



TASARIM, SÜREÇ YENİLİĞİ VE DİJİTAL DÖNÜŞÜM İLE TOPLAM VERİMLİLİĞİN ARTTIRILMASINA İLİŞKİN ÖRNEK BİR UYGULAMA

Erhan ÖZKAN*

Dikkan Ar-Ge Merkezi, İzmir, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Ürün Verimliliği,
Sistem Verimliliği,
Dijital Dönüşüm,
Süreç Yeniliği,
Operasyonel Verimlilik.

Öz

Çalışmanın temel amacı tasarımdan son kullanıma kadar olan süreçlerdeki topyekûn verimlilik artışının detaylı olarak ele alındığı özgün bir çalışmanın literatüre kazandırılmasıdır. Çalışmada tasarım ile ürün verimliliğinin, süreç optimizasyonu ile enerji verimliliğinin, dijital dönüşüm ile operasyonel verimliliğin artırılmasına ilişkin bilgisayar destekli tasarım, simülasyon, sayısal analiz ve dijital dönüşüm yazılımlarından faydalanılmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde tasarım iyileştirme ile ürün veriminde %81,5, süreç optimizasyonu ile enerji ve işçilikte %45, operasyonel verimlilikte ise %55 mertebelerinde artış elde edilerek ülke ekonomisine katkıda bulunacak bir sistem kazandırılmıştır. 3D tasarımlar Solidworks katı modelleme ve tasarım programlarında gerçekleştirilmiştir. Mekanik işlemler ANSYS simülasyon programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. ANSYS Fluid modu kullanılarak akış katsayısını ve sıvı direnci katsayısını tanımlamak için hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri yapılmıştır. Üretim parametrelerinin tanımlanması için Anycasting simülasyon programları kullanılmıştır. Dijital dönüşüm kapsamında ülkemizde ilk defa üretim ekipmanları ile hiçbir ara yazılım kullanılmadan haberleşebilen, harici bir yazılım ve lisansa ihtiyaç duyulmadan çalışabilen özgün bir veri izleme sistemi hayata geçirilmiştir.

A SAMPLE PRACTICE ON INCREASING TOTAL EFFICIENCY WITH DESIGN, PROCESS INNOVATION AND DIGITAL TRANSFORMATION

Keywords

Product Efficiency,
System Efficiency,
Digital Transformation,
Process Innovation,
Operational Efficiency.

Abstract

The primary goal of this research is to bring an original study into the literature, in which the overall productivity increase in the processes from design to final use was discussed in detail. In the study, computer aided design, simulation, numerical analysis, and digital transformation software were used to increase product efficiency with design, process optimization and energy efficiency, and operational efficiency with digital transformation. With the findings obtained, an increase of 81.5% in product efficiency with design, 45% in energy and labour through process optimization, and 55% in operational efficiency has been achieved, resulting in a system that will benefit the economy of the nation. 3D designs were realized in Solidworks solid modelling and design programs. Mechanical were carried out with FEA method by using the ANSYS simulation program. CFD analyses were carried out to define flow coefficient, and fluid resistance coefficient by using the ANSYS Fluid mode. Anycasting simulation programs was used to define the production parameters. Within the scope of digital transformation, first time ever in our nation, a unique data monitoring system that can communicate with production equipment without use of any middleware and may run without requiring an external software and license has been implemented.

Alıntı / Cite

Özkan, E., (2024). Tasarım, Süreç Yeniliği ve Dijital Dönüşüm ile Toplam Verimliliğin Arttırılmasına İlişkin Örnek Bir Uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 12(1), 156-175.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E.Özkan , 0000-0002-3849-6713

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.05.2023
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.09.2023
Kabul Tarihi / Accepted Date	21.02.2024
Yayın Tarihi / Published Date	25.03.2024

* İlgili yazar / Corresponding author: erhan.ozkan@dikkan.com , +90-232-877-1714

A SAMPLE PRACTICE ON INCREASING TOTAL EFFICIENCY WITH DESIGN, PROCESS INNOVATION AND DIGITAL TRANSFORMATION

Erhan ÖZKAN^{1†}

Dikkan R&D Center, İzmir, Türkiye

Highlights

- Net weight was decreased by design operations from 42.4 kg to 29.1kg.
 - Total consumption energy from production to end of lifecycle was decreased from 1800 MJ to 1365 MJ.
 - The increase in the product efficiency was increased %81.5 by computer aided design, analyses, and simulation.
 - Operational efficiency was increased %36 by the help of digital transformation.
-

Graphical Abstract

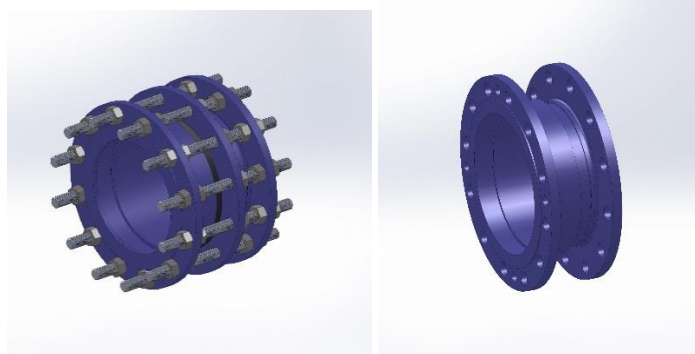


Figure. The Visual of Old Design and Process (left), New Design and Process Optimization

Purpose and Scope

The motivation that started this study was the desire to discuss the overall productivity increase in the process from design to final use in detail.

Design/methodology/approach

Computer aided design, simulation, numerical analysis, and digital transformation software were used to increase product efficiency with design, process optimization and energy efficiency, and operational efficiency with digital transformation.

Findings

With the findings obtained, an increase of 81.5% in product efficiency with design, 45% in energy and labour through process optimization, and 55% in operational efficiency has been achieved, resulting in a system that will benefit the economy of the nation.

Research limitations/implications

The process to fulfil the requirements of EN 1267 and EN 1074 standards by using raw material data in accordance with EN GJS 400-18 LT standard of valves widely used in drinking water, distribution lines, industrial applications, water treatment plants, pumping stations, sea water applications and industrial waste systems.

Practical implications

Reducing the friction on the flap surface in valve systems, which are widely used in water transport systems and whose discovery dates back centuries, to achieve low carbon emissions and high energy efficiency with a unique design. Then, to increase system efficiency with process improvements and finally to develop software systems that will maximize operational efficiency with digital transformation. For this purpose, current products and fluid dynamics calculations with the desired target have been reviewed with simulation studies and the design processes that will minimize the friction on the surface regarding to computer-aided design and prototype manufacturing were explained in detail.

[†] Corresponding author: erhan.ozkan@dikkan.com , +90-232-877-1714

Social Implications

Per capita water consumption in the world is around 800 m³, 1.4 billion people, which corresponds to approximately 20% of the world's population, cannot benefit from adequate drinking water, while 2.3 billion people are completely deprived of drinking water. It is predicted that the number of countries suffering from water shortages will increase to 54 and the number of people who must live under these conditions will increase to 3.76 billion in 2050, which means that 40% of the world's population, expecting to be 9.4 billion in 2050, will suffer from water shortages. In this case, it has become inevitable to use water resources effectively and to prevent water waste. For this purpose, it has become inevitable to minimize water loss in fluid transportation and storage systems.

Originality

Within the scope of digital transformation, first time ever in our nation, a unique data monitoring system that can communicate with production equipment without the use of any middleware and may run without requiring an external software and license has been implemented.

1. Giriş (Introduction)

Verimlilik; üretim, hizmet, servis sistemlerinde meydana gelen çıktı ve bu çıktı için harcanılan girdiler arasındaki ilişkinin en yalın ifadesidir ve çok az veya hiç israf etmeden, minimum kaynaklar ile nihai hedefe ulaşma yeteneği olarak tanımlanabilir (Young ve diğerleri, 2020). Farklı kaynaklarda çeşitli uygulamalar için birden fazla tanımla ile karşılaşılması sebebiyle etkinlik, etkililik, üretkenlik gibi terimlerle çoğunlukla karıştırılmaktadır. Daha sade bir ifadeyle verimlilik, sahip olunan kaynakların mümkün olan en iyi şekilde kullanılmasıyla hedeflenen sonuca ulaşma metodolojisidir (Wang ve diğerleri, 2019).

Önceki senelerde imalat ve üretim terimleri arasındaki farklılıkların anlatıldığı, katma değer ve hizmetin imalatı üretime dönüştürdüğü çalışmalar etkin üretim araştırmalarının temelini oluşturmuştur. Bu da üretkenlik ve verimlilik terimlerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Zakari ve diğerleri, 2022). İmalat bir ürünü hammadde ve yarı-mamullerden nihai şekline dönüştürme gibi daha genel bir ifadeyken, üretim bu dönüştürme işleminde somut olmayan tasarım, danışmanlık, insan kaynakları, finans gibi hizmetlerin bütünsel ele alındığı bir süreci kapsamaktadır (Thakur ve diğerleri, 2021). Üretim sistemlerinin geliştirilmesi ile üretkenlik terimi hayatımıza girmiştir. Sade bir ifadeyle üretkenlik; bir ekip, işletme veya birey tarafından üretilen iş miktarıdır. Kalite sistemlerinin gelişmesi, yalın üretim yaklaşımı, azalan doğal kaynaklar ve artan maliyetler ile üretilen iş miktarı için kullanılan kaynakların yüksek oranı verimlilik terimini ortaya çıkartmıştır (Sickers ve Valentin, 2019; Dieppe, 2021: 42; Kazekami 2020; Pan ve diğerleri, 2022; Audretsch ve Maksim, 2020; De Loecker ve Chad, 2021).

Verimlilik çoğunlukla teknik bir terim olarak ele alınmakla birlikte sosyal bir kavram olduğu düşünülerek konu hakkında yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Sosyal verimlilik kavramı, yeni devlet yönetimi paradigması bağlamında ele alınmaktadır. Buna göre sosyal verimlilik; devlet, kurum ve kuruluşların kaynak tahsisi sorununu ekonomik olarak ele almasını içeren politik bir metodolojidir. Bir kararın ve/veya politikanın tüm özel ve sosyal maliyet ve faydalarını dikkate almak anlamına gelmektedir (Çankaya ve Sezen, 2019; Flammer ve diğerleri, 2019; Dubey ve diğerleri, 2019; Brogi ve Valentina, 2019; Xie ve diğerleri, 2019).

Gerek teknik gerekse de sosyal verimlilik konularında ortak olan nokta ekonomik olarak insan ve tabiata fayda sağlayan sistemlerin bütünlük olarak ele alınmasıdır. Ekonomistler fayda sağlayan bu sistemi; tahsis verimliliği, üretken verimlilik ve dinamik verimlilik başlıkları altında değerlendirmektedir (Chen ve diğerleri, 2019). Tahsis verimliliği, üretimin tüketici tercihleriyle uyumlu olduğu ekonomik bir durumdur. Bir malın (ya da bir hizmetin), üretiminden son tüketiciye kadar giden yolda marjinal üretim maliyetlerinin marjinal faydaya eşit olduğu seviyeye kadar sunulmasıdır (Sun ve diğerleri, 2019). Bir başka ifadeyle; bir toplumun ürettiği belirli mal karışımının, toplumun en çok arzuladığı bileşimi temsil etmesi anlamına gelir. Örneğin, daha genç bir nüfusa sahip olan bir toplum sağlık hizmetleri üretimi yerine eğitim üretimini tercih eder. Üretim verimliliği olarak da bilinen üretken verimlilik, bir ekonomideki kaynaklardan mümkün olan en büyük çıktıyı üretmenin iktisadi kavramıdır (Safitri ve diğerleri, 2020). Bir şirketin bir üründeki üretken verimliliğe ulaştığı noktada ya başka bir ürünün üretim seviyesini düşürmesi ya da ek birim oluşturması gerekliliği dinamik verimlilik kavramını ortaya çıkartmıştır. Dinamik verimlilik, zaman içinde tahsis ve üretken verimliliğin iyileştirilmesini içerir. Bu, yeni veya daha iyi ürünler geliştirmek ile mal ve hizmet üretmenin daha iyi yollarını bulmak anlamına gelebilmektedir (Dong ve diğerleri, 2022; Sun ve diğerleri, 2016; Hatfield ve Dold, 2019; Economidou ve diğerleri, 2020; Nuchturee ve diğerleri, 2020; Bimpizas ve diğerleri, 2021).

