

TEKNOLOJİK GELİŞMELER IŞIĞINDA ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİNİN GELECEĞİ

Ezgi AKTAR DEMİRTAŞ^{1*}, MÜJGAN SAĞIR², Şerafettin ALPAY³, N. Fırat ÖZKAN⁴, Servet HASGÜL⁵, Aydın SİPAHİOĞLU⁶

^{1,2,3,4,5,6} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR

¹ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-3762-6256>

²ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-2781-658X>

³ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-7055-9588>

⁴ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-4464-7052>

⁵ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-9329-6335>

⁶ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-8743-2911>

Anahtar Kelimeler	Öz
<p>Üretim ve Servis Sistemleri Yöneylem Araştırması Kalite Yönetimi Ergonomi Bilgi Sistemleri ve Yapay Zekâ Endüstri Mühendisliği'nin tarihçesi</p>	<p>Endüstri Mühendisliği insan, makine ve malzemeden oluşan bütünleşik sistemlerin tasarımı, kurulması ve geliştirilmesi ile ilgilidir. Kaynakların verimli kullanımının gittikçe daha önemli olduğu küresel dünyada, tesislerin yer seçimi ve yerleşiminden, hammadde ve diğer girdilerin tedariğine, üretim süreçlerinin planlanması ve çizelgelenmesinden stok ve lojistik süreçlerinin yönetimine, standart süre ve kapasitelerin belirlenmesinden ürün, süreç ve hizmet kalitesinin iyileştirilmesine kadar pek çok aşamada eniyi kararların verilmesinde rol oynamaktadır. Çok çeşitli çalışma alanlarına sahip olan Endüstri Mühendisliği, son yıllarda hızla gelişen Yapay Zekâ teknikleri ve diğer teknolojik gelişmelerden oldukça etkilenmektedir. Bu makalede, son yıllarda Endüstri Mühendisliği alanındaki gelişme ve yenilikler, içerdiği bilim dalları temelinde literatüre dayandırılarak açıklanmaktadır. Çalışmanın bulguları Cumhuriyetimizin 100. yılında yeni mezun olan Endüstri Mühendisleri ve mühendis adayları için de bir farkındalık oluşturacaktır.</p>

THE FUTURE OF INDUSTRIAL ENGINEERING WITH KNOWLEDGE OF TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS

Keywords	Abstract
<p>Production and Service Systems Operations Research Quality Management Ergonomics Information Systems and Artificial Intelligence History of Industrial Engineering</p>	<p>Industrial Engineering is concerned with the design, installation, and improvement of integrated systems comprising human, machine, and materials. In a globalized world where efficient resource utilization is increasingly crucial, Industrial Engineering plays a pivotal role in decision-making at various stages, from site selection and layout of facilities to procurement of raw materials and other inputs, planning and scheduling of production processes, management of inventory and logistics processes, determination of standard times and capacities, and enhancement of product, process, and service quality. With diverse areas of application, Industrial Engineering has rapidly evolved in recent years, significantly influenced by emerging artificial intelligence techniques and other technological advancements. This article explores the developments and innovations in the field of Industrial Engineering in the context of various scientific disciplines, relying on literature-based evidence. The findings of this study aim to create awareness for newly graduated Industrial Engineers and engineering candidates, particularly in the centennial year of Republic of Turkey.</p>

Derleme Makale

Başvuru Tarihi

: 08.12.2023

Kabul Tarihi

: 14.12.2023

Review Article

Submission Date

: 08.12.2023

Accepted Date

: 14.12.2023

* Sorumlu yazar: ektar@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1401960>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Endüstri Mühendisliği, kökeni 19. yüzyılın sonlarına dayanan bir mühendislik disiplindir. Disiplin, başlangıçta sanayideki üretim süreçlerini, sistemleri ve kaynakları daha etkili ve verimli hale getirmek amacıyla ortaya çıkmıştır. Endüstri Devrimi ve üretim süreçlerinin karmaşıklığının artmasıyla ivme kazanmıştır.

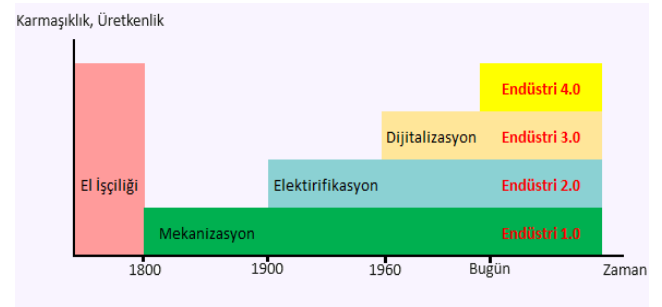
İlk olarak Amerika'da gelişen Endüstri Mühendisliği, zamanla dünya genelinde yayılmış ve evrimleşmiştir.

Endüstri Mühendisliği, Frederick Taylor'un öncülük ettiği bilimsel yönetim hareketiyle (Scientific Management) etkileşime girmiş, bahsedilen dönemde iş süreçlerinin analitik bir şekilde incelenmesi ve eniyelenmesi önem kazanmıştır. Sonrasında, Frank ve Lillian Gilbreth çifti, işçilerin hareketlerini inceleyerek (Motion Study) iş süreçlerini eniyemeye çalışmıştır. Bu çalışmalar, Ergonomi ve İş Güvenliği konularında Endüstri Mühendisliği'ne katkıda bulunmuştur. İkinci Dünya Savaşı sırasında, istatistiksel yöntemlerin üretim süreçlerinde kalite kontrolünde ve operasyonel problemlerin çözümünde kullanılmasıyla birlikte Endüstri Mühendisliği daha da gelişmiştir. 20. yüzyılın ikinci yarısında bilgisayar teknolojisinin gelişimi, Endüstri Mühendisliği'ni büyük ölçüde etkilemiş, Benzetim, modelleme ve eniyeme gibi konular, süreçlerin daha etkili bir şekilde yönetilmesine olanak tanımıştır. 1980-1990'larda, kalite odaklı yönetim anlayışı ve Toplam Kalite Yönetimi (Total Quality Management-TQM) anlayışıyla birlikte Endüstri Mühendisliği süreçlerin sadece verimliliği değil, aynı zamanda kalitesini de artırmaya odaklanmıştır. Son yıllarda görülen karmaşık tedarik zinciri yapıları, süreçleri küresel düzeyde yönetmeyi zorunlu kılmıştır. Günümüzde Endüstri Mühendislerinin en çok ilgilendiği konulardan biri de Tedarik Zinciri Yönetimi ve Lojistik alanıdır (Kula, Torkul ve Taşkın, 2006).

Aynı zamanda, Yapay Zekâ (YZ), büyük veri analizi, nesnelerin interneti gibi teknolojik gelişmeler, Endüstri Mühendisliği'ni akıllı ve otomatize edilmiş süreçleri yönetmeye yönlendirmiştir. Endüstri 4.0 kavramı, üretim süreçlerinde dijital dönüşümü temsil etmektedir. Endüstri Mühendisliği, zaman içinde bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, veri analizi yöntemlerinin ilerlemesi ve YZ gibi yeni teknolojilerin kullanımı ile büyük bir dönüşüm geçirmiştir. Bu gelişmeler, daha karmaşık süreçlerin yönetilmesi, üretim hatlarının otomasyonu ve karar alma süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi gibi alanlarda endüstri mühendislerinin rolünü genişletmiştir (Öztemel, 2020).

İlk bilgisayarların üretilmesinden bu yana gelişen bilgi teknolojilerinin, YZ temelli yaklaşımların da etkisiyle, günümüzde artık her alandaki uygulama örneklerinin otonomi kazanarak çok daha zeki ve insan gibi davranış gösterebilir hale dönüştüklerini gözlemlemekteyiz. Her

geçen gün farklı bir uygulama alanında yeni bir örneğinin hayata geçtiğine şahit olduğumuz bu zeki yaklaşımlar, Endüstri 4.0 ile birlikte, tasarımından geliştirilmesine, planlanmasından uygulamasına, gözlemlenmesinden kontrolüne, iyileştirilmesinden eniyelenmesine kadar üretim ve servis sistemlerinin her alanında da yer bulmaktadır. El işçiliğine dayanan emek yoğun üretim ve servis faaliyetlerinin, otonom robotların ve yüksek teknolojiye zeki donanımların kullanıldığı ortamlara devredilmesi ve insansız çalışma ortamlarının hayata geçirilmesi çabaları tarihsel açıdan farklı endüstri devrimleri ile ifade edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Endüstri Devrimleri (Gomez, Guardia, Mantari, Coronado ve Reddy, 2022)

1.1. Birinci Endüstri Devrimi

18. yüzyılda buhar gücünün kullanılması ve üretimin makineleşmesiyle başlamıştır. O dönemde buhar gücü zaten bilinmekteydi. Endüstriyel amaçlarla kullanılması, el işçiliğine ve insan gücüne dayalı insan üretkenliğini arttırmada en büyük atılım olmuştur. Örneğin kas gücüyle çalışan dokuma tezgâhları yerine, güç için buhar motorları kullanılabilir hale gelmiş, daha önce üzerinde iplik üretilen basit çıkırıkların mekanize hale getirilen versiyonlarıyla aynı anda sekiz kat daha fazla üretim hacmine ulaşılabilmıştır. Zaman içinde buhar enerjisi ile çalışan gemi ve buharla çalışan lokomotif gibi gelişmeler de hem günlük hayatta hem de çalışma hayatında çok büyük değişikliklere yol açmıştır. Böylece hem insanların hem de malların daha kısa sürelerde çok daha uzun mesafeler kat edebilmesi mümkün hale gelmiş, ulaştırma, taşımacılık ve servis hizmetlerinde çok büyük katkılar sağlanmıştır (Desoutter, 2023).

1.2. İkinci Endüstri Devrimi

19. yüzyılda elektriğin keşfi ve buhar enerjisinin elektrik enerjisi ile yer değiştirmesi ile başlamıştır. Bu dönemde Henry Ford'un (1863-1947) seri üretim fikrini otomobil üretimine taşımasıyla birlikte, elektrik motorlarının üretimde kullanılması ve montaj hatları kavramı hayata geçmiş ve üretim hacimlerinde, üretim sürelerinde ve üretim maliyetlerinde dramatik katkılar elde edilmiştir. Öncesinde her bir iş istasyonunda bir otomobilin tamamının montajı yapılırken, artık montaj hatları ile

araçlar taşıma bandı üzerinde hareket ettirilerek farklı iş parçalarının yerine getirildiği farklı iş istasyonlarında üretilmeye başlanmış ve seri üretim kavramı klasik üretime bakış tarzını baştan sona değiştirmiştir (Swamidass, 2000).

1.3. Üçüncü Endüstri Devrimi

20. yüzyılın ikinci yarısında 1970'lerde başlayan Endüstri 3.0 ile insanlık sadece transistörler ve mikroişlemciler ile elektroniğin yükselişine değil, aynı zamanda telekomünikasyon ve bilgisayarların yükselişine de tanık olmuştur. Bu devrim, iki büyük buluş sayesinde üretimde yüksek düzey otomasyon çağını doğurmuştur: Otomatlar (programlanabilir mantıksal kontrolörler-PLC) ve Robotlar. Bu teknolojilerin kullanılması ile sağlanan otomasyon süreçleri hızla gelişen Bilgi ve iletişim teknolojileriyle birlikte insana olan bağımlılığı azaltmış, Endüstri 4.0'a giden yolda, kısmi insansız çalışan üretim ve servis sistemlerinin temellerini de oluşturmuştur (CoReceptionist, 2023).

1.4. Dördüncü Endüstri Devrimi

İlk kez 2011 yılında Almanya'da dile getirilen Endüstri 4.0 kavramı, hâlihazırda bilgisayar teknolojilerine sahip olan üretim sistemlerinin, lojistik sistemlerini de içine alarak, ağ bağlantılarıyla genişletilmesi ve otonom olarak birbirleriyle haberleşebilen Siber-Fiziksel Üretim Sistemlerinin (CPPS) ortaya çıkartılmasını ifade etmektedir (Gomez ve diğ., 2022). Nesnelerin İnterneti (IOT) ve Servislerin İnterneti (IOS) kavramlarıyla da anılan bu ileri düzeyde gelişmiş yapı Verinin İnterneti (IOD) ile birlikte nerdeyse tüm üretim ortamının kendi kendini yönetebilmesini hedeflemektedir (Siskon, 2023).

