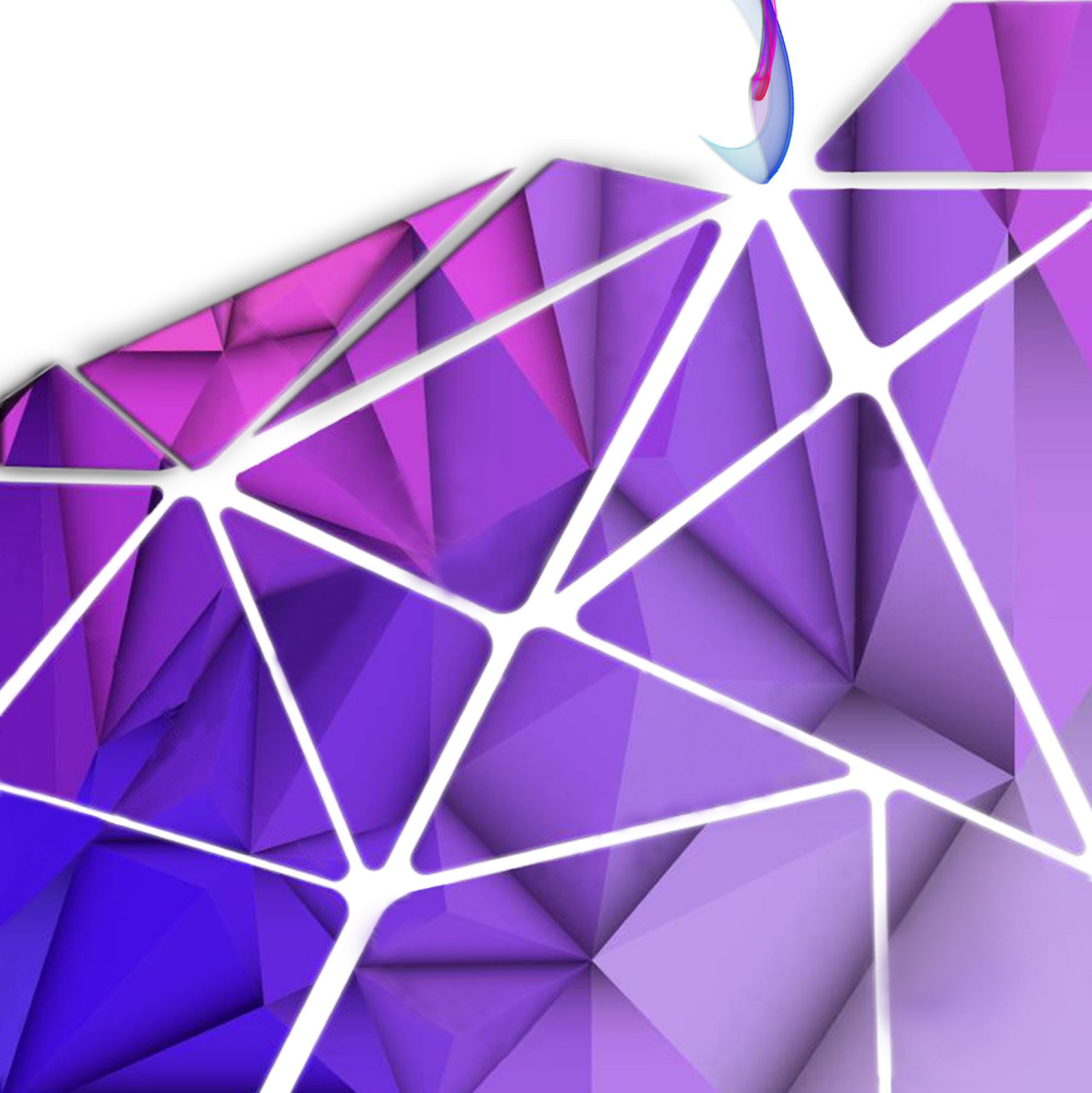


2021, Cilt2 Sayı1

e-ISSN 2717-9397

İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ



İÇİNDEKİLER

Utku Can DOĞU Sinan BOZ Muharrem ÜNVER	Kimya Sektöründe Tehlikeli Madde Taşınmasında Otonom Sistemler ile İş Sağlığı ve Güvenliği Occupational Safety and Health via Autonomous Systems in the Hazardous Substances Transport in Chemical Sector	1-19
Mehmet KARAKOÇ Canber ARDIÇ Mehmet Arif Emre ŞEN	RESTful Web Servisleri ve Node.js Kullanılarak Genel Bir Kullanıcı Doğrulama Sisteminin Raspberry Pi ve RFID Teknolojisi ile Tasarımı ve Gerçekleştirimi Design and Implementation of a Generic User Verification System with Raspberry Pi and RFID Technology Using RESTful Web Services and Node.js	10-20
Güzin AKYOL Eyüphan YENER	Enzimatik Ön İşlem Uygulanan Pamuklu Kumaşların Kök Boya ile Renklendirilmesi Coloring of Enzymatic Pretreatment Cotton Fabrics with Root Dye	21-29
Sevil TÜRKÇEN GÜNÇ Saliha Büşra KARAKELLE Dilek KUT TOPRAKKAYA	Mikrokapsül Aplikasyonu Sonrası Multifonksiyonel Havlu Eldesi Multifunctional Towel Handing After Microcapsule Application	30-38
Ercan ŞENYİĞİT Savaş BAYRAM	Yapı ve İmalat Sektörlerinde Tükenmişlik Düzeyi ile İş Doyumu Kıyaslaması Comparison of Burnout Level and Job Satisfaction in Construction and Manufacturing Industries	39-52
Selin UZUN Bürde İSEN Tamer SINMAZÇELİK	Havacılıkta Şekil Değiştirebilir Teknoloji Uygulamaları Morphing Technology Applications in Aviation	53-62

Kimya Sektöründe Tehlikeli Madde Taşınmasında Otonom Sistemler ile İş Sağlığı ve Güvenliği

Utku Can DOĞU*¹ , Sinan BOZ*² , Muharrem ÜNVER*³ 

*Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Karabük, 78050, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 30.11.2020, Kabul Tarihi: 12.06.2021

Özet

Bu çalışma kimyasal maddeleri kullanan, ilaç, tarım, seramik, cam ve kimya sektörüne; Endüstri 4.0'ın gelişimiyle birlikte hayatımıza daha çok giren otonom sistemleri kullanarak tehlikeli madde taşınmasında çalışanlara yardımda bulunmaktadır. Kimya sektöründe tehlikeli madde taşınmasında insanların maruz kaldığı etkiler göz önünde bulundurularak yapılan bu çalışmada iş-işçi sağlığı ve güvenliğini taşıyıcı gezgin robotlar sayesinde tehlikeli maddeleri taşıyarak insan sağlığını en yüksek düzeyde korumaktadır. Bu otonom sistemin tasarım amacı çalışanların tehlikeli madde taşımalarının önüne geçmesinin sağlanmasıdır. Var olan üretim sistemine entegre edilen bu yeni otonom sistemler hızlarıyla, verimlilikleriyle, kalite performanslarıyla ve sifıra yakın hata oranları ile işlem sürelerinde kazanç sağlamayı ve hat bekleme sürelerinde azalmaya yardımcı olmayı hedeflemiştir.

Anahtar Kelimeler: Tehlikeli madde taşınması, Kimya sektörü, Otonom sistemler.

Occupational Safety and Health via Autonomous Systems in the Hazardous Substances Transport in Chemical Sector

Abstract

This study covers the pharmaceutical, agriculture, ceramics, glass and chemical industries using chemicals; With the development of Industry 4.0, it helps the employees in transporting dangerous goods by using autonomous systems that enter our lives more. In this study, which is carried out by taking into consideration the effects of people in the transportation of hazardous materials in the chemical industry, the job is to protect the health and safety of workers - by transporting hazardous materials through carrier robots and to protect human health at the highest target. The purpose of this autonomous system is designed to prevent employees from carrying dangerous goods. This new autonomous system, which is integrated into the existing production system, aims to gain in processing times and help reduce waiting times with its speed, efficiency, performance and near zero error rates.

Keywords: Dangerous goods transportation, Chemical industry, Autonomous systems.

¹Sorumlu yazar utkudoguu06@gmail.com, ²sinanboz1998@gmail.com, ³muharremunver@karabuk.edu.tr

1. GİRİŞ

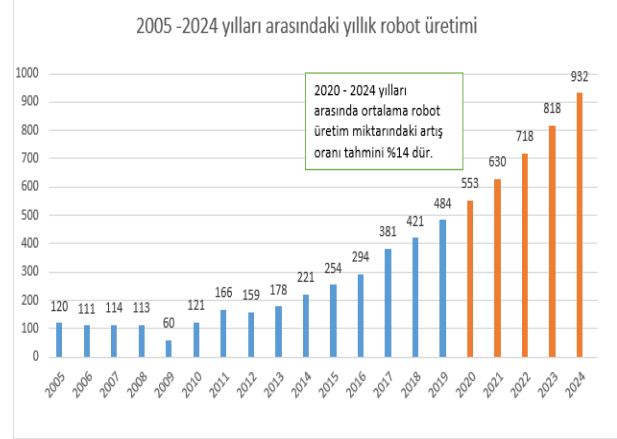
Dördüncü endüstri devriminin ortaya çıkışı değişimleri de beraberinde getirmiştir. Endüstri 4.0, fiziksel hayat ile dijital yaşam arasında büyük bir bağlantı kurmak için ileri dijital ve fizyolojik teknolojiyi birbirine uygun hale getirdi (WEF, 2017). Fırat ve Fırat (2017)'nin de yazdığı gibi yeni gelecekte endüstri 4.0 sayesinde bilişim teknolojileri ile tüm insani sistemlerin bir araya getirilmesi hedeflenmiştir. Bu plan, siber-fiziksel sistemler ve nesne hizmet interneti olmak üzere iki temele dayanır (Fırat ve Fırat, 2017). Nesnelerin interneti gelişmekte olan robotların birbiriyle olan etkileşimlerini gösterir. Karar mercileri oldukça hızlıdır. Çevre mekanizmalar ile sürekli malumat içinde bulunurlar ve bu periyodu test ederler (Fırat ve Fırat, 2017). Hizmet yapısında nesnelerin interneti yenilenen metotlar ile hizmetin vaziyetinden, gereken anlatımı sağlamaktadır. Sosyal mecralar üzerinden hizmet sağlayan ve hizmet kullanıcısı arasındaki köprü görevini üstlenir. Mamullerin alış-satış durumları gönderilen mailler ya da bulut bilişimde saklanan tüm veriler hizmetlerin üretimi adı altında incelenir. Kendisini idare edebilen, yönetebilen üzerlerinde bulunan sensörler ve kameralar sayesinde dış çevre ile etkileşen fazla gelişmiş nesnelere "Siber – Fiziksel Sistemler" denir. Buna örnek olarak bir ürünü bir yerden başka bir yere operatörsüz taşıyan araçlar verilebilir.

Akın (2017)'nin raporunda da bahsedildiği gibi endüstri 4.0'ın gelişmesiyle birlikte üretimde insan gücünü azaltıp makineleşmenin artması sonucunda insanoğlu daha az maliyetle daha kaliteli ürünler elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle çalışanın yerini tutabilecek herhangi bir insandan daha hassas üretim yapabilecek robotlar ve makineler geliştirilmektedir. Burada ilgili robotlar ve makineler genel olarak "İş Sağlığı ve Güvenliği" (İSG) açısından uygun bir yerleşimde tertip edilmeli bununla beraber, bu robot ve makinelerin karar algoritması hızlı olmalı ve durumdan bağımsız karar verme yetisine sahip olmalıdır. Bu durum bir makinenin özerk yani kendi kendini yönetebilme özelliği ile tanımlanır ve otonom yapı olarak adlandırılır.

Tablo 1'de dünyadaki yıllık endüstriyel robot üretimi yer almaktadır. 2005 ve 2019 yılları arasındaki üretim adetleri kayıt altına alınmıştır. 2005 ile 2008 yılları arasında üretim hızı sabit kalmış ve 2009'da ise düşmüştür bunun birincil nedeni 2008 yılının başlarında ortaya çıkan ve 2009 yılının ortasına kadar süren ekonomik buhran dönemidir. Bu yıldan sonra ise üretim artışa geçmektedir.

2020 ile 2024 yılları arasında ise geçen yıllardaki genel üretim artış hızı %15 olarak saptandığından bu tablodaki gibi benzer bir artış yapacağı öngörülmektedir (Akın, 2017).

Tablo 1. 2005-2024 yılları arası robot üretimi (Akın, 2017).



Makinelerin tamamının kendi kendilerini yönetebilme durumları ve yapının bir tek karar verme modülü bulunması bu sistemi özerk kılar. Otonom sistemler de makineler birbirleri arasında bilgi iletimi yaparlar ve rapor verme durumları görülür ayrıca bütün fonksiyonları kontrol ederler.

Geçmiş senelerde otomatik sürüş kapsamında geliştirilen 5 farklı süreç incelenmiştir. Bu süreçler sırasıyla sorumluluğu şoförden alıp tamamen aracın himayesine vermektedir. Birinci seviyede asistanlar; bu seviyede sistem kullanıcı isteğiyle işleve alınıyor örneğin; şerit takip mekanizması asistanların algılayıp şoförün verdiği ve hamleyi yine şoförün kendi yaptığı bir sistemdir. İkinci seviyede hız sabitleme sizin yerinize gaza basan fakat sizin ilk tepkinizde kontrolü yine size veren sizin istediğiniz süratte sabitleyen veya o belirlediğiniz sürati geçmeyen bir otonom sistem yine sorumluluğun büyük bir kısmı şoförde fakat birinci seviyedeki gibi sadece uyarıcı değil artık işin içinde olan sistemdir. 3. Seviyede ise otomatik park etme, yine sorumluluk paylaşıyor yani şoförün koltukta olup bazı işlemleri yapması gerekmektedir. İlk iki seviyeye göre daha fazla sorumluluğu üstlenen robotlar daha konforlu sürüşe davet ediyorlar. 4. ve 5. seviyelerde ise artık aracın kendi kendine hareket edeceği anlamına geliyor. Belli bir hızın altında ani fren yapması gibi sizin yerinize frene basan yolu takip eden ve duran bir sistem. 5. seviyede ise artık şoförün hiç emek vermeden istediği yere gidebileceği sistemden bahsetmektedir. Artık sistemin insana ihtiyaç duymadığı sürüş deneyimi hedefte (Friis, 2016).

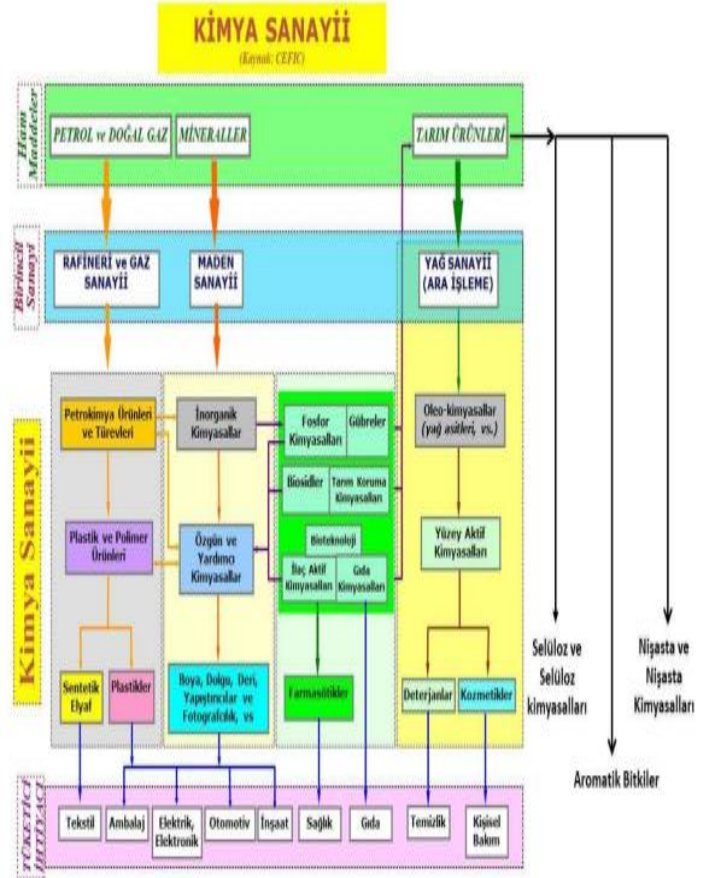
Friis'in 2006 yılında yapmış olduğu Dünya endüstri robotları ve otomasyon fırsatlarını araştırdığı

çalışmasında da olduğu gibi Endüstri 4.0'ın hayatımıza daha entegre olması gerekliliği günden güne artmaktadır. Otonom sistemler ile çalışma şeklini ilk benimseyen Avrupa ülkelerinden biri olan Almanya üretim hızını arttırması ile daha az iş gücüyle daha fazla ürün elde etmiştir. 2018 yılında 1 trilyon 317 milyon avro seviyesindeki ihracatı ile rekor kırmıştır bu sayede ülkenin dış ticaret fazlası 227 milyar 800 milyon avro gibi rakamlara ulaşmıştır. Üretilen ürünler arasında otomobil, ev araç gereçleri ve silikon bazlı mantıksal denetleyiciler önde gelmektedir. Siemens markasının günümüzde en başarılı üreticilerinden biri olan PLC devreler (programlanabilir mantıksal denetleyici) genel anlamda tüm makine ve elektronik donanımına sahip olan objelerin kontrolcüsüdür. Trafik ışıklarından kompleks makinelerin hepsinde kullanılan bu devreler kimya sanayinin de gelişimine büyük katkı sağlamıştır. Türkiye'de ise Endüstri 4.0 hareketinin başlaması ve benimsenmesi daha yakın tarihlere geliyor. Büyük sanayi firmaları 4.0 tekniğini benimsese bile pek çok yerel ve orta küçük ölçekli firmalar hala geçiş aşamasındadırlar.

1.1. Kimya Sektöründe Endüstri 4.0

Dördüncü endüstri devrimi ileriye dönük büyümeyi destekleyerek ve prosesleri düzene sokarak potansiyel olarak kimya sektöründen bahsedebilmemize olanak sağlar. Gelişmiş malzemeler, uygun analitik çözümler, yapay zekâ teknikleri ve akıllı robotik projeler gibi birçok ileri teknoloji ile birlikte kimya sanayisinde hedeflenen seviyeye ulaşması beklenmektedir. Daha da mühim mesele olan şey bu teknolojilerin şu an ki şirketlerde uygulanmaya başlanması, şirketlerde kullanılan diğer teknolojiler ile uyumlu olması ve yeni iş modellerine olanak sağlaması gibi yenilikler var olduğu sürece şirketlerin merkez noktalarında olacakları beklenmektedir (Fırat, 2016).

Kimya sektörüyle uğraşan şirketler kullanıcılarına kaliteli ürünler ve hizmetler sunabilmek için yeni metotlar, şirketlerin büyümeleri, daha fazla ses duyurmalarını sağlayacak adımlar endüstri 4.0 ile sağlanılacaktır. Şirketlerin ne kadar süratli ve iyi bir performans sergileyecekleri bugün aldıkları kararlara ve gelecek yıllar için odaklanacakları girişimlere göre değişebilir. Kimya sektörü ve ürünlerinden bahsedildiğinde, kimya sektörü bir ülkenin gelişmişlik düzeyini üstü kapalı olarak gösterebilir. Ülkenin içinde bulunduğu sosyoekonomik halini gözler önüne serer. Kimya sanayi, NACE 2 sektör sınıflandırmalarına göre dört ana imalat sanayi grubunu kapsamaktadır (Tarım, 2017).



Şekil 1. Kimya sanayinin hammaddeden tüketici ürünlerine ulaşım akışı (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2019).

Şekil 1'de Kimya sanayinin dört ana imalat sanayi grubundan bahsedilmektedir. Bu 4 ana sanayi petrol ve doğalgaz türevlerini içeren ham maddeler grubu, rafineri ve işlenmiş gaz grubunu içeren birincil sanayi, sentetik elyaf ve plastikler grubu ve son olarak da tüketici ihtiyaçları sınıfından oluşmaktadır.

Endüstri 4.0 ile beraber birçok farklı pazar endüstrisinin içinde olan kimya sektörü de bu devrime ayak uydurabilmesi gerekmektedir. Kimya sektörü günümüzde üretilen her ürüne doğrudan veya dolaylı olarak katkı sağlıyor bunlar inşaat, ilaç, seramik, boya, dış kaplama, cam, tıp, otomotiv, doğalgaz ve petrol sektörleri arasında başlıca yer alanlardır (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2019).

Tablo 2'de kimyasal maddelerin en çok kullanıldığı sektörleri ve bu sektörlerdeki kullanım oranları verilmiştir. Kullanılan faaliyetleri göre toplam sonuçları da belirtilmiştir. %64,4 ile endüstriyel faaliyetlerde %36,6 ile diğer faaliyetlerde kullanım sıklıkları göz önüne getirilmiştir (Kayhan ve Demirel, 2016).

Tablo 2. Kimyasal maddelerin diğer sektörlerde kullanım miktarları (Kayhan ve Demirer, 2016).

Sektör	Tüketim %
Lastik ve Plastik	13,9
İnşaat	7,9
Kağıt sanayi	4,6
Otomotiv	4,3
Temel metaller	4,3
Tekstil	3,2
Diğer metalik olmayan mineraller	3,1
Metal üretimi	3,1
Makineler ve ekipmanları	2,8
Gıda ve içecek sanayi	2,6
Ağaç işleme	2,6
Yayım ve baskı işleri	2,3
Elektrik makine ve ekipmanları	2,2
Mobilya	2,1
Diğer üretimler	5,3
Endüstriyel faaliyetler - Toplam	64,4
Sağlık ve sosyal ihtiyaçlar	11,2
Diğer işler	7,4
Tarım	7,0
Ticaret	5,1
Servis	4,9
Diğer faaliyetler - Toplam	35,6

Ülkemizde üretilen ürünlerin direkt bağlantılı olduğu sanayi kollarından biri de kimya sanayisidir. Bu sebeple her maddede belli bir kimyasal düzen bulunur. Dünya üzerinde değişik uniformlar da 6 milyona yakın bilinen kimyasal madde vardır.

Zararlı kimyasal toksik sınıfına giren maddeler insan sağlığı için ölümcül olabilirler ve kanserojen madde olarak tanımlanırlar. Bu tanıma giren fakat günlük yaşantımızda sıkça kullandığımız eşyalar olabilir. Zararlı maddelerin insan sağlığına zarar verme durumları maddeye doğrudan temas yani etkileşim ile ya da vücuda emilimi ile görülür. Zararlı kimyasal toksikler zehirlilik ve tehlikeli olma durumlarına göre iki değişik sınıfa ayrılırlar.

Çeşitli sebeplerden mütevellit toksiklik etkisi değişiklik gösterebilir. Bunlar; vücuda giriş şekli, maddenin kimyasal formu, fiziki durumu, kişinin maruz kaldığı süre ve sıklığı, o kimyasal maddenin belli özellikleri (erime sıcaklığı kaynama noktası parlama eşiği ve uçuculuğu v.b) ve maruz kalan kişinin yapısıdır (Kalkan, 2012).

1.2. Kimya Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği

Tehlikeli madde taşımacılığında görev alan herkesin karşı karşıya kaldıkları risk o kadar yüksektir ki istenmeyen bir durumun oluşması halinde insanlar hayatını kaybedebilir veya hayatlarının sonuna kadar hastalıklarla mücadele etmek zorunda kalabilirler.

İstenmeyen durumlar iletişim sorunlarından, dikkatsizlikten, gereken tedbirlerin alınmamasından kaynaklanabilir. Burada tüm çalışanlara önemli görev düşmektedir. Herkes işini titizlikle yapmalı ve kurallara uymalıdır (Kalkan, 2012).

İşle ilgili hastalıklara örnek olarak; koroner kalp hastalıkları, kronik bronşit, KOAH, bronşiektazi, pnömokonyoz, alt – üst solunum yolları enfeksiyonları ve daha fazlası gösterilebilir.

Ağır metaller, çözücüler ve gazlar olarak sınıflara ayrılan kimyasal kaynaklı meslek hastalıkları A grubunda bulunur. Bu maddelerin uzun süre hava da asılı kalması ve o havanın çalışanlar tarafından solunması ile ortaya çıkan hastalıklarıdır.

Çalışanların uzun süreler aynı ortamda bulunması ve çalışması halinde meslek hastalıkları kategorisine girmektedir. Meslek hastalıkları kronik genelde kronik rahatsızlanmalara yol açmaktadır, radyolog bunlara örnek olarak verilebilir daha ciddi derecede rahatsızlıklar ise ağır metaller veya zehirli kimyasal maddelerle çalışanlara örnek olarak verilebilir.

Sosyal Güvenlik Kurumu'na göre 2019 yılında kimyevi ürünlerin imalatında iş kazası geçiren çalışanların sayısı 29 iken zehirlenme boğulma nedeniyle 108 işçi, patlama yanma nedeniyle de 83 işçinin yaşamını yitirdiği kayıt altına alınmıştır. Aynı kurumun verilerine göre başka bir verisine göre iş kazasının en çok görülen sektörler fabrikasyon olarak metal ürünlerin imalatı ve ana metal sanayi tekstil ürünlerinin imalatında görülmüştür. Tablo 3'te iş kazalarının nedenlerine bağlı olarak sonuç verileri yer almaktadır.

Tablo 3. İş kazaları karnesi

Sonuç	Kazalar	Hastanede Yatan İnsan Sayısı	Hastanede Ayakta Tedavi Olan İnsan Sayısı	Ölüm Sayısı	Hasar (Dolar)
Çevresel Hasar	76	2	1	2	36.893,716
Patlama	17	10	2	7	13.030,932
Ateş	70	14	8	10	20.624,418
Su Kanalizasyonuna Karışan Tehlikeli Madde	62	1	1	0	32.148,280
Döküntü	14644	12	110	7	70.192,689
Gaz veya Buhar Yayılımı	378	16	31	2	16.400,966
Toplam	16160	55	153	28	90,936,412

1.3. Kimya Sektöründe Taşıma ve Akıllı Gezgin Robot Projesi

Dünya genelinde iş kazası sayıları gün geçtikçe artıyor maalesef bunun önünü kesebilmek için olağan teknolojiden yararlanmak, kaliteyi arttırmak, rakipler ile rekabet ortamı oluşturmak ve en önemlisi insanın değerini daha iyi kavrayabilmek, insanın yüküne yardımcı olabilmek için otonom sistemlerden yararlanılmalıdır. Otonom sistemler hayatımıza girdikleri günden itibaren pozitif katkılar vermişler ve vermeye de devam edeceklerdir (Murphy, 2000).

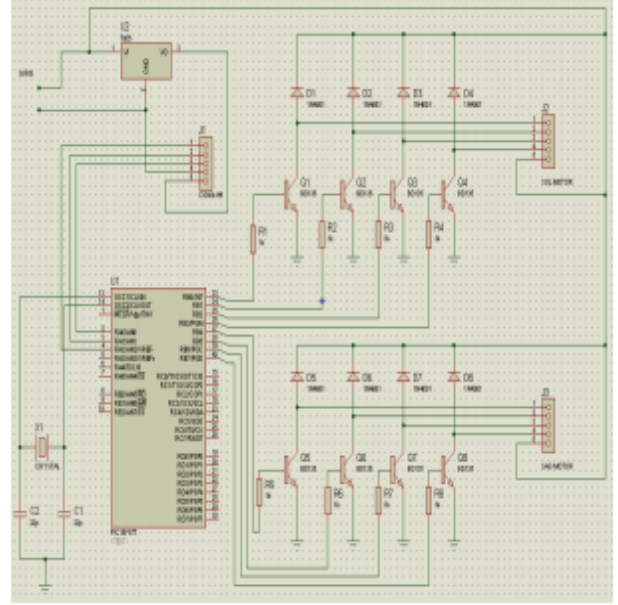
Bu çalışmada amaç, ülkemizde bulunan kimya sektörüne hizmet eden şirketlerde insan sağlığına zararlı olan kimyasalları taşıyıcı gezgin robotlar sayesinde taşıyarak insan sağlığını en yüksek hedefte korumaktır (Yazıcı vd., 2006). Bu kapsamda birinde kimyasal madde değerinde çözelti bulunan 2 farklı derişimin taşıyıcı gezgin robotlar sayesinde taşınması sağlanacaktır. Bu taşıma zemine döşenen siyah şeritler sayesinde gerçekleşecektir. Şeritten çıkma ya da herhangi başka olumsuz koşulda ikaz sesi çıkarıp kendini durduracaktır (Carelli vd., 2006) (Smith ve Zografos, 2005). Başta kimya sektöründe boy gösteren şirketlerde, temizlik, ilaç, seramik ve cam sanayisi de dahil olmak üzere kimyasal maddelerin kullanıldığı alanlarda çalışanların tehlikeli madde taşımalarının önüne geçmek için tasarlanmıştır.

Taşıyıcı gezgin robotlar temizleme aracı olarak da kullanılabilirler. İçlerinde bulunan hassas terazi sayesinde taşıyacakları kimyasal maddenin ağırlığı ölçülür ve optimum aralıkta olup olmadığı da kontrol edilir (Lacey ve Dawson, 1998). Çalışma mekanizması da sadece zemine döşenen şeritler üzerinde hareket eden bu gezgin robotlar kimyasal madde tankı ile döküleceği tank veya ulaşacağı platformlar arasında gel-git işlemi yaparlar.

2. METARYAL VE METOT

2.1. Sistemin Tasarımı

Taşıyıcı gezgin robotların sistem tasarımı siyah ve beyaz bölgeleri algılayan step motoru zeminin renklerini algılayabilmesi için gerekli fototransistörler, bu bilgiyi işlemesi için gönderilen ana kontrol ünitesi (CPU) ve yüklenen ağırlığa göre alçalıp yükselebilen hassas terazi ve karar mekanizmasını içerir. Robot bu kontrol üniteleri ile donatılmıştır (Şekil 2) (Egtesad ve Neculescu, 2006).



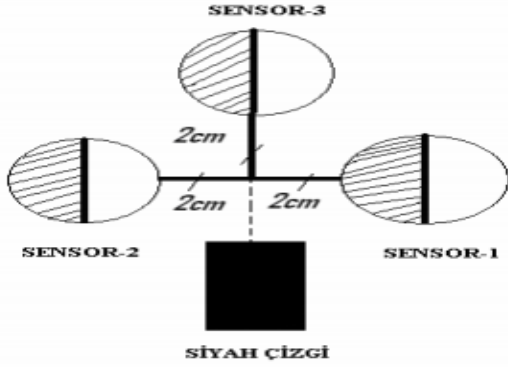
Şekil 2. Sürücü kontrol devresi

2.2. Sistemin Çalışması

Akıllı gezgin robotların çalışma prensibi şu şekildedir. Ana kontrol ünitesine bağlı olan 3 farklı sensör bulunur (Şekil 3). Bu sensörlerin ikisi yan taraflarda biri ise ön kısımda yer alır. Sensörlere yerleştirilmiş fototransistörler bulunur, bu transistör çeşidi gönderdiği kızılötesi ışık ile zeminin hangi renge olduğunu ana kontrol ünitesine gönderir. Robotun ilerlemesini sağlayan işaret zemine daha önceden yerleştirilmiş siyah şerit ile yolunu bulması istenmektedir. Sensörlerden ön kısımda olanı siyah şeridi takip etmek için programlanmıştır. Ana kontrol ünitesi ön taraftan gelen bilgileri 0 ile 1 olarak algılar, 0 beyaz bölgeyi temsil eder ve robotun bu bölgede bulunması istenmeyen bir durumdur. Siyah bölgeleri ise 1 olarak algılar ve robotun izleyeceği yolun doğru halidir. Sensörlerde bulunan kızılötesi ışıklar zemine sürekli ışık tutar, siyah şerit üzerine düşen ışıklar daha az soğurulduğu için ışık algılayıcıları olan fototransistörler siyah zemin üzerinde ilerlediğini ana kontrol birimine göndererek herhangi bir hata olmadığını belirtir ve robot yoluna devam eder.