Verimlilik artırma uçtan uca ele alınması gereken bir kavramdır. Ürün, süreç ve sistemlerdeki verimlilik artırma çalışmaları kurum ve kuruluşların öncelikleri haline gelmiştir. Tüm süreçlerde verimlilik artışı kaliteden ödü

vermeden maliyet düşürme proseslerini içermektedir. Maliyet düşürme; doğal kaynakların, iş gücünün, hammaddenin, enerjinin üretim, nakliye ve depolama süreçlerinde minimum seviyede kullanılmasını içeren sistematigi kapsar. Bunu sağlamak için ürünlerde tasarım, süreçlerde optimizasyon ve üretimde dijital dönüşüm çalışmalarına ağırlık verilmektedir (Wu ve diğerleri, 2020; Xu ve diğerleri, 2020; Guo ve Yijun, 2020; Bampatsou ve Halkos, 2019).

Bu çalışmada; tasarım geliştirme, süreç optimizasyonu ve dijital dönüşüm ile toplam verimlilik değerlerinin artırılması ve operasyonel verimliliğin yükseltilmesine ilişkin gerçekleştirilen araştırmaların detaylarına ait verilerin paylaşılması amaçlanmıştır. Bu nedenle ilk aşamada; günümüzün önemli konularından bir tanesi olan su kaynaklarının verimli kullanılması, suyun israfının ortadan kaldırılması, gereksiz kullanımların minimize edilmesi amacıyla su sistemlerini kontrol eden vanaların tasarımı üzerine gerçekleştirilen araştırmalara yer verilmiştir. Bu amaçla bilgisayar destekli tasarım, simülasyon ve dijital analiz sistemlerinden faydalanılmak suretiyle tasarım geliştirilerek verim artışı sağlanmıştır. Bu çalışmalarda önemli bir diğer konu ise bilgisayar destekli tasarım, simülasyon sistemleri ve analiz programları etkin bir şekilde kullanılarak ürünlerin üretilip sahaya alınmasına gerek kalmadan zaman, malzeme, enerji ve iş gücü tasarrufları sağlanmış, yanlış veya hatalı bir uygulamanın sebep olabileceği maddi kayıpların önüne geçilmiştir. Birinci aşamada malzeme ve enerji değerlerinde elde edilen tasarruflarla verimlilik sağlanmış ancak lojistik ve montaj verilerinde bir iyileşme kaydedilmemiştir. İkinci aşamada süreç optimizasyonu çalışmaları ile ürünlerin sahaya sevki ve sahadaki montaj uygulamalarının iyileştirilmesi ile artan verimlilik çalışmalarının detayları aktarılmıştır. Lojistik verimliliğini arttırmak amacıyla ürünler hafifleştirilmiş, boyları kısaltılmış ve depolama alanı arttırılacak şekilde süreçler iyileştirilmiştir. Montaj verimliliğini arttırmak için ürünlerdeki bağlantı ve sızdırmazlık elemanlarının süreci yeniden ele alınarak minimum enerji ve işçilik ile komponentlerin bir araya getirilebileceği bir süreç geliştirilmiştir. Üçüncü ve son aşamada operasyonel verimlilik değerlerinin yükseltilmesi için dijital dönüşüm süreçlerinin detayları aktarılmıştır. Döküm yöntemi ile üretilen ürünlerin simülasyon programları ile döküm üretiminin veriminin artırılması operasyonel verimliliğin artışına çok büyük bir katkı sağlamamaktadır. Burada esas olan nokta üretim verilerinin dijital olarak kayıt altına alacak yazılımların geliştirilmesi, alınan kayıtların işleneceği otomasyon sistemlerinin devreye alınması ile toplanan verilerin kayıt altına alınarak büyük veri, nesnelere interneti, yapay zekâ çalışmalarının temelini oluşturulmasıdır. Çalışmanın benzer çalışmalara göre fark meydana getiren, tasarım ve süreç iyileştirme aşamalarında elde edilen verimlilik artışını taçlandıran özgün kısmı bu dijital dönüşüm sisteminin geliştirilmesi ve devreye alınmasıdır. Türkiye’de ilk defa üretim ile hiçbir ara yazılıma ihtiyaç duymaksızın veri alış-verişinde bulunabilen, makineler arasında haberleşebilen, ilave bir yazılım ve lisansa ihtiyaç duymadan çalışabilen özgün bir veri izleme sistemi tasarlanmış, entegrasyonu sağlanmış ve canlı uygulamaya geçilmiştir. Özgün vana tasarımının çıktısı olan ürün KOSGEB Ar-Ge İnovasyon Destek Programı neticesinde başarıyla sonuçlanarak iki ulusal, iki uluslararası patent başvurusu ile tescil edilmiştir. Süreç optimizasyon çalışmalarında elde edilen özgün demontaj sistemine ait faydalı model başvurusu gerçekleştirilmiş ve bu çalışmaların operasyonel verimliliğini arttırmaya yönelik dijital dönüşüm için geliştirilen sistem TÜBİTAK tarafından desteklenen “1501-Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı” kapsamında başarıyla tamamlanan bir proje ile sonlandırılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde bu bilgilerin ana sebepleri anlatılmış, ikinci bölümünde ise literatürde yer alan tasarım geliştirme, süreç optimizasyonu ve dijital dönüşüm araştırmalarının detayları aktarılmış, bu araştırmalar ile verimlilik arttırmaya yönelik olan örnek uygulamalara yer verilmiştir. Bu örneklerin detaylarına inildiğinde uçtan uca verimlilik artışının ele alındığı bir çalışmanın henüz yer almadığının gözlenmesi neticesinde üçüncü bölümde; tasarım ile ürün verimi, optimizasyon ile süreç verimi ve dijital dönüşüm ile operasyonel verimliliği arttıran yöntemlerin detayları aktarılmış, dördüncü bölümde bu yöntemlere ait bulgular ele alınmış, beşinci bölümde ise sonuçlar ve değerlendirmelere yer verilerek çalışma sonlandırılmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

OECD ülkeleri tarafından verimlilik arttırmaya yönelik Ar-Ge faaliyetleri Frascati (TÜBİTAK, 2002), Oslo (TÜBİTAK, 2005) ve Canberra Kılavuzlarında (TÜBİTAK, 1995) tanımlanmış olup Türkiye’de bu faaliyetleri yürütmek adına Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu tarafından TÜBİTAK’ın görevlendirildiği tebliğ edilmiştir (TÜBİTAK, 2010). Frascati Kılavuzu ile ürünlerde gerçekleştirilen tasarım, araştırma ve geliştirme faaliyetleri tanımlanmıştır. Buna göre ürün tasarımı; temel araştırma (basic research), uygulamalı araştırma (applied research) ve deneysel geliştirme (experiental development) aşamalarından oluşmaktadır. Ürünün temel bilimler ışığında ele alınması ile fizik, kimya, biyoloji ve matematik alanlarının çalışmalarını kapsayan fazların bir bütün olarak ele alınması temel araştırmayı özetlemektedir (Evkaya, 2021). Suyun tasarrufuna ilişkin çalışmalarda biyolojik su döngüsü, kimyasal olarak suyun ayrıştırılması, fiziksel olarak akış karakteristiğinin belirlenmesi ve matematiksel olarak akış hızına göre verimlerinin hesaplanmasından faydalanılmaktadır. Temel araştırma aşamasından elde edilen veriler ele alınarak uygulamalı araştırma kademesine geçilir (Karakuş, 2021). Uygulamalı araştırma kısmında sayısal analiz, simülasyon, akışkanlar mekaniği, sonlu elemanlar analizi, bilgisayar destekli tasarım çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar destekli tasarım İngilizce Computer Aided Desing kelimelerinin baş harflerin kısaltılması ile CAD şeklinde kısaca tanımlanmakta olup tasarım süreçlerine yardımcı

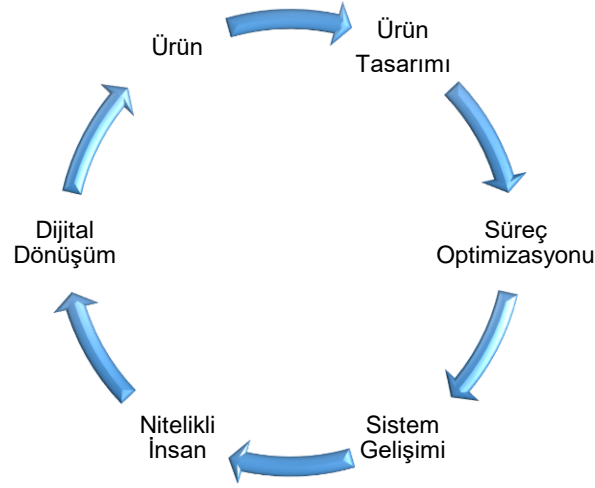
olmak için bilgisayar tabanlı yazılımların kullanılmasıdır (Falivene ve diğerleri, 2019; Jhamb ve diğerleri, 2020; Otte, 2020). CAD yazılımı, farklı türde mühendisler ve tasarımcılar tarafından sıklıkla kullanılmakta olup; iki boyutlu (2D) çizimler veya üç boyutlu (3D) modeller oluşturmak için yaygın olarak tercih edilmektedir. CAD yetenekleri; teknolojik uzmanlık, güçlü bilgisayar becerileri, mühendislik, eleştirel düşünme, iletişim ve endüstri bilgilerinin sentezini kapsar (Hussein ve diğerleri, 2020; Zakoldaev ve diğerleri, 2019). Mekanik ve yapısal tasarım becerileri ile mühendislik ilkelerini anlamayı içerir (Wu ve diğerleri, 2019). Uygulamalı araştırma sürecini takip eden deneysel geliştirme kısmı ise prototip üretim, pilot üretim ve saha uygulamalarının gerçekleştirildiği, uygulamalı araştırma verilerinin geçerli kılındığı prosesleri detaylandırmaktadır. Deneysel geliştirme, ürün tasarımının her türlü gelişmelerinin ve verimlilik değerlerinin elde edildiği nihai kısımdır. Bir sonraki aşamada üründen süreçlere geçişin temelleri sağlanmış olunur. Bu da süreç optimizasyonu ile sağlanmaktadır ve bu süreçle ilgili verimlilik Oslo Kılavuzu'nda detaylandırılmıştır.

Oslo Kılavuzu'na göre yenilik (inovasyon); bir süreçte optimizasyonun sağlanması, verimliliğin yükseltilmesi, lojistik ve montaj sisteminin hayata geçirilmesine ait sistematik çalışmaların bir bütünüdür. Frascati Kılavuzu'nda ürüne ait yenilik verileri ele alınmış olması sebebiyle Oslo Kılavuzu'nda tanımlanan inovasyon, süreçlerde meydana gelen revizyonları içermektedir. TÜBİTAK tarafından tercüme edilen Oslo Kılavuzu'nda bir ürünün üretimine, lojistiğine ve montajına ait birim maliyetlerin azaltılması, kalitenin artırılması veya önemli derecede iyileştirilmiş ürünleri üretmenin ve teslim etmenin detaylarını kapsamaktadır (TÜBİTAK, 2006). Otomasyon sistemlerinin geliştirilmesini takiben süreçleri organize edebilen üretim sistemleri, yazılımlar ve robotik uygulamaların ele alındığı dijital dönüşüm stratejileri ise kritik bir öneme sahiptir (Vishwakarma ve diğerleri, 2019).

Dijital dönüşüm, kurum ve kuruluşların temel değişimini yönlendirmek için teknolojilerini işletmelerine entegre ettiği süreç olarak tanımlanmaktadır (Vial, 2019). Sağladığı faydalar; artan verimlilik, daha fazla iş çevikliği ve nihayetinde çalışanlar, müşteriler ve hissedarlar için yeni değerlerin kilidini açma olarak özetlenebilmektedir. Dijital dönüşüm örnekleri arasında bir bulut ortamına geçiş, uzaktan hazır olma, çalışanlara yeniden beceri kazandırma, müşteri desteğini ve hizmetini hızlandırmak için otomasyon uygulama ve satış verimliliğini artırmak için yapay zekâ güdümlü içgörülerini kullanma gibi bilişim teknolojilerinin modernizasyonu yer alır. Dijital dönüşüm stratejileri 3-D metodu ile ele alınabilir; Doğru sistem, Doğru proses, Doğru insan (Tabrizi ve diğerleri, 2019; Ziyadin ve diğerleri, 2020; Gong ve Vincent, 2021; Correani ve diğerleri, 2020). Sistem Frascati Kılavuzu'nda ve proses Oslo Kılavuzu'nda tanımlanmış olmakla birlikte insan faktörü ise Canberra Kılavuzu'nda net bir şekilde ifade edilmiştir.