Günümüz konvansiyonel üretim ve servis sistemleri, baş döndürücü bir şekilde gelişme kaydeden YZ ve teknolojilerinin de etkisiyle, Endüstri 4.0 kavramıyla hedeflenen, tamamıyla insansız ve otonom çalışan üretim ve hizmet sistemlerine doğru kaçınılmaz bir şekilde yol almaktadır. Bu gerçekliğe paralel olarak her alandaki araştırmacı ve uygulamacılar da zeki ve otonom sistemlerin tasarlanması, geliştirilmesi ve hayata geçirilmesi çabalarına katkı sağlamak adına araştırmalarına hız vermişlerdir. Bu kapsamda, izleyen bölümlerde, üretim ve servis sistemlerindeki son gelişmelere değinilmektedir.

Endüstri Mühendisliği'nin gelişim süreci ve geleceği ile ilgili eserlerden daha detaylı bilgilere erişmek mümkündür (Öztemel, 2020; Davenport ve Short, 2003; Bhambri ve Rani, 2024).

Çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümünde Üretim ve Servis Sistemleri ile Yöneylem Araştırmasındaki (YA) gelişmeler ve YZ etkileşiminden bahsedilmiştir. İzleyen bölümlerde ise Üretim ve Servis Sistemlerinin alt dalı

olan Kalite Yönetimi, Ergonomi ve İnsan Faktörleri alanlarındaki gelişmelerden ve YZ uygulamalarından söz edilmiş olup sonuç bölümünde Endüstri Mühendisliği disiplininin bugünü ve yarını genel hatlarıyla değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada Araştırma ve Yayın Etiğine uyulmuştur.

2. Üretim ve Servis Sistemlerindeki Gelişmeler

Endüstri Mühendisliği, üretim ve servis sistemlerinin değişen ihtiyaçlarını karşılamak için sürekli gelişen ve uyarlanan bir alandır. Geleneksel olarak üretim ve servis sektörlerinde karmaşık süreçlerin veya sistemlerin eniyilenmesi ile ilgilenmektedir. Sistemlerin daha verimli ve etkili hale getirilmesi için tasarım, planlama, kontrol ve yönetim fonksiyonlarında görev alır. Ancak YZ uygulamalarının kullanıma sunulmasıyla birlikte bu görevler yeniden tanımlanmakta ve şekillenmektedir.

YZ'nin verilerden öğrenme, örüntüleri belirleme ve minimum insan müdahalesiyle karar verme yeteneği, endüstri mühendislerinin işlerine yaklaşımını da değiştirmektedir. YZ, kurumların ve işletmelerin veriye dayalı etkili ve akıllı kararlar almasına, karmaşık süreçleri otomatikleştirmesi ve iyileştirmesi sonucunda operasyonel maliyetleri azaltmasına olanak tanır (Panda, Mishra, Balamurali ve Elngar, 2021).

YZ, Endüstri Mühendisliği çalışma alanlarının çeşitli yönlerini geliştirmek için büyük veri analizinden, Makine Öğrenimi (ML) ve Derin Öğrenmeden (DL), Meta-Sezgisel algoritmalarından yararlanan bir dizi teknik ve araç sunar. YZ'nin Endüstri Mühendisliği karar verme sürecine yardımcı olabileceği bazı alanlar şunlardır:

- **Kestirimci Bakım:** YZ, ekipman arızalarını ve bakım ihtiyaçlarını proaktif bir şekilde tahmin etmek için sensör verilerini ve geçmiş bakım kayıtlarını analiz edebilir. Bu yaklaşım, bakım programlarının optimize edilmesine, arıza sürelerinin azaltılmasına ve makinelerin ömrünün uzatılmasına yardımcı olur.
- **Süreç Eniyileme:** YZ algoritmaları, verimsizlikleri, darboğazları ve süreç değişikliklerini belirlemek için üretim verilerini analiz edebilir. YZ, iş akışlarını ve kaynak tahsisini optimize ederek üretkenliği artırabilir ve operasyonel maliyetleri azaltabilir.
- **Tedarik Zinciri Yönetimi:** YZ, tedarikçilerden, müşterilerden ve çeşitli tedarik zinciri düğümlerinden gelen verileri analiz ederek envanter seviyelerini, talep tahminini ve lojistiği optimize edebilir.
- **Kalite Kontrol:** YZ, üretilen ürünlerdeki kusurları ve anormallikleri belirlemek için görüntüleri veya sensör verilerini analiz ederek denetim ve kalite kontrol süreçlerini otomatikleştirebilir. Böylece,

ürün kalitesinin artması ve israfın azalması sayesinde verimlilik artar.

- **Planlama ve Kontrol:** YZ algoritmaları, üretim teslim sürelerini ve işçilik maliyetlerini en aza indirmek için çeşitli kısıtlamaları ve hedefleri hesaba katarak üretim programlarını ve iş gücü planlamasını optimize edebilir.
- **İnsan-Robot İş Birliği:** YZ, fabrika ortamındaki insanlar ve robotlar arasında daha güvenli ve daha verimli iş birliğine olanak sağlayabilir. YZ destekli robotlar tekrarlayan veya tehlikeli görevlerde yardımcı olabilirken, insanlar daha karmaşık karar alma süreçlerine odaklanabilir.
- **Benzetim ve Modelleme:** YZ tabanlı benzetim araçları, karmaşık sistemleri ve süreçleri modelleyebilir, mühendislerin farklı senaryoları denemesine ve gerçek üretim sürecini aksatmadan bilinçli kararlar almasına olanak tanır.
- **Karar Destek Sistemleri:** YZ, kapasite planlamasından ekipman bakım stratejilerine kadar çeşitli karar verme süreçleri için veriye dayalı içgörüler ve öneriler sağlayarak endüstri mühendislerine yardımcı olabilir.
- **Sürekli İyileştirme:** YZ destekli analitik, devam eden süreçleri izleyebilir ve gerçek zamanlı geri bildirim sağlayarak endüstriyel ortamlarda sürekli iyileştirme girişimlerini kolaylaştırabilir.

YZ'nin Endüstri Mühendisliğinde karar alma sürecine büyük ölçüde yardımcı olma potansiyeli olmasına rağmen, insan uzmanlığının ve yargısının yerini alamayacağını belirtmek önemlidir. Bu hayati görevi yerine getirmesi için bir bilgisayara güvenmek için gereken güven düzeyini oluşturmak biraz zaman alacaktır. YZ, alan bilgisini, deneyimini ve sezgisini YZ algoritmalarından elde edilen veri odaklı içgörülerle birleştirmek için insan karar vericilerle entegre edildiğinde en iyi şekilde çalışır. YZ, büyük miktarda verideki örüntüleri insanlardan çok daha hızlı tespit etme yeteneği nedeniyle üretimde daha yaygın ve önemli hale gelse de, YZ'nin bir uzman insan ile işbirliği, daha bilinçli ve etkili karar alma süreciyle sonuçlanarak Endüstri Mühendisliği uygulamalarında üretkenliğin, verimliliğin ve genel performansın artmasına yol açar.

Endüstri Mühendisleri problemleri çözmek için benzetim, karar verme araçları, algoritmalar, eniyileme teknikleri ve yazılımları kullanırken, Yöneylem araştırmacıları bu araçların arkasındaki yöntembilimi üzerinde çalışır, yeni algoritmalar geliştirir, yeni eniyileme yöntemleri tasarlar, sistemleri analiz etmek için etkili araçlar tasarlarlar.

2.1. Üretim Sistemlerindeki Güncel Çalışmalar

YZ temelli algoritmalar, birçok alanda olduğu gibi üretim sistemlerinin yönetiminde ve karar

problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Verilerin analiz edilmesi ile üretim sistemlerinde talep tahminleme, planlama ve çizelgeleme, kaynak tahsisi, stok yönetimi, süreç otomasyonu, gerçek zamanlı üretim süreçlerinin gözlemlenmesi ve denetlenmesi, kalite kontrol, kestirimci bakım, araç rotalama, aktarma ve lojistik, tedarik zincirinin eniyilenmesi gibi faaliyetlerin yerine getirilmesinde, YZ teknikleri ile artık daha kârlı, daha verimli ve maliyet etkin çözümlerin çok daha kısa sürelerde üretilmesine imkân sağlanabilmektedir. İzleyen kısımda yukarıda sıralanan üretim faaliyetlerinde, özellikle son yıllarda, yapılan çalışmalara değinilmektedir.

Esteso, Peidro, Mula ve Díaz-Madroñero (2023) kaynak planlaması, kapasite planlama, satın alma ve tedarik yönetimi, üretim planlama ve stok yönetimi konularında takviyeli öğrenme tekniklerinin kullanımı ve uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Castañé, Dolgui, Kousi, Meyers, Thevenin, Vyhmeister ve Östberg (2023) uyarlanabilir (adaptive) üretim ortamları için karar desteği sağlamak üzere üretim planlaması ve kontrolü ile bütünleşik ve YZ tabanlı dijital ikizlerin geliştirilmesine odaklanmışlardır. Dehghan Shoorkand, Nourelfath ve Hajji (2023) DL ve matematiksel programlamayı kullanarak, entegre kestirime dayalı, bir bakım ve üretim planlama çerçeve modeli geliştirmişlerdir. Amaçları, gelecekteki tüm ürünlere yönelik talebi karşılarken, bakım, kurulum, bekletme, ön sipariş ve üretim maliyetlerinin toplamını en aza indirmek şeklindedir. Singh ve Mishra (2023) yeşil yatırım teknolojisi kapsamında bozulan ürünleri ele almak amacıyla ML tekniklerini birleştirerek stok yönetimine yönelik Bulanık Mantığa dayalı yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Jiang (2023) ML ile geliştirilmiş katmanlı üretim teknolojilerinin mevcut durumuna ilişkin kapsamlı bir araştırma sunmuştur. Bai, Chen, Chen, Cui, Gong ve Zhang (2023) Araç rotalama probleminin modellenmesi ve eniyilenmesinde ML algoritmalarının analitik tekniklerle bir arada kullanıldığı hibrit yaklaşımları araştırmışlardır. Çalışmaları, analitik tekniklerin ML araçlarıyla birleştirildiği hibrit yöntemlerin ilk ve kapsamlı incelemesini sunmaktadır. Abualsaud (2023) ML kullanarak zeki imalat endüstrisinde hata tespiti ve kalite kontrol yönetimi için yeni bir teknik önermiştir. Girdi verileri nesnelerin interneti (IoT) modülü tarafından üretim hatası geçmiş verileri olarak toplanmıştır. Bu veriler gürültünün giderilmesi, normalleştirilmesi ve düzgünleştirilmesi için işlenmiş ve işlenen verinin özellikleri de, çekirdek temel vektör bileşen analizi kullanılarak çıkarılmıştır. Carl May, Nestroy, Overbeck ve Lanza (2023) üretimde karmaşık atölye üretim sistemleriyle uğraşmanın getirdiği zorlukları, zaman ve maliyet kayıplarını ortadan kaldırmak amacıyla üretim sistemlerinin malzeme akışı benzetimine yönelik otomatikleştirilmiş bir model (ASMG) çerçevesi sunmuşlardır. Bu çerçeve, olaya