Eğer ön taraftaki sensör beyaz zemine ışık gönderirse zemin fazla yansıtacağından fototransistörler bu bilgiyi ana kontrol ünitesine gönderir ve birim bunu 0 komutu olarak algılar sistemi o an durdurarak hata meydana geldiğini anlayacaktır. Yan taraftaki sensörler ise öndekinin aksine tam tersi çalışır yani beyaz noktalar 1 durumu iken siyah noktalar 0 olarak algılanır.

Bunun nedeni yerleştirilen siyah şerit robotun sadece altından geçtiği için yan taraflarda siyah rengin algılanması robotun olması gereken yerden farklı bir yerde olması anlamına gelir bu da istenilen bir durum değildir. Bu yüzden yandaki sensörler siyah ışık belirlediğinde robot bir hata meydana geldiğini anlar ve sistemi o an durdurur. Robot taşımayı bitirince 180 derecelik bir dönüş yapar ve başka bir yükleme için geldiği yere geri döner (Smith ve Zaografos, 2005) (Kotani vd., 1996).



Şekil 3. Sensör yerleştirme planı

Bu kısma kadarki bölümde robotun hangi yönde ilerleyeceğinin çalışma durumu anlatılmıştır buna ek olarak robotun üzerine konulan yükleri hassas terazi ile ölçülüp yüksekliğini ayarlaması için bir kontrol ünitesi daha bulunur. Bu özellik kontrol birimine daha önceden tanımlanmış 5 preset halinde bulunur. Yüklenen ürün hangi ağırlık skalası arasında ise yüklenen platform belirlenen yüksekliğe ulaşır ve taşıma öyle devam eder.

2.3. Mikrodenetleyicinin Programlanması

Ana kontrol ünitesi ve hassas terazinin karar verme mekanizmasında “PIC BASIC PRO” programlama dili kullanılmıştır. Hassas terazi kontrol ünitesi programlanırken yüksekliği belirlemek için 5 farklı ağırlık aralığı tanımlanır. Farklı programlar sayesinde genelde uzaktan çalışan mikrodenetleyiciler için uygun olan onaltılık kaynak dosyası olan HEX uzantılı dosyalara dönüştürülür, elde edilen dosyalar mikrodenetleyicilere yüklenir (Do ve Pan, 2006).

Kimya sektöründe tehlikeli madde taşımacılığında insan sağlığına zarar verebilecek pek çok madde bulunduğu için olası bir kaza can kaybıyla sonuçlanması yüksek olasılıklıdır, iyi ihtimalla can kaybı olmasa bile uzun yıllar sürecek hastalıklar görülebilir. Bu nedenle tehlikeli maddelerin taşınması önemli bir konudur ve bu yüzden dünya genelinde de uluslararası bir düzenlemeye ihtiyaç duyulmuştur.

Verimlilik ve etkinlik Endüstri 4.0 ile beraber daha da önemli hale gelmiştir. Kaynakların doğru kullanılması, sistemlerde kullanılan enerjinin minimumda tutulması ve insan sağlığı açısından iş güvenliğinin artırılması ve kaza sayılarında azalma sağlanmıştır.

Akıllı seyyah robot, belirlenmiş yol üzerinde daha öncesinden çizilmiş olan beyaz zemin üstündeki siyah çizgileri üzerinde bulunan ve sürekli işlem yapan sensörler sayesinde takip ederek kendi kendine gitme özelliği kazandırılmıştır. Sensörler için mikrodenetleyici kullanılmıştır, kızılötesi sensör ve fototransistör yardımıyla bu bilgileri step motorlarına aktarır ve siyah çizginin dışına taşmayacak şekilde robotun ilerlenmesi sağlanacaktır. Step motorları ise mikrodenetleyiciden gelen bilgiler sayesinde robota hareket özelliği kazandırmıştır.

Mikrodenetleyici: Merkezi işlem biriminin ana karar verme mekanizmasının çalışmasını sağlayan bir bileşendir genelde çip şeklinde tasarlanır devre kartına pimler sayesinde oturur.

Kızılötesi Sensör: Genelde renklerin ayırt edilebilmesinde görevlendirilir. Bazı örneklerinde mesafe algılaması da yapabilir. Bu sensörler kızılötesi bir ışık yayar ve içinde bulunan fototransistörler sayesinde zeminin rengi algılanır.

Fototransistör: Üstüne düşen ışığı zeminin rengini belirlemek için kullanılır. Çok küçük yapıların birleşmesiyle oluşur nanometre ile ölçülür.

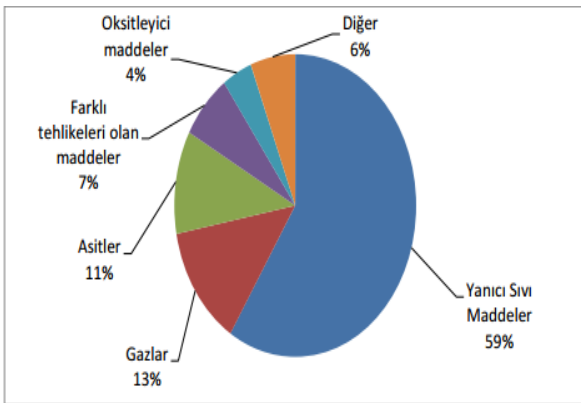
Step Motorları: Robotun sadece hareket edebilmesinin sağlayan motorlardır. Robotun hangi yöne gideceğini belirlemez.

3. BULGULAR

Otonom taşıma araçları taşımanın en hızlı ve güvenli yoludur. Konveyörler veya manuel araçların yerine kullanılan ve her taşıma işlemi için özel olarak tasarlanan bu araçlar, tekrar eden taşıma işlemlerini güvenli ve hassas bir şekilde yerine getirirler. Otomasyon sistemleri günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle beraber pek çok farklı sektörde halihazırda kullanılmaktadır. Bu sistemler insanlara göre çalışma hızı, üretim kalitesi ve yüksek hızda karar verme mekanizmalarına sahip oldukları için günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Robotların gelişimi ile beraber üretim bantlarında daha da uyum sağlamışlardır. Eskiden üretim hattı robotlara göre düzenlenirken günümüzde robotlar mevcut üretim sistemlerine ayak uydurabilmektedirler. Üzerlerindeki sensörler sayesinde çevresini ve parçaları tanımlayabilen

bu robotlar insanlar ile beraber esnek bir şekilde çalışabilirler. Yapılan araştırmalara göre insanlarla beraber çalışabilen robotlar üretim halindeyken işlem sürelerinde %25 azalmayı, hat bekleme sürelerinde ise %17 azalma sağladığı gözlemlenmiştir.

Tehlikeli maddelerin sınıflandırılması verdikleri zarara göredir daha az zararlıdan daha fazla zararlıya doğru sıralanır bunlar; gazlar, asitler, oksitleyiciler ve organik peroksitlerdir farklı tehlikedeki maddeler yanıcılar ve diğer tehlikeli maddeler olarak sınıflandırılır. Tehlikeli maddeler insan vücuduna 3 farklı şekilde girebilir bunlar solunum yolu, deri ile emilmesi yani soğurulması ve sindirim yolu ile gerçekleşir.

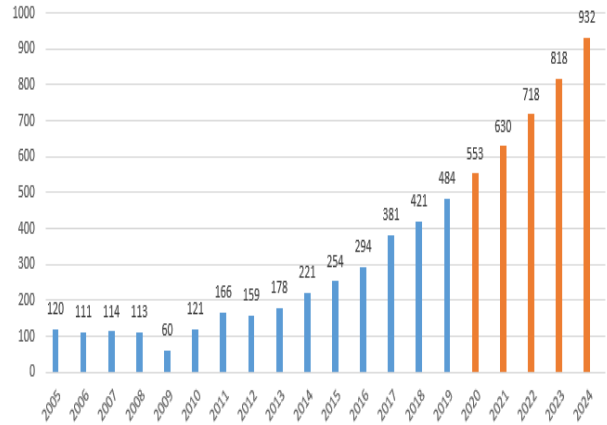


Şekil 4. Tehlikeli madde taşımacılığının tehlikeli madde sınıflarına göre dağılımı

Şekil 4'te tehlikeli madde taşınmasındaki tehlikeli maddelerin sınıflarına göre dağılımı verilmiştir. %59 ile en çok yanıcı sıvı maddelerin taşındığı bundan sonra da sırasıyla gazların, asitlerin, diğer tehlikeli maddelerin ve son olarak da %4 ile oksitleyici maddelerin taşındığı vurgulanmıştır.

2024 yılına kadar Uluslararası Robotik Federasyonu'nun (IFR) en yakın tahminine göre güncel olarak faal çalışan fabrikalarda 1,4 milyondan fazla yeni endüstriyel robot kullanımı olacağı şeklindedir. Tüm dünyaya bakıldığında Avrupa Birliği otomasyon kullanımı olarak en üst sırada yer almaktadır. 10.000 çalışan başına diğer bütün bölgelerden daha fazla endüstriyel robot sayısına sahip ülkelerin %65'i Avrupa Birliği'nde bulunmaktadır. Robot ve endüstriyel aletlerin kullanımı AB'de en yüksek iken robot yapımı endüstrisinde 1 numaralı büyüme ise Çin'e aittir. Tahminlere göre 2021 yılında endüstriyel robotların tüm dünyadaki pazarın %40'ını tek başına karşılayacağı ön görülmektedir. Şekil 5'te yıllık endüstriyel robot arzı grafiği bulunmaktadır (Kılıç ve Alkan, 2018).

Endüstriyel Robotların Dünya Çapında Yıllık Arzı
2005 -2024 (1000 adet)



Şekil 5. Yıllık Endüstriyel Robot Arzı (Kılıç ve Alkan, 2018).

Tablo 5. Tehlikeli madde kazalarının sebep ve sonuçları

	Toplam kaza sayısı	Malzeme tasarım hatası	İnsan hatası	Ürün kaybı	Ciddi yaralanmalar	Ölüm
Depolama ve Elleçleme esnasında meydana gelen kazalar	110	50 % 47	49 % 45	80 % 73	3 % 3	0 % 0
Taşıma esnasında meydana gelen kazalar	139	49 % 35	83 % 60	102 % 73	4 % 3	3 % 2

Tablo 5'te Türkiye genelinde bir yıl içerisinde tehlikeli maddelerinin lojistik operasyonları sürecinde meydana gelen tehlikeli madde kazalarının sebepleri ve sonuçları tabloda görüldüğü gibidir. Toplam kaza sayıları kazanın neden kaynaklandığı yaralanma ve can kaybı sayıları da belirtilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

İş kazalarının çoğunluğu işçi hatalarından kaynaklanmaktadır. Çalışanların bilinçsiz, disiplinsiz, dikkatsiz ve bazı kontrolsüz davranışları, güvensiz çalışma yöntemleri, alet ve kullanılan makinelerin düzensizlikleri ya da yanlış kullanımlarından meydana gelmektedirler. Veyahut tehlikelerin önemsenmemesi, eğitim eksikliği ruhsal bazı sorunlar, ailevi sorunlar, yorgunluk, uykusuzluk, işin yetkili personel tarafından yapılmaması, yetki belirsizlikleri, koruyucu ekipmanların doğru şekilde kullanılmaması ya da ekipman yetersizlikleri örnek olarak verilebilir. Ulaşılan inceleme sonuçlarınca %2'sinin önüne geçilemeyen sebeplerden %10'nun güvensiz durumlardan geriye

kalan %88'inin ise kişilerin davranışlarından kaynaklandığı belirlenmiştir. İşine gereken ilgiyi alakayı gösteren, iyi bir şekilde odaklanabilen insanlar bile hata yapmaktadırlar. Çalışma alanında günlük sıradan işleri gerçekleştiren kişi sayısı ile yapılmış hata sayıları ele alındığında maddi anlamda maliyetli sorunlarla karşı karşıya kalınabilir. Robotik otomasyonlar insanoğullarından kaynaklanan hataları tamamen ortadan kaldırılabilmektedir. Güvenilirdirler, kurallara uyarlar, emirlere itaat ederler, süreci hızlandırıp iyileştirmelerde bulunabilirler ve en önemlisi prosesin kalitesini arttıran kabiliyetlere sahiptirler.

Tekrarlanan ve çok zaman harcanan süreçleri otomatik hale getirerek işçilerin daha değerli olan işlerde görevlendirilmesine olanak sağlanmış olur ayrıca böylelikle çalışanlar işletmeye daha fazla değer katarlar. Akıllı gezgin robot ile süreç otomasyonunda insansız gerçekleştirilebilecek görevler meydana geldiği için bu görevlerden kurtulan çalışanlar üretime daha fazla katkı sağlayıp insan odaklı işlere daha fazla yoğunlaşabilir hale geleceklerdir.

Bu çalışma, insanın tehlikeli madde ile etkileşimini sıfıra indirmek üzere tasarlanmıştır. Maalesef ki bazı şirketlerde bu atık maddelerin uzaklaştırılmasında hala çalışanlar kullanılmaktadır. Yüksek dozda kimyasal maddeye maruz kalan ya da vücuduna etkileşimi söz konusu olduğunda hem insana hem de çevreye verdiği zarar bilinmektedir. Bu projeden sonra insana ve çevreye verdiği zararda azalma göstermiş işletme içinde olumlu sonuçlar incelenmiştir. Robotta birçok yeni özellik katılarak proje geliştirilebilir. Kimyasal alanda kullanılacak otonom robotlarda dış cephelerin kimyasal tepkimeye girmeyecek bir madde ile kaplanması durumunda robotun kullanım ömrünü gözle görülür şekilde arttırılmasında yardımcı olabilir. Robotun merkezi işlem biriminin (CPU) internete bağlı olması halinde makinelerin vardiyasını değiştirmek için herhangi bir teknisyene ihtiyaç olmadan bir bilgisayar yardımıyla uzaktan erişim sağlanıp yeni komutlar atanabilir ayrıca robotlar her saat başı ana bilgisayara sinyal gönderip çalışmasının aksamadığını rapor edebilir. Daha uzun ömürlü olması için güneş pilleri takılabilir daha uzun şarj ömrüne sahip olarak tek vardiya değil de çift vardiya çalışabilir. Alt yüzeyine yerleri süpüren bir temizlik fırçası eklenebilir gelip gittiği yolu aynı zamanda temizleyebilir. Robotun üzerine kamera ve bir sensör eklenip yoluna çıkan engeller olduğunda stop edebilir ya da taşıdığı yükü anbean takip edebilme imkanı da sunar.

KAYNAKLAR

Akın Ö. (2017). Hızla artan endüstriyel robotların üretim süreçlerinde yarattığı değişimler ve Türkiye işgücü piyasasında yaratacağı olası etkilerin değerlendirilmesi, İş ve Hayat, 3(6), 42-71.

Carelli R., Victor J.S., Roberti F. and Tosetti S. (2006). Direct visual tracking control of remote cellular robots, Robotics and Autonomous Systems, 54, 805-814.

Do K.D. and Pan J. (2006). Robotics and Computer Integrated Manufacturing.

Eghtesad M. and Neculescu D.S. (2006). Internal dynamics of robotic and autonomous systems.

Fırat S.Ü.O. (2016). Sanayi 4.0 dönüşümü nedir? Belirlemeler ve Beklentiler, Global Sanayici Dergisi, ÇOSB Yayını.

Fırat S. Ü. ve Fırat, O. Z. (2017). Sanayi 4.0 devrimi üzerine karşılaştırmalı bir inceleme: Kavramlar, küresel gelişmeler ve Türkiye, Toprak İşveren Dergisi.

Fırat S. Ü. ve Fırat, O. Z. (2017). Endüstri 4.0: Gereklilikler ve Etkiler, Konferans Notları, İ.Ü. Enformatik Bölümü.

Friis D. (2016). World industrial robots and automation opportunities.

Kalkan M. E. (2012). Karayolu ile Tehlikeli Madde Taşımacılığında Yerleşim Alanlarının Riskleri (Yüksek Lisans Tezi), Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kayhan E. ve Demirel A. (2016). Polimer işleme sektörlerindeki meslek hastalıkları kazalar ve iş güvenliği, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(3), 497-507.

Kılıç S. ve Alkan R. M. (2018). Dördüncü Sanayi Devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye Değerlendirmeleri, Girişimcilik İnovasyon ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi, 2(3), 29-49.

Kotani S., Mori H. and Kiyohiro N. (1996). Robotic travel assistance and development of robotic autonomous systems.

Lacey G. and Dawson-Howe K.M. (1998). Mobility application for robotics and autonomous systems.

Murphy R. (2000). Introduction to AI Robotics, MIT Press, London.

Smith P.P. and Zografos K. (2005). Robotics and autonomous systems.

Tarım M. (2017). Kimya sektöründe iş kazaları ve meslek hastalıkları, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16(32), 49-64.

T.C. Kalkınma Bakanlığı 11. Kalkınma Planı, 2019.

WEF, The Global Risks Report 2017, 12th Edition, Insight Report, 2017.

Yazıcı A., Parlaktuna O. ve Özkan M. (2006). Akıllı gezgin robotların tarım alanında uygulamaları, 5. GAP Mühendislik kongresi, Şanlıurfa.

RESTful Web Servisleri ve Node.js Kullanılarak Genel Bir Kullanıcı Doğrulama Sisteminin Raspberry Pi ve RFID Teknolojisi ile Tasarımı ve Gerçekleştirimi

Mehmet KARAKOÇ¹ , Canberk ARDIÇ² , Mehmet Arif Emre ŞEN³ 

¹Alanya HEP Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Antalya, 07400, Türkiye

²Mercedes-Benz Otomotiv, İstanbul, 34538, Türkiye

³Open Business Software Solutions, İstanbul, 34906, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 08.12.2020, Kabul Tarihi: 08.06.2021

Özet

Bu çalışmada, genel bir kullanıcı doğrulama sisteminin tasarımı ve gerçekleştirimi ele alınmaktadır. Bu amaçla, donanımsal gerçekleştirme için Raspberry Pi ile RFID teknolojisi ve yazılımsal gerçekleştirme için RESTful web servisleri ile Python ve Node.js kullanılmıştır. Geliştirilen sistemde, (i) Raspberry Pi RFID okuyucu ile kullanıcının kartını okur ve girdi veriyi geliştirilen Python veya Node.js uygulamasına iletir. (ii) bu uygulama bir önceki çalışmada geliştirilmiş olan servis yazılımına ilgili HTTP isteğini gönderir. (iii) bu program kullanıcı doğrulaması için gerekli veri tabanı işlemlerini yapar ve JSON yanıtını döndürür. (iv) çıktı Node.js uygulaması aracılığıyla ekranda görüntülenir. Yapılan deneylerde, Node.js uygulamasının etkin kullanıcı etkileşimiyle Python'daki GUI sorununu aşabilmede oldukça uygun olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, Raspberry Pi kullanımı kararlı bir sistem geliştirmede iyi bir çözüm olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Raspberry Pi, RFID, RESTful web servisleri, Python, Node.js.

Design and Implementation of a Generic User Verification System with Raspberry Pi and RFID Technology Using RESTful Web Services and Node.js

Abstract

In this study, it is addressed to design and implement a generic *user verification system*. To this end, Raspberry Pi with RFID technology for hardware implementation and RESTful web services with Python and Node.js for software implementation were used. In the developed system, (i) Raspberry Pi with RFID reader reads the user's card and transmits the input data to the developed Python or Node.js application. (ii) this application sends the relevant HTTP request to the *service software* that was developed in the previous study. (iii) this program performs the database operations required for the *user verification* and returns the JSON response. (iv) the output is visualized on a screen via the Node.js application. In the experiments conducted, it was observed that the Node.js application is fairly appropriate in overcoming the GUI issue in Python with efficient *user interaction*. Additionally, using Raspberry Pi has become a good solution in developing a stable system.

Keywords: Raspberry Pi, RFID, RESTful web services, Python, Node.js.

¹Sorumlu yazar mehmet.karakoc@alanyahep.edu.tr, ²canberk.ardic@daimler.com, ³maemresen@yazilim.vip

1. GİRİŞ

İncereis ve Akgün'e göre, IoT'de (*Internet of Things* – nesnelerin interneti), *servis yazılımı* geliştirilmeli ve servisler bir oyuncak-bloğu (*lego*) gibi sisteme istenildiği zaman eklenebilmeli, çıkartılabilmeli veya güncellenebilmelidir. Ayrıca, özellikle bir nesne ile aynı anda veri alışverişi yapmak isteyen çok sayıda cihaz varsa, esnek, etkili ve ölçeklenebilir çözümler üretilebilir. Örneğin, bir önceki çalışmada (Ardıç vd, 2019) geliştirilmiş olan *servis yazılımı*, geliştirilmiş olan Android uygulaması ile konuşurken; bu çalışmada ise geliştirilen Python ve Node.js uygulamaları ile konuşmaktadır. Bu kapsamda, makineler arasında ortak bilgi paylaşımı (*çevrim içi bilgi dağıtımı*) sağlanarak, bir önceki çalışmada Arduino ile yapılmış olan gerçeklemler "Raspberry Pi" (R-PI) kullanılarak da yapılmıştır. Bu tür sistemler ve açık-kaynak donanım altyapıları/platformları, bilgi doğrulama, büro güvenliği, ev otomasyonu ve kullanıcı onaylama gibi pek çok amaç için sıklıkla kullanılmaktadır.

1.1. Literatür Taraması

Alan yazını incelendiğinde, bilgi servis, ev otomasyon, katılım güvenlik, katılım yönetim, öğretim yönetim ve sıcaklık ölçümü gibi amaçlara yönelik olarak R-PI kullanıldığı görülmektedir.

Priya ve Harish (2015), duyarğalar/sensörler kullanarak sıcaklık, basınç, hız ve yön gibi değişkenleri (*parametre*) ölçme yeteneğine sahip, düşük-maliyetli ve etkin bir sualtı aracı tasarlayıp gerçekleştirmişlerdir. Değişkenleri görüntüleme (doğrudan bir LCD (*liquid crystal display* – sıvı kristal görüntü birimi) ekran ile yapılamayacağından) R-PI ile ara-bağlantısı-olan (*interfaced*) bir ekran yardımıyla, iletişim ise I2C/PC (*inter-integrated circuit* – ara-tümleşik devre) ve SPI (*serial peripheral interface* – seri çevre-birimi arayüzü) protokolleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Natarajan vd. (2017)'e göre laboratuvarların sıcaklık ölçüm ve izleme sistemine ihtiyacı vardır. DS18B20 ve "R-PI 2" (Rpi 2) Model B kullanarak düşük-maliyetli bir sıcaklık günlüğü/kayıt sistemi tasarlamışlar, kodlama için Python kullanmışlardır. Python betiği (*script*) çalıştırılarak çıktı veri belirli bir dosyaya kaydedilmiş ve sıcaklıklar çeşitli aralıklar için ölçülmüştür. Bu ölçüm sistemi sıcak bir sistemdeki çevresel etkiyi çalışmak için de kullanılabilir.

Dayıoğlu vd. (2016), sera içindeki sıcaklık değişimlerinin ölçülmesi, web ortamına kablosuz aktarılması ve izlenmesi amacıyla IoT teknolojisi (*uygulayım bilimi*) ile ön/ilk-örnek (*prototype*) bir sistem

geliştirmişlerdir. Sıcaklık ölçümü için İnternete bağlanabilen iki kablosuz sensör ağı/düğümü (*wireless sensor network*) tasarlamışlardır. Her düğüm R-PI 2 tek-kart bilgisayar (*single-board computer*), iki adet sıcaklık sensörü ve "Wi-Fi" (*wireless fidelity* – kablosuz İnternet bağlantısı) adaptöründen oluşmaktadır. Sistem, sera içinde ölçülen hava, su ve toprak sıcaklığı verisi web ortamında izlenerek ve veri tabanına kaydedilerek sınıanmıştır. Ferdoush ve Li (2014) ise Arduino ve R-PI ile ZigBee modülü, XBee S2B ve bir dizi açık-kaynak yazılım paketi kullanarak bir *kablosuz sensör ağı* sistemi geliştirmişlerdir. *Kablosuz sensör ağının* geçit düğümü (*gateway node*), veri tabanı sunucusu ve web sunucusunu tek-kart bilgisayar donanım altyapısında birleştirmişlerdir. R-PI ile monitör, klavye ve fare olmadan çalışmaya kolaylıkla yapılandırma söz konusudur. Onlara göre böyle bir tasarım, pek çok çevresel izleme ve veri toplama uygulamasında kullanışlıdır. Ayrıca, kullanıcıların sensör verisine erişebilecekleri veya uzaktan konuşlandırılmış (*deployed*) sensör düğümlerinin yapılandırma ve yönetimini gerçekleştirebilecekleri bir web uygulaması (kullanışlı bir web arayüzü) geliştirmişlerdir.

Maybel ve Umamakeswari (2018), "R-PI 3" (Rpi 3) kullanarak bir sistemden bir web sunucusuna güvenli görüntü aktarımı sağlayacak sistemli/dizgeli bir yöntem önermişlerdir. Python komutları ile görüntüleri işlemek için OpenCV'nin Python API'si (*application programming interface* – uygulama programlama arayüzü) olan OpenCV-Python kullanmışlardır. Şifrelenmiş görüntü doğrudan aktarılmakta ve başka herhangi bir sistemden uzaktan erişilebilmektedir. Kiran ve Mekala (2018), endüstride çalışanlar/işçiler ve ders boyunca öğrenciler için katılım alacak bir sistem geliştirmişlerdir. Yüz tespit etme ve tanıma yönelik olarak, Open CV kütüphanesi yüklü R-PI ve bağlı R-PI kamera modülü kullanarak yoklamayı yüz tanıma ile almışlardır. İnternet üzerinden erişilebilen veri R-PI'a bağlı hafıza kartında saklanır. Katılım alma için bir zaman-dilimi ayarlanır ve veri tabanı otomatik olarak İnternet bağlantısı üzerinden web sunucusuna yüklenir. Ardıç vd. (2019) ise genel bir kullanıcı doğrulama sisteminin tasarımı ve gerçekleştirmesini ele almışlar, donanımsal gerçekleştirme için Arduino mikrodenetleyici kart ile RFID (*Radio Frequency IDentification* – radyo/telsiz frekansı ile tanımlama) teknolojisi ve yazılımsal gerçekleştirme için RESTful web servisleri ile Android kullanmışlardır.

Tan vd. (2018), Node MCU ve RFID-RC522 gibi açık-kaynak donanım altyapılarını kullanarak, otomatik öğrenci katılım kaydı yapma ve öğrencilerin öğrenme

istekliliğini/motivasyonunu güçlendirmede öğretmene yardımcı olacak IoT-tabanlı bir *öğretim yönetim sistemi* tasarlayıp geliştirmişlerdir. Dersin çevrim içi videolarının bağlantılarına hızlı erişim ve derslikte gerçek-zamanlı etkileşimli yanıt alabilmek (öğrencilerin yer alabilecekleri uygulama alıştırmalarını göstermek) için QR (*quick response* – gecikmesiz/hızlı yanıt) kod kullanmışlardır. Çok-boyutlu öğrenme söz konusudur. Sistem için kullanılacak yeni bir RFID okuyucu geliştirmek amacıyla, “kablosuz İnternet bağlantısı” ağıyla bütünleşik yüksek frekans RFID teknolojisi kullanmışlardır. Kablosuz yöntemle çalışan RFID sistemleri, mevcut derslikte “konuşlandırma / canlıya alma” (*deployment*) için uygundur. Onlara göre, *bilgi teknolojilerinin* gelişmekte olan bir alanı olarak IoT teknolojisi, eğitim uygulamalarında kullanılan *bilgi teknolojilerinin* kaçınılmaz eğilimidir ve yükseköğrenim sınıflarının yönetimine uygulanır.

Zhong ve Liang (2016)’a göre, R-PI IoT’nin hem araştırma hem de uygulamalarında uygun bir ortam olarak giderek daha fazla benimsenmektedir. Ayrıca, öğrencilerin öğrenme başarımlarını/performans ve deneyimini büyük ölçüde iyileştirecek etkili bir araçtır. *Bilgisayar Bilimleri* lisans öğrencilerine yönelik IoT dersinde tasarlanmış yeni bir proje-tabanlı öğretim ve öğrenme yaklaşımı sunmuşlardır. Tasarlanan ders basit donanım öğrenmeden bütünüyle bir ilk örnek sistem inşa etmeye kadar devam etmektedir. Öğrenciler tarafından benzer bir IoT dersinin sonunda tasarlanıp geliştirilen ilk örnek IoT sistemlerini dikkate almışlardır. Proje çalışması, dönem-boyu etkinlik olarak bir dizi proje şeklinde ve “böl ve yönet / parçala ve fethet” (*divide and conquer*) metodolojisi (*yöntem bilimi*) uygulanarak tasarlanmıştır.

Awakhare vd. (2018), etiket (*tag/label*) taşıyan nesneyi radyo dalgaları üzerinden belirleyecek RFID-tabanlı bir *katılım güvenlik sistemi* önermişlerdir. Yoklamalar kontrol edilerek, öğrenci okula girdiğinde ve okuldan ayrıldığında ebeveynleri bilgilendirilir. Etiket taşıyan öğrenci RFID okuyucunun aralığına/menziline girdiğinde veya kartını okuttuğunda, okuyucu bu etiketin verisini okur. Bu veri tabanındaki ile eşleşirse, sistemdeki LCD kimlik doğrulama iletisini görüntüler ve ebeveynler SMS ile bilgilendirilirler. Diğer durumda ise LCD yetkisiz giriş görüntüler. Öğrencilerin yoklama verisini saklamak ve daha sonra kontrol edebilmek için veri tabanı kullanmışlar, tüm sistemi Arduino UNO ile denetlemişlerdir. Ayrıca, ebeveynler sistemin web sitesine girebilir ve çocuklarının durumunu kontrol edebilirler. Ranjana ve Vinoth (2016) ise okula gidiş ve okuldan geliş süresince okul çocuklarının genel güvenliğini artırmak amacıyla, günlük otobüsle okula

gidip gelmelerini takip etmek için RFID-tabanlı bir sistem sunmuşlardır. Bu sistemle, bir çocuk otobüse bindiğinde veya otobüsten ayrıldığında otomatik olarak tespit etmeyi ve bu gerçekleşmediyse ebeveynlere uyarı iletisi göndermeyi amaçlamışlardır. Gelmeyenler tespit edildiğinde ise bu durum ilgili otobüs numarası ve sürücünün telefon numarası ile ebeveynlere SMS olarak iletir. RFID-tabanlı algılama birimi (*RFID okuyucu*) otobüsün içerisinde olup, çocuklar tarafından giyilen RFID-etiketleri tespit eder. İlgili veriyi bir GSM modem aracılığıyla sistemin veri tabanı sunucusuna gönderir ve yoklamalar kontrol edilerek veri tabanı güncellenir. Ayrıca, ebeveynler sistemin web sitesine girebilir ve çocukları ile ilgili ayrıntıları görebilirler.