Canberra Kılavuzu'nda bilim ve teknolojinin geliştirilmesine, verimliliğin artırılmasına ve refahın yükseltilmesine ilişkin insan kaynağının ölçümü ve verilerin analizini içermektedir. Operasyonel verimlilik çalışmalarının önemli temelini oluşturan insan faktörü bu kılavuzda detayları ile aktarılmış, teknolojik ve ekonomik büyüme, sosyal gelişim, iktisadi ilerleme başlıkları altında detaylandırılmıştır (Santa ve diğerleri, 2019; İris ve Jasmine, 2019; Su ve diğerleri, 2019). Verimin ele alınmasında insan faktörünün sadece bir çıktı olarak değerlendirilmemesi gerektiği, insandan elde edilen katma değer toplam kalite ve verimlilik yönetiminde önemli bir rol oynadığı unutulmamalıdır. Kişisel verimlilik, strese girmeden veya iş dengesine sahip olmadan işleri bir sisteme göre halletmek ve sadece günlük hedeflere odaklanmak yerine, işleri geciktirme veya uzun vadeli hedeflere ulaşabilme nedeniyle asla aşırı yüklenmemek anlamına gelir (Halaç ve Güloğlu, 2019). Günümüzde insana verilen değer artması ile daha katma değerli işlerin insan gücüyle yapılıp, makine ve otomasyon sistemlerine geçişin sağlanması dijital dönüşüm sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Konu detaylı olarak ele alındığında; ürün, süreç, sistem, insan, dijital dönüşüm ve ürün olarak süreç döngüsüne girdiği gözlenmektedir. Şekil 1'de bu döngünün görseli yer almaktadır.

Şirketlerin dijital dönüşüme geçmesinin ana nedeni var oluş sebepleri olan faaliyetlerini sürdürme amacına hizmet etmesidir. Bu da şirketlerin kârlılıklarını arttırması ile mümkün olabilmektedir. Genel olarak düşük verimliliğe sahip olan firmaların kârlılıkları da çok hızlı oranda düşüş göstermektedir. Düşük kârlılık seviyelerine sahip olduğunu tespit eden bir işletme bu durumun düşük verimlilikler ile orantılı olduğunu farkına varıp daha fazla veri analizi yaparak gerekli olan düzeltici ve önleyici faaliyetleri hızlı bir şekilde almalıdır çünkü artan verimlilik çok kısa bir sürede kârlılığa yol açmayacağı için kaybedilecek her bir küçük zaman dilimi büyük zararlar olarak geri dönecektir. Tablo 1'de bu durum daha somut ve yalın bir şekilde ifade edilmiştir (Kaya, 2020; Prokopenko, 1987).



Şekil 1. Ürün Dijital Dönüşüm Yaşam Döngüsü (Product Digital Transformation Lifecycle)

Tablo 1. Kârlılık ve Verimlilik İlişkisi (Profitability and Efficiency Relationship)

Vaka	Koşul			Öyleyse	
	Kâr(lılık)	Verim(lilik)		Sonuç	Aksiyon
1	Yüksek	Yüksek	→	Güçlü ve istikrarlı finansal yapı	Verimlilik seviyeni muhafaza et
2	Yüksek	Düşük	→	Yüksek kârlılık uzun süre devam etmeyecektir	Verimliliğini yükseltecek aksiyonları al
3	Düşük	Yüksek	→	Tehlike çok yakında, zararına satış ve kapanma riski mevcut	Pazarlama stratejilerini ve fiyatlandırma politikasını gözden geçir
4	Düşük	Düşük	→	İflas	Verimliliğini arttır ve reklam politikasını iyileştir

Verimlilik ve kârlılık terimleri arasındaki bu ilişkinin gelişmesi ile operasyonel verimlilik tanımı önem kazanmıştır. Topyekûn verimli çalışma olarak da tanımlanan bu terim; işletmeye hizmet etmek için zaman, insan, ekipman, envanter ve para gibi kaynakları optimize edilmiş bir şekilde kullanmak anlamına gelmektedir. Daha yalın ve çevik stratejilere sahip olan ve bu felsefe ile yatırımlarını yapan firmaların daha kârlı faaliyetlerini yürüttükleri ve sürdürülebilirliklerini sağlam temellere dayandırdığı tespit edilmiştir (Cavlak, 2021; Ulusoy, 2021).

2013-2023 yılları arasında gerçekleştirilen literatürler akademik arama portalında tarandığında tasarım ile verimlilik artışına ilişkin 25103, süreç optimizasyonu ile verim artışına dair 14239, operasyonel verimlilik ile ilgili 16002, dijital dönüşüm ile ilgili 13903 makalenin yayımlandığı tespit edilmiş ancak tasarım, süreç optimizasyonu, operasyonel verimlilik ve dijital dönüşüm ile uçtan uca verimliliğin ele alındığı bir yayının bulunmadığı tespit edilmiştir (TÜBİTAK, 2023). Bu amaçla yapılan sistematik çalışmaların yöntemi hakkında detaylı verilerin sunulduğu yöntem aşamasına geçilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Doğal su kaynakları verimliliğinin artmasında kritik bir önemi olan ve su taşıma, depolama sistemlerinin kontrolünü sağlayan vanalar ve bu vanaların hatlardaki kurulumunu sağlayan demontaj sistemlerindeki verimlilik artış çalışmaları üç aşamada detaylı olarak ele alınmıştır. İlk aşamada ürün tasarımı ile vanalardaki verimlilik artışı bilgisayar destekli simülasyon ve analiz sistemleri ile değerlendirilmiş, sonrasında süreç yeniliği ile montaj sistemlerindeki verimlilik artışı detaylı olarak aktarılmış ve son olarak dijital dönüşüm ile online veri izleme sistemleri geliştirilerek operasyonel verim artışı verileri ile ispatlanıp kayıt altına alınmıştır.

3.1. Ürün Tasarımı ile Verimliliğin Arttırılması (Increasing Efficiency with Product Design)

Vanada gerçekleştirilen tasarım iyileştirmeleri ile; doğal su kaynaklarının verimli kullanılması, ürünlerin hafifleştirilmesiyle enerjinin verimli kullanılması, nihai ürünlerin montajı esnasındaki işçiliklerin azaltılması ile çalışanların verimliliklerinin arttırılmasına ilişkin çalışmalar ele alınmıştır. Bu çalışmalarda hesaplamalı akışkanlar mekaniğinden faydalanılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar mekaniği vana sektöründe yaygın olarak tercih

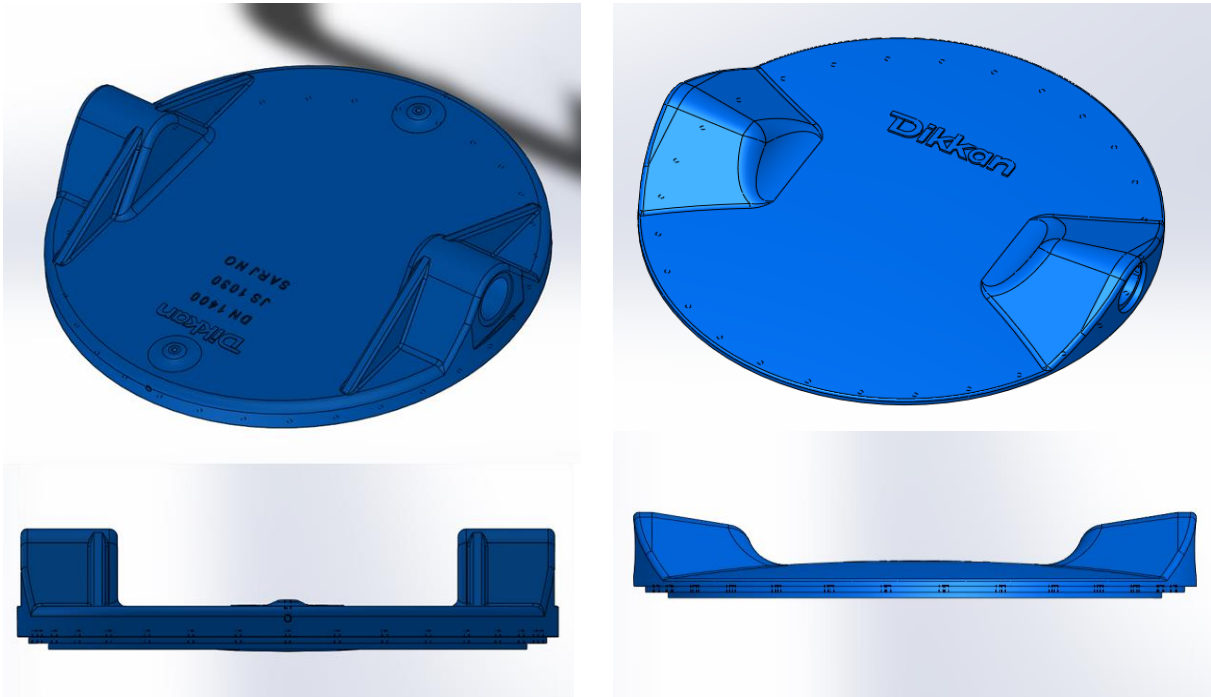
edilen tasarım ve analiz yöntemidir. Bu yöntemde akış şartlarını tanımlayan denklemler kullanılıp suyun vana içerisindeki üç boyutlu akışı simüle edilerek vanaların verimlilikleri hesaplanmaktadır. Bu simülasyon sistemleri ile tasarımlar prototip üretimi yapılmadan sanal ortamda analiz edilerek malzeme ve iş gücünün verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlanmaktadır.

Vanaların verimlilikleri EN 1267:2012 (E) standardına göre akış katsayısıyla tanımlanmaktadır. Akış katsayısı; standartta K_v , uygulamalarda ise vana kapasite faktörü olarak ifade edilmektedir ve 1 bar basınç farkı altında vanadan geçen suyun $m^3/saat$ cinsinden değeridir. Bu ifadeye göre vana verimlilikleri Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.

$$K_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p \times \rho_0}} \quad (1)$$

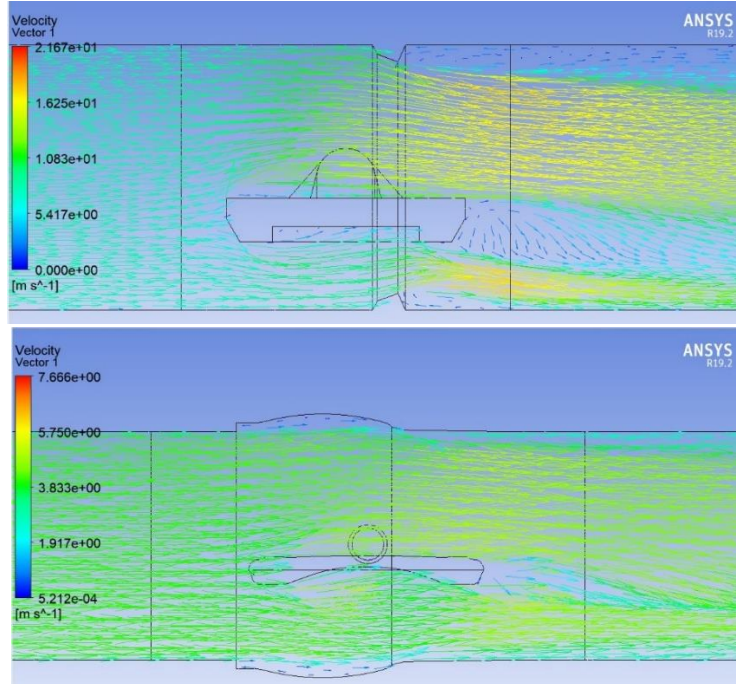
Eşitlikteki K_v ($m^3/saat$) vana verimliliğini, Q $m^3/saat$ cinsinden akış debisini, ρ suyun kg/m^3 cinsinden yoğunluğunu, ρ_0 suyun $15^\circ C$ 'deki kg/m^3 cinsinden yoğunluğunu, Δp bar cinsinden vanadaki basınç kaybını ifade etmektedir.