dayalı verilerden yönlendirme, kontrol ve zamansal hususları çıkarmak için süreç madenciliği (PM) ve ML yöntemleri kullanılmaktadır. Maiti ve Muthuswamy (2023) Evrimsel Sinir Ağı (CNN) ve Destek Vektör Makinesi (SVM), Karar Ağaçları ve k-En Yakın Komşu gibi ML ve görüntü işleme tekniklerini kullanarak takım tezgâhlarının bilişsel yeteneklerini geliştirmek amacıyla malzeme tanımlama ve sınıflandırma görevini otomatikleştirmeye yönelik genel bir yöntem önerisinde bulunmuşlardır. Feizabadi (2022) ML ve sinir ağı temelli hibrit talep tahmin yöntemi geliştirmiştir. Yöntem çelik üreten bir firmada uygulanmış ve değerlendirilmiştir. Yamamura, Santana, Masiero, Quintanilha ve Berssaneti (2022) geniş eğitim veri kümelerine olan ihtiyacı ortadan kaldırmak amacıyla bir uzmanın alan bilgisini kullanarak, ürün geliştirme faaliyetlerini desteklemeye ve pazar payını tahmin etmeye yönelik uzman alan bilgisini ve ML'yi birleştiren karmaşık artımlı yeni bir yöntem önerisinde bulunmuşlardır. Yasir ve diğ. (2022) tekstil endüstrisi için, içsel ve dışsal göstergeleri kullanan, ML temelli bir talep tahmin yöntemi önerisinde bulunmuşlardır. Zhang, Zhu, Tang, Zhou ve Gui (2022) dinamik atölye tipi üretim ortamlarının çizelgelenmesi için, kendi kendine organizasyon mekanizması ile kendi kendine öğrenme stratejisini birleştiren derin takviyeli öğrenmeye (DRL) dayalı çok ajanlı bir yapı önerisinde bulunmuşlardır. Deneysel sonuçlar, önerilen yöntemin, çeşitli performans ölçütlerini karşılayan planlama çözümlerini üretmesinin yanı sıra, faaliyet kesilmeleriyle de, verimli ve otonom bir şekilde başa çıkabildiğini göstermiştir. Sharma, Zhang ve Rai (2021) imalatta ML için yorumlayıcı bir çerçeve imalat modeli geliştirmişlerdir. Lolli, ve diğ. (2019) kesikli talep durumunda uygulanacak çok kriterli envanter sınıflandırmasına yönelik bir ML yaklaşımında bulunmuşlardır. Çalışma sonuçları ML sınıflandırıcılarının gelişmiş envanter sınıflandırma sistemlerinde uygulanabilirliğini onaylamıştır. Priore, Ponte, Rosillo ve de la Fuente (2019) hızla değişen tedarik zinciri ortamlarında stok yenileme politikalarının dinamik seçimine yönelik ML algoritmalarını uygulamışlardır. Sonuçlar statik seçim alternatiflerine göre işletim maliyetlerini önemli ölçüde düşürebileceğini göstermiştir. Kousi, Dimosthenopoulos, Matthaiakis, Michalos ve Makris (2019) montaj hatlarında, insan operatörler ve robot kaynakları arasında dinamik iş dengelemeyi hedefleyen YZ tekniklerine dayalı çok seviyeli bir karar verme çerçevesi sunmuşlardır. Sonuçlar önerilen yaklaşımın, kaynak tahsisi dengesini gözetirken aynı zamanda verimli görev çizelgeleri oluşturmaya da olanak sağladığını göstermiştir.

2.2. Servis Sistemlerindeki Güncel Çalışmalar

Clark-Fisher hipotezinde belirtildiği üzere, endüstri sonrası toplumlarda, servis sistemlerinin ülke ekonomisine katkısı imalat sistemlerine kıyasla çok

daha fazladır (Clark, 1957). Bu yönüyle değerlendirildiğinde yeni gelişen teknolojilerin servis faaliyetlerinde de kullanılması ve servis hizmetlerindeki kalitenin, müşteri tatmininin, etkinliğin ve verimliliğin bu teknolojilerle artırılması çabaları da kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar YZ temelli teknolojilerin ilk somut örnekleri imalat sistemlerinde ortaya çıkmış olsa da artık sağlık sektöründen, turizme, finans sektöründen eğitime, pazarlama sektöründen ulaşım, bankacılık sektöründen iletişime, yiyecek sektöründen sigorta hizmetlerine, güvenlik hizmetlerinden lojistik yönetimine kadar servis sektörünün neredeyse her alanında YZ temelli uygulamalara rastlamaktayız. İzleyen kısımda servis faaliyetlerinde özellikle son yıllarda yapılan YZ temelli çalışmalara değinilmektedir.

Norzelan, Mohamed ve Mohamad (2024) Planlı Davranış Teorisi (TPB) ve Birleşik Teknoloji Kabulü ve Kullanımı Teorisi'ni (UTAUT) kullanarak, paylaşımlı hizmet sektöründeki finans ve muhasebe birimlerinin başkanları arasında YZ'nin teknoloji kabulünü araştırmayı amaçlamışlardır. Bulgular, işletmelerin özellikle finans ve muhasebe alanlarında YZ'yi kullanırken önceliklendirilmesi gereken önemli alanlar hakkında fikir verdiğini göstermiştir. Rasheed, Chen, Khizar ve Safeer (2023) konaklama sektöründe Pakistanlı müşteriler arasında YZ hizmetlerinin benimsenmesini etkileyen faktörlerin anlaşılması amacıyla davranışsal nedenlerin ve duygusal zekânın rolünü araştırmışlardır. Boff Medeiros, Fogliatto, Karla Rocha ve Tortorella (2023) kaynak kullanımına ilişkin karar verme sürecine yardımcı olmak amacıyla hastanelerdeki pediatrik hastaların hastane kalış sürelerini tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Toplam pediatrik hasta kalışlarına ait veri setlerinin modellenmesindeki zorlukları aşmak ve daha yüksek tahmin doğruluğu elde etmek amacıyla ML algoritmalarını kullanmış ve yeni bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Balasubramanian, Shukla, Islam, Upadhyay ve Duong (2023), ML'den bilgisayarlı görmeye (Computer Vision) kadar farklı YZ tekniklerini ve bu tekniklerle beslenen çeşitli veri girişi türlerini kapsayan çalışmalarında, sağlık hizmetleri için kapsamlı bir YZ çerçevesi önerisinde bulunmuşlar ve bunun Birleşik Arap Emirlikleri sağlık sektörü içindeki etkinliğini değerlendirmişlerdir. Tseng ve diğ. (2023) merkezi olmayan rejeneratif tıp tedarik zincirlerinde dinamik kapasite planlaması için derin takviyeli öğrenme yaklaşımı önermişlerdir. Önerilen yaklaşımda, etkili kapasite planlama politikasını öğrenmede, bir üretim benzetim modeli ve DRL yöntemi kullanılmaktadır. Adhikari, Joshi ve Basu (2023) YZ inovasyonuna yatırım yaptığı varsayılan bir sağlık ürünü üreticisi, bir dağıtıcı ve bir satın alma ajansından oluşan üç seviyeli bir tedarik zinciri yapısını birleştirerek çok seviyeli, YZ destekli bir sağlık hizmeti tedarik zinciri tasarlamışlardır. Giudici ve Raffinetti

(2023) finans alanındaki YZ uygulamalarının güvenilirliğini ölçmek amacıyla, Lorenz Zonoidlerine dayalı ölçüm metriklerini kullanmışlardır. Du ve diğ. (2023) akıllı bir ulaşım sistemi için özelleştirilmiş ürünlerin teslim süreleri boyunca lojistik İHA'ların toplam enerji maliyetini en aza indirmeyi hedeflemiştir. Lojistik İHA'ların rotasını ve hizmet tahsisini ortaklaşa eniyileyen işbirlikçi bir yol planlama formülasyonu önermiştir. İlgili formülasyonda İHA'ların enerji tüketimi değişimini, müşterilerin karışık zaman pencerelerini ve eşzamanlı teslimat ve teslim almayı dikkate almışlardır. Xia, Muskat, Li ve Prayag (2023) turizmde, cihaz, işlem ve kullanıcı tarafından devasa hacimlerde üretilen büyük verinin, turizmle ilgili sosyal olguları daha iyi anlamak ve daha iyi kararlar almak amacıyla, YZ algoritmalarını kullanarak analizini yapmışlar ve turizm literatüründeki potansiyel nedensel ilişkileri ortaya çıkarmak için yeni bir yöntem önerisinde bulunmuşlardır. Tamasiga, Onyeaka, Bakwena, Happonen ve Molala (2023) gıda kesintileriyle mücadele etmek için küresel değer zincirindeki aksaklıkları tahmin etmede ve yönetmede YZ'nin rolünü incelemişlerdir. Ortaya çıkan araştırma eğilimlerini, etkili yayınları, önde gelen kurumları, iş birliklerini, temaları, politika sonuçlarını ve gelecekteki araştırma yollarını keşfetmek için Scopus ve Web of Science'taki kapsamlı verileri kullanarak bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Yaiprasert ve Hidayanto (2023) Gıda dağıtım işinde dijital pazarlama stratejilerini geliştirmek için, müşteri verilerini analiz etmek, müşteri tercihlerini belirlemek, müşteri davranışını tahmin etmek ve YZ tabanlı öneriler sunmaya yönelik farklı ML algoritmalarını kullanmışlardır. Doumpos, Zopounidis, Gounopoulos, Platanakis ve Zhang (2023) son on yılda bankacılık sektörüne yönelik YA ve YZ tabanlı çalışmalara ilişkin kapsamlı ve yapılandırılmış bir bibliyografik araştırma sunmuşlardır. Yapılan çalışmalar banka verimliliği, risk değerlendirme, performans değerlendirme, birleşme ve satın almalar, bankacılık düzenlemeleri, müşteri ile ilgili çalışmalar ve teknik analiz konularını içermektedir. Liu, He, Wang ve Shen (2022) YZ destekli hizmet robotlarının, yavaş yavaş sağlık sektöründe popüler araçlara dönüşmekte olduğundan hareketle, hastaların hastanelerde YZ destekli hizmet robotlarını kullanmaya devam etme niyetlerini hastaların özellikleri açısından değerlendirmişlerdir. Ahmed, Alshater, El Ammari ve Hammami (2022) finans alanındaki YZ ve ML literatürünü gözden geçirmişlerdir. Bibliyometrik bir yaklaşım kullanarak Scopus veritabanında indekslenen dergilerden 2011-2021'de yayınlanan 348 makaleyi inceleyerek bir derleme çalışması yapmışlardır.

3. Yöneylem Araştırması, Gelişmeler ve Yapay Zekâ Etkileşimi

YA, sibernetik, sistem mühendisliği, çevre bilimleri, sistem bilimleri gibi II. Dünya Savaşı'ndan sonra doğup

gelişen bir bilimdir (Ackoff, 1972). Bütünleşik yaklaşım, bilimsel yöntem ve disiplinlerarası yaklaşım olarak sıralanan üç temel özelliğiyle, gerçek hayat problemlerine eniyi çözümler arar (Kara, 1985). Endüstri Mühendisliğinin temel disiplinlerinden olan YA yıllardır, üretim planlama, malzeme ve stok yönetimi, üretim çizelgeleme, ulaştırma ve atama, proje yönetimi, işgücü planlama, yatırım planlama, tesis yer seçimi ve tesis yerleşimi, benzetim ve stokastik süreçler gibi örneklenebilecek pek çok problem ile ilgilenir. Matematiksel modeller yardımıyla belirli bir amaç ya da amaçlar için eniyi çözümü bulmaya dönük binlerce bilimsel çalışmaya konu olmuştur. Temel olarak problemleri deterministik (problemden yer alan parametrelerin değerlerinin bilindiği) ya da stokastik (problemden yer alan parametrelerin değerlerinin olasılıklı olarak bilindiği) olarak iki ana kategoride incelemektedir. Problem alanlarının yukarıdaki gibi çok geniş kapsamlı olması ve disiplinlerarası yaklaşımı, YA'nın diğer Endüstri Mühendisliği temel alanları ile ve diğer temel bilim dalları ile her zaman içiçe olmasını gerektirmektedir.

Günümüzde hızla üretilen yığın ve değişken veriler, YA problem alanlarında da kararların hızlı ve doğru olmasına yönelik sürekli artan bir ihtiyaç yaratmış, bu durum yeni bilişim sistem ve tekniklerinin gelişimini zorunlu kılmıştır (Gupta, Modgil, Bhattacharyya ve Bose, 2022). Artık sistemler, bulut yapıları (*cloud*), çeşitli internet platformları ve kapsamlı veri oluşturma araçları ile karşı karşıya kalarak oldukça karmaşıklaşmıştır. YA tekniklerinin bu yeni alanlara hızlı entegrasyon zorunluluğu doğmuş, bilgisayar tabanlı karar verme mekanizmaları, YZ teknolojisi ile birlikte bu alanda da yaygınlaşmıştır.