Rjeib vd. (2018), akademik alan için *programlanabilir mantık devresi* olan Arduino ve RFID-tabanlı bir *katılım yönetim sistemi* ve *bilgi (servis) sistemi* tasarlayıp geliştirmişlerdir. Bu sistemle, öğrencilerin yoklama verisini yönetmeyi amaçlamışlardır. Sistem, öğrenci katılımını takip etme olanağı sunar. Öğrencilerin ders zamanları, derslik numaraları, günlük zaman çizelgesi ve not çizelgeleri ve fakülte bölüm personeli tarafından sağlanan öğrenciye ilişkin diğer yönergeler ile ilgili bilgileri içeren *bilgi servislerini* de destekler. Kayıtları izleme ve koruma, öğrencileri takip etme, rapor gönderme, veri yönetimi ve *bilgi servislerini* sağlama gibi işlevler içerir. Ayrıca, ek kâğıt işlerine gerek olmadan veriyi saklamada personele kolaylık sağlar.

Tiwari ve Singh (2017), trafik sinyaline göre harekete geçen otonom bir araba (iki tekerleği olan ve kendinden yanıt veren *şasili* (motorlu kara taşıtının iskelet bölümü) robot araba) için R-PI 3 ve R-PI kamera modülü kullanarak dur işaretleri panosu ve kırmızı trafik sinyalini tespit edecek bir teknik geliştirmişlerdir. Tüm sistem için kodlamada Python, görüntü işleme için Open CV kullanmışlardır. Öndeki araçla çarpışmayı önlemede, araç hız kontrolü için uzaklık ölçümüne yönelik ses ötesi (*ultrasonic*) sensörü kullanmışlardır. Kameradan görüntü alındıktan sonra trafikteki kırmızı sinyaller için maskeleyme ve dış hat (*contour*) tekniklerini, trafik panosundaki işaretleri belirlemek için HAAR CASCADE tekniğini kullanmışlardır. Herhangi bir araç aracın menziline girdiğinde, ses ötesi sensörü bir sonraki aracın uzaklığını düzenli aralıkta vermekte, bu mesafe düzenli zamanda alınarak öndeki aracı geçmek için aracın maksimum hızı hesaplanabilmektedir. Küçükkülahlı ve Güler (2015) ise R-PI kullanarak İnternet üzerinden bir web sayfası aracılığıyla gerçek-zamanlı *gezgin/mobil robot kontrolü ve izleme* için bir sistem geliştirmişlerdir. Ek kontrol takımı olmadan gerçekleştirdikleri düşük-maliyetli ve açık-kaynak

gezgin robot tasarımında, robot üzerindeki USB kamera ile çevre-birimi izleme gerçekleştirmişlerdir. R-PI'nin GPIO (*general purpose input output* – genel amaçlı giriş-çıkış) bacaklarını/uçlarını (*pins*) kontrol etmek için “node.jsrpi-gpio” kütüphanesini, daha güvenli ve hızlı bir bağlantı için HTTP yerine WebSocket ve R-PI üzerinden hem bu protokolü hem de DC ve servo motorları yönetmek için Node.js kullanmışlardır.

Kaur vd. (2016), anahtar kelime eşleme mantığında çalışan ve zaman, hava ve bildirim bilgileri içeren ek modüllerle bir *ses komut sistemi* gerçekleştirmişlerdir. Sistemi başlatan kullanıcıdan mikrofon ile ses girdisi alınır ve bilgisayara işlenmek üzere gönderilir. Ses girdisi bir sesten-metne-dönüştürücü kullanılarak bilgisayar tarafından tanınabilen ve işlenebilecek metne dönüştürülür. Üretilen bu metin ayrıştırılır (*parsing*) ve eşlenecek anahtar kelimeler için aranır. Eşleme olursa ilgili metin çıktısı verilir. İlgili bilgi getirildiğinde bir OCR (*optical character recognition* – optik karakter tanıma) sistemi içeren bir metinden sese dönüştürücü kullanılarak ses çıktısına dönüştürülür ve ilgili çıktı kullanıcıya verilir. OCR metni sınıflayıp tanır ve metinden sese dönüştürücü bunu sese dönüştürür. Bu çıktı ise R-PI'nin ses kablu ucuna (*jack*) bağlı hoparlörler ile aktarılır. Sudhakar vd. (2017) ise Android Mobile, Bluetooth ve R-PI kullanarak sesten metne dönüştürme ve görüntülemeyi çalışmışlardır. Onlara göre, bu uygulama, derslik ve konferanslardaki sunumlarda oldukça kullanışlı olup; görme, duyma veya fiziksel engelli kullanıcılara yönelik veri girişi seçenekleri sağlayarak sistemin erişilebilirliğini de artırmaktadır. R-PI'deki uygulama programının kodu Python ile yazılmıştır. Android Mobile üzerinde sesten metne dönüştürme için AMR (*Android Meets Robots*) Voice uygulama yazılımı kullanılmıştır. Ses metin dosyasına dönüştürülür ve Bluetooth HC-05 modülü üzerinden R-PI'ya gönderilip bir monitör üzerinde görüntülenir.

Rani vd. (2018), R-PI 3 ile farklı donanım ve yazılım araçları kullanarak yetkisiz/istenmeyen izinsiz giriş veya hareketi tespit edecek bir *ev güvenlik sistemi* geliştirmişlerdir. Yetkisiz kişiler bölgeye girerlerse, PIR sensörü kişi eylemini tespit eder ve güvenlik sistemi yetkisiz kişinin görüntüsünü alır (PI kamera). R-PI kartındaki dâhilî “kablosuz İnternet bağlantısı” modülüyle, yakalanan görüntü yetkili kişiye e-posta içerisinde gönderilir ve İnternet üzerinden bağlı WAY2SMS kullanılarak ona gerçek-zamanlı uyarı SMS'i iletilir. Uyarı sonrasında ise *Buzzer* etkinleşir ve yüksek hoparlör üzerinden ses mesajları gönderir.

Vimala vd. (2017), uzaktan erişimle bir yerel-alan ağı (LAN/WLAN: (*wireless*) *local-area network*) üzerinden yayınlanan güvenilir bir gerçek-zamanlı video akışı ve izleme (*streaming and surveillance*) sistemini tasarlayıp geliştirmişlerdir. Önerdikleri tasarım Python ile programlanmış gece görüşü kameralı (R-PI NoIR kamera V2 modülü) R-PI 3 Model B ile gerçekleştirilmiştir. R-PI'nin IP adresi alınır ve VNC sunucusu ana cihazda (R-PI'nin da aynı *yerel-alan ağına* bağlı olduğu “kişisel bilgisayar / akıllı telefon”) uzak kullanıcıya sanal masaüstü oluşturmak için kurulur. Bir VNC görüntüleyici çalıştıran ana cihaz üzerinde *canlı video yayını* için Python ile yazılmış kod ile başlatılan VLC ortam yürütücüsü hizmet verir.

Yüzgeç ve Aba (2007), birçok donanım ve sensör kullanarak R-PI 3 tabanlı bir *akıllı ev sistemi* ilk örneğini yazılımsal ve donanımsal olarak gerçekleştirmişlerdir. Engelliler, yaşlılar ve teknolojiyi yaşamlarında kullanmak isteyenlere daha iyi bir yaşam standardı sunulması için birçok senaryoyu dikkate almışlardır. Python kullanmışlar, uzaktan akıllı eve bağlanmak ve akıllı ev üzerindeki R-PI'ya ağ üzerinden erişim için PHP ile web arayüzü geliştirmişlerdir. Çeşitli sensörler ve ikaz uyarı malzemeleri ilk örnek bir ev içerisine yerleştirilmiştir. Bu uygulamayla, kullanıcılar kapıyı açabilecek, ses ötesi sensör ile kapı açıldığı zaman uyarı alabilecek, ışıkları açabilecek/kapatabilecek, sıcaklığı kontrol edebilecek, hareket sensörü ile ev içerisindeki güvenliği takip edebilecek ve evdeki kamera ile ev dışındayken evi izleyip görüntü alabileceklerdir.

1.2 Çalışmanın Katkısı

Bu çalışmada, R-PI, RFID, *web servisleri* ve Node.js tabanlı yeni bir *kullanıcı doğrulama sistemi* geliştirildi. RFID teknolojisi olarak NFC (*near field communication* – yakın alan iletişimi) sistem standardı kullanıldı. NFC özelliğine sahip kartlar ve geliştiricilerin akıllı telefonları RFID okuyucuya yaklaştırılarak kullanıcı doğrulaması yapıldı. Çalışmanın katkısı, (i) R-PI ve RFID okuyucu ile girdi veriyi yakalama-iletme, (ii) geliştirilen Node.js uygulaması aracılığıyla girdi veriyi alma, bir önceki çalışmada geliştirilmiş olan *servis yazılımı* ile konuşma ve çıktıyı görüntüleme ve (iii) *servis yazılımı* üzerinden ilgili veri yönetiminin gerçekleştirilmesi iş-paketlerinden oluşan esnek ve gürbüz bir donanım-yazılım gerçekleştirilmesi oluşturmaktır. Metnin geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölüm'de kullanılan teknoloji ve 3. Bölüm'de geliştirilen sistem ile ilgili bilgiler verilmiştir. Yapılan deneysel çalışma 4. Bölüm'de, sonuçlar ve öneriler ise 5. Bölüm'de sunulmuştur.

2. KURAMSAL ALTYAPI

Bu bölümde, çalışma kapsamında geliştirilen sistem için kullanılan teknoloji ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

2.1. Raspberry Pi

R-PI, İngiltere'deki "Raspberry Pi Foundation" tarafından desteklenen 45 gram kütlesinde ve kredi kartı büyüklüğünde küçük bir bilgisayardır. SPI *iletişim protokolü* ile sensörlerle iletişim kurabilme olanağı sağlayan ve GPIO olarak bilinen bacakları bulunur. İşlemci, işletim sistemi (Debian GNU / Linux, Fedora, Arch Linux ve türevleri), RAM, grafik işlemcisi, USB girişi, ses kablo-ucu, video çıkışı, SD kart okuyucu, CSI (*camera serial interface* – kamera seri arayüzü) bağlantısı, Ethernet ve düşük-seviye çevre-birimlerine sahiptir. Örneğin, "kablosuz İnternet bağlantısı" ile İnternete bağlanılabilir. Ayrıntılar için "<https://www.raspberrypi.org>" ve "<https://www.robotistan.com/raspberry-pi>" bağlantılarına başvurulabilir. Tablo 1'de Arduino ve R-PI arasında kısa bir karşılaştırma verilmiştir.

Tablo 1. Arduino – R-PI karşılaştırması

Özellik	Arduino	R-PI
Analog veri okuma	doğrudan okunabiliyor	ADCs (<i>analog to digital converters</i>) ile mümkün
Çıkış	kendi çıkışı yok	HDMI (<i>high-definition multimedia interface</i>) çıkışı (<i>port</i>) ile herhangi bir ekrana bağlanılabilir
Program çalıştırma (aynı anda)	basit bir anakart ve bir program çalıştırabiliyor	genellikle Linux işletim sistemini içeren genel-amaçlı bir bilgisayar ve pek çok program çalıştırabiliyor
Programlama	C/C++ destekleniyor	pek çok programlama dili destekleniyor

Tablo 1'de görüldüğü gibi, özellikle kendi çıkışı ile harici bir ekrana bağlanılabilmesi ve farklı programlama dilleri ile geliştirme yapılabilmesi R-PI'n önemli artıları arasındadır.

2.2. NFC ve RESTful Web Servisleri

Kullanılan NFC sistem standardı ve geliştirilmiş olan *servis yazılımı* ile ilgili ayrıntılar için bir önceki çalışma olan Ardıç vd., 2019 çalışmasına başvurulabilir.

2.3. Node.js

Node.js, JavaScript (JS) kodunu tarayıcı dışında (*sunucuda*) işleten açık-kaynak çapraz-platform bir çalıştırma ortamıdır (*run-time environment*). Linux, Mac OS X, Unix ve Windows gibi işletim sistemlerinde çalışabilir. Kullandığı *asen kron programlama* belleğin etkin kullanımını sağlar. Node.js ile hem *istemci* taraflı hem de *sunucu* taraflı şu uygulamalar gerçekleştirilebilir: (i) form verisi toplama. (ii) dinamik sayfa içeriği üretme. (iii) *sunucuda* dosya oluşturma, açma/kapama, okuma/yazma ve silme gibi işlemler yapma ve içeriği *istemciye* döndürme. (iv) veri tabanında veri ekleme, silme ve değiştirme gibi işlemler yapma. Ayrıntılar için "<https://nodejs.org/>" bağlantısına başvurulabilir.

2.4. Model–View–Controller (MVC)

MVC, kullanıcı arayüzü içeren uygulamalar geliştirmede yaygın olarak kullanılan yazılım mimarisel bir *tasarım örüntüsüdür*. Bir uygulamayı, (1) model, (2) görünüm ve (3) kontrolör/denetçi olarak birbirine-bağlı üç temel ilgi noktasına (*mantıksal bileşenler/nesnelere*) ayırır (Karakoç ve Gunay, 2020). Ayrıca, bu bileşenlerin birbirleri arasındaki iletişim biçimini de tanımlar. Bu yöntemle, kullanıcı arayüzlerini *veri modelleri* ile kolaylıkla ilişkilendirmek, nesne-yönelimli programlama (*object-oriented programming*) ile kısa sürede *genişletilebilir* yazılımlar geliştirmek ve nesne-kodunu yeniden kullanabilmek mümkün olur. Ayrıntılar için "https://www.tutorialspoint.com/mvc_framework/mvc_framework_introduction.htm" bağlantısına başvurulabilir.

3. UYGULAMA

Bu bölümde, çalışma kapsamında geliştirilen sistemi oluşturan *donanımsal* ve *yazılımsal* gerçeklemler ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

3.1. Yapılan Gerçeklemler

Tablo 2’de, R-PI 3 ve *web servisleri* kullanılarak yapılan gerçeklemler verilmiştir.

Tablo 2. Çalışma kapsamındaki gerçeklemler

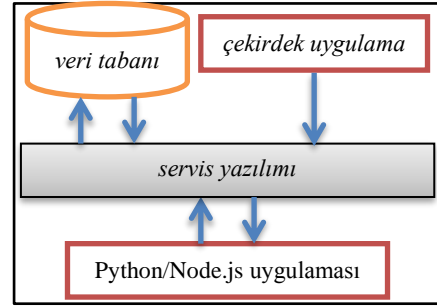
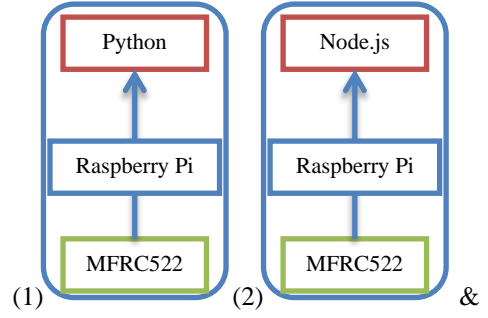
#	R-PI 3*	GUI [^]	Deneyimleme Sorunları
(1)	Python	-	<i>görüntüleme</i>
(2)	Node.js	Node.js	sorunsuz çalışan bir sistem

* (R-PI gerçeklemleri için bu uygulama kullanılır)

[^] (*graphical user interface* – grafiksel kullanıcı arayüzü: görüntüleme işlemleri için bu uygulama kullanılır)

Tablo 2’de yer alan gerçeklemlere ilişkin süreç şu şekildedir. İlk olarak, geliştirilen Python uygulaması *servis yazılımı* ile konuşur. Daha sonra, Python’da GUI desteği bulunmadığı için Node.js uygulaması geliştirilir. Bu uygulama *servis yazılımı* ile konuşur ve GUI desteğiyle hem istek (*request*) göndermek hem de yanıt (*response*) almak ve çıktıyı görüntülemek mümkün olur. Görüntüleme işlemleri ise harici bir ekran kullanılarak yapılır. Bu şekilde, Python’daki görüntüleme sorunu çözülmüş olur. Şekil 1’de, bu çerçeve genel olarak verilmiştir.

Bu çalışmada, ilk adımda görüntüleme konusundan bağımsız olarak sadece *kullanıcı doğrulama sistemine* odaklanıldığı için bir Python uygulaması geliştirildi, fakat ilerleyen aşamalarda *kullanıcı etkileşiminin* önem kazanması ve Python ekosisteminin mevcut çatı-kütüphane çözümlerinin web arayüzü geliştirmek için beklenen karşılayamamasına bağlı olarak, cihaz ile iletişim kuran ve sonuçları tarayıcıya döndüren uçtan-uca (*full-stack*) bir Node.js uygulaması geliştirildi.



Şekil 1. Çalışma kapsamındaki gerçeklemler

Şekil 1’de yer alan gerçeklemlerde, “<https://github.com/miguelbalboa/rfid>” bağlantısındaki kütüphane kullanılarak, MFRC522 sensörü ile okunan veri R-PI’ye iletilir. MVC-tabanlı Node.js uygulamasını içeren gerçeklemler (2)’de, arka-uç (*back-end*) işlemleri ve ön-uç (*front-end*) işlemleri (sayfa yordamları ve buton eylemlerini (*events*) yakalama işlemleri) betikler kullanılarak yapıldı. Tüm NFC kart bilgilerini okuma ve iletme işlemlerinde, sensör verisi RC522JS ara-kütüphanesi (*wrapper*) (<https://www.npmjs.com/package/rc522-rfid>) kullanılarak alındı. Ayrıca, R-PI ve MFRC522 arasında iletişim köprüsü kurabilmek ve gerçek-zamanlı veri okuma ve doğrulama için arka-uca gönderme işlemleri yapacak bir uygulama geliştirmek amacıyla soket teknolojisi (<https://www.npmjs.com/package/socket.io>) kullanıldı. PHP için kullanılan bir teknoloji olan Twig bir şablon motoru (*template engine*) olup, şablonları “en uygun şekilde getirilmiş / eniyilemesi yapılmış” (*optimized*) düz (*plain*) PHP koduna derler (*compiling*). Bu çalışmada, Twig kullanmak amacıyla Node.js için bir ara-kütüphaneden (<https://www.npmjs.com/package/twig>) yararlanılmıştır. Ayrıca, ortak-kullanılan şablonlar oluşturup, aynı kodu birçok defa yazmak gerekmeden bu şablonları HTML’e çevirip görüntüleme sayfalarında (*views*) yeniden kullanmak mümkün olmuştur.

Etiket verisini yakalama-iletme R-PI ve RFID okuyucuda olup, geliştirilen Python ve Node.js uygulamaları ise *servis yazılımı* ile konuşmaktadır.

3.2. Donanımsal Gerçekleme

Bu çalışmada, R-PI ile yapılan gerçeklemede, bir önceki çalışmada Arduino ile yapılan gerçeklemeye göre yüksek derece grafiksel destek verebilecek bir altyapı mevcut olduğu için ek donanıma ihtiyaç olmamış ve görüntüleme için sadece bir ekran yeterli olabilmektedir.

3.3. Yazılımsal Gerçekleme

Bir önceki çalışmada oluşturulmuş olan veri tabanı, yeni tablolar eklenerek ve bu tablolar arasında ilişkiler kurularak, katılım verisini etkin bir biçimde saklayabilecek hâle getirildi. Tablo 3'te, bu veri tabanına ilişkin sıradüzen (*hıyerarşı*) verilmiştir.

Tablo 3. Veri tabanı sıradüzeni

Tablo*	Bilgi	İlişki	Ayrıntı
Participant-Type	Katılımcı türü	tanımlama	ID
Card	Kart	katılımcı türü	ID – kod (<i>Hex + Dec</i>) – bilgi – kod bilgisi (kart bilgisi) [kart ekleme + kart kodu ekleme + mevcut kodu yenisi ile güncelleme]
Card-Code	Kart kodu	-	-
Participant	Katılımcı	katılımcı türü + kart	ID – kod – tanım (katılımcı bilgisi: kart bilgisi + isim bilgisi) tür bilgisi
Participant-Model	Katılımcı model	katılımcı	ID – kart kodu – bilgi – isim bilgisi (ekleme)

Participant-Log	Katılımcı kayıt	katılımcı	katılımcı-ID kart-ID – okuma durumu
Custom-Participant-Model-List[^]	Katılımcı model listesi	katılımcı model	-

* (tablo isimleri her kelime “-” ile birleştirilerek belirtilmiştir)

[^] (kullanıcı tanımlı *katılımcı model* listesi/dizelgesi, *servis yazılımından* dönen bilgiyi kullanabilmek için oluşturulmuştur)

Bu yapıda, “kod verisi” boş-değer (*null*) olan kart veya “kart verisi” boş-değer olan katılımcı *geçersiz* olarak değerlendirilmektedir. Tablo 4'te, geliştirilen uygulamalar ile ilgili ayrıntılar verilmiştir.

Tablo 4. Geliştirilen uygulamalar

Uygulama	Bilgi	Ayrıntı
1 - Core*	Çekirdek/tabana uygulama	Java uygulaması
2 - Rest*	Depolama işlemleri (veri tabanı ve <i>web servisleri</i>)	Java uygulaması (<i>servis yazılımı</i>)
3 - Nodejs	Görüntüleme işlemleri (<i>kullanıcı arayüzleri</i>)	Node.js uygulaması
4 - Raspberry	Donanımsal kısım	R-PI 3 gerçeklemesi

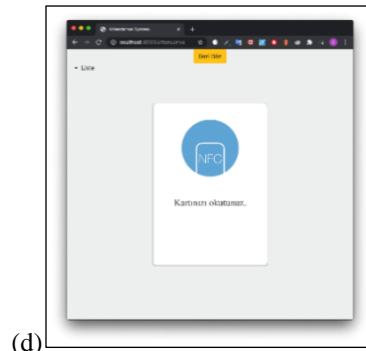
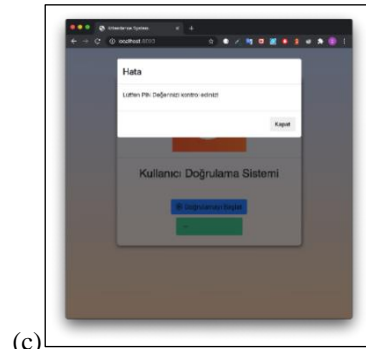
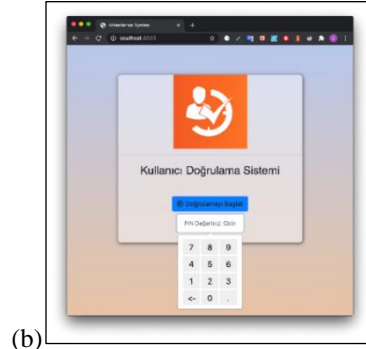
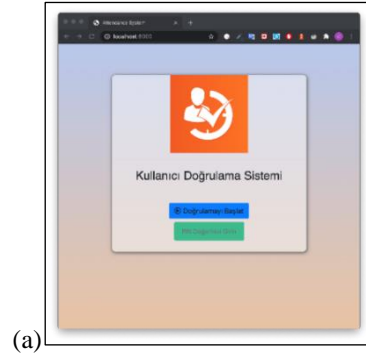
* (bir önceki çalışmada geliştirilmiş ve bu çalışmada R-PI 3 gerçeklemesine uyarlanmışlardır)

Çekirdek uygulamada, *entity* paketinde veri tabanı tablolarına ilişkin sınıflar, *mapper* paketinde sorgu cümlecikleri, *model* paketinde *özelleştirilmiş* sınıf tanımlamaları, *utility* paketinde tarih-zaman, karakter dizisi ve liste işlemleri için geliştirilen özelleştirilebilir yardımcı sınıflar, *configuration* paketinde *servis yazılımı* üzerinden servis edilen API'lere ulaşılacak yapılandırma bilgileri, *constant* paketinde ise sabit tanımlamaları bulunmaktadır. Örneğin, liste yardımcısı ile listedeki tüm boş kayıtlar çıkartılır ve bu liste döndürülür. Kart-ID veya kart-kodu verisi ile kart, “kart-ID verisi ve katılımcı-ID verisi” üzerinden katılımcı veya katılımcı-

model veya doğrudan tüm katılımcılara ilişkin katılımcı(-model) listesi sorgulanabilmektedir. Servis yazılımındaki *controller* paketinde ham sorgulara ilişkin API tanımlamaları, *view* paketinde ise ham sorguların bir arada kullanılmasıyla elde edilen daha büyük veri listelerine ilişkin API tanımlamaları yer almaktadır. Bu program ile ilgili ayrıntılar için bir önceki çalışma olan Ardıç vd. (2019) çalışmasına başvurulabilir (benzer paket tanımlamalarına ilişkin örnek başka bir uygulama için Bkz. Karakoc ve Gunay 2020).

Geliştirilen Node.js uygulaması üç arayüz ekranı içerir: (1) “hoş geldiniz” iletisi ile bekleme, (2) RFID okuyucu ile ilgili işlemler (servise HTTP isteği gönderme) ve (3) veri tabanına kayıtlı olma durumu ile ilgili işlemler (servisten dönen JSON (*JS Object Notation*) yanıtını alma ve çıktığı görüntüleme). Uygulama “localhost:8000” üzerinde başlatıldığında, ilk olarak ana sayfa (Şekil 2(a)) görüntülenir. Daha sonra, ekrana dokunulduğunda/tıklandığında PIN değeri girişi ekranı (Şekil 2(b)) görüntülenir. Yanlış bir PIN değeri girildiğinde hata iletisi görüntülenirken (Şekil 2(c)), doğru PIN değeri girildiğinde ise “(lütfen) kartınızı okutunuz” iletisi ile NFC okuma sayfasına (Şekil 2(d)) yönlendirme yapılır. Bir NFC-etiket MFRC522 sensörüne yakın olduğunda, kart kimliğine ek olarak, okunan etiket verisi veri tabanına kayıtlı ise “giriş izni verildi” ve “merhaba / hoş geldiniz ***(bu veriye ilişkin kullanıcı adı)” iletileri, diğer durumda ise “giriş onaylanmadı/yapılamadı” iletisi ile ekran güncellenir.

Şekil 2’de verilen ekran görüntüleri web tarayıcısı üzerinde çalışan uygulama aracılığıyla elde edilmiştir.



Şekil 2. (a) ana sayfa, (b) yanlış PIN değeri girişi, (c) doğru PIN değeri girişi ve (d) NFC okuma sayfası

4. BULGULAR

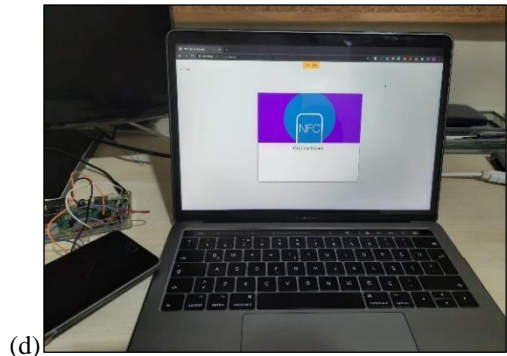
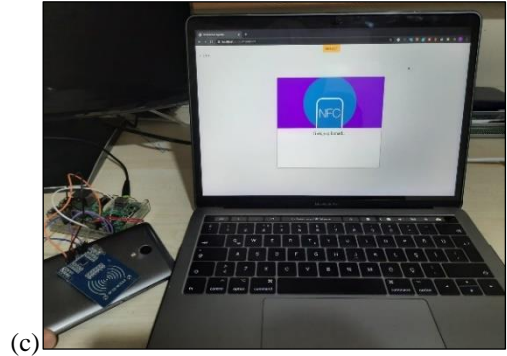
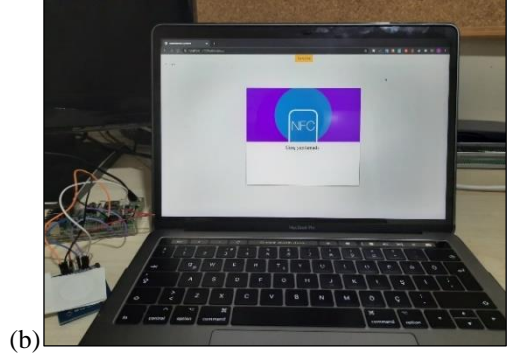
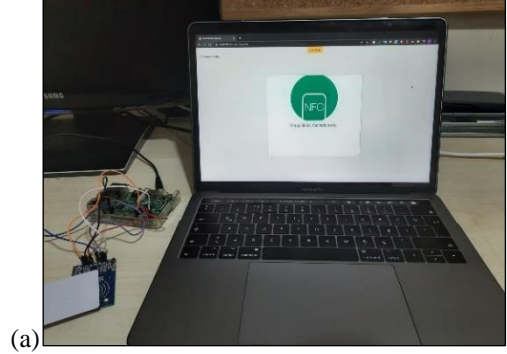
Bu bölümde, deneysel kurulum, yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlar ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

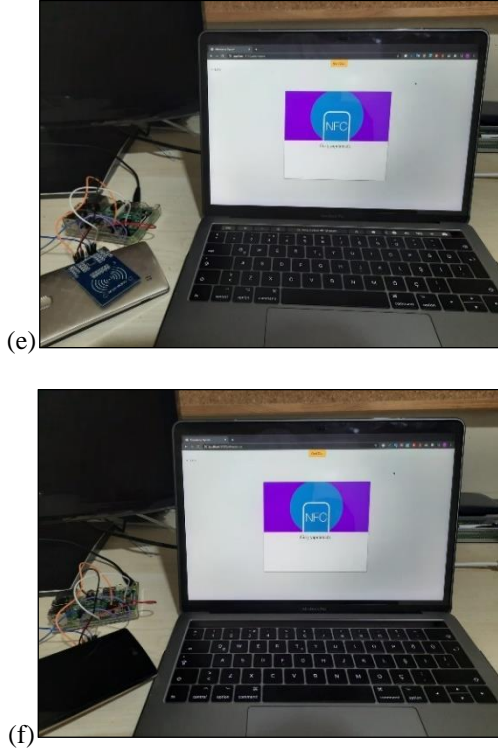
4.1. Deneysel Kurulum

Geliştirilen sistemi sınavabilmek için hem NFC özelliğine sahip kartlar hem de geliştiricilerin akıllı telefonları kullanılmıştır. NFC özelliğine sahip iki tür kart tedarik edilmiştir: (1) geliştiriciler için kredi-kartı şeklinde beyaz renkli 2 (iki) kart ve (2) kullanıcılar için anahtarlık şeklinde mavi renkli 300 kart. Deneylerde bir NFC kart RFID okuyucuya yaklaştırıldığında, bu karta ilişkin benzersiz etiket verisi (UID: *unique identifier* – kimlik: ID – *kart kodu*) okunur ve Node.js uygulaması üzerinden *servis yazılımına* gönderilir. Bu veri tabanına kayıtlıysa (olumlu: *doğrulandı*) veriye ilişkin kullanıcı bilgisi, diğer durumda (olumsuz: *doğrulanmadı*) ise boş-değer döndürülür. Ayrıca, iki durumda da çıktı ekran üzerinde görüntülenir.