Vanalardaki verimlilik artışını tasarım ile sağlayabilmek için akışı kontrol eden klape malzemesinin tasarımları detaylı olarak ele alınmış ve mevcut duruma göre iyileştirmeler Solidworks bilgisayar destekli tasarım programı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de Solidworks'te tasarlanan klapelelerin görselleri yer almaktadır.



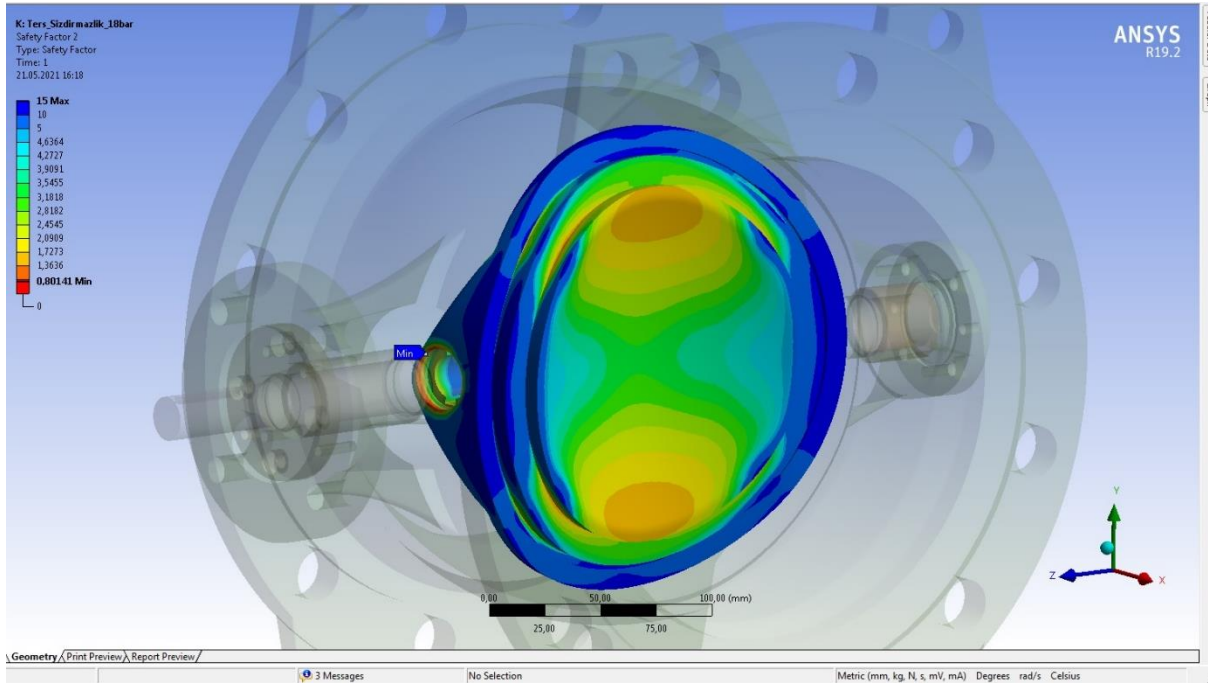
Şekil 2. Mevcut Ürün Klape Tasarımı (Sol), Yeni Tasarım (Sağ)(Existing Product Valve Design (Left), New Design (Right))

Vanaların verimlilikleri suyun klape ile temasına göre hesaplanmaktadır. Bu verimi hesaplamak için ANSYS bilgisayar destekli simülasyon programının CFX modülünden faydalanılarak hesaplamalı akışkanlar mekaniği analizleri gerçekleştirilmiş ve vanaların iyileştirmeleri tespit edilmiştir. Şekil 3'te mevcut ürüne ait su akışından kaynaklanan verimlilik oranı ve yeni geliştirilen ürüne ait su akış simülasyonu yer almaktadır.



Şekil 3. Mevcut Klappe Sisteminin Akış Verimliliği (Üst), Yeni Tasarım Akış Verimliliği (Alt) (Flow Efficiency of Existing Valve System (Top), New Design Flow Efficiency (Bottom))

Klapeleri taşıyacak olan vana gövdesinin hafifleştirilerek malzeme ve enerji verimliliklerinin artırılması hedeflenmiş ve bu amaçla sonlu elemanlar yöntemi ile tasarım geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile klapeyi taşıyacak olan gövde malzemesinin tasarım çalışmalarına ait görsel Şekil 4'te yer almaktadır.



Şekil 4. Vana Gövdesinin Hafifleştirilmesi İçin Gerçekleştirilen Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analysis for Valve Body Lightening)

Hafifleştirilmiş gövde tasarımlarının; malzeme, üretim, nakliye ve montaj aşamalarında tüketilen toplam enerji verileri Solidworks sürdürülebilirlik modülü ile tanımlanmıştır. Şekil 5'te mavi ile tanımlanan veriler eski ürüne, kırmızı ile tanımlanan veriler ise geliştirilen yeni ürüne ait değerleri ifade etmektedir.

Toplam Tüketilen Enerji

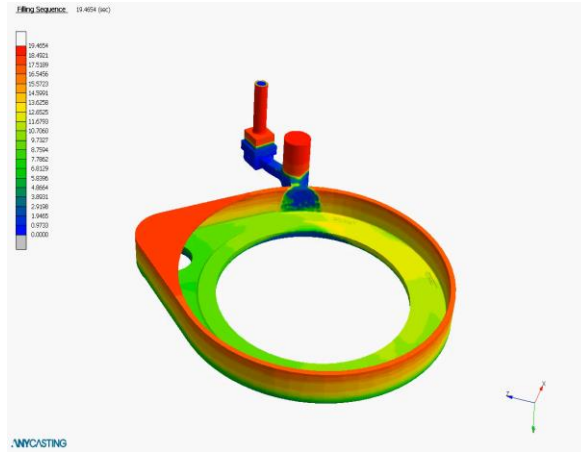


Malzeme:	820 MJ (1085 MJ)
Üretim:	490 MJ (660 MJ)
Nakliye:	27 MJ (27 MJ)
Montaj:	28 MJ (28 MJ)

1365 MJ (1800 MJ)

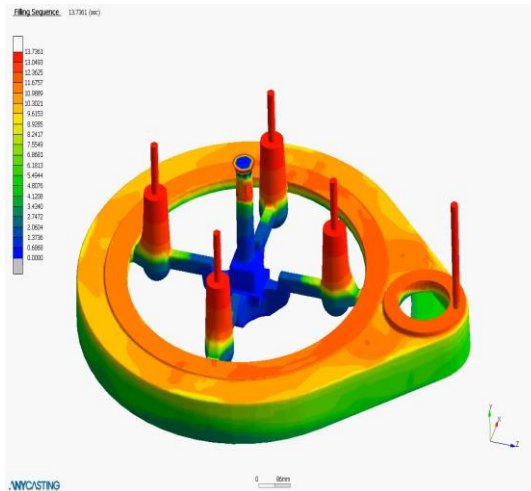
Şekil 5. Tasarımın Geliştirilmesi ile Elde Edilen Toplam Tüketilen Enerji Verileri (Total Consumed Energy Data Obtained by Developing the Design)

Bilgisayar destekli tasarım ile vanaların su akışına göre hesaplanan verimlilik değerlerinden sonra prototip üretimi aşamasına geçilmiştir ve metal gövdeler için yaygın olarak kullanılan kum kalıba döküm yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemdeki iyileştirmeleri arttırmak, üretimde gerçekleştirilecek denemelerin maliyetlerini düşürmek ve daha hızlı bir şekilde ürün sonuçlarını alarak enerji, malzeme ve zaman verimliliklerini yükseltmek amacıyla Anycasting simülasyon programından faydalanılmıştır. Bu aşamada malzeme EN-GJS-500-7 standardında tanımlanan kriterlere göre ele alınmış, optimum sıcaklık ve döküm değerleri simülasyon yardımıyla tespit edilmiştir. Şekil 6'da tek yolluklu besleyici sistemine ait döküm simülasyon dolmuş-zaman grafiği yer almaktadır.



Şekil 6. Tek Yolluklu Tasarım Döküm Simülasyonu Dolmuş Zaman Analizi (One Runner Design Casting Simulation Filling Time Analysis)

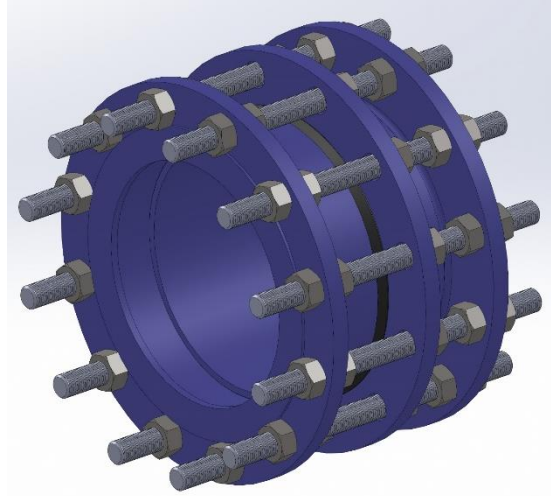
Döküm işleminin verimliliğini tasarım ile arttırmak amacıyla dört yolluklu besleyici sistemi geliştirilmiş ve bu sistemdeki döküm simüle edilmiştir. Şekil 7'de yeni besleyici sisteme ait dolmuş-zaman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 7. Dört Yolluklu Tasarım Döküm Simülasyonu Dolmuş Zaman Analizi (Four Runners Design Casting Simulation Filling Time Analysis)

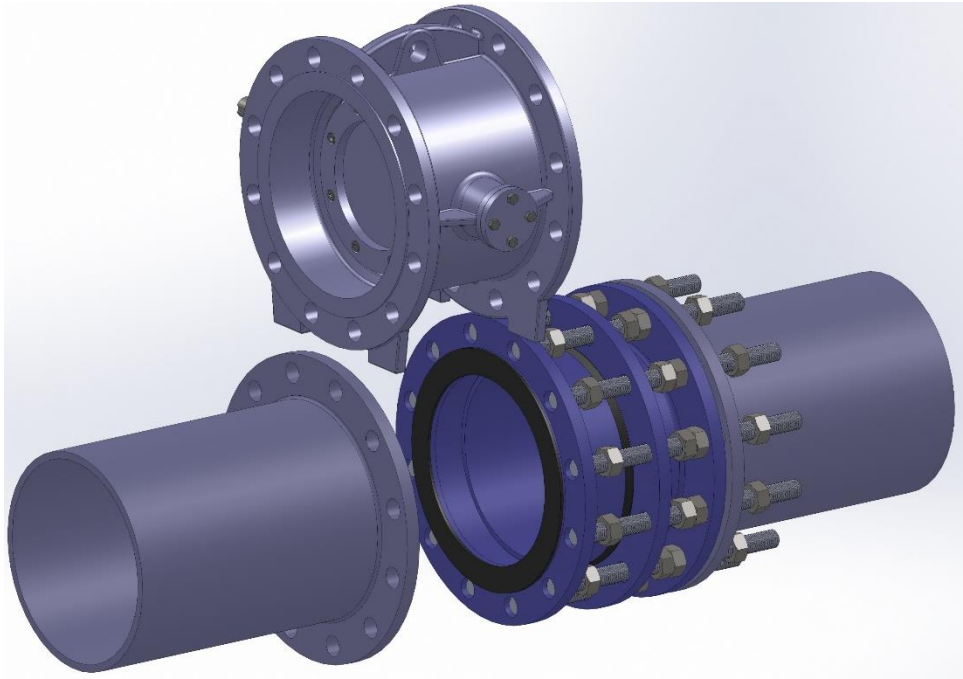
3.2. Süreç Yeniliği ile Verimliliğin Arttırılması (Increasing Efficiency with Process Innovation)

Bileşenlerin alt parçalarına ayrılması esnasında meydana gelen süreçlerin yenilenmesi ile enerji, işçilik, depolama ve lojistik verimliliklerindeki artış süreç yeniliğinde başarının bir göstergesidir. Gerçekleştirilen süreç yeniliği parçaların demontajı ile ilişkilendirilmiştir. Bu durumun tespitini yapılması için geleneksel bir demontaj sistemi ele alınmış ve sonra bu süreçteki yenilik çalışmaları ile verimlilik artışı farklı şekillerde değerlendirilmiştir. Şekil 8'de geleneksel bir parça ayrılma süreci yer almaktadır.