YZ'nin tahmin ve akıl yürütme (*reasoning*) alanlarındaki teknikleri YA için oldukça yardımcıdır. YZ tekniklerinin, geçmişte yaygın kullanılan Prolog, Lisp, Bayesian gibi kural tabanlı yaklaşımlar ile karşılaştırıldığında, mantıksal akıl yürütme, fonksiyonel ve betimleyici programlama gibi oldukça zengin ve yetenekli, bilgi tanımlama, görselleştirme ve kodlama kapasitesi bulunmaktadır (Gupta ve diğ., 2022). Ancak bu zengin gösterimlerin bazı açılardan esnekliği azalttığı ve gerçek problemlere çok uygun olmadığı durumlar ortaya çıkabilmektedir. YA ise iyi tanımlanmış bir problem uzayında eniyi çözümleri belirleyebilen ve doğrusal programlama yapılarında olduğu gibi daha izlenebilir olan gösterimleri kullanmaktadır. Bu nedenle YZ ve YA bütünleşmesinin gerçek hayat problemlerinin yeterli düzeyde ve güçlü gösterimlerle temsil edildiği ve böylece hızlı ve rekabet edebilen çözümlerin üretilmediği durumlarda oldukça başarılı olacağı görülmektedir. Swarnkar ve Swarnkar (2020) yapmış oldukları literatür taraması çalışmasında 1975-2020 yılları arasında, YZ tekniklerinin YA çalışmalarındaki kullanımlarını derlemiş ve bu kapsamda Genetik Algoritmalar, Karınca Kolonisi Algoritmaları, Parçacık

Sürüsü Optimizasyonu ayrıca son yıllarda geliştirilen Fil Sürüsü Algoritması, BAT Algoritması gibi yeni sezgisel tekniklerle gerçekleştirilen çok sayıda YA uygulamalarına yer vermiştir.

YZ teknolojilerindeki ilerleyişe paralel olarak YA alanındaki mevcut çözümlerde de gelişmeler ortaya çıkmış, ticari çözümlerin maliyetli olmaları ve lisans gereksinimleri, açık kaynak kodlu çözümlerin gelişmesine olanak sağlamıştır. Ticari çözümler arasında XPRESS, CPLEX ve GUROBI, açık kaynak kodlu çözümler arasında ise CLP, LP_SOLVE ve GLPK örnek gösterilebilir. Hemen hemen tüm açık kaynak kodlu çözümler herhangi bir yazılım ürünü ve bir çözümler arasında veri alışverişi için kullanılacak bir çeşit yapılandırılmış API'ye bir başka deyişle iki uygulamanın birbiriyle konuşmasına olanak tanıyan bir yazılım aracı olan uygulama programlama arayüzüne sahip olmaktadır.

Bu kapsamda kullanılan araçlar arasında yer alan Python; veri bilimi, ML ve DL gibi konularla ilgili araştırma ve endüstri projelerinde tercih edilen bir programlama dili haline gelmiştir (Blanc ve Deb, 2020). Dinamik alt yapısı ve anlaşılır sade dili kullanım kolaylığı sağlamaktadır. YA, bağlı olarak eniyileme bu araştırma alanlarının doğal bir parçası olduğundan, Python-YA ilişkisi güçlenerek devam etmektedir. Python'un modülleri, paketleri, kütüphaneleri ve çatıları bulunmaktadır. Bir modül basitçe, bir konuda yazılmış ve .py uzantısı ile kaydedilmiş bir dizi koddur. Paketlerin (*packages*) büyük bir uygulama programı geliştirirken, yönetmesi zor birden fazla modül olduğunda bunların bir arada toplandığı modüllerin birleşiminden oluştuğu, kütüphanelerin (*libraries*) belirli bir problem alanına dönük olarak bir araya getirilmiş paket ve yine modüllerden oluştuğu söylenebilir. Çatılar (*frameworks*) ise kütüphanelere benzer şekilde paket ve modüllerden oluşmakla birlikte, program geliştirme sürecinin daha hızlı izlenmesi için kullanılan ve kütüphanelere göre daha karmaşık olan yapılardır.

Bu kısımda YA çalışmalarında sıkça kullanılması nedeniyle Python kütüphanelerine kısaca değinilmektedir. Python'un oldukça çok sayıda kütüphanesi bulunmakta olup her kütüphane farklı bir işlev için geliştirilmiştir. En yaygın kullanılan kütüphaneleri arasında, ML gibi pek çok uygulama öncesi verilerin analizi, işlenmesi ve uygulamaya hazır hale getirilmesi için kullanılan *Pandas* gelmektedir. *Pandas*'a alternatif olarak kullanılacak, özellikle çok büyük veri setlerinin analizinde aynı amaçla tercih edilen *Polars* bir diğer kütüphanedir. ML modellerinin oluşturulması için kullanılan ve sınıflama, regresyon analizi, kümeleme gibi yaygın makine öğrenmesi işlemlerini yapabilen *Scikit-Learn* de sık kullanılan kütüphanelerdendir.

Eniyileme alanında gerek yukarıda anlatılan çözümlerde gerek programlama dillerindeki gelişmeler,

bunların birlikte uygulanmalarına olanak sağlayan çeşitli kütüphaneler ya da bütünleşik yapıları da beraberinde getirmiştir. Örneğin bu kapsamda *Gurobipy*, Gurobi ile kolayca arayüz oluşturabilecek modelleri tanımlayan bir Python çerçevesidir (Yildirim, 2023).

YZ tekniklerinin YA alanındaki uygulamalarını kısıtlı bir dökümanda örneklemek ya da sınıflamak neredeyse imkansızdır, çünkü YA alanına girebilecek sadece tek bir problem türünde yapılmış çalışmalar için bile literatür taraması makalelerine erişmek mümkündür. Örnek verilecek olursa Ciccone, Bacciaglia ve Ceruti (2023) üretim sektöründeki, Zhang, Ge ve Tong (2022) araç rotalama alanındaki, Bahroun, Tanash, As'ad ve Alnajjar (2023) proje çizelgeleme alanındaki YZ uygulamaları için literatür taraması çalışmalarıdır. Hatta YZ teknikleri YA alanında o kadar hızlı kullanılmaya başlanmıştır ki, bu tür literatür çalışmalarına daha eski yıllardan beri rastlanmaktadır (Charalambous ve Hindi,1991; Wiers, 1997)

Ancak Tablo 1'de örnek olması açısından, son yıllarda YA alanında gerçekleştirilen ve YZ tekniklerinin kullanıldığı birkaç çalışmaya yer verilmektedir.

Tablo 1. YA Çalışmalarında YZ Kullanımına Örnekler

YZ Tekniği	Kullanım Alanı	Yazarlar
Parçacık Sürüsü	Araç rotalama problemi	Hsieh, You ve Chen (2021)
Genetik Algoritmalar	Araç rotalama problemi	Hsieh ve diğ. (2021)
Derin Öğrenme	Planlama ve Çizelgeleme	Hatami ve Franz (2021)
Parçacık Sürüsü	Tedarik Zinciri Yönetimi	Hassouna, El-henawy ve Haggag (2022)

YA, kıt kaynakların gittikçe tükenmekte olduğu küresel dünyada, en çok ihtiyaç duyulan kavramlar olan düşük maliyet, yüksek verimlilik, sürdürülebilirlik gibi konuların yanında, çevre ve insan sağlığı, hızla gelişmeye devam eden teknolojik ilerlemeler arasında önemli yerini korumaya devam edecek bir bilim dalıdır.

4. Dünyada ve Ülkemizde Kalite Alanındaki Gelişmeler ve Yapay Zekâ Uygulamaları

İşletmeler, üretim planlama, iyileştirme ve kalite kontrol faaliyetlerinde YZ teknolojilerini kullanarak verimliliklerini artırmayı ve mevcut sorunlara hızlı çözümler üretmeyi hedeflemektedir (Buchmeister, Palcic ve Ojstersek, 2019). YZ destekli kalite yönetim sistemlerinin endüstrilerde yaygın olarak tasarlanması ve uygulanması, kaliteye yönelik faaliyetlerin iyileştirilmesine olanak tanır. Bu sayede hataların erken

tespiti ve ortadan kaldırılması ile kalite maliyetleri azaltılabilir (Ever ve Demircioğlu, 2022).

Endüstri 4.0, robotlar ve YZ kullanarak veri toplayan ve tekrarlı işlemleri otomatikleştiren farklı teknolojik araçları teşvik etmektedir (Souza, Corsi, Pagani, Balbinotti ve Kovaleski, 2021). YZ teknolojileri, üretim ve hizmet sektöründe kaliteyi ve verimliliği artırmak amacıyla uygulanmaktadır (Lee, Lee ve Kim, 2019). YZ, Uzman Sistemler (US), Genetik Algoritmalar (GA), Bulanık Mantık (BM), Yapay Sinir Ağları (YSA), ML ve DL gibi yöntemleri içerir (Stancheva-Todorova, 2018). ML, programlanmış algoritmalar ve istatistiksel modeller aracılığıyla verilerden öğrenmeyi içerirken, derin öğrenme, çok katmanlı sinir ağları içeren bir sistemdir (Du-Harpur, Watt, Luscombe ve Lynch, 2020). YZ, uzmanlık bilgisinden yoksunluk, karar verme süreçlerindeki belirsizlik ve karmaşıklık gibi birçok zorluğun üstesinden gelmeyi kolaylaştırır (Buchmeister ve diğ., 2019).

Kalite 4.0 ise Endüstri 4.0 tekniklerini kalite yönetimine uygulayan bir yaklaşım olarak tanımlanır (Bolatan, 2020). Makine Öğrenmesi, büyük veri, bulut bilişim, artırılmış gerçeklik gibi teknolojileri kullanarak Kalite Yönetimi sürecini dijitalleştirmeyi ifade eder (Chiarini, 2020; Gümüsoğlu, 2018). Üretimde YZ kullanımı ile üretim hataları, ekipman arızaları ve hammadde değişiklikleri önceden tahmin edilip önlemler alınarak üretim süreçleri iyileştirilir.

YZ teknolojileri, işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerine yardımcı olabilir. Kaliteli ürünlerin düşük maliyetle ve müşteri taleplerine uygun bir şekilde üretilmesini hedefleyen işletmeler, kalite ve süreç iyileştirmelerine odaklanmalıdır (Kesici ve Yıldız, 2016). YZ, işletmelere yüksek verimlilik, düşük maliyet, çevre dostu üretim ve rekabet gücü kazandırabilir (Li, Hou, Yu, Lu ve Yang, 2017). Bu teknoloji, kalite kontrol faaliyetlerini kolaylaştırabilir, tasarım süreçlerini kısaltabilir, malzeme israfını azaltabilir ve operasyonel maliyetleri en aza indirebilir.

Son yıllarda, kalite alanındaki gelişmeler ve YZ uygulamaları, Kalite İyileştirme ve Süreç Eniyileme, Kestirimci Bakım ve Ekipman Yönetimi, Anomali Tespiti olmak üzere üç ana başlık altında ele alınmıştır.

4.1. Kalite İyileştirme ve Süreç Eniyileme

Günümüzde BM, GA, YSA ve US'un yanısıra (Kaya ve Engin, 2005), ML ve DL algoritmaları da kalite iyileştirme ve süreç eniyileme yaygın olarak kullanılan araçlar haline gelmiştir. Kontrol Grafikleri (KG) ve İstatistiksel Süreç Kontrol (İSK), Deney Tasarımı (DT) teknikleri (Taguchi, Yanıt Yüzey Metodolojisi, Tam/Kesirli Faktöriyel Tasarım, Plaket Burman Tasarımı vb.) ile parametre eniyileme, Kabul Örneklemesi, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) araştırmacıların YZ

tekniklerini uygulandığı kalite başlıkları olarak sıralanabilir.

