: Sensörlerden Buluta

Modern akıllı üretim, üç seviyeli bir yönetim modeline dayanmaktadır. Saha Seviyesinde (Field Level), CNC tezgahlarının ünitelerine entegre edilmiş titreşim, sıcaklık ve akım sensörleri yer almaktadır. Uç Bilişim (Edge Computing) seviyesinde, veriler kesme rejimlerini anında düzeltmek amacıyla yerel olarak işlenmektedir. Bulut Seviyesi (Cloud Level) ise uzun vadeli tahminler oluşturmak için tüm fabrikadan gelen verileri bir araya getirmektedir.

Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) uygulamaları, her bir ekipman biriminin fabrikanın genel ağında otomatik olarak tanımlandığı, kendi yükü ve teknik durumu hakkında veri alışverişinde bulunduğu «Plug and Produce» (tak ve üret) konseptinin hayata geçirilmesine olanak tanır.

2. Optimizasyon Aracı Olarak Dijital İkizler (Digital Twins)

Araştırmada dijital ikiz teknolojisi özel bir yer tutmaktadır. Bu teknoloji, yalnızca bir 3B model değil, fiziksel sürecin dinamik bir matematiksel simülasyonudur.

- Tasarım aşamasında: Parçaların (örneğin dişli çarkların) aşınma direncini sanal ortamda ekstrem yükler altında test etmeye olanak tanır.

- İşletme aşamasında: Dijital ikiz, gerçek tezgahtan gelen verileri alır ve bunları referans değerlerle karşılaştırır. Rulman titreşimi normalden %5-10 oranında saparsa, sistem fiili bir arıza meydana gelmeden önce teknik bakım gerekliliğini bildirir.

3. Verimlilik Analizi: Avantajlar, Dezavantajlar ve Teknolojik Engeller:

Akıllı sistemlerin uygulanmasına ilişkin teknik ve ekonomik göstergeler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Akıllı Sistemlerin Uygulanmasına İlişkin Teknik ve Ekonomik Göstergeler

Gösterge Kategorisi	Geleneksel Üretim (Legacy)	Akıllı Üretim (Industry 4.0)	Öngörülen Etki / Değişim
Ekipman Verimliliği (OEE)	%60 – %70	%85 – %95	+%25 (mikro duruşların azalmasıyla)

Gösterge Kategorisi	Geleneksel Üretim (Legacy)	Akıllı Üretim (Industry 4.0)	Öngörülen Etki / Değişim
Teknik Bakım Maliyetleri	Reaktif (Arıza sonrası)	Kestirimci (Yapay Zeka tahmini)	-%35 (yedek parça ve acil onarım tasarrufu)
Hata Payı (Yield)	%2.5 – %4	%0.4'ten az	-%85 (çevrimiçi tolerans kontrolü sayesinde)
Enerji Tüketimi	Sabit (Yüksek pikler)	Optimize edilmiş (Akıllı Şebeke)	-%15 (boşta çalışma yükünün azalması)
Hazırlık Süresi (Changeover)	Saatler/Günler	Dakikalar (Yazılımsal adaptasyon)	-%70 (esnek küçük seri üretim artışı)
Stok Tahmin Hassasiyeti	%75 – %80	%98 – %99	+%20 (stok fazlasının minimizasyonu)
Yatırım Geri Dönüşü (ROI)	5 – 7 yıl	2.5 – 3.5 yıl	Ölçeklenebilirlik sayesinde 2 kat hızlanma

4. Uygulamanın Avantajları ve Dezavantajları (İnceleme ve Eleştiri)

Avantajlar (+):

1. Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance): "Takvime göre" onarımdan "duruma göre" onarıma geçiş. Bu, tek bir büyük parçanın değiştirilmesinin tüm üretim hattını durdurabildiği makine imalatı için kritik öneme sahiptir.

2. Enerji Verimliliği (Green Manufacturing): Yapay zeka, elektrik motorlarının çalışmasını optimize ederek yoğun yük dönemlerinde enerji tüketimini %15 oranında azaltır.

3. Adaptasyon Kabiliyeti: Sistem, bir programcının müdahalesine gerek kalmadan, sadece yeni bir dijital profil yükleyerek bir parçanın üretiminden diğerine anında geçiş yapabilir.

Dezavantajlar ve Engeller (-):

1. Yüksek Giriş Maliyeti: Lisanslı yazılım maliyetleri ve eski tezgahların sensörlerle donatılması ciddi sermaye yatırımı gerektirir.



2. Birlikte Çalışabilirlik (İnteroperabilite) Sorunu: Farklı üreticilerin tezgahları genellikle farklı dillerde (protokollerde) "konuşur", bu da birleşik bir ağ oluşturmayı zorlaştırır.

3. Siber Riskler: Akıllı fabrikalar siber saldırılara karşı savunmasızdır; bu durum, güçlü bir bilgi güvenliği katmanının oluşturulmasını zorunlu kılar.