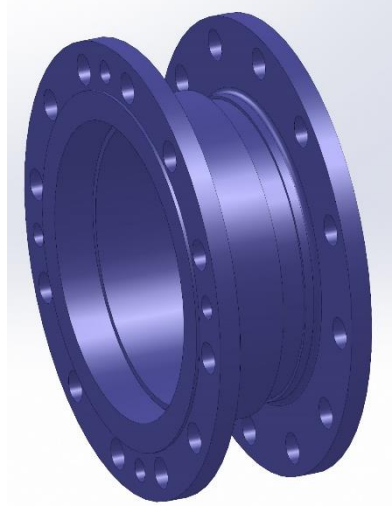
Şekil 8. Geleneksel Parça Ayrılma Süreci (Traditional Separating Process)

Bu sistemde çok sayıda bağlantı ve sızdırmazlık elemanı kullanılmaktadır. Ayrıca tüm elemanların sökölüp takılması oldukça uzun bir zaman almakla birlikte vana ve su akış sistemlerinin verimliliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuz etkiyi daha somut bir şekilde gösterebilmek için Şekil 9'da geleneksel demontaj sisteminin uygulama görseli sunulmuştur.



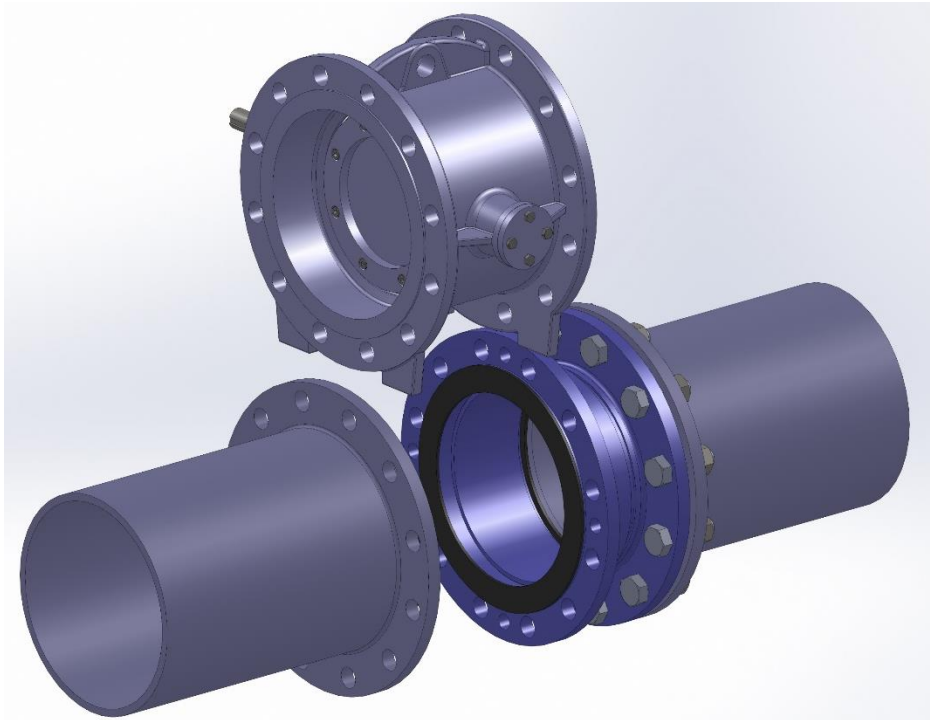
Şekil 9. Geleneksel Demontaj Sistemi (Traditional Disassembly Process)

Süreç optimizasyonu aşamasında öncelikle bağlantı ve sızdırmazlık elemanlarını minimum seviyeye indirecek çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde demontaj süresinin kısaltılması amaçlanmış ve daha kısa olan sistemler ile depolama avantajı, hafifletilmesi ile esnek üretim ve daha düşük lojistik maliyeti hedeflenmiştir. Şekil 10'da süreç optimizasyonu ile elde edilen nihai demontaj sistemi gösterilmiştir.



Şekil 10. Süreç Optimizasyonu ile Elde Edilen Demontaj Sistemi (Disassembly System Obtained by Process Optimization)

Bağlantı ve sızdırmazlık elemanlarının minimize edilmesi, demontaj sisteminin hafifleştirilmesi ve mesafe olarak azaltılması kademelerini içeren süreç iyileştirme çalışmalarının sonucunda elde edilen enerji ve işçilik verimlilik artışının tespit edileceği sisteme ait görsel Şekil 11’de yer almaktadır.

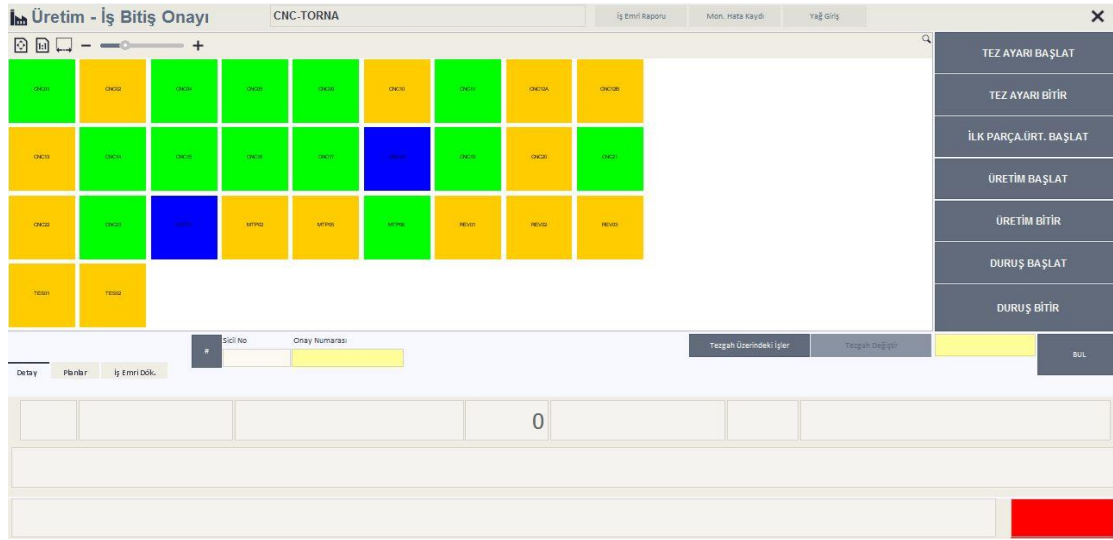


Şekil 11. Süreç Optimizasyonunun Tespit Edildiği Sistem Görseli (System Image with Process Optimization Detected)

3.3. Dijital Dönüşüm ile Verimliliğin Arttırılması (Increasing Efficiency with Digital Transformation)

Ürünlerin tasarımları ile arttırılan vana verimlilikleri, süreçlerin iyileştirilmesi ile artan enerji verimliliklerinin desteklenmesi için taşıyıcı su sistemlerinin üretimi esnasında operasyonel verimliliklerin arttırılmasına ilişkin çalışmalar gerçekleştirilmiş ve bu amaçla dijital dönüşüm ile operasyonel verimliliğin yükseltilmesi hedeflenmiştir. Üretim hatlarından; fire, arıza oranı, çevrim süresi, anlık sıcaklık, basınç vb. verileri kayıt altına alarak raporlayabilen ve bu verileri analiz ederek üretim takibini sağlayan, sektörde yaygın olarak kullanılan konvensiyonel analiz sistemlerinin aksine endüstride sıklıkla tercih edilen Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (PLC-Programmable Logic Controller) markaları ile uyumlu çalışabilecek özellikte veri toplama ve analiz sistemi geliştirilmiştir. Bu üretim yönetimi; üretimde çalışan personellerin veri girme inisiyatifi kaldırıp, dijital kontrol sistemlerinin tercih edilerek yüksek verimli ve daha rekabet edebilir maliyetler sunan ve dijital dönüşümü sağlayan bir otomasyon sistemidir. Bu sistemdeki gelişmeler mevcutta kullanılmakta olan ERP [Enterprise (Kurumsal) Resource (Kaynak) Planning (Planlama)] sistemleri üzerinden barkod okuma ile izlenen üretim takip sisteminin geliştirilmiş ve dijital dönüşümü sağlanmış versiyonudur. Şekil 12’de kullanılan sistemin ekran

görüntüsü gösterilmiştir. Burada işlemler ERP üzerinden izlenebilmekte ve buna göre üretim başlangıç, bitiş, parametre, duruş, arıza gibi veriler takip edilebilmektedir.



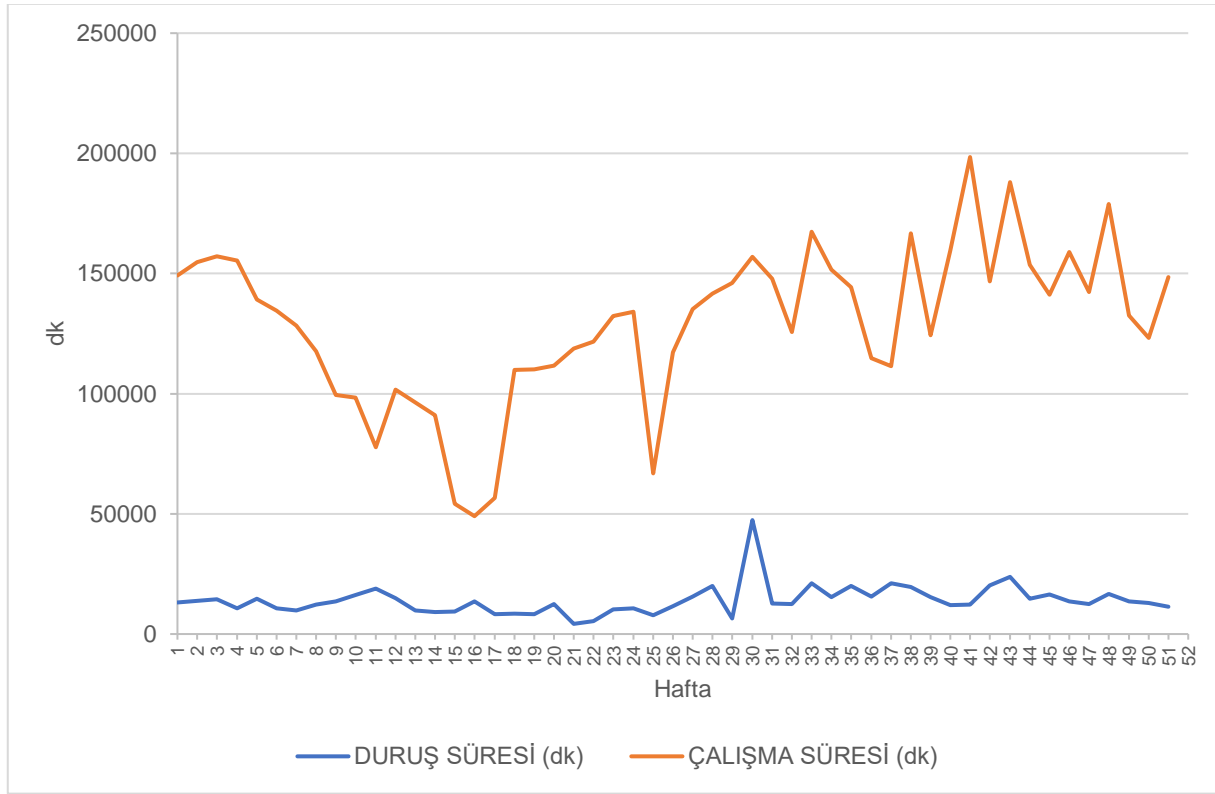
Şekil 12. Mevcut Üretim Takip Sistemi Ekran Görüntüsü (Current Production Tracking System Screenshot)

Şekil 13'te bu sistemlerin sahadaki uygulamasına ait görsel yer almaktadır. Şekil 12'de verilen ekran görüntüsü; sahada operasyonu yapan personelin barkod ile iş emrini, duruşları, kalite verilerini okutması neticesinde ERP üzerinden takip edilmektedir.