BM, GA ve YSA'nın yanısıra, ML ve DL algoritmalarını kalite iyileştirme süreçlerinde kullanan çalışmalardan bazıları Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te konu temelinde kronolojik olarak örneklenmiştir. Çalışmalar tablodakiler ile sınırlı değildir.

Tablo 2. Bulanık Mantığın Kalite İyileştirme Sürecinde Kullanımı

YZ Tekniği	Kullanım Alanı	Yazarlar
Bulanık Mantık	HTEA	Testik ve Ünlü (2023), Behnia, Ahmadabadi, Schuelke-Leech, Mirhassani (2023), Ivancan ve Lisjak (2021), Geremian ve Abraham (2021), Murad ve diğ. (2020), Geramian, Abraham ve Ahmadi Nozari (2019), Hassan, Purnomo ve Anugerah (2019), Geramian, Shahin, Minaei ve Antony (2020), Gholizadeh, Javadian ve Fazlollahtabar (2020), Reda ve Dvivedi (2022), Mariajayaprakash, Senthilvelan ve Gnanadass (2015)
	KFY	Reda ve Dvivedi (2022), Beseiso ve Kumar (2021), Singh ve Kumar (2021), Aouag, Soltani ve Mouss (2021), Jafarzadeh, Akbari ve Abedin (2018)
	KG ve İSK	Kaya, İlbahar ve Karışan (2023), Al-Refaie, Abbasi ve Ghanim (2021), Decker, Leite, Giommi ve Bonacorsi (2020), Geremian ve diğ. (2020), Cisar ve Maravic-Cisar (2019), Aslam, AL-Marshadi ve Khan. (2019), Teksen ve Anagun (2018)
	Parametre Optimizasyonu	García-Alcaraz ve diğ. (2022), Mariajayaprakash ve diğ. (2015)
	Kabul Örneklemesi	Chukhrova ve Johannssen (2018)

Tablo 3. Genetik Algoritmaların Kalite İyileştirme Sürecinde Kullanımı

YZ Tekniği	Kullanım Alanı	Yazarlar
Genetik Algoritmalar	HTEA	Gholizadeh ve diğ. (2020), Mariajayaprakash ve diğ. (2015), Gojković, Đurić, Tadić, Nestić ve Aleksić, (2021)
	KFY	Beseiso ve Kumar (2021)
	KG ve İSK	Wan (2020)
	Parametre Optimizasyonu	Wan, Chen ve Zhu (2023), Nitnara ve Tragangoon (2023), Mariajayaprakash ve diğ. (2015)

Tablo 4. Yapay Sinir Ağları, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenmenin Kalite İyileştirme Sürecinde Kullanımı

YZ Tekniği	Kullanım Alanı	Yazarlar
Yapay Sinir Ağları, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme	HTEA	Na'amnh, Salim, Husti ve Daróci (2021), Ma ve Wu (2019)
	KFY	Patil, Husain ve Halegowda (2018), Kang ve Wang (2022)
	KG ve İSK	Yeganeh, Abbasi, Shongwe, Malela-Majika ve Shadman (2023), Sabahno ve Niaki (2023), Azmat ve diğ. (2023), Yeganeh, Johannssen, Chukhrova, Abbasi ve Pourpanah (2023), Alwan, Ngadiman, Hassan, Saufi ve Mahmood (2023), Kurt (2022)
	Parametre Optimizasyonu	Chaouch, Ben Khalifa, Zitoune ve Zidi (2023), Yoo ve diğ., (2023), Nitnara ve Tragangoon (2023), García-Alcaraz ve diğ. (2022)

4.2. Kestirimci Bakım ve Ekipman Yönetimi

Geçmişte insanlar tarafından yürütülen kalite kontrol ve önleyici bakım faaliyetleri, YZ ve bilgi teknolojilerinin gelişmesi ile kestirimci bakıma dönüşmüştür (Lee ve diğ., 2019). Kestirimci bakım, üretim tesislerinin ve ekipmanlarının durumunu nesnelere interneti aracılığıyla gerçek zamanlı olarak izler; sinyal işleme, büyük veri analitiği ve akıllı sensörler gibi teknolojileri kullanarak kalan faydalı ömrü tahmin eder ve yeni bakım döngüsünü belirler. Bu sayede, ekipmanların kalan kullanım ömürlerini uzatırken plansız duruşları engeller (Lee ve diğ., 2019). Ayrıca zorunlu bakım durumlarında, bakım teknisyenleri, YZ temelli sistemlerin öngörüsüne dayanarak önceden bilgilendirilir ve devre dışı kalan ekipman yerine ikame ekipmanla üretimin sürekliliği sağlanır. Bu yaklaşım, sıfır hata hedefi doğrultusunda arıza sürelerini, bakım maliyetlerini ve üretim kayıplarını en aza indirmeyi amaçlar (Gürsoy, Çolak, Gökçe, Akkulak ve Ötleş, 2019).

Kalite yönetiminde, "kestirimci" bakım, "önleyici" bakımdan farklılık gösterir. Önleyici bakım, gelecekte ortaya çıkabilecek sorunları tanımlamaya ve önlemeye odaklanırken, kestirimci bakım, gelişmiş dijital teknolojileri kullanarak bir ürünün parçalarının tam olarak ne zaman sorunlara neden olabileceğini belirleyip, tam zamanında değiştirme veya onarım yaparak maliyet düşürmeye ve arızaların oluşumunu önlemeye odaklanır (Lee ve diğ., 2019). Kestirimci bakımın periyodik bakımdan farkı, bakımın zaman değil durum temelli olmasıdır (Gürsoy ve diğ., 2019). Önde gelen teknoloji şirketleri, üretim hattındaki ani duraksamaların, makine arızalarının ve üretim süresindeki gecikmelerin, YZ destekli yazılımlar sayesinde kolayca tespit edilebileceğini ve YZ tarafından oluşturulan raporlar sayesinde önceden müdahale edilebileceğini belirtmektedir (Ever ve Demircioğlu, 2022).

4.3. Anomali Tespiti

Günümüzde, ürün kalite denetimi alanında yaygın olarak kullanılan bir teknik olan Anomali Tespiti, verideki aşırı uçları ve beklenmeyen istisnai durumları belirlemeyi sağlar (Zhang, Peng, Liu ve Zhang, 2019). Aynı zamanda, üretim sürecindeki hataları veya anormallikleri tespit etmek için de kullanılabilir (Şahan, 2020). Büyük boyutlu ve dengesiz dağılıma sahip ürün verilerinin işlenmesinde ortaya çıkan zorluklar göz önüne alındığında, ürün kalite denetimi sürecinde önemli bir rol oynar (Zhang ve diğ., 2019). Anomali tespit tekniği, teknik aksaklıkları, makine arızalarını, tüketici davranışındaki değişiklikleri belirleyerek ürün kalitesini artırmaya, kestirimci bakım uygulamalarını geliştirmeye ve kullanıcı deneyimini iyileştirmeye yönelik birçok farklı alanda kullanılabilir. Anomali tespiti, genellikle ML algoritmalarını içeren bir alan

olarak öne çıkar (Bayraktar ve Gökçen, 2020; Chandola, Banerjee ve Kumar, 2009).

Yoğunluk tabanlı algoritmalar (örneğin KNN-K-Nearest Neighbour, DBSCAN), kümeleme tabanlı algoritmalar (örneğin K-Means) anomali tespitinde yaygın olarak kullanılan algoritmalar arasındadır (Chandola ve diğ., 2009). Ayrıca Destek Vektör Makineleri, Bayes Ağları, Markov Modelleri, YSA ve BM de anomali tespitinde kullanılabilir. Cisar ve Maravic-Cisar (2019), bulanık mantık ve EWMA kontrol grafiklerini anomali tespitinde kullanmıştır. Decker ve diğ. (2020), anomali tespiti ve kestirimci bakım için bulanık kural tabanlı sınıflama ve kontrol grafiklerinden yararlanmıştır. Apaydın-Özkan (2022), ev aleti güç profillerini anormallik tespiti için kullanan çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla YSA tabanlı kontrol grafiklerini kullanarak yeni bir Ev Aleti İzleme ve Anormallik Tespit Sistemi (AM-ADS) önermiştir. AM-ADS, bir ana kontrol birimi, bir veritabanı, Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı iletişim birimleri, ev aletleri ve aletlere monte edilmiş güç ölçüm birimlerinden (akıllı prizler veya özel ölçüm ekipmanları) oluşmaktadır.

5. İnsan Faktörlerinin Bugünü ve Geleceği

Endüstri Mühendisliği, sistemlerin tasarımı, geliştirilmesi ve iyileştirilmesiyle ilgilenen bir disiplindir. Teknolojinin hızla evrim geçirdiği günümüzde, sistemlerin etkili bir şekilde tasarlanması ve yönetilmesi açısından önemli bir role sahiptir. Bu süreçte insan faktörleri, özellikle işgücü verimliliğine odaklanması yönüyle Endüstri Mühendisliğinin temel taşlarından birini oluşturur.

İnsanlık var olduğundan beri kendi rahatını, güvenliğini ve kolay iş görebilmesini önceliklendirmiştir. Endüstri mühendisleri, ergonomik prensipleri kullanarak işçi performansını artırır, hataları en aza indirir ve iş süreçlerini iyileştirir. İnsan odaklı yaklaşımlarla yükseltelen iş gücü verimliliği ve çalışan performansı sayesinde kaynak tüketimleri düşer, maliyetler azalır ve işletmeler rekabet avantajını yakalar. Dolayısıyla sanayi devrimiyle hız kazanan insan faktörleri çalışmaları her yeni dönemde, her yaygınlaşan yeni teknolojiyle ilgi alanını genişleterek günümüze kadar gelmiştir. Yeni teknolojiler yeni üretim yaklaşımlarını, yeni yaklaşımlar da insanların çalışma performansı ile ilgili yeni fırsatları beraberinde getirmektedir. Bu fırsatların bir bedeli olarak da elbette yeni riskler ve çözülmesi gereken problemler doğmaktadır.

Başlangıçta özellikle insanın fiziksel limitlerine odaklanan insan faktörleri zamanla; özellikle de bilgisayar teknolojilerinin yaygınlaşması sonucu insanın bilişsel limitlerine de odaklanmaya başlamıştır. Hatta nöroergonomi alt disipliniyle insanların beyin dalgalarının bile çalışma performanslarına etkisini incelemektedir.

İnsanı ve organizasyonlarındaki insan faktörlerini makro (yönetimsel) ve mikro (kişi bazında fiziksel ve bilişsel) şekilde ele almaya devam eden insan faktörlerinin başlangıç noktası özellikle kaza ve kayıp önleme yaklaşımlarına odaklanan; gözlemlenebilir ve veri toplama dayalı çeşitli yöntemlerin uygulandığı bir alan olmasıdır. Zamanla müşterilerin, son kullanıcıların ve bütün olarak organizasyonların Ergonomisi de öne çıkmaya başlamıştır. Doğanın ve teknolojinin evriminin getirdiği doğal gelişmelerden payını alan insan faktörleri günümüzde, gözleme dayalı yaklaşımların yerine yavaş yavaş sensörlerle toplanan verilere dayalı yaklaşımlara kaymaktadır. Benzetim ve modelleme platformlarıyla da desteklenen; hızlı ve çok sayıda veri toplama avantajını getiren bu yeni yaklaşımlar elbette verilerin analiz imkânlarını da genişletmektedir.

Bu noktada insan faktörleri ile YZ'nin yolları kesişir. ML algoritmaları ve Görüntü İşleme teknikleriyle daha hızlı, tutarlı ve sürekli veri toplanabilmekte ve kişi bazında anlık analizler yapılabilmektedir. Risk analizleri gibi insan faktörleri açısından önem arz eden konularda daha doğru öngörülerde bulunabilmek ve yüksek sapmalara sahip olan insan performansına dair tahminleri tutarlılığı açısından bu gelişmeler oldukça kritiktir.