4.2. Yapılan Deneyler

İlk deneylerde, her kart RFID okuyucuya tek tek okutuldu. Kart ve kullanıcı tablolarına, karta ilişkin etiket verisini ve kullanıcıya ilişkin isim bilgisini içeren yeni birer kayıt eklendi ve ilgili kayıt bilgisi döndürüldü. Böylece, kullanıcı tablosu, her kullanıcı için otomatik artan benzersiz birincil anahtar (*primary key*) değeri ile dolduruldu. Kullanıcı isimleri ise sınama-amaçlı örnek bir dizi kullanıcıya ilişkin bilgileri içeren mevcut *Excel* listesi temel alınıp tabloya elle girilerek, mevcut kart bilgileri (*bir dizi etiket verisi*) katılımcılarla ilişkilendirildi. Kullanıcı tablosundaki ilgili *birincil anahtar* değeri her kartın üzerine çıkartma (*sticker*) ile yapıştırıldı ve her kart yeniden okutularak kullanıcı doğrulaması yapıldı. Diğer deneylerde ise “NFC uyumlu akıllı telefonlar”, varsayılan olarak kapalı olan bu özellik ilgili menüden etkinleştirilerek, RFID okuyucuya yaklaştırıldı. Kullanıcı doğrulaması için kullanıcıya yapılan dönüşler Şekil 3’te verilmiştir.





Şekil 3. (a) karta *olumlu* dönüş, (b) karta *olumsuz* dönüş ve (c – f) akıllı telefonlara *olumsuz* dönüş (çıkartı: Node.js uygulaması arayüzü)

Şekil 3(a)'da kart tespit edilip kullanıcı doğrulanırken (UID bilgisi alınır), Şekil 3(b)'de ise kart tespit edilmez ve kullanıcı doğrulanmaz. Şekil 3(c-d-e-f)'de ise akıllı telefonlar üzerinden doğrulama yapılamaz.

4.3. Deneysel Sonuçları

Kartlarla yapılan tüm deneylerde, her kart bu karta ilişkin etiket verisinin veri tabanına kayıtlı olma durumu sorgulanarak doğrulanmış ve *olumlu* dönüşler alınmıştır. Akıllı telefonlarla yapılan deneylerde ise telefonlara ilişkin etiket verisi veri tabanına kayıtlı olmadığı için doğrulanamamış ve *olumsuz* dönüşler alınmıştır. Ayrıca, telefona bağlı olarak belirli bir ölçün/standart olmadığı (örneğin base8, base64 vb. biçimlerde okuma) ve standart RFID okuyucunun bu noktada daha uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Bir önceki çalışmada, Android'in bileşenlerine bağlı olarak yeni bir tasarım kolaylıkla yapılamamıştır. Bu çalışmada ise Node.js ile yeni arayüz tasarımları yapmak, nesneleri hem *istemci* tarafta hem de *sunucu* tarafta yakalamak ve sunucu-taraflı hafif (*lightweight*) bir uygulamayı kolaylıkla ve hızla oluşturmak mümkün olmuştur. Ayrıca, Node.js'in *istemci-taraflı* bir ortam olmasına bağlı olarak, pek çok şey kolaylıkla özelleştirilebilmiş, HTML ve CSS içeren ekrana-

duyarlı/özel (*responsive*) esnek ve özelleştirilebilir tasarımlar yapılabilmektedir.

Otomatik olarak kullanıcının yoklamasının alınıp onay/ret durumunun iletilmesi kapsamında bakıldığında, Arduino-tabanlı yapı istenilenleri tam olarak karşılayamamıştı. Arduino'nun sayısal/dijital bir görüntü çıkışının bulunmaması sebebi ile ekran bağlantısı yapılamaması ve kullanıcıya net geri dönüşlerin verilememesi söz konusu idi. Bu çalışmayla, gerçekleştirme analog hâlden (Arduino + "16 x 2 LCD ekran / Android tablet") sayısal hâle (R-PI + monitör/ekran) dönüştürülmüş oldu. Görüntüleme için HDMI üzerinden R-PI'ya bağlı bir ekran veya R-PI ile aynı ağdaki bir bilgisayara bağlı bir ekran kullanılabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, R-PI, RFID, *web servisleri* ve Node.js tabanlı yeni bir *kullanıcı doğrulama sistemi* geliştirildi. Bu sistem hem NFC özelliğine sahip kartlar hem de geliştiricilerin akıllı telefonları kullanılarak başarılı bir biçimde sınılandı. Geliştirilen sistem, bir önceki çalışmada da olduğu gibi, "taşınabilir kutu" olarak kullanıma açıktır. Çalışmanın, *kararlı* ve *genişletilebilir* bir donanım-yazılım gerçekleştirilmesi olarak yeni çalışmalara yön verebileceği düşünülmektedir. Ayrıca hem *yönetici* taraflı hem de *kullanıcı* taraflı bir *katılım denetleme bilgi yönetim sistemi* oluşturup, derslerde öğrencilerin ve öğretim elemanlarının okul kimlikleri veya akademik etkinliklerde katılımcıların kartlarını kullanarak ilgili katılımları denetleyebilmek planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Ardıç C., Şen M., Karakoç M. (2019). RESTful Web Servisleri ve Android Kullanılarak Genel Bir Kullanıcı Doğrulama Sisteminin Arduino Mikrodenetleyici Kart ve RFID Teknolojisi ile Tasarımı ve Gerçekleştirimi, Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 12 (1), 19-29.

Awakhare M., Parmal N., Dhawale S., Dongre P., Jamgade S., Tambe A., Deulkar S., Meshram B. (2018). RFID Based E-Attendance System & Child Security System, International Journal of Engineering Science and Computing (IJESC), 8(3), 16162–16164.

Bhagya Maybel J., Umamakeswari A. (2018) Hardware Implementation of Secure Image Transmission in Raspberry PI, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), 9(2), 670–678.

- Dayıoğlu M. A., Uğur F., Türker U. (2016). Seralarda Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Uygulanması: Tasarım ve Prototip Geliştirme, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi (JAFAG), 33 (Ek sayı), 52–60.
- Ferdoush S., Li X. (2014). Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications, *Procedia Computer Science*, 34, 103–110. The 9th International Conference on Future Networks and Communications (FNC-2014).
- İncereis N., Akgün B.T. (2017). IoT Uygulamaları için Oluşturulan Sistemde Servisler, 19. Akademik Bilişim Konferansı, 8-10 Şubat, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.
- Karakoc M., Gunay (2020). Data Bus for Computer Based Assessment via Micro Services, the 3rd International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineerind and Science (ICATCES) 03-05 Junes.
- Kaur S., Sharma S., Jain U., Raj A. (2016). Voice Command System Using Raspberry Pi, *Advanced Computational Intelligence: An International Journal (ACII)*, 3(3), 43–49.
- Kiran Kumar R, Mekala S M. E. (2018). Face Recognition Attendance System using Raspberry Pi, *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 118(20), 3061–3065, Special Issue.
- Küçükkülahlı E., Güler R. (2015). Open Source Mobile Robot with Raspberry Pi, *Balkan Journal Of Electrical & Computer Engineering*, Special Issue, 3(4), 242-247.
- Natarajan S., Deepika A., Pradeeba I., Chandramohan R. (2017). Low Cost Temperature Logging System using Raspberry Pi, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(4), 254–258.
- Priya G. D., Harish I. (2015). Raspberry PI Based Underwater Vehicle for Monitoring Aquatic Ecosystem, *International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA)*, 2(2), 65–71.
- Rani R., Lavanya S., Poojitha B. (2018). IoT Based Home Security System Using Raspberry Pi with Email and Voice Alert, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 8(4), 119–123. Special Issue: National Conference on Emerging Trends in Engineering 2018, Conference Held at Sri Venkatesa Perumal College of Engineering & Technology, Puttur, A. P., India.
- Ranjana R., Vinoh K. (2016). Enhanced Security System for School Children and Woman Transportation Using Arduino, *International Journal of Computer Network and Security (IJCNS)*, 8(1), 6–10.
- Rjeib H. D., Ali N. S., Al Farawn A., Al-Sadawi B., Alsharqi H. (2018). Attendance and Information System Using RFID and Web-Based Application for Academic Sector, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 9(1), 266–274.
- Sudhakar M., Khare V., Kanth V.K. (2017). Speech to text conversion & display using Raspberry Pi, *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, 19(4), 14–18.
- Tan P., Wu H., Li P., Xu H. (2018). Teaching Management System with Applications of RFID and IoT Technology, *Education Sciences*, 8(26), 1–13.
- Tiwari R., Singh D. K. (2017). Dushyant Kumar Singh. Vehicle Control Using Raspberrypi and Image Processing, *Innovative Systems Design and Engineering*, 8(2), 45–49.
- Vimala S. N., Chary M. V., Kiran K. R. (2017). Live Video Streaming from Remote Location Using Raspberry Pi, *Indian Journal of Science and Technology*, 10(38), 1–10.
- Yüzgeç U., Aba Ö. (2007). Raspberry Pi Kullanılarak bir Akıllı Ev Uygulaması Geliştirilmesi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 21–29.
- Zhong X., Liang Y. (2016). Raspberry Pi: An Effective Vehicle in Teaching the Internet of Things in Computer Science and Engineering, *Electronics*, 5(3), 56.

İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

Enzimatik Ön İşlem Uygulanan Pamuklu Kumaşların Kök Boya ile Renklendirilmesi

Güzin AKYOL*¹ , Eyüphan YENER*² 

*Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş., Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi, Bursa, 16369, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 14.12.2020, Kabul Tarihi: 25.02.2021

Özet

Ekolojik üretim ve sürdürülebilirlik anlayışının son yıllarda daha da önem kazanması ile birlikte işletmeler üretim yöntemlerini farklı prosesler üzerinden devam ettirmeye başlamıştır. Bu doğrultuda ön işlem prosesinde konvansiyonel metotta kullanılan kimyasalların yerine biyobozunur ürünler kullanarak, yeni çevreci prosesler geliştirilip doğal ürünler oluşturulması ve terbiye işleminden sonra bu ürünün doğal bitki özlerinden biri olan kök boya (*Rubia tinctorum* L.) ile boyanması hedeflenmiştir. Doğal boyar maddelerin selülozik lifler üzerine bağlanma davranışlarını değiştirip güçlendirmek amacıyla farklı mordan türleri ile prosesler oluşturulmuştur. Ön mordanlama ve eş zamanlı mordanlama boyama sonuçları karşılaştırılmış olup, en iyi sonucun ön mordanlama ile boyama prosesinde olduğu tespit edilmiştir. Ürün kalite parametreleri yıkama haslığı, sürtme haslığı, ışık haslığı testleri üzerinden belirlenmiştir. Laboratuvar şartlarında %10 kök boya ile yapılan numune boyamalar daha sonra işletmeye entegre edilmiştir. Çıkan pamuklu ürünün HPLC sonuçları incelenerek, sentetik boyar madde kullanılmadığı kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal Boya, Pamuk Boyama, Kök Boya, Mordanlama, Yıkama Haslığı.

Coloring of Enzymatic Pretreatment Cotton Fabrics with Root Dye

Abstract

With the ecological production and understanding sustainability gaining more importance, production methods have started to be continued through different processes. In this direction, it has aimed to develop new environmental processes by using biodegradable applications instead of chemical applications used in the conventional method in the pretreatment processes, the study has aimed to dye these products with one of natural plant extracts dyestuff (*Rubia tinctorum* L.) and produce ecological products, after the finishing process. In order to change and strengthen the bonding behavior of natural dye stuffs on cellulosic fibers, processes have been created with different mordant types. When pre-mordant and simultaneous mordant dyeing results were compared, it has been determined that the best result was in the dyeing process with pre-mordant. Product quality parameters were determined through washing fastness, rubbing fastness, and light fastness tests. Sample dyeing applications made with 10% natural dye stuffs in laboratory conditions, integrated into the operating conditions. It was proved that no synthetic dyestuff was used by examining the HPLC results of the cotton products.

Keywords: Natural Dye, Cotton Dyeing, Root Dye, Mordanting, Washing Fastness.

¹Sorumlu yazar guznakyl@gmail.com, ²eyuphanyener@gmail.com

1. GİRİŞ

Dünyada son zamanlarda oldukça önem kazanmaya başlayan çevre kirliliği, enerji kaynaklarının da git gide azalması ile birlikte her endüstri dalını etkisi altına alıp, bu konuda çalışmalar yaparak rekabetçi anlayış ortamında üretim tesislerinin farklı pazar alanlarında yer bulmasını sağlamıştır. Her işletme kendi çalışma alanına bağlı olarak bu konuda alternatif yöntemler geliştirerek farklı yaklaşımlarla üretimlerine devam etmeye başlamıştır. Temiz üretim anlayışının benimsenmesi ile az miktarda su, enerji, zaman ve iş gücü maliyetinden tasarruf edecek yaklaşımlar üzerine gidilmiştir (Sancar vd., 2012).

Doğal lifler içerisinde yaygın olarak kullanılan pamuk lifi, içinde barındırdığı pektin, yağ, vaks vb. gibi safsızlıklardan dolayı boyamadan önce ön işleme tabi tutulmak zorundadır. Pamuklu mamül bu safsızlıklardan arındırılarak su emicilik kazandırılmıştır. Boyama öncesi pamuğun doğal rengindeki pigmentlerin parçalanıp tekstil mamulünü bir sonraki işlem olan boyama, baskı gibi uygulamalara hazırlamak için ağartma işlemi uygulanır (Gürsoy ve Hauser, 2010).

Pamuklu kumaşların ağartılmasında hidrojen peroksit ve kostik yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağartma işlemi kullanılan kimyasal madde miktarı ve materyalin beyazlık derecesine göre farklılık göstermektedir. Çevreci üretim anlayışının belirlenmesi ile ağartma proseslerinde enzimatik işlemlerden yararlanılmaya başlanmıştır. Kimyasal reaksiyonları katalizleme yeteneğine sahip olan enzimler, yüksek moleküllü ve protein yapısında ürünlerdir. Her enzimin çalıştığı belirli bir sıcaklık ve pH aralığı bulunmaktadır. Son yıllarda tekstil endüstrisinde enzim kullanımı, diğer sektörlerde olduğu gibi artış göstermektedir. Özellikle ağartma işlemlerinde yaygın olarak kullanılan selülaz, amilaz, pektinaz, lakkaz, glikozidaz, katalaz gibi enzimlerin kullanımına yönelik çalışmaların arttığı gözlenmektedir (Benli, 2015).

Enzimlerin kullanımı çok eski zamanlara dayansa da tekstil işletmelerinde kullanımı son yıllarda artmaya başlamıştır. Bunun nedenleri arasında enzimlerin biyolojik olarak parçalanması, düşük sıcaklıkta çalıştığı için enerji tasarrufu sağlaması, oluşacak reaksiyonları hızlandırması, zararlı kimyasalların yerini alması ve düşük miktarlarda kullanımında bile etki göstermesi avantaj sağlamaktadır (Doshi ve Shelke, 2001).

Tekstil sektöründeki gelişmeler ile kullanılan ürünler, uygulanan prosesler işletmeleri çevre açısından daha duyarlı olmaya, proseslerinde yeni ekolojik yaklaşımları uygulamaya itmektedir. Boyama işlemlerinde sentetik ürünlerin kullanılması, bu ürünlerin insan sağlığı üzerindeki etkileri göz önüne alındığında geleneksel doğal boyar maddeler ile boyama işlemlerinin yapılması gündeme gelmeye başlamıştır. Bu nedenle antimikrobiyal, alerjenik ve toksik olmayan boyar maddelerin kullanımı üzerine yapılan çalışmalar artmıştır (Bulut ve Akar, 2012).

Doğal boyar maddeler bitkisel ve hayvansal kökenli olarak ayrılrsa da, günümüze bakıldığında hayvansal kökenli olanlarının kullanılmadığı görülmektedir. Doğal boyaların uygulanmasında kullanılan bitkilerin sadece tekstil alanında değil, aynı zamanda ilaç, tıp, kozmetik, gıda gibi alanlarda da kullanıldığı görülmektedir. Etken maddeleri göz önüne alındığında birçoğunun doğal boyar madde olarak tekstilde kullanım alanı bulunduğu görülmüştür. Bulunduğu yörede kendiliğinden yetişen doğal boyar maddeler, toplanarak güneşte veya gölgede kurutulmaktadır. Kurutulmuş doğal bitkiler daha sonra tekstil ürününün boyanması için kullanılmaktadır. Doğal boyalar tekstil ürünü ile işleme tabi tutulmadan önce metal tuzları veya farklı bağlayıcılar ile bir ön işlemden geçirildikten sonra boyama işlemi yapılmaktadır. Bu ön işlem adımına doğal boyamacılıkta mordanlama adı verilmekte, kullanılan kimyasal ise mordan de olarak adlandırılmaktadır (Karadag, 2017).

1.1. Kök Boya Tarihiçesi

Geçmişe bakıldığında Anadolu'da boyama işleminin yaygın şekilde yapıldığı görülmektedir. Osmanlı Dönemi'nde halı, kilim dokumanın yaygın olması ile bu işlerin yapıldığı yörelerde doğal boyamacılığın yaygın olduğu tespit edilmiştir. Boyamacılıkta yaygın olarak kullanılan bitkinin ise tarih kaynaklarına bakıldığında kök boya (Rubai Tinctoria) olduğu görülmektedir (Genç, 2014). Türk kırmızısı olarak bilinen kök boya, çeşitli mordanların kullanılması ile tekstil ürünlerinde farklı renk gamları oluşturmaktadır (Taş, 2019).

Rubai türleri çok uzun köklere sahip olan, ince kırmızı kabuklu, silindirik bir gövdeye sahip çok yıllık odunsu bir bitkidir. Rubiaceae, familyasına ait olan bu bitkinin özellikle köklerinde çok fazla antrakinon içerdiği bilinmektedir (Yusuf vd., 2015).

Kök boya; Avrupa, Asya ve Amerika'da kırmızı bitki boyaların kaynağı olarak yüksek miktarlarda yetiştirilmekte ve Avrupa kök boyası olarak da adlandırılan doğal boyanın ana bileşeninin alizarin olduğu bilinmektedir (Manhita vd., 2011).

Ekstrakte edilen kök boya bitkisinin etken maddeleri arasında; Antrakinin, Naftokinon bulunmaktadır. Farmasötik etkisi bulunan kök boya tekstil yanında farklı endüstri dallarında da kullanım alanı bulmuştur (Deli, 2004).

Antrakinin bileşikleri içeren çok sayıda kök boya yüzyıllardır farklı yörelerde tekstilde ve halılarda kırmızı renklendirici olarak kullanılmıştır. Pek çok Rubia türü bulunmasına rağmen sadece birkaçı boyama için kullanılmaktadır. R. Tinctorium ile boyanan tekstil ürünleri esas olarak Alizarin içerirken farklı bitkisel boyar maddelerde (cehri, muhabet çiçeği, mazı meşesi, ceviz kabuğu vb.) farklı yapılar (Luteolin, apigenin vb.) görülmektedir (Mouri ve Laursen, 2012).

1.2. Ön İşlem Prosesinde Enzimler ile Yapılan Çalışmalar

Tekstil endüstrisinde pamuklu kumaşlarda haşıl sökme işleminde düşük konsantrasyonlarda inorganik asitler veya oksitleyici maddeler kullanılmaktadır. Haşıl sökmede, amilaz enziminin pamuk üzerindeki nişastayı uzaklaştırdığı bilinmektedir. Yapılan çalışmada amilaz çeşitleri arasından nişasta haşılını parçalayabilen α -amilazlar kullanılmıştır. Pamuğun yapısında bulunan pektin tabakasının, yağ ve vaksların uzaklaştırılmasında pektinaz, proteaz, lipaz enzimlerinden yararlanılarak etkili parlatma işlemi pektinaz enziminde ve 40°C-60°C aralığında olduğu görülmüştür. Enzimlerle ağartma işleminde ise glikozoksidazlar, peroksidazlar ve lakkaz/mediatör sistemlerden yararlanılmıştır. Genellikle belirli bir proses için enzimlerden yararlanılabileceği sonucuna varılmıştır (Madhu ve Chakraborty, 2017).

%100 pamuk içerikli dokuma kumaşların ön işlem proseslerinde tamamen çevre dostu anlayış benimsenerek pektinaz, amilaz ve lakkaz enzimleri ile farklı proseslerle de 3 denemeler yapılmıştır. Pamuklu dokuma kumaşların ağartma özellikleri, boyama sonrası renk değerleri ve haslıkları incelenmiştir. Kombine olarak amilaz ve pektinaz enzimlerinden yararlanılmış, ağartmada ise lakkaz enziminin etkisi incelenmiştir. Hidrofilleştirme ve haşıl sökme işleminin ayrı banyolarda yapılmasının yerine aynı banyolar içerisinde yapılmasıyla enerji, su ve zaman tasarrufu sağlayacağı görülmüştür. Tek başına lakkaz enzimi yeterli ağartma sağlayamamıştır (Sancar vd., 2012).

Pamuklu ürünlerin biyoağartma işleminde arilesteraz enzimi hidrojen peroksit ile birlikte kullanılmıştır. Bunun yanında ağartma için perasetik asit ile 65°C ve nötr pH'ta enzimatik işlem yapılarak yüksek ağartma verimi elde edilmiştir. Bu işlem ile geleneksel yöntemle kıyasla daha yüksek beyazlık elde edilmiş, pamuklu kumaş geleneksel ön işleminde olduğu gibi hasar görmemiş ve tek banyoda proses verimli şekilde gerçekleştirilmiştir (Špička ve Tavčer, 2013).

%100 pamuklu dokuma kumaşlarda ticari bir enzim olan aminoglukozoksidaz/pullunaz karışımı incelenerek enzimlerin haşıl sökme işlemi ile glikoz üretimi karşılaştırılmıştır. Uygulanan enzimde α -amilaz için haşıl sökme sağlanarak az miktarda glikoz oluşumu gözlenmiştir. Aynı zamanda saf olarak aminoglikoz enzimi kullanılmasıyla da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Fakat saf enzimlerin depolama ve saklama koşulları ile üretimde kullanılacak kadar fazla miktarda bulunmaması ticari olan enzimlere göre dezavantajdır. Enzim kullanılan haşıl sökme işlemi sonunda oluşan glikoz, ağartma banyosunda hidrojen peroksit üretmek için glikozoksidaz enzimi ile test edilerek ağartma denemeleri yapılmıştır (Pervin vd., 2009).

1.3. Doğal Boyar Maddeler ile Yapılan Çalışmalar

Yiyecek ve içecek endüstrisinin saldırdığı doğal atıklar, tekstil boyama işlemlerinde doğal boya kaynağı olarak kullanılmıştır. Sıkılmış meyveler, preslenmiş üzümlere damıtma yapılmış ve kaynar su ile ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Optimum proses olarak 1:20 flote oranında 95°C ve 60 dakika işleme tabi tutulan atıktan örnekler toplanmıştır. Boyama işleminde yün kumaşının kırmızı pancar ile boyamasında çektirme yöntemi uygulanarak üç kez soğuk durulama yapılmış ve işlem sonlandırılmıştır. Kumaşın haslık değerleri incelendiğinde boyama da kullanılan mordan türü, bitki çeşidi, uygulanan proses sıcaklığı ve ekstraksiyon oranının önemli olduğu gözlenmiştir (Bechtold vd., 2006).

Pamuklu kumaşların boyanmasında doğal boyar madde olarak kına yapraklarından yararlanılmıştır. Farklı alkali koşullar ve farklı zaman aralıklarında ekstrakte edilen kına yaprakları her biri 2g kütlesinde olan pamuklu kumaşlara uygulanmıştır. Ön mordanlama ve boyama sonrası mordanlama da demir ve şap kimyasalları kullanarak kumaşın renk derinlikleri incelenmiştir. Alkali özler ile optimize edilen kına yapraklarının pamuklu kumaşlarda mordan kullanılarak emdirme yöntemine göre uygulanmasıyla farklı renkler elde edilmiştir. Yapılan haslık testlerinin reaktif boyalara yakın olduğu gözlenmiştir (Shaukat vd., 2009).

Ön terbiye işleminden geçmiş olan %100 yünlü kumaş, belirli dönemde toplanan gelincik bitkisinin kırmızı kısımlarının ekstrakte edilmesiyle oluşan boya çözeltisi ile şap, kil, demir sülfat gibi metal içerikli mordanlar kullanılarak 1:20 flote oranında boyanmıştır. Farklı mordanların kullanılması ile yünlü kumaşta birbirinden farklı renk gamları elde edilmiştir. Işık haslıklarının düşük olduğu, yıkama haslıklarının ise yünlü kumaşlar için kabul edilebilir aralıklarda olduğu tespit edilmiştir (Merdan vd., 2011).

Cehri bitkisi yün iplikleri ile boyanmadan önce sıcak suda ekstrakte edilerek renk veren kısmın çözeltiye geçmesi sağlanmıştır. Aynı işlem soğuk su için de tekrarlanmıştır. Sıcak ve soğuk ekstraktlar ile yün liflerinin mordansız boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda sıcak ve soğuk ekstraktlar ile yün liflerine dokuz farklı mordan kullanarak boyama işlemi yapılmıştır. Yapılan boyama sonucunda farklı mordanların kullanımı ile cehri bitkisinin yün lifleri üzerinde farklı renkler oluşturularak kilimlerde bu ipliklerin kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır (Kayabaşı ve Arlı, 2001).

Avusturya ikliminde yetişen bitkilerden, zamana bağlı değişimleri önlemek için bir depolama alanı seçilmiştir. Boyar maddeler çok küçük parçalara ayrılarak kaynar su ile ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Keten ve yün kumaşlar mordan kullanılarak hazırlanan bitki özleri ile boyanıp, son adımda fikse olmayan boyanın uzaklaştırılması için durulama işlemi uygulanmıştır. Mordanın boya banyosuna doğrudan eklenmesinin kısmi çökelti oluşumlarına neden olacağından, boyamalarda ön mordanlama işleminin uygulanması sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışma ile boyama sonunda keten ve yün kumaşlar için kabul edilebilir haslık değerleri elde edilmiştir (Bechtold vd., 2003).

Yapılan bütün çalışmalar incelendiğinde, doğal boyama işleminin yün ağırlıklı olmak üzere tekstil ürünlerinde uygulandığı görülmektedir. Çalışma kapsamında iki farklı mordanlama yöntemi ve farklı mordanlar kullanılarak pamuklu kumaşın kök boya ile boyanması incelenecektir. Farklı mordanların kumaş üzerinde oluşturduğu renk derinlikleri spektrofotometre cihazı ile değerlendirilip, ardından kumaş üzerinde çeşitli haslık testleri uygulanarak kıyaslama yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Ön terbiye işlemi uygulanacak hav ipliği 16/1 ring, zemin ipliği 20/2 ring olan 550 gsm dokunmuş %100 pamuklu havlu kumaş Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş. firmasından temin edilmiştir.

Doğal boya olarak çalışmada kullanılacak kök boya Natural Dyes firmasından, enzimatik ön işlem için kullanılan amilaz, pektinaz ve selülaz Novozymes firmasından temin edilmiştir.

Boyamalarda şap ($AlK(SO_4)_2$), kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), tannik asit, askorbik asit, üre, alginat, magnezyum klorür ($MgCl_2$), soda, sitrik asit mordan olarak kullanılmıştır.

Boyama işlemi Ataç marka laboratuvar tipi numune boyama makinesinde gerçekleştirilmiştir. Referans reçete çalışması laboratuvar tipi mini jette uygulanmıştır.

2.2. Metot

Gerekli malzeme tedarikinden sonra çalışma için uygulanacak proseslerin sıcaklıkları ve pH değerleri belirlenmiştir. Kullanılacak mordan türlerinin çalışma pH aralıkları baz alınarak ön mordanlama ve eş zamanlı mordanlama yapılmıştır. Belirlenen proses sonrasında tekstil ürünü için haslık testleri uygulanmıştır.

2.2.1. Enzimatik Ön İşlem

Konvansiyonel metotta kullanılan ağartıcı kimyasalların yerine biyobozunur ürünler kullanarak tamamen yeni bir proses oluşturulmuştur. Denemeler pektinaz, amilaz ve selülaz kullanarak 55°C'de uygulamalar yapılarak optimum çalışma verileri elde edilmiştir.

2.2.2. Kök Boya Ekstratının Hazırlanması

Kök boya suda çözünmeyen katı formdaki yapısından dolayı boyama işleminde kullanımı çözelti hazırlanarak yapılmıştır. 80°C-85°C 10 litre sıcak su ile 1 kg kök boya 1 saat karıştırıldıktan sonra süzülerek ayrılan sıvı kısmı boyama için kullanılmıştır.

2.2.3. Boyama

2.2.3.1. Ön Mordanlama ve Boyama

%100 pamuklu kumaş, boyama işleminden önce 9 farklı mordan kullanılarak ön mordanlama işlemi yapılmıştır. 10 g/l mordan çözeltisi hazırlanıp, 1:10 flotte ile 100°C’de ön mordanlama yapılmıştır. Ardından soğutulup süzülerek boşaltılan tüpün içerisine yine 1:10 flotte oranında farklı boyar madde yüzdelerinde 90°C’de 1,5 saat kök boya ile boyama yapılmıştır.

2.2.3.2. Eş Zamanlı Mordanlama ile Boyama

Pamuklu kumaş 1:10 flotte oranında belirlenen farklı yüzdelerde kök boya ve 10 g/l mordan ilave edilerek aynı banyoda 90°C’de 1,5 saat boyanmıştır.

3. BULGULAR

%100 pamuklu dokuma kumaşlara ön ve eş zamanlı mordan işlemi yapılarak kök boya ile boyanması incelenmiştir. Yıkama haslığı testi için TS EN ISO 105-C06, sürtme haslığı testi için TS EN ISO 105-X12, TS EN ISO 105-B02 ışık haslığı testi uygulanmıştır.

Pamuklu havlı kumaşın ön işleminde geliştirilen enzimatik proses ile pamuğun kendi renginde sarımsı bir zemin elde edilmiştir. Bu havlı kumaşın üzerine kök boyanın lif üzerine afinitesini sağlamak için ön mordanlama ve boya ile birlikte eş zamanlı mordanlama olarak iki proses uygulanmıştır. Kök boya ekstraktı ile farklı mordan maddeleri bir araya getirilerek boyama işlemi yapılmıştır. Boyamalar mordan maddelerinin yapısından dolayı farklı pH aralıklarında gerçekleşmiştir.

Ön mordanlama işleminde 10 g/l sitrik asit ile yapılan işlemde pH değeri 2, askorbik asit ve şap ile mordanlamada pH değeri 3, tannik asit ve alginatta pH değeri 6-6,5, üre, kalsiyum karbonat ve magnezyum klorürde pH değeri 7- 7,5 ve soda pH değeri 10,5 olarak ölçülmüştür. Mordanlamadan sonra boyama adımında işletme suyu boya banyosu olarak kullanılmış ve banyonun pH’ı 6,5-7 olarak ölçülmüştür. Eş zamanlı proseste mordanlama ile boyama işlemi aynı banyoda gerçekleştiğinden dolayı ön mordandaki pH değerleri gözlenmiştir.