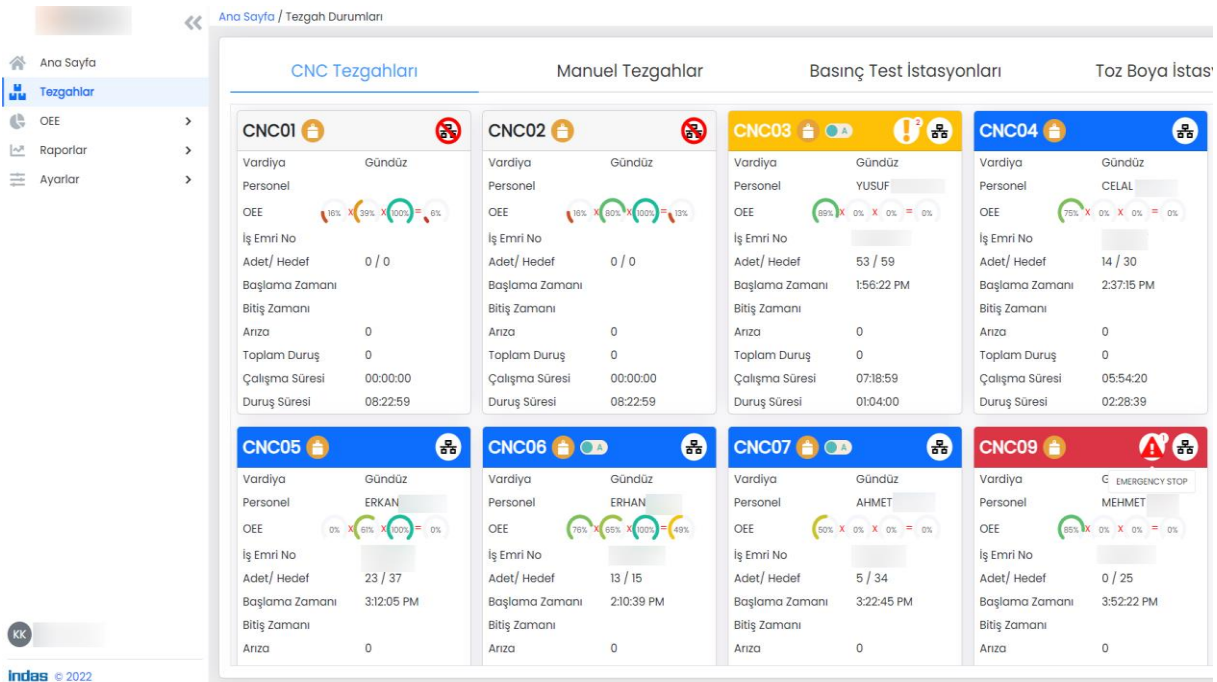
Şekil 13. Barkod Okuma Sisteminin Saha Uygulamasına Ait Görsel (Visual of the Field Application of the Barcode Reading System)

Şekil 14'te ERP üzerinden alınan verilerden elde edilen çalışma ve duruş sürelerine ait rapor gösterilmektedir. Bu rapor sadece çalışma ve duruş sürelerini içermekte olup kalite verileri ve duruş detayları için sistemden ayrıca bir rapor çekilmesi gerekmektedir.



Şekil 14. 2021 Yılına Ait Çalışma ve Duruş Süreleri Grafiği (Working and Downtime Chart for 2021)

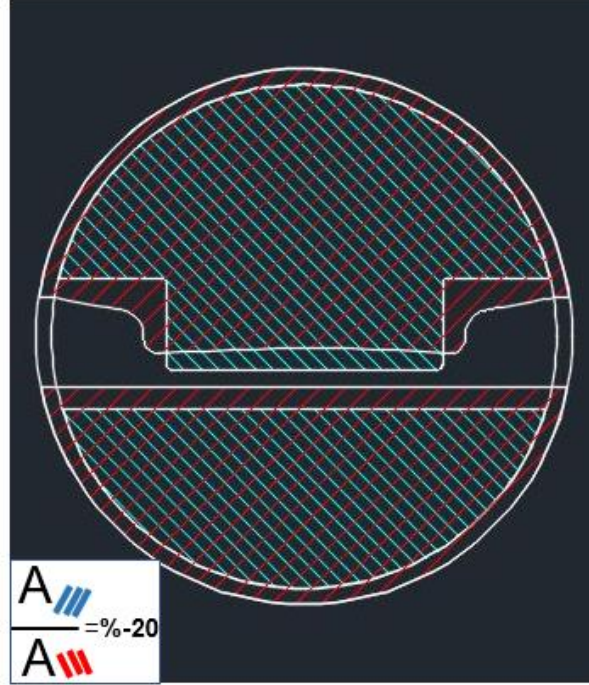
Dijital dönüşüm çalışmaları için çevrimiçi veri izleme sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde geliştirilen yazılım ile çalışan personelin herhangi bir müdahalesine ihtiyaç duyulmadan online olarak veriler sisteme aktarılıp verilerin otomatik olarak tanımlanması sağlanmıştır. Şekil 15'te geliştirilen dijital dönüşüm sistemine ait görsel yer almaktadır.



Şekil 15. Geliştirilen Dijital Dönüşüm Sistemi Ekran Görüntüsü (Developed Digital Transformation System Screenshot)

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Tasarım ile vana verimini arttırmak amacıyla suyun daha büyük bir alandan geçişinin sağlanması amaçlanmıştır. Vanalarda verim, suyun birim zamanda birim alandan daha yüksek bir debide geçmesinin sağlanması suretiyle artış göstermektedir. Şekil 16'da mevcut tasarım ve verim arttırmak için geliştirilen yeni tasarımın vana içerisinde üst üste getirilmesine ilişkin görsel yer almaktadır. Burada Solidworks'te iki yüzey aynı düzleme getirilmiş; kırmızı bölge yeni tasarıma ait suyun geçiş alanını, mavi bölge ise eski tasarıma ait suyun geçiş alanını temsil etmektedir. Bu analize göre eski tasarım yeni tasarıma göre %20 daha az alana sahiptir. Bir başka ifadeyle yeni tasarımda %20 oranında suyun geçiş alanı artırılmıştır.



Şekil 16. Ürün Tasarımı ile Elde Edilen Alan Kazancı (Space Gain Through Product Design)

%20 alan artışının vana verimine etkisinin hesaplanmasında ANSYS CFX modülü ile hesaplamalı akışkanlar mekaniği analizleri yardımıyla vanaların verimlilikleri tespit edilmiştir. Tablo 2'de mevcut ürün ile geliştirilen ürünlere ait olarak tespit edilen verim değerleri verilmiştir. Buna göre 54890 m³/s olan verimlilik değeri 99624 m³/s'e yükselmiştir. Özetle %20'lik alan artışı verimde %81,5'lük bir artışa sebep olmuştur.

Tablo 2. Akış Katsayısı (Flow Coefficient)

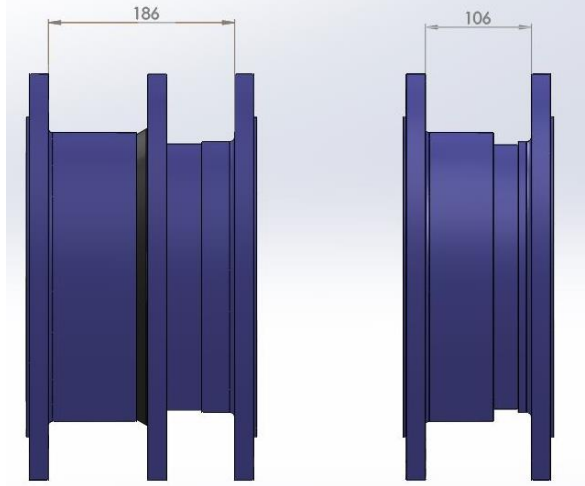
Ürün Grupları	Birim	Verim
Eski tasarım	Kv (m ³ /s)	54890
Yeni tasarım	Kv (m ³ /s)	99624

Klapeleri taşıyan gövdelerin hafifleştirilmesi için sonlu elemanlar yöntemi ile mekanik dayanım analizleri gerçekleştirilmiş ve bu hafifleştirmenin toplam tüketilen enerjiye olan etkisi ele alınarak enerji verimliliği Solidworks sürdürülebilirlik modülü ile tespit edilmiştir. Solidworks Sustainability, çevresel etki faktörlerine ilişkin gerçek zamanlı geribildirim sağlar. Sonuçlar, herhangi bir değişiklik ile dinamik olarak güncellenen Çevresel Etki Panosu'nda görünür. Bu değerler ürünün tasarımı esnasında tüketilen enerji, sevkiyatta belirlenecek olan güzergâh ve ulaşım şeklinde göre harcanan enerji olmak üzere farklı başlıklar altında değerlendirmeye alınır ve sistem sonuçları ölçtüğü ve topladığı çevresel etki faktörleri haline getirir. Toplam tüketilen enerji 1800 MJ'den 1365 MJ'e düşürülerek %31,87 oranında verim artışı sağlanmıştır. Buradaki hesaplama yöntemi Solidworks Flow Simulation modülünden hesaplamaya dayalı tanım alanındaki simetri ve periyodik seçenekleri ile sağlanmıştır.

Tasarımsal olarak hafifleştirilip maliyetleri düşürülen ürünlerin prototip üretimine geçmeden önce döküm parametrelerinin iyileştirilmesi için Anycasting simülasyon programından faydalanılmıştır. Simülasyondan elde edilen dolum-zaman analizine göre 19 saniye olan tek yolluklu tasarım geliştirilip 4 yolluklu tasarıma geçilerek aynı brüt ağırlığa sahip ürünün 15 saniyede dökümü sağlanmıştır. Bu işlem üretimin uçtan uca ele alındığı

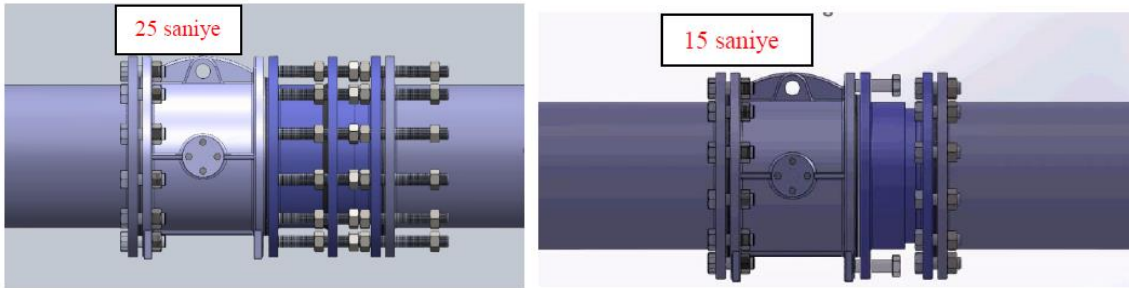
hammaddeden nihai ürüne kadar süreci kapsamamakta olup toplam ekipman etkinliği (OEE- Overall Equipment Effectiveness) ele alındığında %16'lık bir iyileşme olarak kayıt altına alınmıştır.

Süreç yeniliği ile verimliliğin artırılması kapsamında demontaj sistemlerinin verimliliklerini arttırmaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiş ve bu iyileştirmeler ile 186 mm olan vana akış mesafesi 106 mm'ye düşürülmüştür. Yine bu kısalmanın etkisi ile 42,4 kg olan ürün ağırlığı, 29,1 kg'a düşerek alana göre %27, ağırlığa göre toplam montaj süresinde %31 verim artışı sağlanmıştır. Şekil 17'de bu değişim gösterilmiştir.