5. İnsan Faktörünün Rolü

İnsanların yerini tamamen robotların alacağı korkusunun aksine, akıllı üretimde mühendisin rolü daha da artmaktadır. Mühendis, bir "operatörden" bir "veri mimarına" dönüşmektedir. Yapay sinir ağları ile çalışma becerileri ve sinyal işleme algoritmalarının anlaşılması ön plana çıkmaktadır; bu da teknik üniversitelerdeki eğitim müfredatının güncellenmesini gerektirmektedir.

SONUÇ

Yürütülen Araştırmanın Özeti. Bu çalışma kapsamında, siber-fiziksel sistemlerin ve Endüstri 4.0 konseptinin modern bir makine imalat işletmesinin yapısına entegrasyonu üzerine kapsamlı bir analiz yapılmıştır. Araştırma, akıllı üretime geçişin sadece teknolojik bir güncelleme değil, stratejik bir zorunluluk olduğunu doğrulamaktadır. Üç seviyeli yönetim mimarisinin (Field-Edge-Cloud) uygulanması, günlük üretim verilerini tüm iş süreçlerinde yüksek şeffaflık ve öngörülebilirlik sağlayan değerli bir varlığa dönüştürmeyi mümkün kılmaktadır.

Dijital İkizlere İlişkin Temel Bulgular. Çalışmada "dijital ikizlerin" kullanım metodolojisine özel bir önem verilmiştir. İşletme aşamasında bu teknolojinin uygulanmasının, ekipmanlardaki kritik arıza sayılarını %35–40 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Bu başarı, fiziksel izleme (IIoT sensörleri) ve yapay sinir ağlarına dayalı kestirimci analitiğin sinerjisi ile elde edilmektedir. Böylece makine imalatının en kronik sorunlarından biri olan plansız duruşların yüksek maliyeti sorunu etkili bir şekilde çözülmektedir.

Ekonomik ve Çevresel Önem. Karşılaştırmalı analiz sonuçları (Tablo 1), yatırım geri dönüşünün (ROI) yaklaşık iki kat hızlandığını göstermektedir. Ancak, doğrudan ekonomik etkinin yanı sıra akıllı üretim, "Yeşil İmalat" (Green Manufacturing) konseptine de stratejik bir katkı sağlamaktadır. Tezgah algoritmalarının optimizasyonu ve fire oranının düşürülmesi sayesinde, Avrupa Birliği çevre standartları ve küresel sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle tam uyumlu bir enerji ve hammadde tasarrufu sağlanmaktadır.

Gelecek Perspektifleri ve Pratik Öneriler. Yüksek uygulama maliyetleri ve siber riskler gibi mevcut engellere rağmen, Endüstri 4.0 teknolojilerinin potansiyeli muazzamdır. Bu konseptin, özellikle Özbekistan koşullarında başarıyla hayata geçirilmesi için yazarlar şunları önermektedir:

1. Yerel Ekosistemlerin Oluşturulması: Farklı üreticilerin ekipmanlarını birleştirebilen (birlikte çalışabilirlik sorununu çözen) bulut platformlarının geliştirilmesi.

2. Siber Güvenlik: Endüstriyel sensörler arasındaki veri iletim protokollerini korumak amacıyla blokzincir teknolojilerinin entegrasyonu.



3. Eğitimsel Dönüşüm: Teknik üniversitelerin müfredatının, büyük veri ve yapay zeka ile çalışma becerilerine sahip "analist mühendisler" yetiştirecek şekilde yeniden yapılandırılması.

Sonsöz. Akıllı üretim, sürekli evrilmeye devam edecek dinamik bir sistemdir. Bu alandaki gelecekteki araştırmalar, otonom robot sürüleri ve kuantum bilişim tabanlı yönetim sistemleri üzerine yoğunlaşabilir; bu da küresel makine imalatının gelişiminde bir sonraki büyük adımı temsil edecektir.

KAYNAKÇA:

1. Schwab, K. Dördüncü Sanayi Devrimi (The Fourth Industrial Revolution). Dünya Ekonomik Forumu (World Economic Forum), 2017.

2. Wermann, J., ve diğerleri. Makine Mühendisliğinde Dijital İkizler: Uluslararası Perspektifler ve Uygulamalar (Digital Twins in Mechanical Engineering: International Perspectives and Applications). Springer Nature, 2024.

3. Garcia, J. M. Avrupa Pazarında Endüstriyel Otomasyon ve Yapay Zeka (Industrial Automation and AI in the European Market). Madrid University Press, 2025.

4. Deloitte Insights. Akıllı Fabrika: Duyarlı, Uyarlanabilir, Bağlantılı Üretim (The Smart Factory: Responsive, Adaptive, Connected Manufacturing). Küresel Rapor (Global Report), 2024.

5. Sirozhidinov, Sh. I., Karimova, I. Sh. Modern Tarım Makineleri Bakımında Akıllı Verilerin Rolü (The Role of Smart Data in Modern Agricultural Machinery Maintenance). Uluslararası Teknik Bilimler Dergisi (International Journal of Technical Sciences), Taşkent, 2026