Tablo 1’de ön mordanlama sonucu işlem gören kumaşın haslık değerleri ve Tablo 2’de eş zamanlı mordanlama sonucu işlem gören kumaşların haslık değerleri dokuz farklı mordan için yapılmıştır. Eş zamanlı ve ön mordanlama yapılan kumaşların haslık testlerinde çıkan değerler incelenmiştir.

Tablo 1. Ön mordanlama işlemi ile boyanan kumaşların haslık sonuçları

ÖN MORDAN				
	Yıkama Haslığı	Kuru Sürtme Haslığı	Yaş Sürtme Haslığı	Işık Haslığı
Askorbik Asit	3/4	4/5	4	3
AlK(SO ₄)	4/5	4/5	4	3/4
CaCO ₃	3/4	4/5	3/4	2/3
MgCl ₂	4	4/5	4	3
Tannik Asit	3/4	4/5	4	2/3
Üre	4	4/5	4	2/3
Soda	4/5	4/5	4/5	3/4
Sitrik Asit	3/4	4	4/5	3
Alginat	3/4	4/5	3/4	2/3










Tablo 2. Eş zamanlı mordanlama işlemi ile boyanan kumaşların haslık sonuçları

EŞ ZAMANLI MORDAN				
	Yıkama Haslığı	Kuru Sürtme Haslığı	Yaş Sürtme Haslığı	Işık Haslığı
Askorbik Asit	3/4	4	3	3/4
AlK(SO ₄)	4	4	3/4	3/4
CaCO ₃	3/4	4/5	3/4	3/4
MgCl ₂	3/4	4	3	3
Tannik Asit	3/4	4	3/4	2/3
Üre	3	3/4	2/3	2/3
Soda	4	4	4	3/4
Sitrik Asit	2/3	3/4	3	3
Alginat	3	4	3	2/3

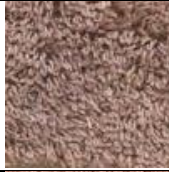
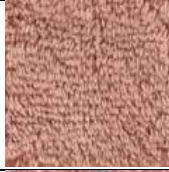

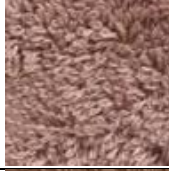
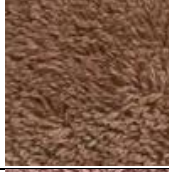




Tablo 3.’te ön mordanlama ile muamele edilen kumaşın farklı mordan türlerindeki renk gamları gösterilmiştir. Kök boya içerisinde bulundurduğu renk verici pigmentlerden dolayı nitel değerlendirmede pembemsi bir renge sahiptir. Soda ile ön mordanlama işlemi yapılan kumaşın diğerlerine göre daha açık renkte çıktığı, tannik asit ile ön mordanlamada ise rengin kahverengi olduğu görülmektedir. Diğer mordanlar da genel olarak pembe ve tonları kumaş üzerinde elde edilmiştir. Pamuklu kumaşlara yapılan doğal boyama işleminde direkt olarak kök boya uygulamalarının benzer çalışmalarda olduğu gibi verimli sonuç vermediği gözlenmiştir.

Eş zamanlı mordanlama da kök boya ve mordanın, kumaş ile aynı banyo içerisinde bulunması ile bir boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablo 4’te eş zamanlı mordanlama ile yapılan renkler gösterilmiştir.

Tablo 3. Ön Mordanlama İşlemi ile Boyanan Kumaşların Farklı Mordan Türleri ile Oluşturulan Renk Gamı

	Askorbik Asit
	AlK(SO ₄) (Şap)
	CaCO ₃
	MgCl ₂
	Tannik Asit
	Üre
	Soda
	Sitrik Asit
	Alginat

Tablo 4. Eş Zamanlı Mordanlama İşlemi ile Boyanan Kumaşların Farklı Mordan Türleri ile Oluşturulan Renk Gamı

	Askorbik Asit
	AlK(SO ₄) (Şap)
	CaCO ₃
	MgCl ₂
	Tannik Asit
	Üre
	Soda
	Sitrik Asit
	Alginat

Tablo 5. Şap ile ön mordanlama yapılarak boyanan kök boyanın renk açılımları

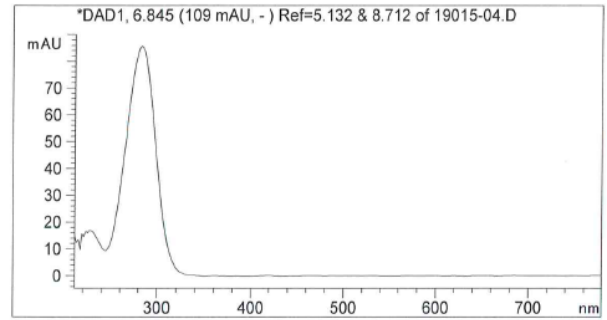
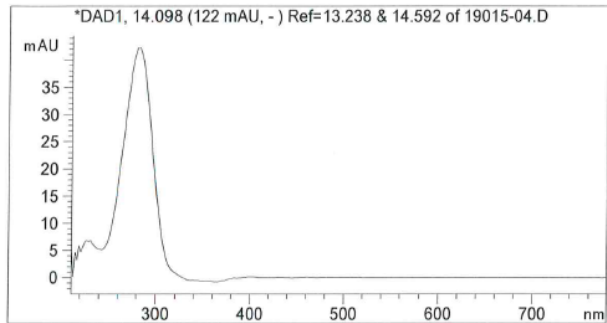
	Ön Mordanlama + %0,5 kök Boya
	Ön Mordanlama + %1 kök Boya
	Ön Mordanlama + %2 kök Boya
	Ön Mordanlama + %3 kök boyo
	Ön Mordanlama + %4 kök Boya
	Ön Mordanlama + %5 kök Boya
	Ön Mordanlama + %10 kök Boya
	Ön Mordanlama + %15 kök Boya

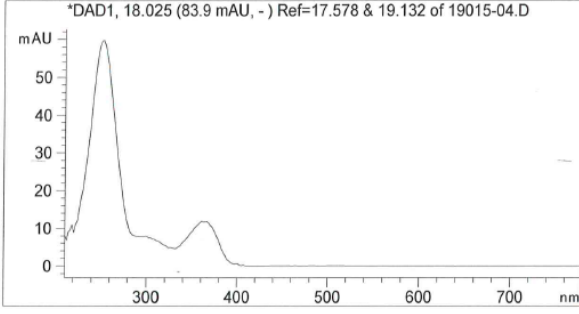
Ön mordanlama işleminde ilk olarak elyaf ile mordan arasında bir bağ oluşturulacağı, daha sonra boyar maddenin kumaş yüzeyine tutunması ile düzgün bir boyama yapılması hedeflenmiştir. Bu sebepten kök

boyanın yapısını bozmadan proses optimizasyonu yapılarak 90°C'de boyama yapılmıştır.

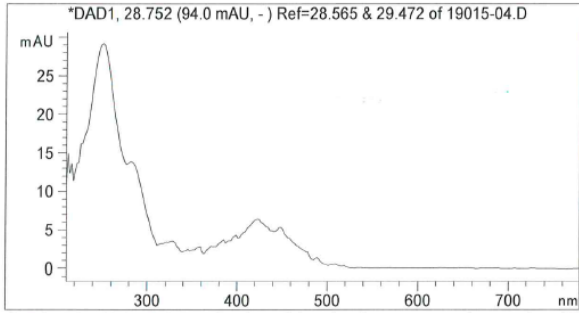
Yapılan çalışmalar sonucunda ön mordanlama sonrası kök boya ile boyanan kumaşların, eş zamanlı mordanlama ile boyanan kumaşlara göre haslık değerlerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Ön mordanlama ile 9 farklı mordan türü ile işlem gören kumaşlarda en iyi rengin şap (Alüminyum potasyum sülfat) ile olduğu kararına varılmıştır. Şap ile işlem gören kök boyalı kumaşlarda laboratuvar bünyesinde farklı boyar madde konsantrasyonlarında kök boyanın renk gamı çalışılmıştır (Tablo 5).

Belirlenen %10 değerinde kök boyanın laboratuvar tipi mini jette boyaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen renk değerlerinin numune boyama makinesinde elde edilen renklere yakın olduğu görülmüştür. Mini jette de uygun ΔE değerleri elde edildikten sonra Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş. işletme bünyesinde bulunan boya kazanlarında aynı boyar madde yüzdesinde ön mordanlama ile pamuklu havlu kumaş boyanmıştır. Kök boya ile boyanan pamuklu kumaş, kendi doğal tuşesi kullanılarak hiçbir yumuşatıcı apresinden geçirilmeden nihai ürünler oluşturulmuştur. Ön mordanlama ve ardından kök boya ile işlem yapılması sonucunda nihai ürün akredite kuruluşta HPLC (High Performance Liquid Chromatography) testine tabi tutulmuştur.

**Şekil 1.** Tespit edilen boyar madde A.Z. 6,844 dk. Gallic asit**Şekil 2.** Tespit edilen boyar madde (A.Z. 14.101 dk. Gallic asit türevi)



Şekil 3. Tespit edilen boyar madde (A.Z. 18.022 dk. ellagic asit türevi)



Şekil 4. Tespit edilen boyar madde (A.Z. 28.755 dk. Alizarin)

Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'teki veriler ön mordanlama sonucu kök boya ile boyanan havlu kumaşlarda HPLC testinde hangi fonksiyonel grupları içerdiği sonucunu vermektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ön işlemi yapılmış %100 pamuklu havlı kumaşlara ön mordanlama ve eş zamanlı mordanlama yaparak kök boya ile boyanması üzerine çalışılmıştır. Yapılan işlemler ile kök boyanın pamuklu yüzeyler üzerindeki renk derinliği ön mordanlama ve eş zamanlı mordanlama ile yapılan boyama sonucunda, elde edilen renkler benzer değerlerde çıkmıştır.

Farklı mordan kullanılarak yapılan boyama işlemlerinin her birinde renklerin farklı çıktığı görülmüştür. Buradan yola çıkarak kök boya ile boyama da farklı mordan türlerinin kullanılması sonucu geniş renk gamlarının elde edileceği çıkarımı yapılmıştır. Literatürde de görüldüğü gibi Bechtold ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaların elde ettiğimiz sonuçları destekler nitelikte olduğu görülmüştür (Bechtold vd., 2006).

Yapılan çalışmaların her ikisinde de soda ile işlem gören kumaşların renginin daha açık olduğu gözlenmiştir. Ortamın pH'nın çok yüksek olması, doğal boyar

maddenin renginin açık çıkmasına sebep olmuştur. Haslık değerlerinin iyi çıkmasının sebebi, kumaştaki bu açık rengin oluşmasından kaynaklandığı gözlenmiştir. Tannik asit ile işlem gördükten sonra kök boya ile boyanan kumaşa ise rengin kahverengi tonlarında olduğu görülmektedir. Tannik asitin kendi doğal rengi kahverengi tonlarında pigmentleri içermektedir. Yapılan çalışmada ise bu pigmentler kök boyanın pembemsi renginden daha baskın çıkarak, kumaşa kahverengi tonları oluşturmuştur. Ayrıca diğer mordan türlerine göre haslık değerleri daha düşük çıkmıştır.

Eş zamanlı ve ön mordanlı boyamaların sonucunda hemen hemen benzer renk derinlikleri ortaya çıkmıştır. Yapılan haslık testleri sonucunda eş zamanlı mordanlamanın tüm mordan maddelerinde ön mordanlamaya göre yıkama sonrası değerleri düşük çıkmıştır. Bu sebepten ilerleyen çalışmalarda ön mordanlama ile boyanan kumaşlar esas alınmıştır (Bechtold vd., 2006).

Ön mordanlama ile işlem gören kumaşlarda şap ile yapılan boyamanın haslık değerlerinin iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Işık haslığı değerleri genel olarak bütün doğal boyalarda düşük çıkmıştır. Nispeten en iyi sonuç şap ile mordanlanan kumaşlarda görülmüştür (Merdan vd., 2011).

Ön mordanlama ile yapılan çalışmalarda, şapla yapılan boyamaların haslıklarının daha iyi olduğu, renklerinin ise daha parlak olduğu gözlenmiştir. Bu veriler neticesinde şap ile ön mordanlama yapılarak %0,5, %1, %2, %3, %4, %5, %10 ve %15 kök boya kullanarak laboratuvar renk gamı oluşturulmuştur (Tablo 2).

%10 kök boya ile işlem gören kumaşların HPLC testi sonucunda alizarin, ellagic asit türevi ve gallic asit türevi yapılar içerdiği gözlenmiştir. Bu test sonucunda kök boya ile boyanan pamuklu kumaşların boyar madde kaynağının Quercus infectoria veya Quercus ithaburansis ve Rubia tinctorium L. olduğu tespit edilmiştir. Yapılan test sonucunda pamuklu havlı kumaşın doğal boyar maddeler ile boyandığı ve sentetik boyar maddeler içermediği tespit edilmiştir.

Kök boya ile boyanmış havlı kumaş Bursalı Tekstil bünyesinde farklı bir ürün gamının oluşmasını sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi tarafından desteklenmiş olup, BT-AR-YÜ1909 öz kaynak proje kodu ile yer almıştır.

KAYNAKLAR

- Bechtold T., Turcanu A., Ganglberger E. and Geissler S. (2003). Natural dyes in modern textile dyehouses - How to combine experiences of two centuries to meet the demands of the future, *Journal of Cleaner Production*, 11(5), 499–509.
- Bechtold T., Mussak R., Mahmud-Ali A., Ganglberger E. and Geissler S. (2006). Extraction of natural dyes for textile dyeing from coloured plant wastes released from the food and beverage industry, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(2), 233–242.
- Benli H. (2015). Selüloz Esaslı tekstil Materyalleri İçin Çevre Dostu Terbiye Proseslerinin Oluşturulması: Yeşil Fabrika (Doktora Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bulut M. O. and Akar E. (2012). Ecological dyeing with some plant pulps on woolen yarn and cationized cotton fabric, *Journal of Cleaner Production*, 32, 1–9.
- Deli Ö. (2004). *Rubia tinctorum* L. (kök boya) bitkisinin kök dokularından kallus üretimi (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doshi R. and Shelke V. (2001). Enzymes in textile industry-An environment-friendly approach, *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 26(1–2), 202–205.
- Genç M. (2014). Başbakanlık Osmanlı Arşiv Belgelerinde Kökboya ve Cehri İle İlgili Bazı Kayıtlar, *Art-e Sanat Dergisi*, 7(13), 174–212.
- Gürsoy N. Ç. ve Hauser P. (2010). Yeni Katyonik Ağartma Aktivatörleri Kullanılarak Ağartılmış Pamuklu Örmeye Kumaşların Boyama Özelliklerinin İncelenmesi, (An Investigation of Dyeing Properties of Bleached Knitted Cotton Fabrics Using Novel Cationic Bleaching Activators), 155–161.
- Karadag R. (2017). Doğal Boyamacılık, Dösim, 1–129.
- Kayabaşı N. and Arlı M. (2001). Cehri (*Rhamnus petiolaris*)’den Elde Edilen Renkler, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(3), 128–134.
- Madhu A. and Chakraborty J.N.. (2017). Developments in application of enzymes for textile processing, *Journal of Cleaner Production*, 145, 114–133.
- Manhita A., Ferreira V., Vargas H., Ribeiro I., Candeias A., Teixeira D., Ferreira T. and Dias C. B. (2011). Enlightening the influence of mordant, dyeing technique and photodegradation on the colour hue of textiles dyed with madder - A chromatographic and spectrometric approach, *Microchemical Journal*, 98(1), 82–90.
- Merdan N., Acar K. ve Korkmaz B. (2011). Gelincik (*Papaver rhoeas* L.) Bitki Çiçekleri İle Boyanmış Yünlü Kumaşların Renk ve Haslık Özelliklerinin Araştırılması, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(19), 89–99.
- Mouri C. and Laursen R. (2012). Identification of anthraquinone markers for distinguishing *Rubia* species in madder-dyed textiles by HPLC, *Microchimica Acta*, 179(1–2), 105–113.
- Pervin A., Asim D. and Aksel E. H. (2009). Enzymatic pre-treatment of cotton. Part 2: Peroxide generation in desizing liquor and bleaching, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 73(2), 87–90.
- Sancar B., Paksoy N., Balcı O. ve Kurtoğlu N. (2012). Pamuklu Dokuma Kumaşların Boyamaya Hazırlık İşlemlerinde Enzim Kullanım Olanaklarının İncelenmesi ve Kombine Proses Geliştirilmesi, *Tekstil ve Mühendis*, 19(86), 7–13.
- Shaukat A., Hussain T. and Nawaz R. (2009). Optimization of alkaline extraction of natural dye from Henna leaves and its dyeing on cotton by exhaust method, *Journal of Cleaner Production*, 17(1), 61–66.
- Špička N. and Tavčer P. F. (2013). New Combined Bio-scouring and Bio-bleaching Process of Cotton Fabrics, *Materiali in Tehnologije*, 47(4), 409–412.
- Taş E. (2019). Tekstil Boyamacılığının Tarihsel Gelişimi ve Boyarmaddeler, *Turkish Studies-Social Sciences*, 14(3), 1095–1120.
- Yusuf M., Shahid M., Khan M. I., Khan S. A., Khan M. A. and Mohammad F. (2015). Dyeing studies with henna and madder: A research on effect of tin (II) chloride mordant, *Journal of Saudi Chemical Society*, 19(1), 64–72.

Mikrokapsül Aplikasyonu Sonrası Multifonksiyonel Havlu Eldesi

Sevil TÜRKÇEN GÜNÇ*¹ , Saliha Büşra KARAKELLE*² , Dilek KUT TOPRAKKAYA*³ 

^{1,2}Bursalı Tekstil San. ve Tic. A.Ş., Bursa, 16369, Türkiye

³Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bursa, 16059, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 26.02.2021, Kabul Tarihi: 27.04.2021

Özet

Tekstil endüstrisinde sanayileşmeyi sürdürebilmek ve çevreyi koruyabilmek için işletme bünyesinde konvansiyonel yöntemle elde edilen nihai ürün olan havluya, mikrokapsül teknolojisi ile farklı fonksiyonel özelliklerin (kötü kokuları absorbe edici, mantar ve bakteri oluşumunu engelleyici) eklenmesi ile katma değeri yüksek yeni bir ürün gamı geliştirilmiştir. Çalışmada; doğal ekstratların (bal ve propolis) özütleri alınıp çeper malzeme (jelatin ve arap zamkı) ile kaplanarak mikro ve nano boyutta kapsül elde edilerek optik mikroskopta partikül boyutları görüntülenmiştir. UV-VIS spektrofotometre ölçümü ile mikrokapsüllerdeki etken madde miktarı tespit edilmiştir. Elde edilen kapsüllerin havlu ve bornoza aktarımı emdirme yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Havluya applike edilen kapsülün kumaş üzerinde homojen dağılımını gözlemek için SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri alınmıştır. Havlu kumaşa yıkama testleri yapılarak kapsüllerin yıkama dayanımı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrokapsül Teknolojisi, Doğal Ekstrakt, Aplikasyon, Multifonksiyonel Tekstil Ürünleri.

Multifunctional Towel Handing After Microcapsule Application

Abstract

In order to sustain industrialization in the textile industry and protect the environment, a new product range with high added value was developed by adding different functional properties (absorbing bad odors, preventing fungus and bacteria formation) to the towel, which is the final product obtained by conventional method within the enterprise, with microcapsule technology. Microcapsulation technology is one step ahead of other methods in terms of its environmental and economic advantages. In the study; Extracts of natural extracts (honey and propolis) were taken and coated with a wall material (gelatin and gum arabic), micro and nano-sized capsules were obtained and particle sizes were visualized under an optical microscope. UV-VIS transfer of the obtained capsules to towel and bathrobe was carried out according to the impregnation method. SEM (Scanning Electron Microscopy) images were taken to observe the homogeneous distribution of the capsule applied to the towel on the fabric. Washing tests were performed on the towel fabric and the washing resistance of the capsules was improved.

Keywords: Microcapsule Technology, Natural Extract, Application, Multifunctional Textile Products.

¹Sorumlu yazar sevilturkcen@gmail.com, ²busra.karakelle@bursaligrubu.com, ³dilek@uludag.edu.tr

1. GİRİŞ

Tekstilde bitim işleminde kullanılan kimyasal (doğal veya sentetik) maddeler ile tekstil ürünlerine birçok fonksiyonel özellikler kazandırılmaktadır. Fonksiyonel tekstillerin kullanımı her geçen yıl artış göstermektedir. Son yıllarda fonksiyonel tekstiller hızla büyüyen ve gelişen teknolojiyle, tekstil endüstrisi için yeni hedef kitleler ve yeni pazarlar oluşturmaktadır. Fonksiyonel tekstiller, yüksek katma değere sahip müşteri ihtiyaçlarını karşılayan ürünler olarak tanımlanmaktadır (Roshan vd, 2015).

Tekstil endüstrisinde, üretim teknikleri geliştirilerek ürün kalitesi arttırılmaya ve çevre dostu üretim süreci yapılmaya yönelik çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır. Giyim, artık insanlar için geleneksel fonksiyonların yanında ek fonksiyonlar taşıyan konfor ve koruma özellikli ürünler haline gelmektedir. Bu özelliklerden bariyer etkili koruyucu ve termofizyolojik konfor giysiler önde gelen ürünlerdendir (Roshan vd. 2015).

1.1. Balın Özellikleri

Bal arıları, çiçekli bitkilerden ve bitkiler üzerinde tutunan küçük canlıların salgıladıklarını toplayarak kendine ait farklı maddeler karıştırarak değişikliğe uğratırlar. Ardından biriktirdikleri ve değişikliğe uğrattıkları ürünü bal peteklerine depolarlar. Depoladıkları madde, bal olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca tatlı ve tatlandırıcı madde olarak da tanımlanabilmektedir (Türk Gıda Kodeksi 2000/39 sayılı Bal Tebliği).

Bal, tatlı veya tatlandırıcı bir üründür. Nedeni balın içerisinde bulunan üç farklı şekerden kaynaklanmaktadır. Bunlar, Meyve şekeri (%40), Sakroz (%2) ve Üzüm şekeri (%34)'dir. Balın geriye kalan %24'ünün %17'lik bölümü su, geri kalan %7'lik bölümü ise Alüminyum, Gümüş, Albumin, Dekstril, Nitrojen, Demir, Sodyum, Sülfür, Magnezyum, Fosfor, Polen, Manganez, Protein ve asitlerden oluşur. Balın kaliteli olmasını sağlayan en önemli bölümünü ise %7'lik karışım belirler (Hoyt, New Yorks 181).

Balın antibakteriyel özelliği sayesinde içinde bulunan farklı mikroorganizmalar üreyemez ve yaşayamaz. Dünyada çapındaki literatürlerde ve uygulamaya geçen tedavi olarak da adlandırılan geleneksel ve tamamlayıcı tıp'ta; propolis, arı sütü ve polenin yanı sıra, bal da tedavi yöntemleri arasında günümüz teknolojisinde kullanılmaktadır (Lusby vd., 2002; Garede vd., 2004).

1.2. Propolisin Özellikleri

Propolis, bal arıları tarafından üretilen yapışkan bir arı ürünüdür. Bal arıları, çiçeklerin ve bitkilerin tomurcuk, yaprak, gövdelerinden toplanan, reçine kıvamında olan üründür. Propolisin en belirgin özellikleri arasında; antifungal, antibakteriyel ve antiviral aktivite etkileri yer almaktadır. Propolisin antibakteriyel aktivitelerinin başlıca etken madde grupları sırası ile; flavonoidler, alifatik ve aromatik asitler ve esterlerdir (Basim vd., 2006). Propolisin içeriğinde flavonoidler, fenolik asit ve esterleri, steroidler terpenoidler, aminoasitler ve inorganik bileşikler gibi farklı kimyasal bileşikler bulunmaktadır (Moreno vd., 2000).

Propolisin içeriği ve etkisinin değişmesi nedenleri arasında; toplanma süresi, iklim şartları, mevsim dönüşümleri, coğrafi bölgeye göre oldukça farklılık göstermektedir (Sforcin vd., 2000). Çeşitli ülkelerden çözümlenen propolisin içerdiği kimyasal bileşenler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Propolisin bileşenleri

Bileşen Sınıfı	Bileşen Grubu	Ülkeler
Resinler	%45 – 55 Flavonoid	Hungary Bulgaria Czechoslovakia Egypt England Austria, Germany
	Fenolik Asit ve Esterler	Hungary Bulgaria Mongolia
Mum ve Yağ Asitleri	%25 – 35	Hungary
Esansiyel Yağlar	%10	Hungary
Polen	%5	Poland

Diğer Organik ve Mineral Maddeler	%5 (14 iz element, en yaygın Fe ve Zn)	Bulgaria
	Ketonlar	Cuba
	Laktonlar	Cuba
	Kinonlar	Cuba
	Steroidler	England
	Benzoik asit ve esterleri	England
	Vitaminler, sadece B3	England
Şekerler		

Propolis ürününün en önemli bilinen ve en fazla araştırılan hususlardan biri antibakteriyel özelliğidir. Propolisin farklı mikroorganizmalara karşı (örneğin; mantar, bakteri, virüs, vb.) etkisi ile ilgili çok fazla bilimsel araştırmalar ve çalışmalar yapılmıştır (Kujumgiev vd.,1993; De Castro vd.,1995). Tablo 2’de doğal propolisin maddesinin mikroorganizmalar üzerine etkisi incelenmiştir.

Tablo 2. Propolisin mikroorganizmalar üzerine etkisi

Hedef Mikroorganizma
Bakterisidal Etkileri
Bacillus larvaları
B. subtilis ve diğerleri
Staphylococcus türleri
Staphylococcus aureus
Streptococcus
Streptomyces
Saccharomyces cerevisiae
Escherichia coli
Salmonella ve Shigella
Salmonella

Klebsiella pneumoniae
Fungisidal Etkileri
Candida albicans
Aspergillus niger
Botrytis cinerea
Ascospaera apis
Plasmopara viticola
Antiviral Etkileri
Herpes
Patates virüsü
Influenza
Nematodisidal Etkileri
Ascaris suum

1.3. Mikrokapsül Elde Edilme Aşamaları

Doğal ekstraktlar çok farklı alanlarda (gıda, ilaç, kozmetik, tekstil, kimya, vb.) kullanım olanağı bulmuştur. Günümüz teknolojisinde mikrokapsülleme yöntemi ile doğal ekstraktların boyutları küçültürerek mikro veya nano boyutta kapsüller üretilebilmektedir. Elde edilen bu mikro ve nano kapsüllerin içerisine verilmek istenen fonksiyonel özellikler hapsedilebilmektedir.

Mikrokapsüllerin dış çeper özelliklerinin farklılaştırılması ile farklı alanlara yönelik kullanımı çok fazla önem kazanmıştır (örneğin; jelatin, arap zamkı, vb). Eczacılık biliminde, sağlık alanı ile ilgili ilaç, vitamin, krem, kozmetik gibi tüm ürünlerde, mikrokapsüllü ürünler kullanılmaya başlanmıştır. Bunların yanı sıra mikrokapsülleme yöntemlerinden tekstil, gıda sektörü, tatlar ve esanslar, yapıştırıcılar, vb. gibi çok fazla alanlarda bu teknolojiye faydalanılmaktadır (Övez vd., 2002).

Doğal maddelerin mikrokapsüllemesi için farklı metodlar ve teknikler kullanılmaktadır. İç çekirdek maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak mikrokapsülleme metodları da değişmektedir. Koaservasyon yöntemlerinden en yoğun bir şekilde kullanılmakta olanı kompleks koaservasyon yöntemidir. İç çekirdek ve dış çeper doğal polimerlerden oluşmaktadır. Bu doğal polimerlerin fazlarının

birbirlerinden aynı anda ayrıldıkları koaservasyon metodu olan bu yöntem, anyonik ve katyonik maddelerin suda çok hızlı çözünebilen yeteneğine dayanmaktadır. Bu ayrılmanın sonucu olarak iki farklı faz meydana gelmektedir. Doğal polimerlerin çok fazla olduğu bölüm, kompleks koaservat olarak adlandırılmaktadır (Koç vd., 2010).

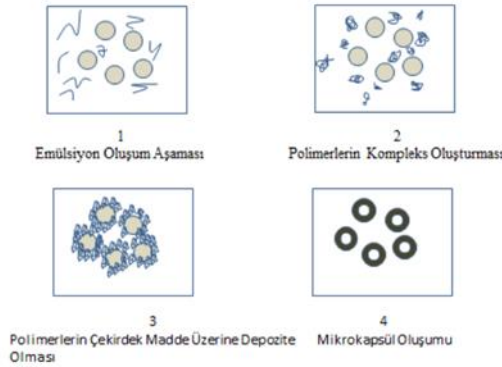
Kompleks koaservasyon yöntemi ile mikrokapsüllerin hazırlanması dört adımda gerçekleşmektedir (Şekil 1):

1.Emülsiyon Oluşumu

2.Polimerlerin Kompleks Oluşturması

3.Kaplamanın Oluşması

4.Kaplama Sertleşmesi – Mikrokapsül Oluşumu



Şekil 1. Mikrokapsül oluşum basamakları

Bu çalışmanın amacı kompleks koaservasyon yöntemi kullanılarak elde edilen mikrokapsüllerin aktarıldığı havlu kumaşlarda antimikrobiyal özelliklerin araştırılmasıdır. Bu amaçla bal ve propolis doğal ekstratları, kompleks koaservasyon yöntemi kullanılarak mikro kapsül formuna getirilmiştir. Kapsüllerin karakterizasyonları, Optik Mikroskop, Taramalı elektron mikroskopu (SEM) partikül boyutu analizi ve UV-VIS Spektrofotometresi ile de pik dağılımları gerçekleştirilmiştir. Mikro kapsüller pamuklu kumaşlara çapraz bağlayıcı aracılığı ile aktarılmış, SEM analizleri kullanılarak kumaş üzerindeki varlığı incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Mikrokapsül Yapımında Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar

Bu çalışmada; bal ve propolisin, kompleks koaservasyon metodu ile mikrokapsülleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulama aşamasında iç ve dış çeperi için birbirleri ile

uyumlu olan doğal yapılar seçilmiştir. Bunlar; dış çeper malzemeleri arap zıncı ve jelatin (%10), emülsiyon oluşturmak için sodyum sülfat çözeltisi (%20), çapraz bağlayıcı olarak sitrik asit çözeltisi (%20) ve pH'ı ayarlamak için NaOH (sodyum hidroksit) kullanılmıştır.