Yakın gelecekte insan faktörlerinin dijital ikiz uygulamaları ile de yollarının kesişmesi beklenmektedir. Tıpkı makineler gibi insanların da dijital ikizlerinin oluşturulmasıyla modelleme ve benzetimde yeni bir çağa geçilecek ve başta sağlık sektörü olmak üzere her sektör insan odaklı olarak bu teknolojiyi de kullanmaya başlayacaktır.

İnsan faktörleri ve YZ ilişkisine bakıldığında, özellikle son on yılda bilimsel araştırma ve yayınlarda dikkat çekici bir artış görülmektedir. Petrat (2021) YZ ile insan faktörleri ilişkisinin akademik yönünü 3 sınıf ve 7 düzeyde ele almayı önermiştir. İlgili düzeyler ve anahtar kelimeler maddeler halinde sıralanmıştır:

Sınıf 1- Düzey 1-3: YZ ve Fiziksel Ergonomi

Sınıf 2- Düzey 4-5: YZ ve İnsan Makine Etkileşimi

Sınıf 3- Düzey 6-7: YZ ve Endüstriyel Yönetim

Bu yaklaşıma göre birinci sınıftaki çalışmalar, YZ ve özellikle ML aracılığıyla fiziksel zorlanmaların ele alındığı çalışmaları; ikinci sınıf YZ ile insan-bilgisayar ve insan-robot iş birliğinin etkinliğini inceleyen çalışmaları; üçüncü sınıf ise YZ ile verimlilik, kârlılık ve yönetimsel kararlar arasındaki etkileşimi inceleyen çalışmaları kapsamaktadır.

Birinci sınıfta yer alan çalışmaların arasında öne çıkanlardan bir tanesi Wang, Li, Chen, Diekel ve Jia, (2018) tarafından yapılan çalışmadır. İlgili çalışmada bir robotun insanlarla iş birliği içerisinde çalışırken onların çalışma yöntemini ve tarzını nasıl öğrenebildiği irdelenmiştir. Bu çalışmada kelime işleme yaklaşımı

kullanılarak insanın robota öğrenme verisini sözlü olarak iletmesi insan faktörleri ve YZ ilişkisi açısından önemli bir adımdır. Aynı sınıfın bir diğer önemli çalışması ise sağlık sektöründe yapılmıştır. Ameliyatlarda esnasında; kızıl ötesi işaretçiler aracılığıyla insan vücudunun hareketlerinin robotlar tarafından öğrenilmesi sağlanarak insana özgü tecrübe, birikim ve alışkanlıklar robotlara aktarılmaya çalışılmıştır (Cavallo, Sinigaglia, Megali, Pietrabissa, Dario, Mosca ve Cuschieri, 2014).

İkinci sınıfta yer alan çalışmalar özellikle dördüncü sanayi devriminin bir getirisi olarak iş gücü eğitimi ve çalışanın psikolojik beklentilerinin YZ ile tespitine odaklanmaktadır. Bu sayede motivasyon ve verimlilik artırmanın düşük maliyetli yolları keşfedilmeye çalışılmıştır (Ghislieri, Molino ve Cortese, 2018).

Üçüncü sınıfta yer alan çalışmalar ise daha çok makro problemlere ve yönetsel kararlara odaklanmaktadır. Özellikle bilgi teknolojileri alanında yeni pazarlama araçları bulmaya ve mevcut araçlarda insan ile dijital süreçlerin iş birliğini en iyilemeye odaklanan çalışmalar, çeşitli sektörler için insan ve YZ'nin bütünleşik katkısını arttırmayı hedeflemektedir (Majumder, 2016).

6. Sonuçlar

Bu makalede Endüstri Mühendisliği'nin dünü, bugünü ve yarını hakkında okuyucuyu, mesleğe yeni başlayan genç mühendisleri ve mühendis adaylarını bilgilendirmek amaçlanmıştır. Anabilim dalları temelinde teknolojik gelişmelerin Endüstri Mühendisliği disiplinine etkilerini ele alan kapsamlı bir literatür çalışmasıdır. Çalışmada ifade edildiği gibi, teknolojik gelişmeler ışığında Endüstri Mühendisleri için gerekli beceriler sürekli değişmekte ve güncellenmektedir. Gelecekte, Endüstri Mühendisliği eğitimi, daha fazla dijital beceri, analitik düşünme ve problem çözme odaklı olacağı öngörülmektedir.

Endüstri Mühendisliği, süreçleri eniyileme, verimliliği artırma, maliyetleri azaltma ve kaliteyi iyileştirme gibi hedeflere odaklanan bir mühendislik disiplindir. Gelecekte Endüstri Mühendisliğinin nasıl evrilip değişeceğini kesin olarak öngörmek zor olmakla birlikte teknolojideki gelişmeler ışığında potansiyel gelişmeler alt maddeler halinde özetlenmeye çalışılmıştır:

Dijital Dönüşüm: Endüstri Mühendisliği, dijital teknolojilerin yaygın olarak benimsenmesiyle daha fazla entegre olacaktır. Büyük veri analitiği, YZ, IoT (Nesnelerin İnterneti) ve gelişkin bilgi sistemlerinin tasarımı ile birlikte, karar alma süreçleri daha etkin ve otomatik hale getirilecektir.

Akıllı Üretim ve Fabrikalar: Endüstri 4.0 kavramı, üretim süreçlerini dijitalleştirme ve akıllı fabrikalar oluşturma fikrini içerir. Sensörler, otomatik kontrol

sistemleri ve bağlantılı cihazlar sayesinde üretim sistemleri daha esnek, verimli ve özerk hale gelebilir.

YZ ve Otomasyon: YZ ve otomasyon, Endüstri Mühendisliği alanında daha fazla kullanılacaktır. ML ve DL Algoritmaları, Meta-Sezgisel Algoritmalar ve diğer YZ algoritmaları ile tahminleme, planlama, çizelgeleme, süreç kontrolü ve eniyilenmesinde daha etkin çalışmaların yapılacağı öngörülmektedir.

Sürdürülebilirlik Odaklı Çözümler: Gelecekte endüstri mühendisleri, çevresel etkileri azaltmaya yönelik sürdürülebilirlik odaklı çözümler geliştirmeye daha fazla odaklanabilir. Atık azaltma, enerji verimliliği ve çevre dostu üretim süreçleri gibi konular önemli hale gelebilir. Bu çerçevede tedarik zinciri yönetimi ve lojistik yönetiminin önemini giderek artıran çalışma alanlarından biri olacağı öngörülmektedir.

İnsan-Makine/Robot İş Birliği: Her yeni teknolojik devrimde olduğu gibi insan faktörleri YZ çağına da adapte olmaya başlamıştır. Bu sayede iş gören performanslarında, sağlık, güvenlik ve refahında artış beklenmektedir. İnsanlar arasındaki iş birliğinin yanı sıra, Endüstri Mühendisliğinde insan-makine iş birliği de artabilir. İnsanlar ve robotlar, birlikte çalışarak daha karmaşık görevleri gerçekleştirebilirler. Özellikle giyilebilir teknolojilerin geliştirilmesi ve sanal gerçeklik ortamının kullanılması ile Ergonomi, İş Sağlığı ve Güvenliği, İş öncesi eğitim ve uyumlandırma alanlarında gelişmelerin olacağı öngörülmektedir.

Bu öngörüler, genel eğilimleri temsil etmektedir ve Endüstri Mühendisliğinin geleceği, teknolojik gelişmeler, ekonomik faktörler ve kültürel değişimler gibi birçok etkene bağlı olarak şekillenecektir. Endüstri mühendisleri, bu değişimlere uyum sağlamak ve yeni teknolojilere adapte olmak için sürekli olarak güncellenen becerilere sahip olmalıdır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; YAZAR 6, YAZAR 3 ve YAZAR 1, birinci bölümün; YAZAR 5 ve YAZAR 3 ikinci bölümün, YAZAR 2, üçüncü bölümün, YAZAR 1 dördüncü bölümün, YAZAR 4 beşinci bölümün, YAZAR 6 ve YAZAR 1 altıncı bölümün oluşturulması aşamalarında katkı sağlamışlardır.

Teşekkür

Bölümdeki tüm öğretim üyelerimize olumlu katkıları ve destekleri için teşekkür ederiz. Ayrıca, Araş. Gör. Mehmet Erol KARA'ya makalenin düzenlenmesi aşamasındaki katkılarından ötürü teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abualsauod, E. H. (2023). Machine learning based fault detection approach to enhance quality control in smart manufacturing. *Production Planning & Control*, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2175736>
- Ackoff, R., 1972, A Note on Systems Science, *Interfaces*, 2,4. doi: <https://doi.org/10.1287/inte.2.4.40>
- Adhikari, A., Joshi, R., & Basu, S. (2023). Collaboration and coordination strategies for a multi-level AI-enabled healthcare supply chain under disaster. *International Journal of Production Research*, 1-27. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2252933>
- Ahmed, S., Alshater, M. M., El Ammari, A., & Hammami, H. (2022). Artificial intelligence and machine learning in finance: A bibliometric review. *Research in International Business and Finance*, 61, 101646. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2022.101646>
- Al-Refaie, A., Abbasi, G., & Ghanim, D. (2021). Proposed α -cut CUSUM and EWMA control charts for fuzzy response observations. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 28(02), 2150012. doi: <https://doi.org/10.1142/S0218539321500121>
- Alwan, W., Ngadiman, N. H. A., Hassan, A., Saufi, S. R., & Mahmood, S. (2023). Ensemble Classifier for Recognition of Small Variation in X-Bar Control Chart Patterns. *Machines*, 11(1), 115. doi: <https://doi.org/10.3390/machines11010115>
- Aouag, H., Soltani, M., & Mouss, M. D. (2021). Enhancement of value stream mapping application process through using fuzzy DEMATEL and fuzzy QFD approaches: a case study considering economic and environmental perspectives. *Journal of Modelling in Management*, 16(3), 1002-1023. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JM2-01-2020-0007>
- Apaydin-Özkan, H. (2022). Appliance-Level Anomaly Detection by Using Control Charts and Artificial Neural Networks with Power Profiles. *Sensors*, 22(17), 6639. doi: <https://doi.org/10.3390/s22176639>
- Aslam, M., AL-Marshadi, A. H., & Khan, N. (2019). A new X-bar control chart for using neutrosophic exponentially weighted moving average. *Mathematics*, 7(10), 957. doi: <https://doi.org/10.3390/math7100957>
- Azmat, S., Sabir, Q. U. A., Tariq, S., Shafqat, A., Rao, G. S., & Aslam, M. (2023). Monitoring Air Quality using the Neural Network based Control Chart. *MAPAN*, 1-9. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12647-023-00663-9>
- Bahroun, Z., Tanash, M., As'ad, R., & Alnajjar, M. (2023). Artificial Intelligence Applications in Project Scheduling: A Systematic Review, Bibliometric Analysis, and Prospects for Future Research. *Management Systems in Production Engineering*, 31(2), 144-161. doi: <https://doi.org/10.2478/mspe-2023-0017>
- Bai, R., Chen, X., Chen, Z. L., Cui, T., Gong, S., He, W., ... & Zhang, H. (2023). Analytics and machine learning in vehicle routing research. *International Journal of Production Research*, 61(1), 4-30. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2102.10012>
- Balasubramanian, S., Shukla, V., Islam, N., Upadhyay, A., & Duong, L. (2023). Applying artificial intelligence in healthcare: lessons from the COVID-19 pandemic. *International Journal of Production Research*, 1-34. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2263102>
- Bayraktar, C., & Gökçen, H. (2020). Yüksek raflı depolama sistemlerinin enerji optimizasyonunda anomali tespiti için sınıflama algoritmalarının karşılaştırılması, *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi*, 4(2), 89-109. doi: <https://doi.org/10.33461/uybisbbd.790369>
- Behnia, F., Ahmadabadi, H. Z., Schuelke-Leech, B. A., & Mirhassani, M. (2023). Developing a Fuzzy Optimized Model for Selecting Maintenance Strategy in Paper Industry: An Integrated FGP-ANP-FMEA approach. *Expert Systems with Applications*, 120899. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120899>
- Beseiso, M., & Kumar, G. (2021). A fuzzy computational approach for selecting interdependent projects using prioritized criteria. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40(6), 11341-11354. doi: <https://doi.org/10.3233/IIFS-202506>
- Bhambri, P., & Rani, S. (2024). Challenges, Opportunities, and the Future of Industrial Engineering with IoT and AI. *Integration of AI-Based Manufacturing and Industrial Engineering Systems with the Internet of Things*, 1-18.
- Blanc, J., & Deb, K. (2020), Pymoo: Multi-Objective Optimization in Python, 2020, *IEEE Access*, 8, 89497-89509. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990567>
- Boff Medeiros, N., Fogliatto, F. S., Karla Rocha, M., & Tortorella, G. L. (2023). Predicting the length-of-stay of pediatric patients using machine learning