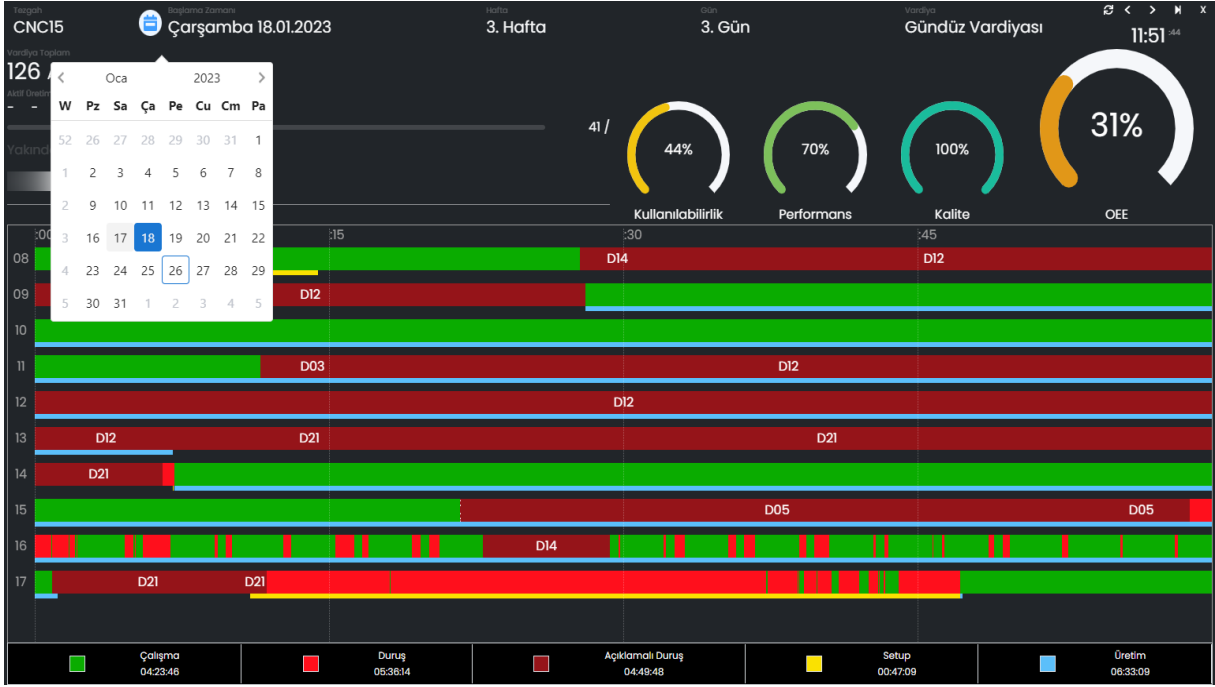
Şekil 17. Eski Tasarımın (Sol) Süreç Optimizasyonu ile Uzunluğunda Elde Edilen Kazanım (Sağ) (Gain in Length by Process Optimization of the Old Design (Left) (Right))

Süreç optimizasyonu sağlanan ürünlerin montaj sürelerinin tespit edilmesi için Solidworks montaj modülü kullanılmıştır. Şekil 18'de mevcut süreçteki demontaj sistemi ile geliştirilen süreçte gerçekleştirilen montaja ait karşılaştırma yer almaktadır. Elde edilen sonuca göre ürün montajı için harcanan süre 25 saniyeden 15 saniyeye düşürülerek işçilik ve enerjide %45'lik verimlilik artışı sağlanmıştır.



Şekil 18. Eski Süreç (Sol) Optimize Edilmiş Süreç (Sağ) Montaj Süresi Karşılaştırması (Previous Process (Left) Optimized Process (Right) Assembly Time Comparison)

Dijital dönüşüm kapsamında ülkemizde ilk defa CNC tezgâhları ile hiçbir ara yazılım kullanılmadan haberleşebilen, harici bir yazılım ve lisansa ihtiyaç duyulmadan çalışabilen çevrimiçi veri izleme sistemi hayata geçirilmiştir. Bu dijital üretim yönetimi sistemi; üretimde çalışan personellerin veri girme inisiyatifi ortadan kaldırıp, dijital kontrol sistemlerinin devreye alınması ile fabrikaları daha yüksek verimlilik ve rekabet edebilir maliyetlerle buldukları sektörde daha üst seviyelere taşımayı hedefleyen otomasyon sisteminin özet tanımıdır. Geliştirilen dijital sistem sayesinde üretim kapasitesi ve hızına ek olarak verimlilik de önemli ölçüde artış göstermiş, hata oranları düşürülerek standart ürünlerin üretimi sağlanmış, karşılaşılan problem ve arızalar en aza indirgenerek hızlı çözüm imkanları sunulabilen, detaylı sistem analizi ile genel durum kontrolü yapılabilen ve operatörden bağımsız olarak arıza kayıt bilgileri alınabilecek duruma gelinmiştir. Şekil 19'da dijital dönüşümün sağlandığı yazılım sisteminin ekran görüntüsü yer almaktadır. Bu ekranda daha önceki uygulamaların ekranlarında görülemeyen kalite, performans, kullanılabilirlik ve operasyonel verimlilik değerleri de anlık olarak takip edilebilmekte ve bakım faaliyetleri planlanabilmektedir.



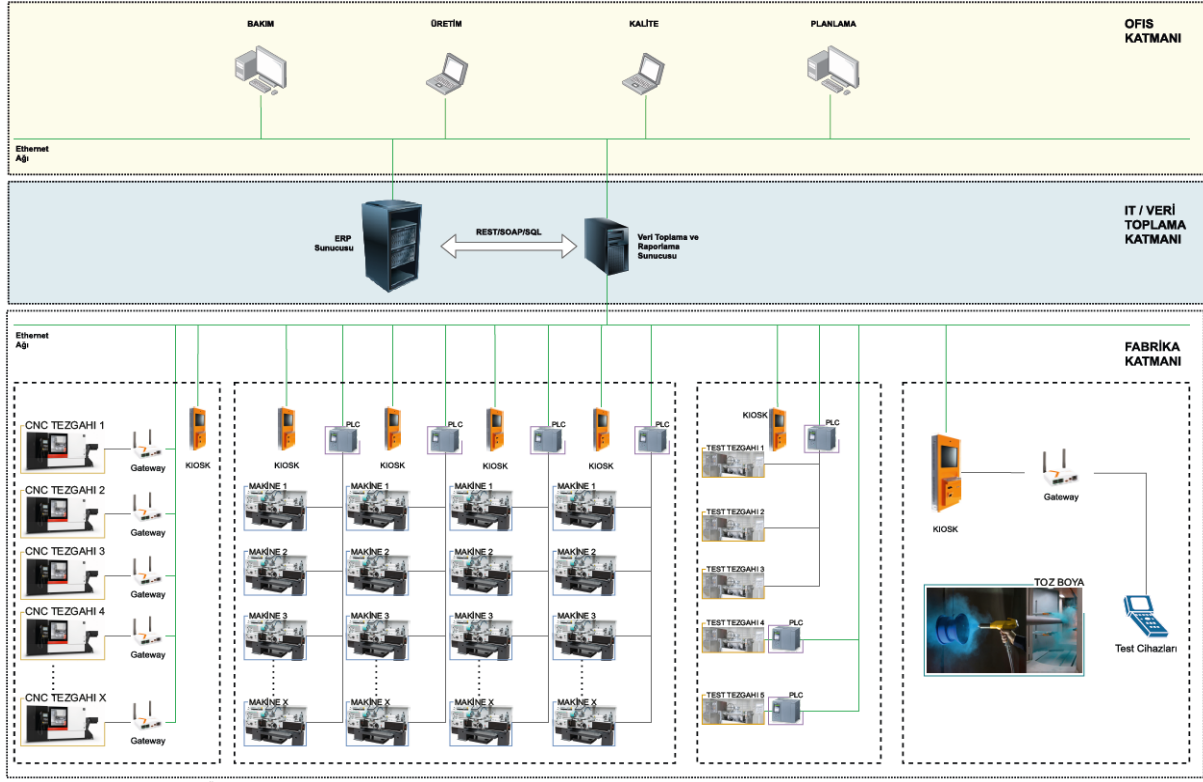
Şekil 19. Dijital Dönüşüm Yazılım Sistemi Ekran Görüntüsü (Digital Transformation Software System Screenshot)

Sistemin daha yaygın kullanılması ile %44 olan kullanılabilirlik %90'a, %55 olan performans %70'e, %31 olan operasyonel verimlilik değeri %50'ye yükseltilmiştir. Bu değerlerin tespit edildiği bir üst versiyon yazılım sistemine ait ekran görüntüsü Şekil 20'de gösterilmiştir.



Şekil 20. Online Veri İzleme Yazılım Ekran Görüntüsü (Online Data Monitoring Software Screenshot)

Sistemin dijital dönüşüme hizmet vermesi ve %50 olan operasyonel verimliliğin yükseltilmesi için cep telefonu ve tablet uygulamaları sisteme entegre edilmiştir. Şekil 21'de sistem entegrasyonu ve dijital dönüşüm akışı gösterilmiştir.



Şekil 21. Dijital Dönüşüm Sistem Analizi ve Veri Akışı (Digital Transformation System Analysis and Data Flow)

Dijital dönüşümün hayata geçirilmesi ile operasyonel verimlilik değeri %86'ya yükseltilmiştir. Tablo 3'te dijital dönüşüm ile elde edilen operasyonel verim artış verileri ve bunu destekleyen alt veriler yer almaktadır. Buradaki hesaplama yöntemi ise sistemin toplam bitiş ve başlangıç değerleri arasındaki oranın ele alınmasıdır.

Tablo 3. Dijital Dönüşüm ile Geliştirilen Üretim Operasyonel Verimlilik Verileri (Production Operational Efficiency Data Improved by Digital Transformation)

Kullanılabilirlik Oranı		Zaman (dk)
A	Haftalık çalışma saati	258.300
B	Planlı duruşlar	3.000
C	Planlanan Üretim Zamanı (A-B)	255.300
D	Plansız duruşlar	10.157
E	Net çalışma süresi	245.143
F	Kullanılabilirlik oranı (C-D)	%96,0
Performans Oranı		Zaman (dk)
G	Toplam ideal süre	108.125
I	Toplam gerçekleşen süre	120.461
H	Performans Oranı (G/H)	% 89,8
Kalite Oranı		Adet
J	Üretilen parça sayısı	15.392
K	Hatalı parça sayısı	40
L	Kalite oranı (J-K)/J	% 99,7
Operasyonel Verimlilik		
F x I x L		% 86,0

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu makalede su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması ile enerji, işçilik, süreç ve operasyonel verimliliklerin artırılmasına yönelik metodoloji ve ölçüm sistemleri üzerine örnek bir çalışma sunulmuştur. Su kaynaklarının verimini daha net bir şekilde ortaya koyabilmek adına vana ürününe ait çalışmalar üç aşamada ele alınarak toplam verimlilik iyileştirmelerine ait veriler detaylı bir şekilde okuyucular ile paylaşmıştır. Birinci

aşamada vana ürünlerinin tasarımları ile verimlilik arttırıcı çalışmalar gerçekleştirilmiş olup klape yüzey alanındaki %20'lik bir alan büyümesinin toplam vana veriminde %81,5'lik bir artışa sebep olduğu gözlenmiştir. Burada akışın laminar (düzlemsel) olması, herhangi bir türbülansa sebep olan bir engele maruz kalmayacak şekilde tasarlanması bu büyük artışın olumlu bir sonucudur. Ürünün verimliliğinin artmasının yanında bu üründe kullanılan malzeme ve üretim için harcanılan enerjide düşüş sağlanmış, aynı bölgeye ve montaja sahip olması sebebiyle nakliye ve montaj için tüketilen enerjilerde herhangi bir verimlilik sağlanmadığı için "Süreç Yeniliği ile Verimliliğin Arttırılması" çalışmaları ile montaj ve lojistik veriminin arttırılması hedeflenmiştir.

Süreç yeniliği ile verimlilik artışını sağlamak için demontaj sistemlerinde bağlantı ve sızdırmazlık elemanlarının işlem ve miktarını minimuma indirecek süreçler ile ürünler %27 daha kısa ve %31 daha hafifletilerek depolama, lojistik ve montaj için harcanılan enerji ve işçiliklerin verimlilikleri arttırılmış, tasarımda iyileştirilen malzeme ve üretim için sarfedilen toplam enerji verilerine ilave olarak %45 montaj verimliliği sağlanmıştır.

Seri üretime geçmeden önce döküm tasarımında aynı brüt ağırlıktaki ürünün döküm akış süresi ortalama ürün başına 4 saniye kısaltılarak %26,7 oranında enerji verimliliği sağlanmıştır. Bu verileri daha sistematik takip etmek ve operasyonel verimliliği yükseltmek için dijital dönüşüm aşamasına geçilmiştir. Tasarım ve süreç yeniliği ile gerçekleştirilen verimlilik artışlarının anlam kazanması için operasyonel verimliliğin de arttırılması sağlanmalıdır. Bu amaçla; en hızlı, en modern ve en gerçekçi çözümün çevrimiçi veri izleme sisteminin adaptasyonu olacağı stratejisi ile yazılımlar geliştirilmiş ve sisteme adaptasyonu sağlanmıştır. Bu sistemin ilk uygulaması ile operasyonel verimlilik %19 oranında artış göstermiş, sistemin mobil uygulamalar ile hayata geçirilmesi ile %36'lık ilave bir operasyonel verimlilik artışı elde edilmiştir.