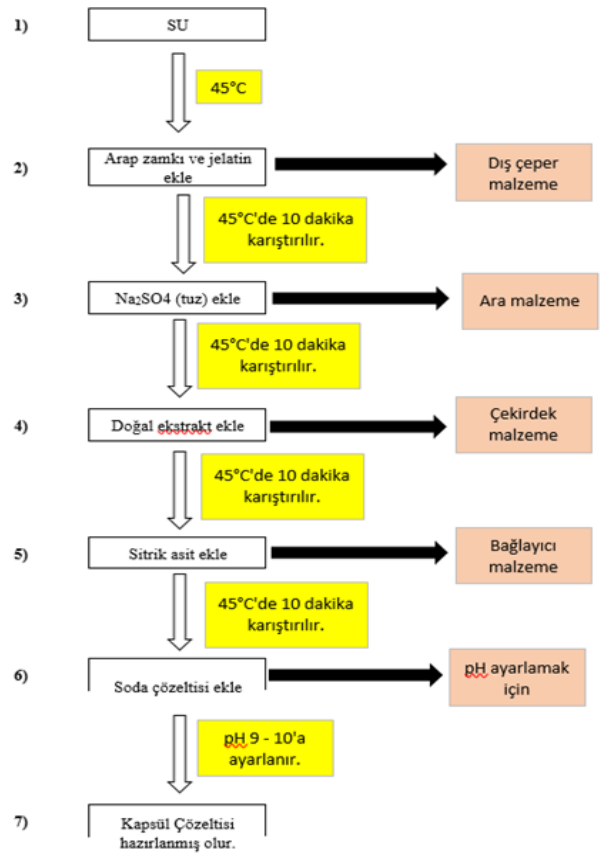
Mikrokapsüllenen bal ve propolis doğal ekstratları Talya Bitkisel firmasından alınmıştır.

Elde edilen mikrokapsüllerin karakterizasyonu için UV-VIS (Spektrofotometre), TGA (Termogravimetrik analiz; TG/DTA) ve DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) kullanılmıştır.

2.2. Mikrokapsüllerin Hazırlanması

Kompleks koaservasyon yöntemine göre mikrokapsül eldesinde pH, karıştırma devri ve çalışmada kullanılan maddelerin ekleniş sırası önemli parametrelerdir. En yoğun ve homojen kapsül eldesinin gerçekleştiği koşulların belirlenebilmesi amacıyla optimizasyon çalışmaları yapılmış ve ideal koşullar aşağıda belirtilmiştir.

Şekil 2'de mikrokapsülasyon aşamalarının akış şeması verilmiştir.



Şekil 2. Mikrokapsülasyon aşamaları akış şeması

Çalışmada, kapsül oluşumu için gereken doğal ve organik ürünlerin çözeltiye ekleniş sıraları, süreleri ve kapsül oluşumu için gereken pH önemlidir.

Ekleniş sırası (Şekil 3):

-Karıştırma kabına su eklenerek, 45°C'ye ısıtılır.

-Üzerine yine 45°C'ye ısıtılmış olan dış çeper (jelatin ve arap zıncığı) çözeltisinden (%10) eklenip, 2 saat karıştırılır.

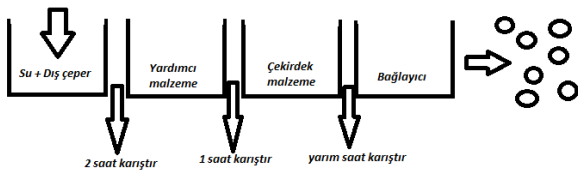
-Üzerine ara malzeme (Na₂SO₄) eklenir ve 1 saat daha karıştırmaya devam edilir.

-Daha sonra çekirdek malzemeler (Bal + Propolis,) damla damla ve çok yavaş olacak şekilde eklenir ve yarım saat daha karıştırılır.

-Üzerine bağlayıcı (sitrik asit) eklenip, 10 dk. daha karıştırılır.

-Oluşan çözeltinin pH'ı 3 (asidik) olduğu için seyreltik soda çözeltisi ile pH'a 9 – 10 arasına yükseltilir.

-Daha sonra oluşan kapsül çözeltisi soğumaya bırakılır ve soğutucuya konur.



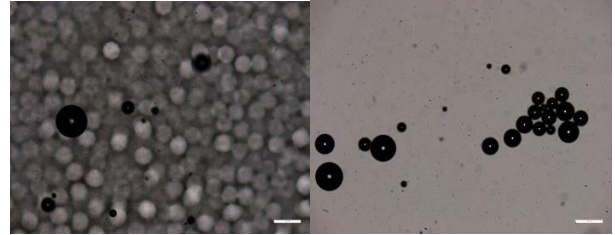
Şekil 3. Mikrokapsül oluşumu ve ürünlerin ekleniş sıraları

3. BULGULAR

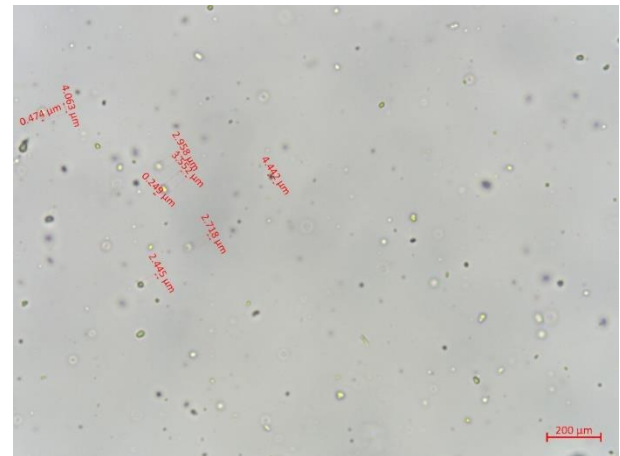
Bu çalışmada, bal ve propolis doğal ekstraktlardan oluşan mikrokapsüller elde edilmiştir. Dış çeperinde ise arap zıncığı ve jelatin doğal karışımları kullanılarak kompleks koaservasyon metodu ile mikrokapsüller oluşturulmuştur. Daha sonra homojenizatör cihazında seramik çarpıştırıcılar ile boyutları küçültülüp, homojen hale getirilmiştir. İç çekirdek ve dış çeper malzemeleri birbirleri ile emülsiyon oluşturmaları için sodyum sülfat çözeltisi (%20) kullanılmıştır. Oluşturulan mikrokapsülleri hem birbirleri ile hem de havlu kumaşa aplik edebilmek için çapraz bağlayıcı olan doğal sitrik asit çözeltisi (%20) duvar materyallerine eklenmiştir.

1:5 (çekirdek malzeme: çeper malzeme) oranında çalışmalar yapılarak mikrokapsüllerin fonksiyonel

etkileri analizlerin sonuçlarına göre incelemeye alınmıştır. Bazı literatür çalışmalarında mikrokapsülasyon üretim aşamalarındaki çapraz bağlayıcı olarak formaldehit kullanılmıştır. Fakat formaldehit kimyasalının içeriğindeki maddeler insan sağlığı açısından zararlı olduğu için bu çalışmada çapraz bağlayıcı olarak doğal sitrik asit çözeltisi kullanılmıştır. Şekil 4'te bal ve propolis mikrokapsüllerin optik mikroskop görüntüleri; Şekil 5'te tanecik boyut analiz görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 4. Bal ve propolis mikrokapsüllerin optik mikroskop görüntüleri

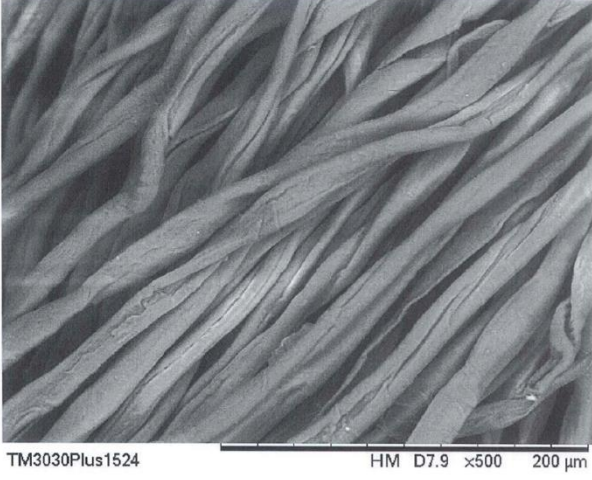


Şekil 5. Bal ve propolis mikrokapsüllerin tanecik boyut analiz görüntüleri

Bursalı Tekstil Ar-Ge Merkezi firmasında bulunan optik mikroskop ile boyutları küçültülen kapsüllerin tanecik boyut analizi yapılmıştır. Çalışmada 10 mikron ve altında mikron boyutlar elde edilmiştir.

10:20 g/L Mikrokapsül Çözeltisi / Çapraz Bağlayıcı (Bal+Propolis / Sitrik Asit) çözeltisi %100 pamuklu havlu kumaşa emdirme yöntemine göre Fulard cihazında aktarılmıştır. Mikrokapsüller havlu kumaşa aplik edildikten sonra laboratuvar tipi kurutma makinasında 120 C'de ve belirli bir hızda geçirilerek kapsül çözeltisi havlu kumaşa fikse edilmiştir. Fikseleme işlemi tamamlanan kumaşların SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazında görüntülemesi yapılmıştır.

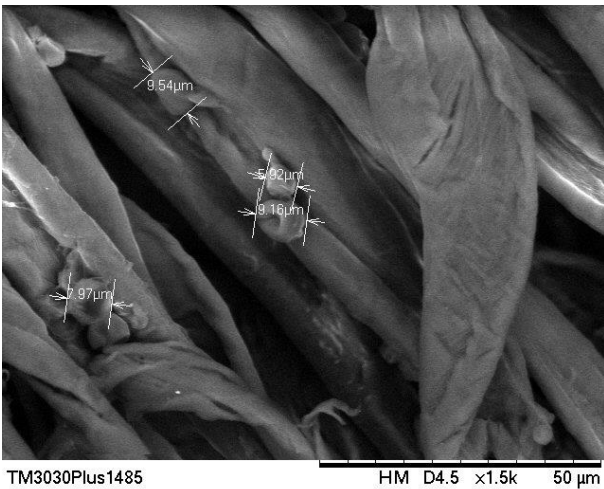
Şekil 6'da Orijinal havlu kumaş SEM görüntüsü; Şekil 7'de bal ve propolis içeren mikrokapsül SEM görüntüsü; Şekil 8'de bal ve propolis içeren mikrokapsül SEM görüntüsü ve boyut ölçümü bulunmaktadır.



Şekil 6. Orijinal havlu kumaş SEM görüntüsü



Şekil 7. Bal ve Propolis içeren mikrokapsül SEM görüntüsü

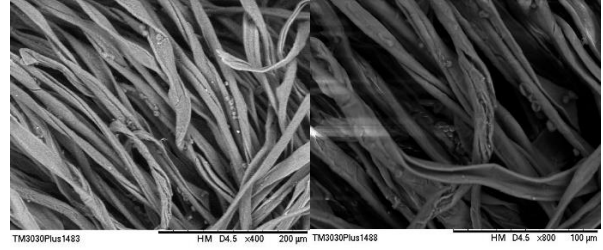


Şekil 8. Bal ve propolis içeren mikrokapsül SEM görüntüsü ve boyut ölçümü

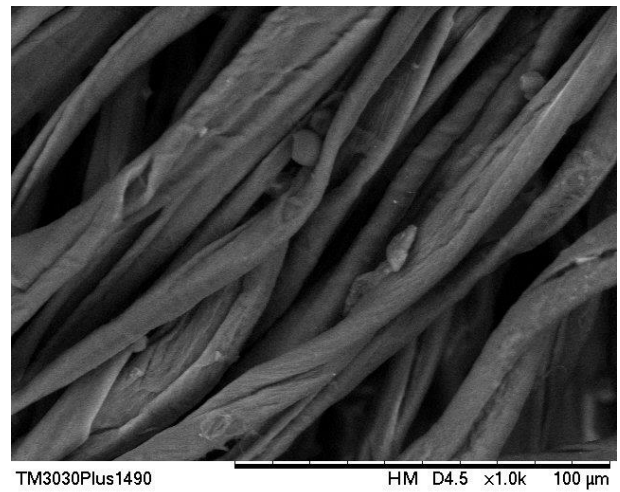
SEM görüntüleri incelendiğinde, hem mikrokapsüllerin havlu kumaşa aplikasyon işlemi hem de boyutlarının çalışma hedefinde bulunan 10 mikron ve altında olması sağlanmıştır.

Taramalı elektron mikroskobu analizi sonucunda; mikrokapsül içermeyen %100 pamuktan dokunan kumaşların kusursuz bir morfolojik yüzey yapısına sahip olduğu görülmüştür. Mikrokapsül ile işlem görmüş %100 pamuklu havlu kumaş yapısında liflere bağlanmış küresel formda mikrokapsüllerin var olduğu kanıtlanmıştır. Yapılan SEM ölçümleri sonucunda kumaş yüzeyinin üzerine applike edilen mikrokapsüller ortalama çapları 5-6 µm'dir. Homojen dağıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 9'da Bal ve propolis içeren mikrokapsül 1. ve 5. yıkama sonucu SEM görüntüsü; Şekil 10'da 15. yıkama sonucu SEM görüntüsü bulunmaktadır.

Bu çalışmanın bir diğer hedefi olan 15 yıkamaya dayanıklı olmasıdır ve bu süreç doğrultusunda standart havlu ve multifonksiyonel havlu kumaşların performans test analiz sonuçları ve kıyaslanması yapılmıştır.



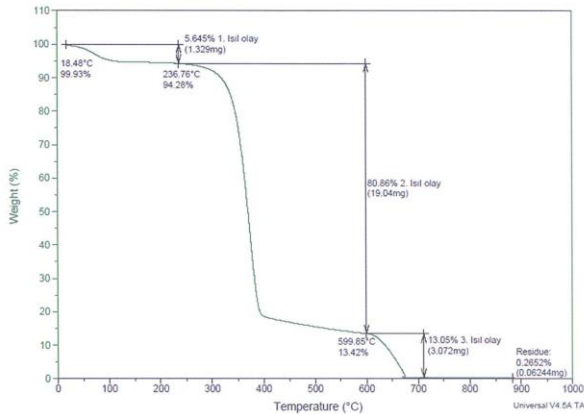
Şekil 9. Bal ve propolis içeren mikrokapsül 1. ve 5. yıkama sonucu SEM görüntüsü



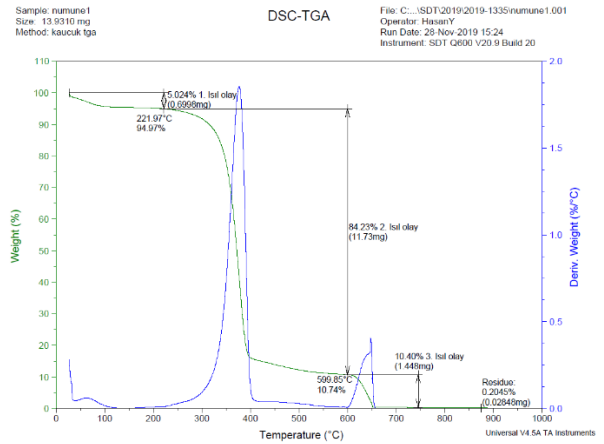
Şekil 10. Bal ve propolis içeren mikrokapsül 15. yıkama sonucu SEM görüntüsü

Havlu kumaşların üretilen mikrokapsül çözeltilerinin aplike edilmesinin ardından 15 yıkamaya dayanıklı olup olmadığı test edilmiştir. Yukarıda verilen SEM görüntülerinden mikrokapsül çözeltilerinin 15 yıkamaya kadar dayanıklı olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi; üretilen mikrokapsüllerin tanecik boyutları 10 mikron ve altında gerçekleştirildiği için kapsül boyutu ne kadar küçük olursa havlu kumaşın yüzeyine tutunması o kadar artacaktır. Bunun sayesinde 15 yıkamaya kadar hala dayanıklıdır.

Oluşturulan mikrokapsüllü havlu kumaşlara TGA (Termogravimetrik Analiz) ve DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) karakterizasyon işlemleri yapılmıştır. TGA analizinde yapılan çalışmada; bir atmosferdeki ürünün kütlesi, zamana veya sıcaklığa göre (zamanla doğrusal olarak) fonksiyona karşı kaydedilir. Termogravimetrik analiz; malzemenin kütleli (gramaj) kaybına uğradığı sıcaklığı belirler. Bu işlem numunenin buharlaştığını veya bozulduğunu gösterir. Belirli bir sıcaklığa getirilen numunenin TGA analizi ile belirlenen özellikleri sırası ile; ağırlık kaybı bilgisi, örnek bileşenin içeriğini ve bozulma aşamasındaki reaksiyonlarını izleme kolaylığı sağlamaktadır. Şekil 11’de orijinal havlu kumaşın TGA ve DSC sonuçları; Şekil 12’de bal ve propolis içeren mikrokapsüllü havlu kumaşın DSC ve TGA görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 11. Orijinal havlu kumaşın TGA ve DSC sonuçları



Şekil 12. Bal ve propolis içeren mikrokapsüllü havlu kumaşın DSC ve TGA görüntüleri

Sonuçlar incelendiğinde; bal ve propolis mikrokapsülleri içeren multifonksiyonel havlu kumaşa ait grafiklerde malzeme pamuk olduğu için sıcaklıkla birlikte bozunma ve kömürleşme (C’a dönüşme) gerçekleşiyor. Önce yapıdaki su ve su bazlı bileşikler uçuyor, gaz çıkışı gerçekleşiyor, en son orijinal numune için yaklaşık 660-670 C’ler civarında tamamen C’a dönüşüyor.

Oluşturulan mikrokapsüllü havlu kumaşlara ISO 105-C06 A1M – yıkama haslığı testi ve ISO 105-X12 sürtme haslığı testleri uygulanmıştır. Tablo 3’te yıkama ve sürtme haslığı testi sonuçları bulunmaktadır.

Tablo 3. Yıkama ve sürtme haslığı testi sonuçları

Numune	Renk Sürtme Haslığı		Renk Değişimi	Renk Yıkama Haslığı
	Kuru	Yaş		
Orijinal Havlu	5	4/5	4/5	4
Mikrokapsüllü Havlu	5	4/5	4/5	4/5

Sonuçlar incelendiğinde; sürtme haslığında değişkenlik olmazken, yıkama haslığında yarım puan iyileşme gözlenmiştir.

Oluşturulan mikrokapsüllü havlu kumaşlara ISO 13937-2 Yırtılma Mukavemeti testi ve ISO 13934-2 Kopma Mukavemeti testleri uygulanmıştır. Tablo 4’te kopma ve yırtılma mukavemet testi sonuçları bulunmaktadır.

Tablo 4. Kopma ve yırtılma mukavemet testi sonuçları

Numune	Kopma Mukavemeti		Yırtılma Mukavemeti	
	Çözü (N)	Atkı (N)	Çözü (N)	Atkı (N)
Orijinal Havlu	228,55	251,66	18,74	41,88
Mikrokapsüllü Havlu	229,1	251,78	18,89	41,9

Sonuçlar incelendiğinde hem kopma mukavemetinde hem de yırtılma mukavemetinde az da olsa kapsül içeren havlu içerdiği bağlayıcılar sayesinde çözgü ve atkı yönünde iyileşme gözlenmiştir.

Oluşturulan mikrokapsüllü havlu kumaşlara TS 866 Hidrofilite testi uygulanmıştır. Tablo 5’te hidofilite testinin sonuçları bulunmaktadır.

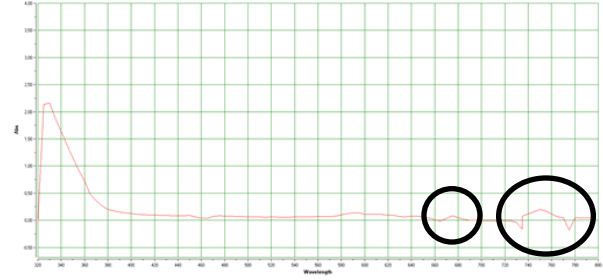
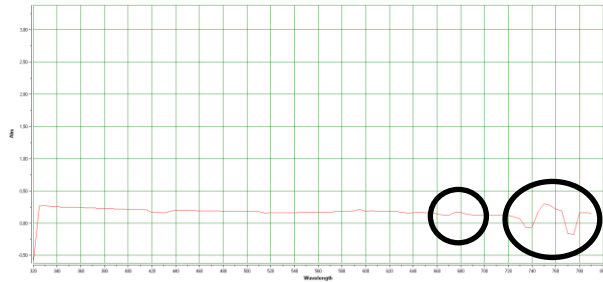
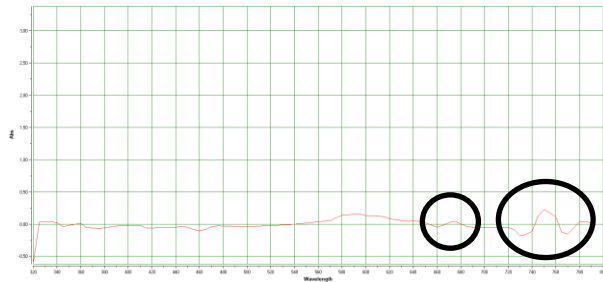
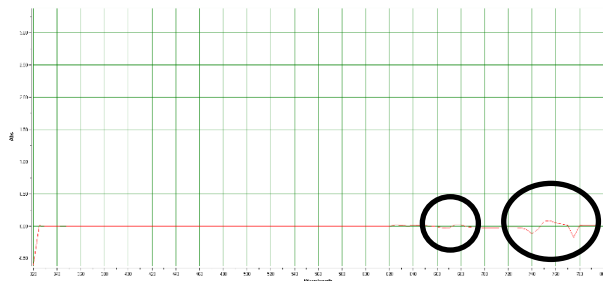
Tablo 5. Hidrofilite test sonuçları

Numune	1.Ölçüm (sn)	2.Ölçüm (sn)	3.Ölçüm (sn)	Ort. (sn)
Orijinal	6	6,5	5,2	5,9
Mikrokapsüllü Havlu	4,1	4,3	4	4,13

Sonuçlar incelendiğinde; mikrokapsül içeren havlu kumaş standart havlu kumaşa göre daha hızlı şekilde suyu emmiştir.

Kalite kontrol testi olarak “In Vitro” kalite testleri firmamız bünyesinde bulunan UV-VIS cihazında test edilmiştir. Multifonksiyonel özellikli havlu ve bornoz kumaşların 40°C’de 15 kere yıkanarak her yıkama adımında ki suyu UV-VIS cihazında absorbans sonuçlarına bakılmıştır. Şekil 13’te bal ve propolis içeren mikrokapsüllü havlu kumaşın yıkama öncesi UV-VIS görüntüleri; Şekil 14’te bal ve propolis içeren mikrokapsüllü havlu kumaşın 5 yıkama sonrası UV-VIS görüntüleri; Şekil 15’te bal ve propolis içeren mikrokapsüllü havlu kumaşın 10 yıkama sonrası UV-VIS görüntüleri; Şekil 16’da bal ve propolis içeren mikrokapsüllü havlu kumaşın 15 yıkama sonrası UV-VIS görüntüleri bulunmaktadır.

Sonuçların değerlendirilmesi; apre uygulanmış kumaşların tekrarlı yıkamalar sonrası alınan piklerin birbiri ile vermiş olduğu pikler değerlendirilmiştir.

**Şekil 13.** Bal ve propolis içeren mikrokapsüllü havlu kumaşın yıkama öncesi UV-VIS görüntüleri**Şekil 14.** Bal ve propolis içeren mikrokapsüllü havlu kumaşın 5 yıkama sonrası UV-VIS görüntüleri**Şekil 15.** Bal ve propolis içeren mikrokapsüllü havlu kumaşın 10 yıkama sonrası UV-VIS görüntüleri**Şekil 16.** Bal ve propolis içeren mikrokapsüllü havlu kumaşın 15 yıkama sonrası UV-VIS görüntüleri

Sonuçlar incelendiğinde, oluşturulan mikrokapsüllü havlu kumaşların yıkama öncesi mikrokapsül çözeltisinde çözelti pikleri yoğun olarak 700 – 780 dalga boyu arasında pik vermektedir. 5, 10 ve 15 yıkama sonrasında pik yoğunluğu halen 700 – 780 dalga boyunda pik vermektedir. 15 yıkama sonrasında istenen etkinliğin devam ettiği gözlenmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, havlu ve bornoz grubuna yönelik kullanım amacıyla bal ve propolis doğal ekstraktlarını içeren kapsüller üretilmiştir. Doğal ekstrakt olan bal ve propolis mikrokapsüllerin, dış çeper olarak arap zıncı ve jelatin duvar malzemesi kullanılarak kompleks koaservasyon metodu ile mikrokapsülasyon işlemi yapılmıştır. Daha sonrasında 50l/h hızında çalışan pilot üretim için üretilen homojenizatör cihazında oluşturulan mikrokapsüller daha küçük partikül boyutuna ayırıştırılmak ve homojen bir şekilde dağılım sağlamak için cihazdan belirli basınçta ve dakikada geçirilmiştir. Yapılan çalışmalar sırasında çekirdek malzeme, çeper malzemelerin oranları değiştirilerek ve bağlayıcı miktarları gibi diğer tüm parametreler değiştirilerek kapsül üretimi tamamlanmıştır. SEM görüntüleri ile ölçümlenen mikrokapsüllerin morfolojik yapılarının görüntüleri tayin edilmiştir. Elde edilen mikrokapsüllerin sırası ile; DSC, Termogravimetrik Analiz, UV-VIS, mukavemet, hidrofilite, haslık testleri ve antibakteriyel aktivite analizleri yapılmıştır. Çalışılan parametreler doğrultusunda bal ve propolis doğal ürünlerini içeren kapsül üretiminde kullanılan malzemelerin oranları şunlardır: ara malzeme miktarı (SS) %20, çapraz bağlayıcı (doğal sitrik asit) miktarı %20 ve en yaygın olarak kullanılan dış çeper malzemelerinden arap zıncı ve jelatinin oranlarının 1:1 olduğu çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Mikrokapsül oluşumunun gözlemlendiği ürünün UV-VIS spektrofotometresi analizi ile kapsüllerin havlu kumaş üzerinde ki yıkama dayanımları tespit edilmiştir. TGA ve DSC analizleri ile termal kararlılıkları tayin edilmiştir.

Oluşturulan mikrokapsüllü havlu kumaşlara nemli ortamdan gelen gram negatif (-) bakterilerine karşı test edilmiştir. Gram negatif (-) bakteri olan Escheria Coli, Staphylacoccus aureus (gram pozitif (+)) bakterisine göre daha dirençli olduğu için “ASTM E2149:2013-E.coli ATCC 25922” test metoduna göre analiz işlemi yapılmıştır. Test sonucunda, yıkama öncesi antibakteriyel test aktivitesi: %99,96 çıkmıştır. Aynı kumaşın 40°C’de 15 yıkama sonrası antibakteriyel test aktivitesi %91,66 çıkmıştır.

Bursalı Tekstil Ar-Ge ekibi tarafından geliştirilen formülasyonun patent başvurusu gerçekleştirilmiştir. Çıktı patent başvurusu ile koruma altına alınmış olup Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından Patent tescili beklenmektedir.

Patent Başvuru Numarası: 2018/19685.

TEŞEKKÜR

Bursalı Tekstil Ar-Ge Merkezi çalışanlarına, Prof. Dr. Dilek KUT TOPRAKKAYA’ya ve TÜBİTAK 3180776 no’lu projeye yardımları ve desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Basim E., Basim H. and Özcan M. (2006). Antibacterial Activities Of Turkish Polen And Propolis Extracts Against Plant Bacterial Pathogens, Journal Of Food Engineering, 77, 992-996.

Hoyt M., The World Of Bees, Coward Menann Inc, New Yorks 181.

Koç M., Sakin M. Ve Kaymak F. (2010). Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 77-86.

Kujumgiev A., Bankova V., Ignatova A., and Popov S. (1993). Antibacterial Activity Of Propolis, Some Of Its Components And Analogs, Pharmazie, 48, 785-786.

Lusby P. E., Coombes A. and Wilkinson J. M. (2002). Honey: A Potent Agent for Wound Healing? J. Wocn. S.295-300.

Moreno M.I.N., Isla M.I., Sampietro A.R. and Vattuone, M.A. (2000). Comparison Of The Free Radical-Scavenging Activity Of Propolis From Several Regions of Argentina J.Ethnopharmacol., 71, 109-114.

Roshan P. (2015). Functional Finishes For Textiles. Woodhead Publishing Limited, 656p, Cambridge.

Sforcin J.M., Fernandes Jr., A., Lopes C.A., Bankova V., Funari S.R. (2000). Seasonal Effect On Brazilian Propolis Antibacterial Activity, J. Ethnopharmacol., 73, 243-249.

Övez B. ve Yüksel M. (2002). Parfümlerin Çapraz Bağlı Mikrokapsüllerden Yavaş Salgılanmaları, Ekoloji Dergisi, 43(10), 26-29.

İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARİ VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

Yapı ve İmalat Sektörlerinde Tükenmişlik Düzeyi ile İş Doyumu Kıyaslaması

Ercan ŞENYİĞİT¹ , Savaş BAYRAM² 

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 38039, Türkiye

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 38039, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 05.05.2021, Kabul Tarihi: 17.06.2021

Özet

1920’li yıllarda ortaya çıkan iş doyumunu ve 1970’li yıllarda ortaya çıkan tükenmişlik gibi psikolojik kavramlar, günümüzde çalışan verimliliği açısından iş hayatının önemli parametreleri haline gelmiştir. Türkiye’de gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYH)’nın yaklaşık üçte birine ‘doğrudan’ etki eden imalat ve inşaat sektörlerinin, hizmet ettikleri alt sektörler de dikkate alındığında, ülke ekonomisine katkıları çok daha fazladır. İnşaat sektöründe ihtiyaç duyulan ekipman, teçhizat ve makinelerin üretimini imalat sektörü sağlarken, inşaat sektörü ise bu üretimin gerçekleştirileceği ve saklanacağı yapıların inşası ile ilgilenmektedir. Her iki sektörün kendine özgü koşulları, çalışan verimliliği açısından yönetsel problemleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bu sektörlerin organizasyonları içindeki çalışanların tükenmişlik düzeylerinin ve iş doyumlarının incelenmesi, önemli bir araştırma konusu olarak görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, inşaat ve endüstri mühendislerinin iş doyumlarının ve mesleki tükenmişlik düzeylerinin bağımsız olarak incelenmesi ve kıyaslanmasıdır. Literatürde, imalat ve inşaat sektörleri açısından bu tür bir kıyaslamaya rastlanmamıştır. Yapılan alan araştırması, endüstri mühendislerinin mesleki tükenmişliklerinin inşaat mühendislerine göre daha düşük ve iş doyumlarının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bunun nedeninin de sektörde kullanılan kurumsal kaynak planlaması yazılımlarının yaygınlaşması olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mühendislik Yönetimi, İş sağlığı, Tükenmişlik, İş doyumunu, Yapı sektörü, İmalat sektörü.