- algorithms. *International Journal of Production Research*, 1-14. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2023.2235029>
- Bolatan, G. İ. S. (2019). Kalite 4.0. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21, 437-454. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2154486>
- Buchmeister, B., Palcic, I., & Ojstersek, R. (2019). Artificial intelligence in manufacturing companies and broader: an overview. *Chapter 07 in DAAAM International Scientific Book*, 081-098. doi: <http://dx.doi.org/10.2507/daaam.scibook.2019.07>
- Carl May, M., Nestroy, C., Overbeck, L., & Lanza, G. (2023). Automated model generation framework for material flow simulations of production systems. *International Journal of Production Research*, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2284833>
- Castañé, G., Dolgui, A., Kousi, N., Meyers, B., Thevenin, S., Vyhmeister, E., & Östberg, P. O. (2023). The ASSISTANT project: AI for high level decisions in manufacturing. *International Journal of Production Research*, 61(7), 2288-2306. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2069525>
- Cavallo, F., Sinigaglia, S., Megali, G., Pietrabissa, A., Dario, P., Mosca, F., & Cuschieri, A. (2014). Biomechanics-machine learning system for surgical gesture analysis and development of technologies for minimal access surgery. *Surgical Innovation*, 21(5), 504-512. doi: <https://doi.org/10.1177/1553350613510612>
- Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. *ACM computing surveys (CSUR)*, 41(3), 1-58. doi: <http://dx.doi.org/10.1145/1541880.1541882>
- Chaouch, F., Ben Khalifa, A., Zitoune, R., & Zidi, M. (2023). Modeling and multi-objective optimization of abrasive water jet machining process of composite laminates using a hybrid approach based on neural networks and metaheuristic algorithm. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. doi: <https://doi.org/10.1177/09544054231191816>
- Charalambous O., & Hindi, K. S. (1991). A Review of Artificial Intelligence Based Job Shop Scheduling Systems, *Information and Decisions Technologies*, 17,3,189-202.
- Chiarini, A. (2020). Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. *The TQM Journal*. 32(4), 603-616. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/TQM-04-2020-0082>
- Chukhrova, N., & Johannssen, A. (2018). Inspection tables for single acceptance sampling with crisp and fuzzy formulation of quality limits. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 35(9), 1755-1791. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/IJQRM-03-2017-0034>
- Ciccione, F., Bacciaglia, A., & Ceruti, A. (2023). Optimization with Artificial Intelligence in Additive Manufacturing, a systematic review. *Journal of Brazilian Society of Mechanical Sciences of Engineering*, 45, 6. doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04200-2>
- Čisar, P., & Maravić-Čisar, S. (2019). EWMA statistics and fuzzy logic in function of network anomaly detection. *Facta universitatis-series: Electronics and Energetics*, 32(2), 249-265. doi: <http://dx.doi.org/10.2298/FUEE1902249C>
- Clark, C. (1957). *The Conditions of Economic Progress*, 3.Edition, London, Macmillan.
- CoReceptionist (2023), Industry 4.0-What is it? History and Current Applications & Future. Retrieved from <https://coreceptionist.co/industry-4-0-what-is-it-history-current-applications-future>
- Davenport, T. H., & Short, J. E. (2003). The new industrial engineering: Information technology and business process redesign. *Operations management: critical perspectives on business and management*, 97-123.
- Decker, L., Leite, D., Giommi, L., & Bonacorsi, D. (2020, July). Real-time anomaly detection in data centers for log-based predictive maintenance using an evolving fuzzy-rule-based approach. In *2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, pp. 1-8. IEEE. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/FUZZ48607.2020.917762>
- Dehghan Shoorkand, H., Noureifath, M., & Hajji, A. (2023). A deep learning approach for integrated production planning and predictive maintenance. *International Journal of Production Research*, 1-20. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2022.2162618>
- Desoutter (2023), Industrial Revolution - From Industry 1.0 to Industry 4.0. Erişim adresi: <https://www.desouttertools.com/your-industry/news/503/industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-4-0>

- Doumpos, M., Zopounidis, C., Gounopoulos, D., Platanakis, E., & Zhang, W. (2023). Operational research and artificial intelligence methods in banking. *European Journal of Operational Research*, 306(1), 1-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.04.027>
- Du, P., He, X., Cao, H., Garg, S., Kaddoum, G., & Hassan, M. M. (2023). AI-based energy-efficient path planning of multiple logistics UAVs in intelligent transportation systems. *Computer Communications*, 207, 46-55. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2023.04.032>
- Du-Harpur, X., Watt, F. M., Luscombe, N. M., & Lynch, M. D. (2020). What is AI? Applications of artificial intelligence to dermatology. *British Journal of Dermatology*, 183(3), 423-430. doi: <https://doi.org/10.1111/bjd.18880>
- Esteso, A., Peidro, D., Mula, J., & Díaz-Madroñero, M. (2023). Reinforcement learning applied to production planning and control. *International Journal of Production Research*, 61(16), 5772-5789. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2022.2104180>
- Ever, D., Demircioğlu, E. N. (2022). Yapay Zekâ Teknolojilerinin Kalite Maliyetleri Üzerine Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 31(1), 59-72. doi: <https://doi.org/10.35379/cusosbil.1023004>
- Feizabadi, J. (2022). Machine learning demand forecasting and supply chain performance. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 25(2), 119-142. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/13675567.2020.1803246>
- García-Alcaraz, J. L., Díaz Reza, J. R., Villalon Turrubiates, I. E., Lopez Herrera, R., Soto Cabral, A., Ganzalez Lalalde, I., & Rodriguez Alvarez, J. L. (2022). A Non-Invasive Method to Evaluate Fuzzy Process Capability Indices via Coupled Applications of Artificial Neural Networks and the Plackett-Burman DOE. *Instituto de Ingeniería y Tecnología*. doi: <https://doi.org/10.3390/math10163000>
- Geramian, A., Abraham, A., & Ahmadi Nozari, M. (2019). Fuzzy logic-based FMEA robust design: a quantitative approach for robustness against groupthink in group/team decision-making. *International Journal of Production Research*, 57(5), 1331-1344. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1471236>
- Geramian, A., Shahin, A., Minaei, B., & Antony, J. (2020). Enhanced FMEA: An integrative approach of fuzzy logic-based FMEA and collective process capability analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 71(5), 800-812. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/01605682.2019.1606986>
- Ghislieri, C., Molino, M., & Cortese, C. G. (2018). Work and organizational psychology looks at the fourth industrial revolution: how to support workers and organizations? *Frontiers in psychology*, 9, 2365. doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02365>
- Gholizadeh, H., Javadian, N., & Fazlollahtabar, H. (2020). An integrated fuzzy-genetic failure mode and effect analysis for aircraft wing reliability. *Soft Computing*, 24, 13401-13412. doi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-020-04757-3>
- Giudici, P., & Raffinetti, E. (2023). SAFE artificial intelligence in finance. *Finance Research Letters*, 104088. doi: <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104088>
- Gojković, R., Đurić, G., Tadić, D., Nestić, S., & Aleksić, A. (2021). Evaluation and selection of the quality methods for manufacturing process reliability improvement—Intuitionistic fuzzy sets and genetic algorithm approach. *Mathematics*, 9(13), 1531. doi: <https://doi.org/10.3390/math9131531>
- Gomez, C., Guardia, A., Mantari, J. L., Coronado, A. M., & Reddy, J. N. (2022). A contemporary approach to the MSE paradigm powered by Artificial Intelligence from a review focused on Polymer Matrix Composites. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 29(21), 3076-3096. doi: <https://doi.org/10.1080/15376494.2021.1886379>
- Gupta, S., Modgil, S., Bhattacharyya, S., & Bose, I. (2022). Artificial intelligence for decision support systems in the field of operations research: review and future scope of research. *Annals of Operations Research*, 1-60. doi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-020-03856-6>
- Gümüşoğlu, Ş. (2018). Bilimsel yaklaşımlarla değişim, dönüşüm ve kalite 4.0. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33(2), 543-568. doi: <https://doi.org/10.24988/deuibf.2018332773>
- Gürsoy, M. Ü., Çolak, U.C., Gökçe, M. H., Akkulak, C., & Ötleş, S. (2019). Endüstri için kestirimci bakım. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(1), 56-66. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/706015>

- Hassan, A., Purnomo, M. R. A., & Anugerah, A. R. (2020). Fuzzy-analytical-hierarchy process in failure mode and effect analysis (FMEA) to identify process failure in the warehouse of a cement industry. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(2), 378-388. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/JEDT-05-2019-0131>
- Hassouna, M., El-henawy, I., & Haggag, R. (2022). A Multi-Objective Optimization for supply chain management using Artificial Intelligence (AI), *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13,8, 140-149. doi: <https://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130817>
- Hatami, M., & Franz, B. (2021), Using Deep Learning Artificial Intelligence Foresight Method in the Optimization of Planning and Scheduling of Construction Processes, *Computing in Civil Engineering*, 1171-1178. doi: <http://dx.doi.org/10.1061/9780784483893.143>
- Hsieh, Y. C., You, P. S., & Chen, C. S. (2021). Scheduling the periodic delivery of liquefied petroleum gas tank with time window by using artificial intelligence approaches: An example in Taiwan. *Science Progress*, 104(3_suppl), 00368504211040355. doi: <https://doi.org/10.1177/00368504211040355>
- Ivančan, J., & Lisjak, D. (2021). New FMEA risks ranking approach utilizing four fuzzy logic systems. *Machines*, 9(11), 292. doi: <https://doi.org/10.3390/machines9110292>
- Jafarzadeh, H., Akbari, P., & Abedin, B. (2018). A methodology for project portfolio selection under criteria prioritisation, uncertainty and projects interdependency-combination of fuzzy QFD and DEA. *Expert Systems with Applications*, 110, 237-249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.05.028>
- Jiang, J. (2023). A survey of machine learning in additive manufacturing technologies. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1-23. doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2023.2177740>
- Kang, X., & Wang, N. (2022). A hybrid model to develop aesthetic product design of customer satisfaction. *Concurrent Engineering*, 1063293X221138650. doi: <https://doi.org/10.1177/1063293X221138650>
- Kara, İ. 1985, Yöneylem Araştırmasının Yöntembilimi, *Anadolu Üniversitesi Yayınları* 96, Anadolu Üniversitesi Basımevi, 117 s.
- Kaya, İ., ve Engin, O. (2005). Kalite İyileştirme Sürecinde Yapay Zekâ Tekniklerinin Kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 103-114. Erişim adresi:
- <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/191103>
- Kaya, İ., İlbahar, E., & Karaşan, A. (2023). A design methodology based on two dimensional fuzzy linguistic variables for attribute control charts with real case applications. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126, 106792. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106792>
- Kesici, B. ve Yıldız, M. S. (2016). Kalite kontrol faaliyetlerinde Yapay Zekâ kullanımı ve bir otomotiv yan sanayisinde uygulanması. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(12), 307-323. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/272287>
- Kousi, N., Dimosthenopoulos, D., Matthaiakis, A. S., Michalos, G., & Makris, S. (2019). AI based combined scheduling and motion planning in flexible robotic assembly lines. *Procedia CIRP*, 86, 74-79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.041>
- Kula, U., Torkul, O. ve Taşkın, H. (2006). *Endüstri ve sistem mühendisliğine giriş*. Sakarya: Değişim Yayınları.
- Kurt, R. (2022). Control of system parameters by estimating screw withdrawal strength values of particleboards using artificial neural network-based statistical control charts. *Journal of Wood Science*, 68(1), 64. doi: <https://doi.org/10.1186/s10086-022-02065-y>
- Lee, S. M., Lee, D., & Kim, Y.S. (2019). The quality management ecosystem for predictive maintenance in the Industry 4.0 era. *International Journal of Quality Innovation*, 5(1), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1186/s40887-019-0029-5>
- Li, B. H., Hou, B. C., Yu, W. T., Lu, X. B., & Yang, C. W. (2017). Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: a review. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18(1), 86-96. doi: <http://dx.doi.org/10.1631/FITEE.1601885>
- Liu, X., He, X., Wang, M., & Shen, H. (2022). What influences patients' continuance intention to use AI-powered service robots at hospitals? The role of individual characteristics. *Technology in Society*, 70, 101996. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101996>
- Lolli, F., Balugani, E., Ishizaka, A., Gamberini, R., Rimini, B., & Regattieri, A. (2019). Machine learning for multi-criteria inventory classification applied to intermittent demand. *Production Planning &*