Ürün verimliliğinden operasyonel verimliliğe kadar olan uçtan uca verimlilik artışına ait olan veriler Tablo 4'te özetlenmiştir. Tablo 4'teki verilerin ürün ile ilgili olan kısımları iki tasarım arasındaki Solidworks sürdürülebilirlik raporu ve hesaplamalı akışkan mekaniği analizlerinden, ürüne ait fiziksel özellikler son hali ile ilk halinin ölçüm farkından, operasyonel verimlilik, hat kullanım oranı ve personel etkisi ise geliştirilen online veri izleme sistem verileri ile metot mühendisi ölçümlerinin birebir uyuşan verilerinin karşılaştırılması neticesinde elde edilmiştir.

Tablo 4. Uçtan Uca Verimlilik ve Operasyonel Verimlilik Verileri (End-to-End Productivity and Operational Efficiency Data)

Parametreler	Önce	Sonra
Vana Verimi Kv (m ³ /h)	54890	99624
Toplam Tüketilen Enerji (MJ)	1800	1365
Brüt Ağırlık (kg)	43,3	43,3
Net Ağırlık (kg)	42,4	29,1
Flanş mesafesi (mm)	186	106
Demontaj Süresi (saniye)	25	15
Döküm süresi (saniye)	19	15
Operasyonel Verimlilik	31	86
Hat Kullanılabilirlik Oranı (%)	44	90
Personel Etkisi (%)	70	55

Bu çalışmanın önemli bir noktası ise yeni bir proje başlatma potansiyeline sahip olmasıdır. Projenin ikinci fazında yapılacak olan metot faaliyetleri ve değer akış haritalama (VSM-Value Stream Mapping) çalışmaları ile daha detaylı veriler ele alınarak çalışma daha ileri seviyede bir kaynak olarak kayıt altına alınabilecek duruma gelmiş olacaktır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Çalışmanın dijital dönüşüm aşamasında gerçekleştirdiğimiz projede destek veren TÜBİTAK'a, tasarım aşamasında Ar-Ge İnovasyon Destek Programı kapsamında destek sağlayan KOSGEB'e, verimliliği düşürülmüş özgün tasarım için alınan patent ve süreç iyileştirme aşamasında alınan faydalı model süreçlerinde verdiği destek sebebiyle Türk Patent ve Marka Kurumu'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 3210662 numaralı proje ve KOSGEB tarafından E-509607 numaralı proje kapsamında değerlendirilmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Audretsch, David B., and Maksim Belitski. (2020). "The role of R&D and knowledge spillovers in innovation and productivity.", *European economic review*, 123: 103391.
- Bampatsou, Christina, and George Halkos. (2019). "Economic growth, efficiency and environmental elasticity for the G7 countries.", *Energy Policy*, 130: 355-360.
- Bimpizas-Pinis, Meletios, et al. (2021). "Is efficiency enough for circular economy?." *Resources, Conservation and Recycling*, 167.
- Brogi, Marina, and Valentina Lagasio. (2019). "Environmental, social, and governance and company profitability: Are financial intermediaries different?." *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 26.3: 576-587.
- Cavlak, Hakan. (2021). "Etkinlik, Etkililik, Verimlilik, Kârlılık, Performans: Kavramsal Bir Çerçeve ve Karşılaştırma", *Journal of Research in Business*, 6.1: 99-126.
- Chen, Ying, et al. (2019). "Energy efficient dynamic offloading in mobile edge computing for internet of things", *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 9.3: 1050-1060.
- Correani, Alessia, et al. (2020). "Implementing a digital strategy: Learning from the experience of three digital transformation projects.", *California Management Review*, 62.4: 37-56.
- De Loecker, Jan, and Chad Syverson. (2021). "An industrial organization perspective on productivity", *Handbook of industrial organization*, Vol. 4. No. 1. Elsevier, 141-223.
- Dieppe, Alistair, ed. *Global productivity: Trends, drivers, and policies*. (2021). World Bank Publications.
- Dong, Kangyin, Yue Dou, and Qingzhe Jiang. (2022). "Income inequality, energy poverty, and energy efficiency: Who cause who and how?." *Technological Forecasting and Social Change*, 179: 121622.
- Dubey, Rameshwar, et al. (2019). "Can big data and predictive analytics improve social and environmental sustainability?." *Technological Forecasting and Social Change*, 144: 534-545.
- Economidou, Marina, et al. (2020). "Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings", *Energy and Buildings*, 225: 110322.
- Evkaya, Bilal. (2021). "Araştırma ve Geliştirme Harcamalarının Ekonomik Büyüme Etkisi: Oecd Ülkeleri İçin Ampirik Bir Analiz", *Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Birimler Fakültesi, Ankara*.
- Falivene, Laura, et al. (2019). "Towards the online computer-aided design of catalytic pockets", *Nature Chemistry*, 11.10: 872-879.
- Flammer, Caroline, Bryan Hong, and Dylan Minor. (2019). "Corporate governance and the rise of integrating corporate social responsibility criteria in executive compensation: Effectiveness and implications for firm outcomes", *Strategic Management Journal*, 40.7: 1097-1122.
- Gong, Cheng, and Vincent Ribiere. (2021). "Developing a unified definition of digital transformation", *Technovation*, 102: 102217.
- Guo, Ran, and Yijun Yuan. (2020). "Different types of environmental regulations and heterogeneous influence on energy efficiency in the industrial sector: Evidence from Chinese provincial data", *Energy Policy*, 145: 111747.
- Halaç, Duygu Seçkin, and Cansu Güloğlu. (2019). "İşyerinde Psikolojik Yıldırma Olgusunun Çalışan Verimliliği Üzerine Etkisi: MOSB'de Bir Saha Araştırması", *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 26.1: 157-180.
- Hatfield, Jerry L., and Christian Dold. (2019). "Water-use efficiency: advances and challenges in a changing climate", *Frontiers in plant science*, 10: 103.
- Hussein, Nabil, et al. (2020). "Simulation of semilunar valve function: computer-aided design, 3D printing and flow assessment with MR", *3D Printing in Medicine*, 6: 1-9.
- Iris, Çağatay, and Jasmine Siu Lee Lam. (2019). "A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112: 170-182.
- Jhamb, Spardha, et al. (2020). "A review of computer-aided design of paints and coatings", *Current Opinion in Chemical Engineering*, 27: 107-120.
- Karakuş, Güzide. (2021). "Ar-Ge/Tasarım Merkezi Nedir? Türkiye'de Ar-Ge ve Tasarım Merkezi Kurulum Sürecine İlişkin Bir Araştırma", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23.3: 1381-1404.
- Kaya, A. Ğ. I. N. (2020). "Toplam kalite yönetimi bağlamında kaizen felsefesinin örgütlerin maliyet, verimlilik ve kalite düzeylerine etkileri", *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24.3: 1191-1207.
- Kazekami, Sachiko. (2020). "Mechanisms to improve labor productivity by performing telework", *Telecommunications Policy*, 44.2: 101868.
- Kim, Jin Young, et al. (2020). "High-efficiency perovskite solar cells", *Chemical Reviews*, 120.15: 7867-7918.
- Nuchturee, Chalermkiat, Tie Li, and Hongpu Xia. (2020). "Energy efficiency of integrated electric propulsion for ships—A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134: 110145.
- Otte, Andreas. (2020). "3D computer-aided design reconstructions and 3D multi-material polymer replica printings of the first "iron hand" of Franconian knight Gottfried (Götz) von Berlichingen (1480–1562): an overview", *Prosthesis*, 2.4: 27.
- Pan, Wenrong, et al. (2022). "Digital economy: An innovation driver for total factor productivity", *Journal of Business Research*, 139: 303-311.
- Prokopenko, Joseph. (1987). "Productivity management: A practical handbook", *International Labour Organization, Moscow*.
- Safitri, Vera Apridina, Lindriana Sari, and Rindu Rika Gamayuni. (2020). "Research and Development (R&D), Environmental Investments, to Eco-Efficiency, and Firm Value", *The Indonesian Journal of Accounting Research*, 22.3.
- Santa, Ricardo, Jason B. MacDonald, and Mario Ferrer. (2019). "The role of trust in e-Government effectiveness, operational effectiveness and user satisfaction: Lessons from Saudi Arabia in e-G2B", *Government Information Quarterly*, 36.1: 39-50.
- Sickles, Robin C., and Valentin Zelenyuk. (2019). "Measurement of productivity and efficiency", *Cambridge University Press, Cambridge*.

- Su, Shuai, et al. (2019). "An energy-efficient train operation approach by integrating the metro timetabling and eco-driving", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21.10: 4252-4268.
- Sun, Huaping, et al. (2020). "Estimating environmental efficiency and convergence: 1980 to 2016", *Energy Policy*: 208, 118224.
- Sun, Huaping, et al. (2019). "Institutional quality, green innovation and energy efficiency", *Energy Policy*, 135: 111002.
- Tabrizi, Behnam, et al. (2019). "Digital transformation is not about technology", *Harvard Business Review*, 13.March: 1-6.
- Thakur, Madhav P., et al. (2021). "Plant-soil feedbacks and temporal dynamics of plant diversity-productivity relationships", *Trends in Ecology & Evolution*, 36.7: 651-661.
- TÜBİTAK (1995). "Bilim ve Teknolojiye Ayrılmış İnsan Kaynaklarının Ölçümü Hakkında Kılavuz: Canberra Kılavuzu", https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/BTYPD/kilavuzlar/canberra_tr.pdf, (Erişim Tarihi: 06.05.2023).
- TÜBİTAK (2002). "Frascati Kılavuzu: Araştırma ve Deneysel Geliştirme Taramaları İçin Önerilen Standart Uygulama", https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/BTYPD/kilavuzlar/frascati_tr.pdf, (Erişim Tarihi: 06.05.2023).
- TÜBİTAK (2005). "Oslo Kılavuzu Işığında Yenilik", https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/BTYPD/kilavuzlar/Oslo_Presentation.pdf, (Erişim Tarihi: 06.05.2023).
- TÜBİTAK (2006). "Oslo Kılavuzu Yenilik Verilerinin Toplanması ve Yorumlanması İçin İlkeler", https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/BTYPD/kilavuzlar/Oslo_3_TR.pdf, (Erişim Tarihi: 06.05.2023).
- TÜBİTAK (2010). "TÜBİTAK: Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı Uygulama Esaslarında Değişiklik Yapılmasına Dair Uygulama Esasları", https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/208_sayili_bilim_kurulu_karari.pdf, (Erişim Tarihi: 06.05.2023).
- Ulusoy, Ahmet. (2021). "Türk bankacılık sisteminde kârlılık üzerinde etkili olan faktörlerin belirlenmesi", *Bankacılık ve Sermaye Piyasası Araştırmaları Dergisi*, 5.11: 20-48.
- Vial, Gregory. (2019). "Understanding digital transformation: A review and a research agenda", *The Journal of Strategic Information Systems*, 28.2: 118-144.
- Vishwakarma, Satyendra K., et al. (2019). "Smart energy efficient home automation system using IoT", 2019 4th international conference on internet of things: Smart innovation and usages (IoT-SIU), IEEE, 18th -19th April 2019, Ghaziabad.
- Wang, Li, J. E. Dykstra, and Shihong Lin. (2019). "Energy efficiency of capacitive deionization", *Environmental Science & Technology*, 53.7: 3366-3378.
- Wu, Haitao, Yu Hao, and Siyu Ren. (2020). "How do environmental regulation and environmental decentralization affect green total factor energy efficiency: Evidence from China", *Energy Economics*, 91: 104880.
- Wu, Wenwang, et al. (2019). "Mechanical design and multifunctional applications of chiral mechanical metamaterials: A review", *Materials & Design*, 180: 107950.
- Xie, Jun, et al. (2019). "Do environmental, social, and governance activities improve corporate financial performance?", *Business Strategy and the Environment*, 28.2 (2019): 286-300.
- Xu, Zhenyuan, et al. (2020). "Ultrahigh-efficiency desalination via a thermally-localized multistage solar still", *Energy & Environmental Science*, 13.3: 830-839.
- Yildiz Çankaya, Sibel, and Bulent Sezen. (2019). "Effects of green supply chain management practices on sustainability performance", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30.1: 98-121.
- Zakari, Abdulrasheed, et al. (2022). "Energy efficiency and sustainable development goals (SDGs)", *Energy*, 239: 122365.
- Zakoldaev, D. A., et al. (2019). "Computer-aided design of technical documentation on the digital product models of Industry 4.0", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 483. No. 1. IOP Publishing.
- Ziyadin, S., Saltanat Suieubayeva, and A. Utegenova. (2020). "Digital transformation in business", *Digital Age: Chances, Challenges and Future*, 7. Springer International Publishing.