Comparison of Burnout Level and Job Satisfaction in Construction and Manufacturing Industries

Abstract

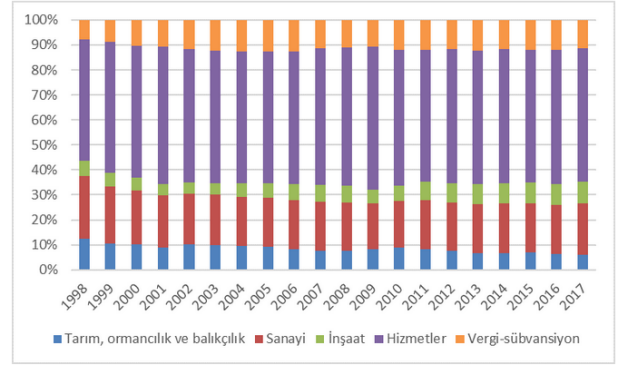
Psychological concepts, such as job satisfaction that emerged in the 1920s and burnout that emerged in the 1970s, have become significant parameters of work-life in terms of workforce productivity. In Turkey, the manufacturing and construction industries directly affect one-third of the gross domestic product (GDP). Considering the sub-sectors, their contribution to the national economy is much greater. While the manufacturing industry provides the production of equipment and machinery required in the construction industry, the construction industry on the other hand is concerned with the building of structures where this production will be carried out and stored. The unique conditions of both industries cause managerial problems in terms of workforce productivity. For this reason, examining burnout levels and job satisfaction of the employees in the organizations of these industries is seen as a significant research topic. The purpose of this study is to independently examine and compare job satisfaction and professional burnout levels of civil and industrial engineers. There is no such comparison in the literature in terms of the manufacturing and construction industries. The performed field research conducted that industrial engineers' burnout level is lower and job satisfaction level is higher than those of civil engineers. As a reason, it has been determined that the enterprise resource planning (ERP) software used in manufacturing industry has become widespread.

Keywords: Engineering Management, Occupational health, Burnout, Job satisfaction, Construction industry, Manufacturing industry.

¹Sorumlu yazar senyigit@erciyes.edu.tr, ²sbayram@erciyes.edu.tr

1. GİRİŞ

Organizasyonel olarak iş akışının en üstündeki yöneticiler ve işverenler, çalışan verimliliğinin önemini idrak ettiklerinden bu yana, çalışan psikolojisi organizasyonlar açısından önemli bir kriter olarak görülmektedir. Çalışanlarda tükenmeye ve iş doyumsuzluğuna neden olan unsurlar incelendiğinde, stres kavramının ön plana çıktığı görülmektedir (Ertürk ve Keçecioglu, 2012). 1920’li yıllarda ortaya çıkan iş doyumu ve 1970’li yıllarda ortaya çıkan tükenmişlik gibi psikolojik kavramlar, günümüzde çalışan verimliliği açısından iş hayatının önemli parametreleri haline gelmiştir. Çalışan bireylerin; duygusal yorgunluk, kişilik kaybı ve kişisel başarının azalması sendromu, tükenmişlik olarak tanımlanmaktadır (Maslach ve Jackson, 1986). Tükenmişlik, bireyin yaşam kalitesini azaltarak gerek aile hayatı, gerekse iş hayatı üzerinde negatif bir etki yaratabilir (Hellesøy vd., 2000). Bu noktada tükenmişlik, mesleki bir tehlike olarak ele alınmaktadır. İş doyumu ise çalışma psikolojisinde yaygın olarak kullanılan bir kavram olup; kısaca çalışanların çalışma hayatından aldığı zevk, mutluluk ve tatmin olarak tanımlanabilir (Hayran ve Aksayan, 1991; Keser, 2005). Dolayısıyla işinden memnun olan çalışanların iş doyumları yüksek, tersi durumda düşük olmalıdır. İş doyumu birçok kişisel, örgütsel ve çevresel faktörlerden etkilenebilmektedir. Çalışanların performanslarının artırılması için iş doyumlarının artırılması ve tükenmişlik düzeylerinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Bunun için de çalışanların iş doyumları ve tükenmişlik düzeylerinin ölçülmesi gerekmektedir. Endüstri mühendisliği ve inşaat mühendisliği ülkemizdeki saygın iki mühendislik dalıdır. Endüstri mühendisleri genellikle imalat sektöründe, inşaat mühendisleri de inşaat sektöründe çalışmaktadırlar. Bu çalışmada, Kayseri ilinde çalışan endüstri ve inşaat mühendislerinin iş doyumu ve tükenmiş düzeylerinin belirlenmesi ve iki mühendislik dalının bu perspektifte birbirleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. İmalat ve inşaat sektörleri, Türk ekonomisinin öncü sektörlerinden olup, gayrisafi yurtiçi hâsıla (GSYH) kapsamında önemli yer tutmaktadırlar. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, GSYH’nin faaliyet kollarına göre dağılımı, Şekil 1’de sunulmuştur (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).



Şekil 1. GSYH'nin iktisadi faaliyet kollarına (A21) göre dağılımı

En güncel veri olarak, 2017 yılında vergi ve sübvansiyonlar hariç tutulduğunda; tarım, ormancılık ve balıkçılık sektörünün GSYH payı %6,9, sanayi sektörünün payı %23,2, inşaat sektörünün payı %9,7 ve hizmetler sektörünün payı %60,2 olarak ifade edilebilir. GSYH'nin yaklaşık üçte birine 'doğrudan' etki eden imalat ve inşaat sektörlerinin, hizmet ettikleri alt sektörler de dikkate alındığında, ülke ekonomisine katkıları çok daha fazladır. Türkiye İş Kurumu (İŞKUR) imalat sektörü raporuna göre; TR72 bölgesi (Kayseri, Sivas, Yozgat) kapsamında 5.301 iş yeri bulunmakta olup, 74.237'si erkek ve 8.117'si kadın olmak üzere toplam 82.354 çalışan bulunmaktadır (Türkiye İş Kurumu, 2017a). İŞKUR inşaat sektörü raporuna göre ise; TR72 bölgesi (Kayseri, Sivas, Yozgat) kapsamında 4.118 iş yeri bulunmakta olup, 25.865'i erkek ve 2.357'si kadın olmak üzere toplam 28.222 çalışan bulunmaktadır (Türkiye İş Kurumu, 2017b). TR72 bölgesinde, Orta Anadolu Kalkınma Ajansı (ORAN) tarafından hazırlanan 2014-2023 bölge planına göre; birinci öncelik olan "Ar-Ge ve Yenilikçiliğin Geliştirilmesi"nin ardından ikinci öncelik olarak "İmalat Sanayinin Geliştirilmesi" gösterilmiştir (Orta Anadolu Kalkınma Ajansı, 2014). Üçüncü öncelik olarak ise "Hizmetler Sektörünün Geliştirilmesi" adı altında inşaat sektörünün geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bölgede inşaat sektörünün ön plana çıktığı, imalat sanayinin ise büyüklük açısından Türkiye genelinde orta kategoride bulunduğu ifade edilmektedir. Mevcut istatistiksel veriler ve beklentiler, imalat ve inşaat sektörlerinin TR72 bölgesi ve dolayısıyla Türkiye açısından önemini ortaya koymaktadır.

Çalışanların tükenmişlik düzeyleri ile iş doyumları arasındaki ilişki, Türkiye'de özellikle 1990'lu yıllarda ilgi çekmeye başlayarak, günümüzde kadar birçok farklı meslek alanında yapılan çalışmalarda yer bulmuştur. Konu ile ilgili olarak yapılan çalışmalar, bu noktada imalat ve inşaat endüstrileri için ayrı ayrı ele alınmıştır.

İmalat sektöründe doğrudan endüstri mühendislerinin iş doyumunu ve tükenmişlik düzeyi ile ilgili çalışmaya rastlanılmamıştır. Bununla birlikte doğrudan endüstri mühendisleri ile yapılmış bir anket çalışması mevcuttur. Erginel vd. (2016) “Türkiye’de Endüstri Mühendisliği Mesleğine Bilimsel Açından Bir Bakış” adlı çalışmalarında, Türkiye’de çalışan 435 endüstri mühendisinin mevcut durumlarını ortaya koymak ve bu mesleğin geleceği hakkındaki düşüncelerini yansıtmayı amaçlamışlardır. Uçar ve İşleyen (2019) Türkiye’de endüstri mühendisliği eğitimi veren üniversitelerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması amacıyla mezun görüşlerine dayalı bir anket çalışması gerçekleştirmişlerdir. İş doyumunu ve tükenmişlik düzeyini doğrudan etkileyen faktörlerden birisi de kullanılan kurumsal kaynak planlaması yazılımlarıdır. Bu yazılımlar, çalışanların doğru ve hızlı şekilde karar almalarını sağlamak ve zaman tasarrufu sağlamaktadır. Bu durum, çalışanların tükenmiş düzeyleri üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. Ayrıca, iş doyumunu da artırmaktadır. Karadede ve Baykoç’un (2006) çalışmalarında, kurumsal kaynak planlamasının (KKP) işletmelerdeki işleyişi bir anket yardımı ile değerlendirilmiştir. Erginel vd. (2016) çalışmasında da endüstri mühendislerinin kurumsal kaynak planlaması yazılımlarını kullanabilmelerinin gerektiği ifade edilmiştir. Buna benzer bir sonuç, Uçar ve İşleyen’in (2019) çalışmasında da ortaya konulmuştur. Mevcut çalışmaya benzer şekilde, belirli bir ilde iş doyumunu üzerine yoğunlaşmış çalışmaya, Çakıcı vd. (2013)’nin Aksaray ili otomotiv sektöründe gerçekleştirmiş oldukları çalışma örnek olarak verilebilir. Anket çalışması 482 mühendis ve 1936 işçiye uygulanmıştır. Tükenmişlik düzeyi ve iş doyumunu üzerinde; çalışılan yerin ergonomik konforunun da etkisi bulunmaktadır. Özkan ve Kahya’nın 2017 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, ofis çalışanlarının hissettikleri rahatsızlıklar anket çalışmasıyla tespit edilmiştir. Sektörel bazda iş doyumunu üzerine yapılan bir diğer çalışma ise Türkoğlu ve Yurdakul’un 2017 yılında mobilya sektöründe yapmış oldukları çalışmadır. Bu çalışmada yazarlar, mobilya sektörü çalışanlarının iş doyumunu ile iş performansları arasındaki ilişkiyi incelemiş olup, iş doyumunu ile iş performansının çalışanların bazı demografik özelliklere göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemeyi amaçlamışlardır.

İnşaat sektörünü açısından ise yapılan öncü çalışmada, Ng vd. (2004), Hong Kong’da çalışan 120 inşaat işçisinin demotivasyon kriterlerini ele alarak; malzeme eksikliği, aşırı kalabalık çalışma alanları, yeniden işleme vb. nedenlerle kaybedilen toplam sürenin haftada 5,1 ila 13,6 adam-saat arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Türkiye

orijinli çalışmalarda ise; Tantekin Çelik ve Laptalı Oral (2013), 482 mimar ve 440 inşaat mühendisinin kişilik özellikleri, iş doyumunu, mesleğe bağlılık ve örgütsel bağlılık düzeylerini ele aldıkları çalışmada, kamuda çalışanların özel sektör çalışanlarına göre daha uyumlu kişilik yapısı sergilediğini, çalışanların organizasyonel kazanımlarının beklentilerini orta düzeyde karşıladığını ve mesleğe bağlılıklarının yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Gümüşburun Ayalp ve Arslan (2017), özel sektörde çalışan 118 inşaat mühendisini demotive eden faktörler kapsamında yaptıkları çalışmada; demotivasyon kriterlerinin kadın inşaat mühendislerini erkeklerden daha çok etkilediğini, rekabet, hizmet içi eğitim ve kariyer geliştirme imkânlarının yetersizliği gibi konuları bekâr mühendislerin evli olanlara göre daha fazla önemsediklerini, demotivasyon kriterinin çalışan pozisyonundaki inşaat mühendislerini yönetici pozisyonundakilere göre daha çok etkilediğini tespit etmişlerdir. Demir (2018), inşaat sektöründe çalışan 161 işçinin iş doyumunu düzeyi ile iş güvenliği algıları arasındaki ilişkiyi incelediği çalışmada, inşaat işçilerinin iş doyumunu düzeyi ile iş güvenliği algıları arasında güçlü bir ilişki tespit edilemediğini ifade etmiştir.

Türkiye’de imalat ve inşaat sektörlerinin yanında, farklı meslek gruplarından ve kronolojik olarak; Avşaroğlu vd. (2005) 173 teknik öğretmen, Gençay (2007) 93 beden eğitimi öğretmenini, Kargün vd. (2012) 198 futbol hakemini, Ertürk ve Keçecioğlu (2012) 224 sınıf ve ortaokul öğretmenini, Çivici (2015) 148 mimarı, örneklem olarak dikkate alarak tükenmişlik düzeyi ve iş doyumunu temelli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Diğer bir ifadeyle, ülkemizde tükenmişlik düzeyi ve iş doyumunu kapsamında birçok farklı alanda çalışmalar yapılmıştır.

İmalat sektörü; gerekli hammadde, malzeme, enerji ve işgücü kullanarak ürünler üretilmesi ile ilgilenir. İnşaat sektörü ise inşaat hammadde ve malzemeleri kullanarak ve bunları işgücü ile şekillendirerek insanların barınacağı ve kullanacağı binaların yapılması ile ilgilenir. İnşaat sektöründe ihtiyaç duyulan ekipman, teçhizat ve makinelerin üretimini imalat sektörü sağlarken, inşaat sektörü ise bu üretimin gerçekleştirileceği ve saklanacağı binaların inşası ile ilgilenmektedir. Her iki sektörün kendine özgü koşulları, çalışan verimliliği açısından yönetsel problemleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle hiyerarşik organizasyon içindeki çalışanların tükenmişlik düzeylerinin ve iş doyumlarının incelenmesi, ilgili alanda önemli bir açığı kapatabilecek bir araştırma konusu olarak görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, imalat ve inşaat sektörü çalışanlarının iş doyumunu ve mesleki tükenmişlik

düzeyleri arasındaki ilişkilerin bağımsız olarak incelenmesi ve kıyaslanmasıdır. Literatürde, imalat ve inşaat sektörleri açısından bu tür bir kıyaslamaya rastlanmamıştır. Çalışmanın uygulamasından elde edilen verilerin istatistiksel analizleri yapılarak iş doyumu ve mesleki tükenmişlik arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

2. ANALİZ METODU

Tükenmişlik kavramı, ilk kez 1974 yılında Freudenberger'in bir çalışması ile bilimsel literatüre dâhil olmuştur (Freudenberger, 1974). Freudenberger'den sonra, 1981 yılında Maslach ve Jackson, konuya ilişkin çalışmaları daha öteye taşıyarak, tükenmişliğe ilişkin "Maslach Tükenmişlik Envanteri" (MTE) adlı bir ölçek geliştirmişlerdir (Maslach ve Jackson, 1981; Maslach, 2003). Freudenberger tükenmişliğin sadece 'duygusal' tükenmişlik boyutunu tanımlarken, Maslach ve Jackson MTE'yi 'üç boyutlu' olarak ifade etmişlerdir. MTE; duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarıda düşme hissi olarak üç alt boyuttan ve toplam 22 maddeden oluşmaktadır (Yıldız, 2015).

İş doyumu kavramı, tükenmişlik kavramına göre araştırmacılara daha fazla ölçek seçeneği sunmaktadır. Bilinen ilk ölçek olarak, Weiss vd. (1967) tarafından geliştirilen "Minnesota İş Tatmini Modeli" veya "Minnesota İş Doyum Ölçeği" (MİDÖ) kullanılmıştır. MİDÖ, bazı kaynaklarda 15, bazı kaynaklarda 20 sorudan oluşan beşli likert tipinde kısa bir form olarak tanımlanmıştır (Kargün vd., 2012; Filiz, 2014). MİDÖ; iç tatmin, dış tatmin ve genel tatmin olmak üzere üç alt boyuttan oluşmaktadır. Ölçeğin güvenilirlik ve geçerlik çalışması da, Hackman ve Oldham (1975) tarafından gerçekleştirilmiştir. Diğer yandan iş doyumu kapsamında Smith vd. (1969) tarafından "İş Betimleme Ölçeği" (İBÖ) veya "İş Tanımlama Endeksi" (İTE) olarak adlandırılan bir ölçek geliştirilmiştir. Buna göre, iş tatminini etkileyen ve işe ilişkin önemli özellikleri gösteren; işin kendisi, ücret, yükselme fırsatı, yönetim ve iş arkadaşları olmak üzere beş farklı iş boyutu tanımlanmıştır (Luthans, 1994).

Literatürde yer alan çalışmaların hemen hemen tamamında, mesleki tükenmişlik Maslach Tükenmişlik Envanteri ile ve iş doyumu da MİDÖ veya İBÖ ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada; gerek tükenmişlik, gerekse iş doyumu adına bağımsız ve özgün bir ölçek geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında veri toplama yöntemi olarak bilgi toplama formundan (BTF) yararlanılmıştır (Acar vd., 2019).

Anket formu iki bölümden ve toplam 32 sorudan oluşmaktadır. Birinci bölümde, 12 soru ile katılımcıların demografik özellikleri belirlenmiş olup, ikinci bölümde beşli likert ölçeğinde (1: kesinlikle katılmıyorum, 5: kesinlikle katılıyorum) hazırlanmış toplam 20 soru bulunmaktadır.

Çalışmanın ana kütlesi olarak, Kayseri ili kapsamında, imalat sektöründe çalışan endüstri mühendisi ve inşaat sektöründe çalışan inşaat mühendisi sayıları doğrudan tespit edilememiştir. Giriş bölümünde de ifade edildiği üzere, TR72 bölgesi (Kayseri, Sivas, Yozgat) kapsamında imalat sektöründe 82.354, inşaat sektöründe 28.222 çalışan bulunmaktadır. Bu illerin nüfus yoğunlukları (Kayseri %1,69, Sivas %0,79 ve Yozgat %0,52) dikkate alındığında, Kayseri ili için çalışmanın ana kütlelerini imalat sektöründen 46.393, inşaat sektöründen 15.899 çalışan oluşturmaktadır. Araştırma teknikleri uygulanırken; örnekleme ve tam sayım olmak üzere iki temel yol izlenir (Gözüm, 2017). Çalışma kapsamında tam sayım mümkün olmadığı için örnekleme yoluna gidilmiştir. Çalışmanın örneklemini, Kayseri ili imalat sektöründe çalışan toplam 150 endüstri mühendisi (%52) ve Kayseri ili inşaat sektöründe çalışan toplam 137 inşaat mühendisi (%48) olmak üzere toplam 287 mühendis oluşturmaktadır. Katılımcıların tamamından, Google Formlar üzerinde hazırlanan anket aracılığı ile geri dönüş alınmıştır. Anket formu, Ekim ve Aralık 2019 ayları arasında, yaklaşık üç ay süreyle aktif kalmıştır. Endüstri mühendisleri için ana kütlede %95'lik güvenilirlik sınırları içerisinde ve %7,99'lük hata payı öngörülerek, belirlenen örneklem büyüklüğü 150 olarak elde edilebilmektedir. İnşaat mühendisleri içinse ana kütlede yine %95'lik güvenilirlik sınırları içerisinde ancak %8,34'lük hata payı öngörülerek, belirlenen örneklem büyüklüğü 137 olarak elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, literatürde birçok çalışma için 30'dan büyük ve 500'den küçük örnek boyutları uygun kabul edilmektedir (Büyüköztürk vd., 2012).

3. ANALİZ

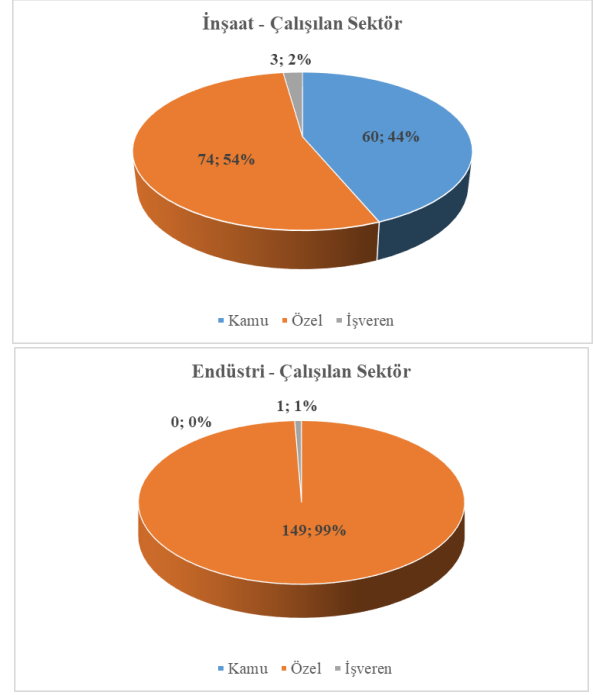
3.1. Demografik Özellikler ve Tanımlayıcı İstatistikler

Çalışmanın örneklemini oluşturan ve Kayseri ili imalat ve inşaat sektöründe çalışmakta olan 150 endüstri mühendisi ve 137 inşaat mühendisine ait cinsiyet ve medeni hal dağılımları Tablo 1'de, diğer demografik özellikler Şekil 2-9'da sunulmuştur.

Tablo 1. Katılımcıların cinsiyetleri ve medeni halleri.

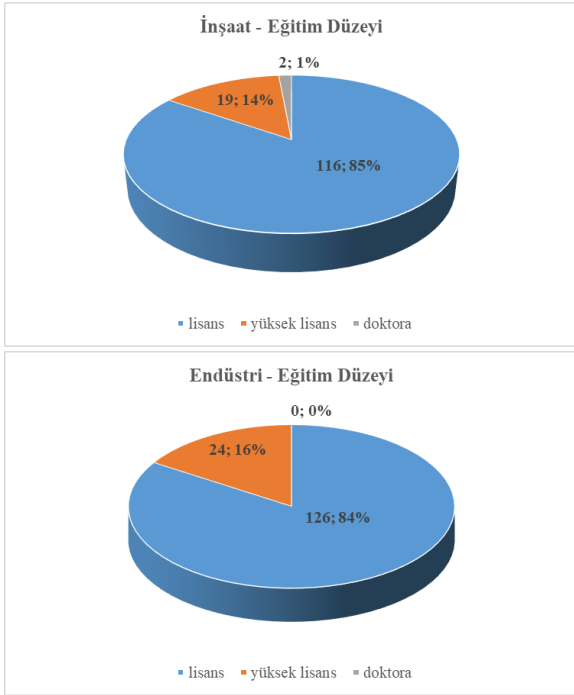
Cinsiyet	Endüstri Mühendisi		İnşaat Mühendisi	
	n	%	n	%
Kadın	71	47	7	5
Erkek	79	53	130	95
Medeni Hal	n	%	n	%
Evli	57	38	91	66
Bekar	93	62	46	34

İnşaat mühendislerinin büyük çoğunluğu evli erkeklerden oluşmaktadır. Ülkemizde mühendislik alanlarına genel anlamda erkeklerin hâkim olduğu düşünülse de, örneklemini çoğunlukla Kayseri OSB’de çalışanların oluşturduğu endüstri mühendislerinin hemen hemen yarısı kadınlardan oluşmaktadır. Ayrıca bekâr endüstri mühendislerinin fazlalığı göze çarpmaktadır.



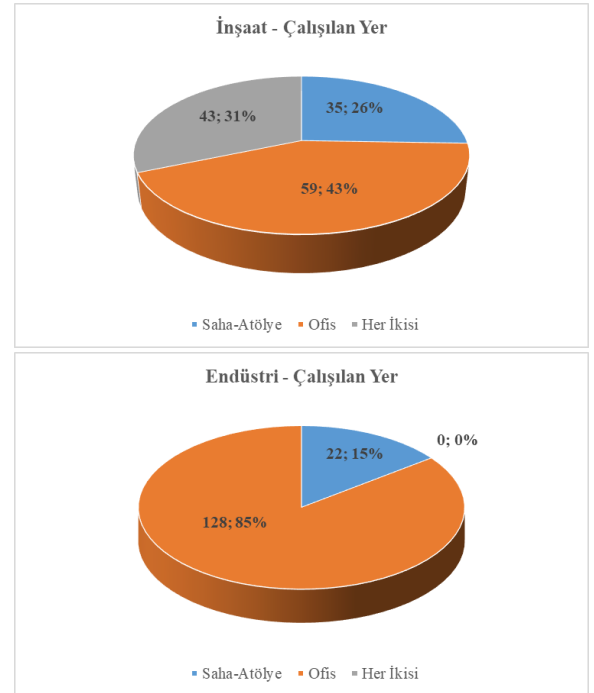
Şekil 3. Katılımcıların çalıştıkları sektörler

İnşaat mühendislerinin yarısından fazlası özel sektör çalışanıdır. Endüstri mühendislerinin ise bir işveren dışında tamamı özel sektör çalışanıdır.



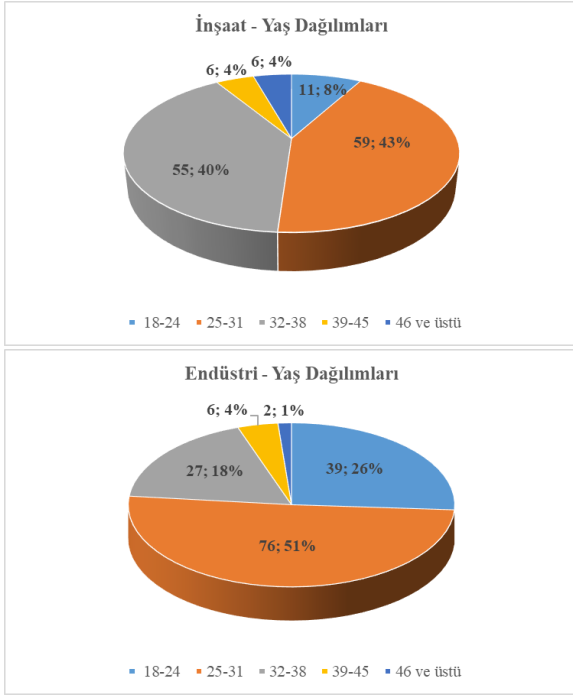
Şekil 2. Katılımcıların eğitim düzeyleri

Çalışmanın örneklemini çoğunlukla lisans mezunları oluşturmaktadır. Endüstri mühendisi örnekleminde doktoralı çalışan bulunmamakta olup, bu sayı inşaat mühendisi örnekleminde sadece ikidir.



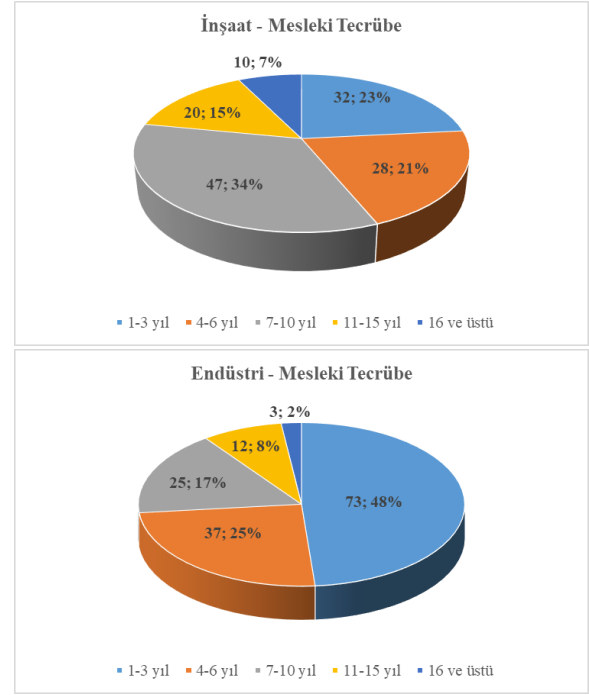
Şekil 4. Katılımcıların çalıştıkları yerler

Ofiste çalışan inşaat mühendislerinin sayısı, şantiyede çalışanlara oranla daha fazla olup, katılımcı her üç inşaat mühendisinden birisi hem ofis hem şantiyede çalışmaktadır. Endüstri mühendislerinin büyük çoğunluğu ise ofiste çalışmaktadır. Bunun nedeni, endüstri mühendislerinin büyük çoğunluğunun özel sektörde üretim planlama, AR-GE, kalite kontrol, satın alma vb. departmanlarda çalışma imkânı bulunması olarak görülmektedir.



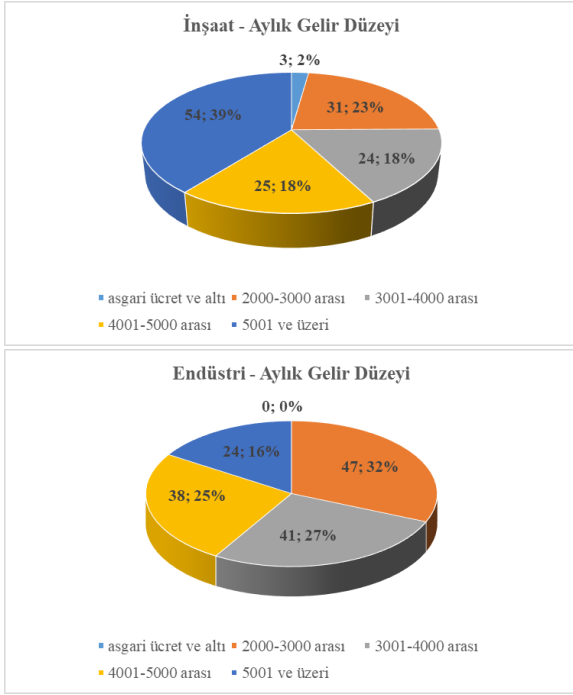
Şekil 5. Katılımcıların yaş dağılımları

İnşaat mühendislerinin büyük çoğunluğu (%83), 25-38 yaş arasındadır. Endüstri mühendislerinin büyük çoğunluğu (%77) ise 18-31 yaş arasındadır. Endüstri mühendisi örnekleminin inşaat mühendisi örneklemine göre daha genç mühendislerden oluştuğu görülmektedir. Bu durum, Tablo 1’de sunulan bekâr endüstri mühendisi sayısının fazla olmasını da açıklayabilir.



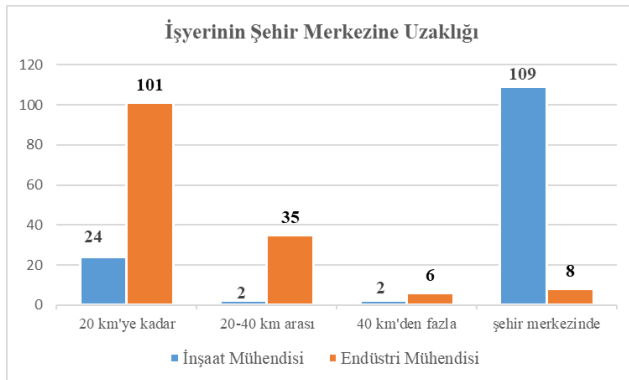
Şekil 6. Katılımcıların mesleki tecrübeleri

Her üç inşaat mühendisinden birisi 7-10 yıl mesleki tecrübeye sahiptir. 10 yıl üzeri mesleki tecrübeye sahip olan ve tecrübeli olarak adlandırılabilir inşaat mühendisleri ise örneklemin %22’sini oluşturmaktadır. Endüstri mühendislerinin yaklaşık yarısı 1-3 yıl tecrübeye sahip, yeni mezun statüsündedir. 10 yıl üzeri mesleki tecrübeye sahip endüstri mühendisleri, örneklemin %10’unu oluşturmaktadır. Bu durum, inşaat mühendisi örnekleminin endüstri mühendisine göre daha uzun süreli mesleki tecrübeye sahip olduğunu göstermektedir.