- Control*, 30(1), 76-89. doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1525506>
- Ma, G., & Wu, M. (2019). A Big Data and FMEA-based construction quality risk evaluation model considering project schedule for Shanghai apartment projects. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 37(1), 18-33. doi: <http://dx.doi.org/10.1108/IJQRM-11-2018-0318>
- Maiti, C., & Muthuswamy, S. (2023). Classification of materials in cylindrical workpieces using image processing and machine learning techniques. *International Journal of Production Research*, 1-18. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2219344>
- Majumder, M. (2016). Technology as work and work as technology. *International Journal of Human Capital and Information Technology Professionals (IJHCITP)*, 7(1), 20-34. doi: <https://doi.org/10.4018/IJHCITP.2016010102>
- Mariajayaprakash, A., Senthilvelan, T., & Gnanadass, R. (2015). Optimization of process parameters through fuzzy logic and genetic algorithm—A case study in a process industry. *Applied Soft Computing*, 30, 94-103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.01.042>
- Murad, C. A., Melani, A. H. D. A., Michalski, M. A. D. C., Caminada Netto, A., de Souza, G. F. M., & Nabeta, S. I. (2020). Fuzzy-FMSA: Evaluating Fault Monitoring and Detection Strategies Based on Failure Mode and Symptom Analysis and Fuzzy Logic. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B: Mechanical Engineering*, 6(3), 031001. doi: <https://doi.org/10.1115/1.4045974>
- Na'amnh, S., Salim, M. B., Husti, I., & Daróczy, M. (2021). Using artificial neural network and fuzzy inference system based prediction to improve failure mode and effects analysis: A case study of the busbars production. *Processes*, 9(8), 1444. doi: <https://doi.org/10.3390/pr9081444>
- Nitnara, C., & Tragangoon, K. (2023). Simulation-Based Optimization of Injection Molding Process Parameters for Minimizing Warpage by ANN and GA. *International Journal of Technology*, 14(2). doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i2.5573>
- Norzelan, N. A., Mohamed, I. S., & Mohamad, M. (2024). Technology acceptance of artificial intelligence (AI) among heads of finance and accounting units in the shared service industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 198, 123022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123022>
- Öztemel, E. (2020). *Yapay Zekâ ve İnsanlığın Geleceği*, Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi. doi: <https://doi.org/10.53478/TUBA.2020.011>
- Panda, S. K., Mishra, V., Balamurali, R., & Elngar, A. A. (Eds.). (2021). *Artificial Intelligence and Machine Learning in Business Management: Concepts, Challenges, and Case Studies (1st ed.)*. CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003125129>
- Patil, C. K., Husain, M., & Halegowda, N. V. (2018). Study of quality function deployment model based on artificial neural network with optimization techniques. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 17(01), 119-136. doi: <https://doi.org/10.1142/S0219686718500087>
- Petrat, D. (2021). Artificial intelligence in human factors and ergonomics: an overview of the current state of research. *Discover Artificial Intelligence*, 1(1), 3. doi: <http://doi.org/10.1007/s44163-021-00001-5>
- Priore, P., Ponte, B., Rosillo, R., & de la Fuente, D. (2019). Applying machine learning to the dynamic selection of replenishment policies in fast-changing supply chain environments. *International Journal of Production Research*, 57(11), 3663-3677. doi: <http://dx.doi.org/doi:10.1080/00207543.2018.1552369>
- Rasheed, H. M. W., Chen, Y., Khizar, H. M. U., & Safeer, A. A. (2023). Understanding the factors affecting AI services adoption in hospitality: The role of behavioral reasons and emotional intelligence. *Heliyon*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16968>
- Reda, H., & Dvivedi, A. (2022). Decision-making on the selection of lean tools using fuzzy QFD and FMEA approach in the manufacturing industry. *Expert Systems with Applications*, 192, 116416. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116416>
- Sabahno, H., & Niaki, S. T. A. (2023). New Machine-Learning Control Charts for Simultaneous Monitoring of Multivariate Normal Process Parameters with Detection and Identification. *Mathematics*, 11(16), 3566. doi: <https://doi.org/10.3390/math11163566>
- Sharma, A., Zhang, Z., & Rai, R. (2021). The interpretive model of manufacturing: a theoretical framework and research agenda for machine learning in manufacturing. *International Journal of Production Research*, 59(16), 4960-4994. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1930234>
- Singh, A., & Kumar, S. (2021). Picture fuzzy set and quality function deployment approach based novel

- framework for multi-criteria group decision making method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 104, 104395. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104395>
- Singh, R., & Mishra, V. K. (2023). Machine learning based fuzzy inventory model for imperfect deteriorating products with demand forecast and partial backlogging under green investment technology. *Journal of the Operational Research Society*, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1080/01605682.2023.2239868>
- Siskon (2023), Endüstri Devriminin Tarihsel Gelişimi. Erişim adresi: <https://www.siskon.com.tr/haberler/endustri-devriminin-tarihsel-gelisimi>
- Souza, F. F., Corsi, A., Pagani, R. N., Balbinotti, G., & Kovaleski, J. L. (2021). Total quality management 4.0: adapting quality management to Industry 4.0. *The TQM Journal*, 1-21. doi: <https://doi.org/10.1108/TQM-10-2020-0238>
- Stancheva-Todorova, E.P. (2018). How artificial intelligence is challenging accounting profession. *Journal of International Scientific Publications Economy & Business*, 12, 126-141. Erişim adresi: <https://www.scientific-publications.net/get/1000031/1536783976137495.pdf>
- Swamidass, P.M. (Ed.), (2000), Moving assembly line, *Encyclopedia of production and manufacturing management*. Springer Science & Business Media, Boston, MA. doi: https://doi.org/10.1007/1-4020-0612-8_596
- Swarnkar, A., Swarnkar, A. (2020). Artificial Intelligence based optimization techniques: A Review. *Intelligent Computing Techniques for Smart Energy Systems*, 95-103. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-0214-9_12
- Şahan, A.N. (2020). *Stratejik yönetim perspektifinden sigortacılık sektöründe Makine Öğrenmesi algoritmaları ile anomali tespiti* [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Tamasiga, P., Onyeaka, H., Bakwena, M., Happonen, A., & Molala, M. (2023). Forecasting disruptions in global food value chains to tackle food insecurity: The role of AI and big data analytics—A bibliometric and scientometric analysis. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100819. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100819>
- Teksen, H. E., & Anagün, A. S. (2018). Type 2 fuzzy control charts using likelihood and defuzzification methods. In *Advances in Fuzzy Logic and Technology 2017: Proceedings of: EUSFLAT-2017—The 10th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology, September 11-15, 2017, Warsaw, Poland IWIFSGN'2017—The Sixteenth International Workshop on Intuitionistic Fuzzy Sets and Generalized Nets, September 13-15, 2017, Warsaw, Poland, Volume 3 10* (pp. 405-417). Springer International Publishing. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-66827-7_37
- Testik, O. M., & Unlu, E. T. (2023). Fuzzy FMEA in risk assessment for test and calibration laboratories. *Quality and Reliability Engineering International*, 39(2), 575-589. doi: <http://doi.org/10.1002/qre.3198>
- Tseng, C. Y., Li, J., Lin, L. H., Wang, K., White III, C. C., & Wang, B. (2023). Deep reinforcement learning approach for dynamic capacity planning in decentralised regenerative medicine supply chains. *International Journal of Production Research*, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2262043>
- Wan, (2020). Economic-statistical design of integrated model of VSI control chart and maintenance incorporating multiple dependent state sampling. *IEEE Access*, 8, 87609-87620. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2993024>
- Wan, Q., Chen, L., & Zhu, M. (2023). A reliability-oriented integration model of production control, adaptive quality control policy and maintenance planning for continuous flow processes. *Computers & Industrial Engineering*, 176, 108985. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.108985>
- Wang, W., Li, R., Chen, Y., Diekel, Z. M., & Jia, Y. (2018). Facilitating human-robot collaborative tasks by teaching-learning-collaboration from human demonstrations. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 16(2), 640-653. doi: <https://doi.org/10.1109/TASE.2018.2840345>
- Wiers, V. C. S. (1997), A Review of the Applicability of OR and AI scheduling techniques in Practice, *OMEGA-International Journal of Management Science*, 25,2,145-153. doi: [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(96\)00050-3](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(96)00050-3)
- Xia, H., Muskat, B., Li, G., & Prayag, G. (2023). Ai-based counterfactual reasoning for tourism research, 101, 103617. doi: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2023.103617>
- Yaiprasert, C., & Hidayanto, A. N. (2023). AI-driven ensemble three machine learning to enhance digital marketing strategies in the food delivery

- business. *Intelligent Systems with Applications*, 18, 200235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200235>
- Yamamura, C. L. K., Santana, J. C. C., Masiero, B. S., Quintanilha, J. A., & Berssaneti, F. T. (2022). Forecasting New Product Demand Using Domain Knowledge and Machine Learning: A proposed method uses machine learning and an expert's domain knowledge to enhance the accuracy of new product predictions. *Research-Technology Management*, 65(4), 27-36. doi: <https://doi.org/10.1080/08956308.2022.2062553>
- Yasir, M., Ansari, Y., Latif, K., Maqsood, H., Habib, A., Moon, J., & Rho, S. (2022). Machine learning-assisted efficient demand forecasting using endogenous and exogenous indicators for the textile industry. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-20. doi: <https://doi.org/10.1080/13675567.2022.2100334>
- Yeganeh, A., Abbasi, S. A., Shongwe, S. C., Malela-Majika, J. C., & Shadman, A. R. (2023). Evolutionary support vector regression for monitoring Poisson profiles. *Soft Computing*, 1-25. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-023-09047-2>
- Yeganeh, A., Johannssen, A., Chukhrova, N., Abbasi, S. A., & Pourpanah, F. (2023). Employing machine learning techniques in monitoring autocorrelated profiles. *Neural Computing and Applications*, 1-20. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08483-3>
- Yildirim, S. (2023), Python Libraries You Need to Know in 2023. Erişim adresi: <https://learnpython.com/blog/python-libraries/>.
- Yoo, S. D., Kim, J. Y., Han, S. K., Lee, B. H., Choi, D. H., & Park, E. S. (2023). Development of prediction model with machine learning in continuous twin screw granulation. *Journal of Pharmaceutical Investigation*, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1007/s40005-023-00625-y>
- Zhang, HF., Ge, HW., Tong, YB. (2022). Review of Vehicle Routing Problems: Models, Classification and Solving Algorithms. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29,1 195-221. doi: <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09574-x>
- Zhang, Y., Peng, P., Liu, C., & Zhang, H. (2019). Anomaly detection for industry product quality inspection based on Gaussian restricted Boltzmann machine. *Ekim 2019, IEEE International Conference On Systems, Man And Cybernetics*, 1-6. Erişim adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=8914524>
- Zhang, Y., Zhu, H., Tang, D., Zhou, T., & Gui, Y. (2022). Dynamic job shop scheduling based on deep reinforcement learning for multi-agent manufacturing systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 78, 102412. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102412>