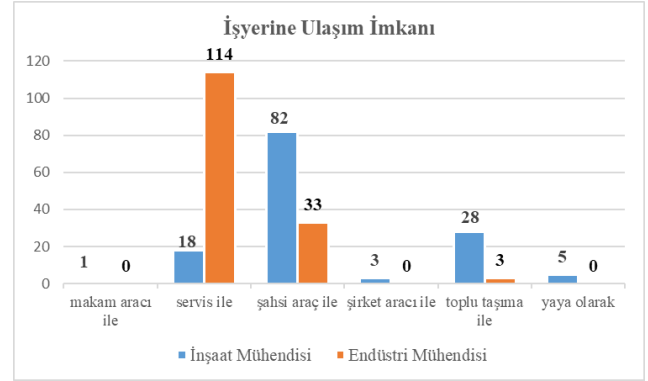
Şekil 7. Katılımcıların aylık gelir düzeyleri

İnşaat mühendislerinin %57'si ve endüstri mühendislerinin %41'i aylık 4.000 TL'nin üzerinde net gelire sahiptir. Bunun yanında, inşaat mühendislerinin %25'inin ve endüstri mühendislerinin %32'sinin aylık net geliri 3.000 TL'nin altındadır. Ayrıca inşaat mühendislerinin gelir ortalamalarının daha yüksek olması, endüstri mühendislerine göre daha fazla mesleki tecrübeye sahip olmaları ile açıklanabilir.



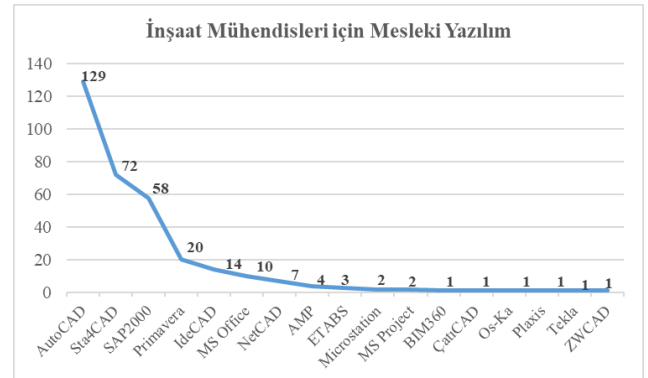
Şekil 8. Katılımcıların iş yerinin şehir merkezine uzaklığı

Her 10 inşaat mühendisinin sekizinin iş yeri, şehir merkezindedir. Her 10 endüstri mühendisinin yaklaşık yedisinin iş yeri ise şehir merkezine 20 km'ye kadar uzaklıktadır. Endüstri mühendislerinin çoğunlukla Kayseri OSB'de çalışıyor olmaları, bu farklılığın nedeni olarak gösterilebilir.



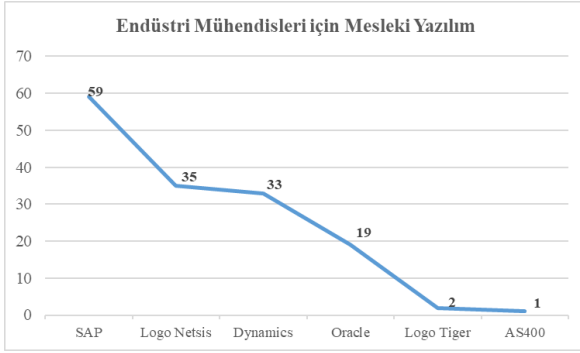
Şekil 9. Katılımcıların iş yerine ulaşım imkanları

İnşaat mühendislerinin yarısından fazlası iş yerine şahsi aracı ile gitmekte olup, bunu toplu taşıma ve servis izlemektedir. Her dört endüstri mühendisinin üçü ise iş yerine servis ile ulaşmaktadır. Bunu, şahsi araç ve servis izlemektedir.



Şekil 10. İnşaat mühendisleri için mesleki yazılım

Kullanılan mesleki yazılım olarak, katılımcı 134 inşaat mühendisinden toplam 327 cevap alınmıştır (Şekil 10). Bunun nedeni; inşaat sektöründe yazılımların farklı amaçlara hizmet etmesidir. Örneğin; proje çizimi, statik ve dinamik analiz, iş programlama vb. amaçlar için kullanılacak yazılımlar mevcuttur. Proje çizimi olarak AutoCAD, analiz olarak StacCAD ve iş programlama olarak Primavera ön plana çıkmaktadır.



Şekil 11. Endüstri mühendisleri için mesleki yazılım

Endüstri mühendisleri için kullanılan mesleki yazılımlar olarak KKP alınmıştır. Katılımcı 150 endüstri mühendisinden toplam 149 cevap alınmıştır (Şekil 11). Bu durum, Kayseri ili imalat sektöründe KKP yazılımlarının sıklıkla kullanıldığını göstermektedir. Anket sonuçlarına göre dünyanın en yaygın kullanılan KKP yazılımı olan SAP ön planda olup, ikinci sırada Logo NETSIS yazılımı yer almaktadır. KKP yazılımlarına olan talebin, firmanın ihtiyaçlarını ne ölçüde ve ne sürede karşılıyor olmasının temel nedeni olduğu düşünülmektedir.

3.2. Tükenmişlik Düzeyi ve İş Doyumu

Uygulamanın ikinci bölümünde, katılımcı inşaat ve endüstri mühendislerine beşli likert ölçeğinde hazırlanmış olan toplam 20 soru yöneltilmiştir. Bu kapsamda dikkate alınan ölçekler ve sınır değerler, Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Ölçekler ve sınır değerler (Memnun vd., 2012).

Ölçek	1	2	3	4	5
Sınır değer	1,00-1,80	1,81-2,60	2,61-3,40	3,41-4,20	4,21-5,00
Sonuç	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kısmen	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum

Beşli likert ölçeğinde tanımlanan 20 soru için öncelikle ölçek güvenilirliği değerlendirilmiştir. Ölçek güvenilirliğinin belirlenmesi amacıyla literatürde Cronbach's Alpha katsayısı, korelasyon katsayısı, Kuder-Richardson 20 veya 21 gibi yöntemler kullanılmaktadır (Aksu ve Keşan, 2011). Bu kapsamda, iç tutarlılık adına yoğunlukla kullanılan bir ölçüm parametresi olan Cronbach's Alpha katsayısı (α) inşaat ve endüstri mühendisi anketleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. (α), ölçekte bulunan maddelerin homojen yapısını açıklamak veya sorgulamak üzere kullanılmaktadır. (α) değeri yüksek olan ölçek, maddelerinin birbirleriyle tutarlı

olduğu şeklinde yorumlanır (Yıldız ve Uzunsakal, 2018). (α) değeri aşağıdaki formülle hesaplanır (Alpar, 2013):

$$\alpha = \left(\frac{k}{k-1} \right) \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma^2_{y_i}}{\sigma^2_x} \right) \quad (1)$$

Burada;

k : madde sayısı (likert ölçeği ile hazırlanan soru sayısı),
 $\sigma^2_{y_i}$: i . maddenin toplam örneklemedeki varyansı,
 σ^2_x : toplam test skorunun varyansı olarak ifade edilir.

Bu çalışma kapsamında beşli likert ölçeğinde sunulan toplam 20 soru göz önüne alındığında, inşaat mühendisleri için $\alpha=0,778$, endüstri mühendisleri için $\alpha=0,751$ olarak hesaplanmıştır. Literatürde, α değeri 0,70 ve üzerinde olan ölçümlerin güvenilir olduğu kabul edilmektedir (Bernardi, 1994; Kalaycı, 2008). Sınır değer olarak 0,70 değeri göz önünde bulundurulduğunda, her iki meslek grubu için de ölçeğin güvenilir olduğu söylenebilir.

İstatistiksel testlerde normal dağılıma uygunluk oldukça önemlidir. Bu nedenle, istatistiksel bir analize başlanmadan önce, verilere hangi analizlerin uygulanacağını belirlemek amacıyla normallik testi yapılmalıdır. Çalışma kapsamında da öncelikle verilerin normal dağılım gösterip göstermediği incelenmiştir. Zira normal dağılım gösteren verilerin analizinde parametrik testler (bağımsız t-testi, varyans analizi, Tukey testi, korelasyon, regresyon, one way anova vb.), normal dağılım göstermeyen verilerin analizinde non-parametrik testler (Kruskal Wallis, Mann-Whitney U, Spearman korelasyon analizi vb.) kullanılabilir. Veri analizinden önce ölçekler incelenmiş ve hatalı formlar yapılacak olan analize dâhil edilmemiştir. Veriler, SPSS 15.0 yazılımı aracılığı ile .05 anlamlılık düzeyinde test edilmiştir. Tablo büyüklüğü problemi nedeniyle, bu bölümde yer alan 20 sorunun açıklamaları Tablo 3’te, değişkenlerin normallik göstergeleri olan; ortalama (\bar{x}), standart sapma (σ), medyan (ortanca), çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) değerleri Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 3. İkinci bölüm soruları ve açıklamaları

Soru No	Açıklama
1	Mesai dışında işyerimi ve çalışma arkadaşlarımı öznlüyorum.
2	Mesleğimi isteyerek yapıyorum.
3	Yapmakta olduğum iş bana bireysel tatmin sağlamaktadır.
4	Aldığım eğitime uygun bir işyerinde çalışıyorum.
5	Çalışma koşullarımın (İSG, ekip vb.) uygun olduğunu düşünüyorum.
6	İşyerimde adil bir şekilde terfi alabileceğimi düşünüyorum.
7	Toplum tarafından saygı duyulan ve kabul gören bir mesleği icra ediyorum.
8	Mesai bitiminde kendimi çok yorgun hissediyorum.
9	İşyerimde ekip içi iletişim düzeyi memnuniyet vericidir.
10	Çalıştığım işyerinde iş kaygısı taşıyorum.
11	İş hayatında, mesleki birikimimi kullanabiliyorum.
12	Aldığım maaşı, yaptığım iş açısından yeterli buluyorum.
13	Sosyal haklarımı (yıllık izin, evlilik izni, doğum izni vb.), yaptığım iş açısından yeterli buluyorum.
14	Çalıştığım firmanın/kurumun iş dışında sağladığı imkânları (lojman, spor, yemek vb.) yeterli buluyorum.
15	İşyerimde mobbinge (bezdirme) maruz kalıyorum.
16	Evden işyerine ulaşım süresinden memnunum.
17	Üniversite eğitimim işimi yapmam için yeterlidir.
18	Kullandığım yazılımları öğrenci iken öğrenmeliydim.
19	İşyerimde faydalı çalışmalar her zaman ödüllendirilir.
20	Kurumsal bir işyerinde çalışıyorum.

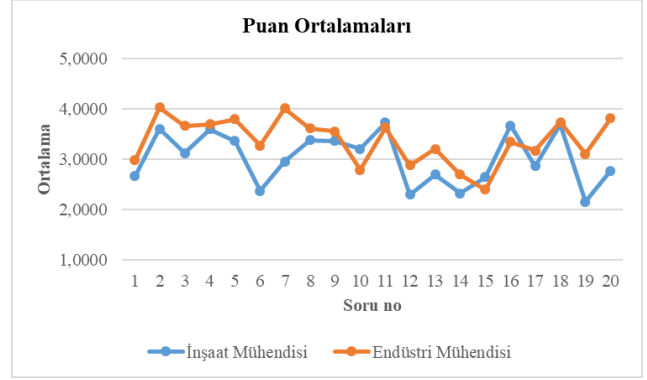
Tablo 4. İkinci bölüm istatistiksel verileri

Soru No	İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ				
	Ort. (\bar{x})	Std. Sapma (σ)	Medyan (X_{ort})	Çarpıklık (Skewness)	Basıklık (Kurtosis)
1	2,6715	1,0786	3	0,153	-0,508
2	3,6131	1,2559	4	-0,792	-0,28
3	3,1241	1,1971	3	-0,321	-0,689
4	3,6058	1,1842	4	-0,674	-0,26
5	3,3723	1,1632	4	-0,482	-0,521
6	2,3796	1,164	2	0,353	-0,955
7	2,9635	1,245	3	-0,116	-0,954
8	3,3869	1,0931	3	-0,1	-0,865
9	3,3723	1,0847	4	-0,472	-0,494
10	3,2117	1,3363	3	-0,077	-1,274
11	3,7372	0,9722	4	-0,716	0,575
12	2,2993	1,3138	2	0,575	-0,945
13	2,7007	1,4265	3	0,188	-1,377
14	2,3285	1,2783	2	0,583	-0,83
15	2,6496	1,1794	3	0,331	-0,595
16	3,6788	1,0427	4	-1,02	0,689
17	2,8686	1,2356	3	-0,055	-1,085
18	3,6934	1,1412	4	-0,759	-0,134
19	2,1606	1,1064	2	0,701	-0,224
20	2,781	1,4385	3	0,106	-1,359

Soru No	ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ				
	Ort. (\bar{x})	Std. Sapma (σ)	Medyan (X_{ort})	Çarpıklık (Skewness)	Basıklık (Kurtosis)
1	2,9867	1,0618	3	-0,11	-0,561
2	4,04	0,8264	4	-0,798	0,768
3	3,6733	0,9448	4	-0,318	-0,127
4	3,7	0,9676	4	-0,446	-0,15
5	3,8	0,9762	4	-0,772	0,21
6	3,28	1,1299	3	-0,486	-0,391
7	4,02	0,9009	4	-1,044	1,368
8	3,62	1,0341	4	-0,511	-0,071
9	3,56	0,8784	4	-0,396	0,546
10	2,7933	1,0887	3	0,294	-0,477
11	3,6333	0,8779	4	-0,536	0,438
12	2,8867	1,0267	3	0,004	-0,325
13	3,2133	1,1027	3	-0,372	-0,524
14	2,7	1,2572	3	0,195	-1,022
15	2,4067	1,1058	2	0,285	-0,809
16	3,3533	1,0564	4	-0,68	-0,185
17	3,18	1,0811	3	-0,236	-0,685
18	3,7467	1,1124	4	-0,699	-0,255
19	3,1133	0,9379	3	-0,081	-0,287
20	3,82	0,836	4	-1,046	1,743

Çarpıklık ve basıklık katsayıları, verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini ifade etmek için kullanılabilen parametrelerdir. Çarpıklık, bir dağılımın normal dağılıma göre simetrik ya da çarpık olup olmadığını ölçüsüdür (Büyükkaynak ve Aslan, 2019). Basıklık ise normal dağılım eğrisinin ne kadar dik veya basık olduğunu göstermektedir (Yalız, 2013). Çarpıklık ve basıklık katsayıları normal dağılımda sıfırdır. Negatif çarpıklık katsayısı sağa çarpık, pozitif çarpıklık katsayısı ise sola çarpık dağılıma işaret eder. Negatif basıklık katsayısı basık (yassı), pozitif basıklık katsayısı ise sivri (dik) dağılıma işaret eder.

Mevcut çalışmanın verileri için çarpıklık ve basıklık değerlerinin literatürde tavsiye edilen ± 2 aralığında yer aldığı görülmektedir (Pallant, 2001; Shao, 2002). Bu aralık, dağılımın normal dağılımdan manidar düzeyde farklılaşmadığını gösterir. Mevcut çalışmada inşaat mühendisleri için minimum ve maksimum çarpıklık 16. ve 19. sorulardan sırasıyla -1,020 ve 0,701 olarak; minimum ve maksimum basıklık ise 13. ve 16. sorulardan sırasıyla -1,377 ve 0,689 olarak elde edilmiştir. Endüstri mühendisleri için minimum ve maksimum çarpıklık 20. ve 10. sorulardan sırasıyla -1,046 ve 0,294 olarak; minimum ve maksimum basıklık ise 14. ve 20. sorulardan sırasıyla -1,022 ve 1,743 olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla basıklık ve çarpıklık değerleri, mevcut verilerin normal dağılıma sahip olduğu tezini desteklemektedir. Bunun yanı sıra endüstri mühendisi örnekleminin çarpıklık ve basıklık verilerinin inşaat mühendisi örnekleminin çarpıklık ve basıklık verilerine göre daha fazla sağa çarpık ve daha sivri (dik) dağılıma sahip oldukları ifade edilebilir. Ayrıca örneklemelerin puan ortalamalarının (\bar{x}) ve medyan (X_{ort}) değerlerinin genellikle birbirlerine yakın değerlerde olmaları da verilerin normal dağılımına işaret etmektedir (Morgan vd., 2004). Puan ortalamaları (\bar{x}) incelendiğinde; 10, 11, 15 ve 16. sorular haricindeki 16 soruda endüstri mühendislerinin puan ortalamalarının inşaat mühendislerinin puan ortalamalarından yüksek olduğu ifade edilebilir. Detaylar, Şekil 12’de sunulmuştur.



Şekil 12. Endüstri ve inşaat mühendislerinin puan ortalamaları, \bar{x}

İnşaat mühendisleri için \bar{x}_{min} ve \bar{x}_{max} ; 2,1606 ve 3,7372 olarak 19. ve 11. sorulardan elde edilmiştir. Endüstri mühendisleri içinse 2,4067 ve 4,0400 olarak 15. ve 2. sorulardan elde edilmiştir. Bu kapsamda inşaat mühendislerinin en fazla yakındıkları konuların başında; işyerlerinde faydalı çalışmaların ödüllendirilmemesi gelirken, endüstri mühendisleri ise işyerlerinde mobbinge (bezdirme) maruz kaldıkları hususuna katılmamaktadırlar. Her iki durumun, Tablo 2’de verilen sınır değerler kapsamındaki karşılığı ‘katılmıyorum’ ($\bar{x}=1,81-2,60$) olarak ifade edilebilir. Bunun yanında, inşaat mühendisleri pozitif olarak iş hayatlarında mesleki birikimlerini kullanabildiklerini düşünürken, endüstri mühendislerinin mesleklerine bağlılıkları üst düzey olarak ön plana çıkmaktadır. Her iki durumun, Tablo 2’de verilen sınır değerler kapsamındaki karşılığı ‘katılıyorum’ ($\bar{x}=3,41-4,20$) olarak ifade edilebilir.

İnşaat mühendisleri için σ_{min} ve σ_{max} ; 0,9722 ve 1,4385 olarak 11. ve 20. sorulardan elde edilmiştir. Endüstri mühendisleri içinse 0,8264 ve 1,2572 olarak 2. ve 14. sorulardan elde edilmiştir. Buna göre; inşaat mühendisleri iş hayatlarında mesleki birikimlerini kullanabildikleri hususunda hemfikir iken, kurumsal bir iş yerinde çalıştıkları hususunda görüş ayrılıkları söz konusudur. Endüstri mühendisleri açısından ise mesleklerine bağlılıkları konusunda fikir birliği söz konusu iken, çalıştıkları firmanın/kurumun iş dışında sağladığı imkânların (lojman, spor, yemek vb.) yeterliliği açısından görüş ayrılıkları bulunmaktadır.

İnşaat mühendisleri; kullandıkları yazılımları öğrenci iken öğrenmeleri gerektiği (18. soru), evden iş yerine ulaşım süresinden memnun oldukları (16. soru), mesleklerini isteyerek yaptıkları (2. soru) ve aldıkları eğitime uygun bir iş yerinde çalıştıkları (4. soru) olgularına katılmaktadırlar. Ayrıca; aldıkları maaşı, yaptıkları iş açısından yeterli buldukları (12. soru), çalıştıkları firmanın/kurumun iş dışında sağladığı

imkânları (lojman, spor, yemek vb.) yeterli buldukları (14. soru) ve işyerlerinde adil bir şekilde terfi alabilecekleri (6. soru) olgularına katılmamaktadırlar. İnşaat mühendisleri için geri kalan 11 soruda ise 'kısmen' ($\bar{x}=2,61-3,40$) seçeneği ön plana çıkmaktadır.

Endüstri mühendisleri; toplum tarafından saygı duyulan ve kabul gören bir mesleği icra ettikleri (7. soru), kurumsal bir iş yerinde çalıştıkları (20. soru), çalışma koşullarının (İSG, ekip vb.) uygunluğu (5. soru), kullandıkları yazılımları öğrenci iken öğrenmeleri gerektiği (18. soru), aldıkları eğitime uygun bir iş yerinde çalıştıkları (4. soru), yapmakta oldukları işin kendilerine bireysel tatmin sağladığı (3. soru), iş hayatında mesleki birikimlerini kullanabildikleri (11. soru), mesai bitiminde kendilerini çok yorgun hissettikleri (8. soru), işyerlerinde ekip içi iletişim düzeyinin memnuniyet verici oluşu (9. soru) olgularına katılmaktadırlar. Ayrıca yukarıda da belirtilen 15. soru dışında katılmadıkları olgu bulunmamaktadır. Endüstri mühendisleri için geri kalan 9 soruda ise 'kısmen' ($\bar{x}=2,61-3,40$) seçeneği ön plana çıkmaktadır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Örneklemini Kayseri ili imalat ve inşaat sektöründe çalışmakta olan 150 endüstri mühendisi ve 137 inşaat mühendisi olmak üzere toplam 287 mühendisin oluşturduğu bu çalışmada; demografik olarak inşaat mühendislerinin yaş ortalamasının endüstri mühendislerinden daha yüksek ve dolayısıyla mesleki tecrübelerinin ve gelir düzeylerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, aynı zamanda yeni mezun endüstri mühendislerinin iş imkânlarının yeni mezun inşaat mühendislerine göre daha fazla olduğunu göstermektedir. En dikkat çekici noktalardan birisi, inşaat mühendislerinin dörtte birinin ve endüstri mühendislerinin üçte birinin aylık net gelirinin 3.000 TL'nin altında olmasıdır. Zira Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) tarafından; ücretli çalışan mühendis, mimar ve şehir plancıları için 2020 yılı ilk işe giriş bildirgesinde baz alınacak asgari brüt ücretin 5.000 TL olarak belirlendiği göz önüne alındığında ve bunun ortalama %74'ü net maaş olarak dikkate alındığında, mühendisler için net asgari ücret 3.700 TL olmalıdır. Bunun yanında, her iki meslek grubunun da girişimcilik profillerinin düşük olduğu ifade edilebilir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, beşli likert ölçeğinde (1: kesinlikle katılmıyorum, 5: kesinlikle katılıyorum) hazırlanan ve tükenmişlik düzeyi ile iş doyumunun belirlenmeye çalışıldığı 20 soru dikkate alındığında, her iki meslek grubu için de anket ölçeğinin güvenilir olduğu

ve verilen cevapların normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir. Bu bölümde ilk göze çarpan detay, her iki tarafın verilen hükümlere genellikle nötr kalmaları ancak endüstri mühendislerinin ($\bar{x}=3,3763$) inşaat mühendislerine ($\bar{x}=3,0299$) göre daha iyimser olmalarıdır. Anket soruları spesifik olarak ele alındığında; mesleki tükenmişlik açısından inşaat mühendisleri endüstri mühendislerine göre daha fazla iş kaygısı taşımakta ve mobbing maruziyetlerinin yüksek olduğunu düşünmektedirler. Özellikle şantiyelerde çalışma koşullarının ağır olması ve inşaat işlerinin sezonluk olması, bu bulguda etkili olmuş olabilir. Bunun yanında, özellikle 2018 yılı Ağustos ayında başlayan ekonomik durgunluğun inşaat sektörüne sadece ekonomik olarak değil, istihdam anlamında da büyük zararı olmuştur. İş doyumunu açısından endüstri mühendislerinin inşaat mühendislerine göre daha fazla ön plana çıktıkları hususlar; mesleklerine toplumca saygı duyulduğunu düşünmeleri, kurumsal işyerlerinde çalışıyor olmaları, işyerlerinde ekip içi iletişimden memnun olmaları, işyerlerinde ödül sisteminin olması, adil bir şekilde terfi alacaklarını düşünmeleri olarak gösterilebilir. Bu noktada ekip içi iletişime bir parantez açılacak olursa; endüstri mühendislerinin tamamının (%99) ve buna karşın inşaat mühendislerinin yarısının (%54) özel sektörde çalışıyor olması, Özdevecioğlu (2002)'nin kamu sektöründe çalışanlar arasında daha az çatışma olduğunu ve takım ruhunun özel sektöre göre daha gelişmiş olduğu yönündeki bulgusu ile örtüşmemektedir (Özdevecioğlu, 2002). Bu bulgular genel çerçevede maalesef inşaat mühendislerinin çalıştıkları işten memnun olmadıklarını göstermektedir. Bunun temel nedeninin; inşaat sektörünün ağırlıkla küçük ölçekli şahıs işletmelerinden oluşması, ağırlıkla kurumsal olmayan yapıların ve organizasyonların bulunması, patronluk ile yöneticiliğin birbirinden ayrılmaması vb. olduğu düşünülmektedir. İmalat sektöründe ise daha profesyonel ve kurumsal bir yapının söz konusu olduğu ifade edilebilir. İnşaat mühendislerinin iş doyumunu açısından olumlu olarak değerlendirilebilecek bir husus endüstri mühendislerine göre iş hayatında mesleki birikimlerini daha fazla kullanabildiklerini düşünmeleridir. Bunun temel sebebi, demografik özelliklerde de görüldüğü üzere inşaat mühendislerinin mesleki tecrübelerinin endüstri mühendislerine göre daha fazla olması olabilir. Ayrıca inşaat mühendisleri endüstri mühendislerine göre evden iş yerine ulaşım süresinden daha memnun görünmektedirler. Endüstri mühendislerinin ağırlıkla işe servis ile ulaşmaları, erken saatte evden çıkmak zorunda kaldıkları için iş motivasyonlarını olumsuz yönde etkilemektedir. İnşaat mühendisleri açısından ise gelir düzeyinin daha fazla olmasının da etkisiyle, çoğunlukla

şahsi araç tercih edilmektedir. İş doyumunu açısından her iki meslek grubu da aldıkları maaşın, sosyal haklarının ve iş dışında sağlanan imkânların yaptıkları iş açısından yeterli olduğunu düşünmemektedirler. Mühendislik eğitimi açısından kullandıkları yazılım(lar)ı öğrenci iken öğrenmeleri gerektiğini düşünmekle birlikte, üniversitede aldıkları eğitimin işlerini yapmaları için yeterli olduğu konusunda kararsız bir tutum içerisindedirler. Bu durum, her iki meslek grubunun üniversitede aldıkları eğitimden memnun olmadıkları yönünde yorumlanabilir. Yine iş doyumunu açısından, endüstri mühendisleri; aldıkları eğitime uygun bir işte çalıştıklarını, çalışma şartlarının uygun olduğunu, mesleklerini isteyerek yaptıklarını ve bunun bireysel tatmin sağladığını düşünürken inşaat mühendisleri; aldıkları eğitime uygun bir işte çalıştıklarını ve mesleklerini isteyerek yaptıklarını düşünmektedirler. Mesleğe bağlılık konusu, Tantekin Çelik ve Laptalı Oral (2013)'ın mesleğe bağlılıklarının yüksek olduğu yönündeki bulgularına paralellik göstermektedir. Çalışma şartlarının uygunluğu ve yaptıkları işin bireysel tatmin sağladığı hususlarında ise kararsız bir tavır içindedirler. Bu bulgular, inşaat mühendislerinin iş doyumlarının endüstri mühendislerine göre düşük olduğunu göstermektedir.

Mesleki tükenmişlik ve iş doyumunu açısından endüstri mühendisleri ve inşaat mühendisleri özelinde imalat sektörü ve inşaat sektörünün kıyaslandığı bu çalışmada, özellikle inşaat sektöründe çalışan inşaat mühendislerinin mesleklerine bağlı olmalarına rağmen çalışma şartlarından memnun olmadıkları, bu durumun iş doyumlarını olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Endüstri mühendisleri açısından tablo daha pozitif olmakla birlikte, iş yerine ulaşımın önemli bir problem olduğu ve iş motivasyonunu olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Çalışmanın sektörel kıyaslamalar açısından gelecekteki çalışmalar için yol göstermesi beklenmektedir.

SİMGELER

BTF	: Bilgi Toplama Formu
ERP	: Enterprise Resource Planning
GDP	: Gross Domestic Product
GSYH	: Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
İBÖ	: İş Betimleme Ölçeği
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
İŞKUR	: Türkiye İş Kurumu

İTE	: İş Tanımlama Endeksi
KKP	: Kurumsal Kaynak Planlaması
MİDÖ	: Minnesota İş Doyum Ölçeği
MTE	: Maslach Tükenmişlik Envanteri
ORAN	: Orta Anadolu Kalkınma Ajansı
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
(α)	: Cronbach's Alpha Katsayısı

KAYNAKLAR

- Acar A., Soysal Acar, A. Ş. ve Ünver E. (2019). Mimarlık bölümü birinci sınıf öğrencilerinin görsel-mekânsal becerileri üzerine bir araştırma, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(2), 73-92.
- Aksu H. H. ve Keşan C. (2011). İlköğretimde aktif öğrenme modeli ile geometri öğretiminin başarı ve kalıcılık düzeyine etkisi, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 1(3), 94-113.
- Alpar R. (2013). Uygulamalı çok değişkenli istatistik yöntemler (4th ed.), Ankara: Detay Yayıncılık.
- Avşaroğlu S., Deniz M. E. ve Kahraman A. (2005). Teknik öğretmenlerde yaşam doyumunu, iş doyumunu ve mesleki tükenmişlik düzeylerinin incelenmesi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 14, 115-129.
- Bernardi R. A. (1994). Validating research results when cronbach's alpha is below .70: A methodological procedure, Educational and Psychological Measurement, 54(3), 766-775.
- Büyükkaynak E. ve Aslan O. (2019). Matematik ve fen bilimleri eğitimi öğretmen adaylarının çevreye yönelik tutumları, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 12(63), 797-807.
- Büyüköztürk Ş., Kılıç Çakmak E., Akgün Ö. E., Karadeniz Ş. ve Demirel F. (2012). Bilimsel araştırma yöntemleri (11th ed.). Ankara: Pegem Akademi.
- Çakıcı A., Özkan C. ve Akyüz B. H. (2013). İş yükü yoğunluğunun, iş ve yaşam doyumuna etkisi üzerine otomotiv işletmelerinde bir araştırma, Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 10(2), 1-27.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2017). Çevresel göstergeler: Gayri safi yurtiçi hasılanın sektörel dağılımı. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/gayri-safi-yurtici-hasilanin-sektorel-dagilimi-i-85707> (Erişim Tarihi: 11.11.2019).

Çivici T. (2015). İş doyumu, demotivasyon faktörleri ve tükenmişlik arasındaki ilişki: Mimarlar üzerine bir araştırma, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 18(2), 131-150.

Demir E. (2018). İnşaat işçilerinin iş doyumu düzeyleri ile iş güvenliği algıları arasındaki ilişkinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erginel N., Tekçe M., Küçük G. ve Alper A. (2016). Türkiye’de endüstri mühendisliği mesleğine bilimsel açıdan bir bakış. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 27(1), 25-38.

Ertürk E. ve Keçecioglu T. (2012). Çalışanların iş doyumları ile mesleki tükenmişlik düzeyleri arasındaki ilişkiler: Öğretmenler üzerine örnek bir uygulama, Ege Akademik Bakış, 12(1), 39-52.

Filiz Z. (2014). Öğretmenlerin iş doyumu ve tükenmişlik düzeylerinin incelenmesi, Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, 10(23), 157-171.

Freudenberger J. H. (1974). Staff burn-out. Journal of Social Issues, 30, 159-165.

Gençay Ö. A. (2007). Beden eğitimi öğretmenlerinin iş doyumu ve mesleki tükenmişliklerinin bazı değişkenler açısından incelenmesi, Kastamonu Eğitim Dergisi, 15(2), 765-780.

Gözüm P. (2017). Mobbing algısı ile motivasyon ilişkisi: Erzurum ve Ankara illerinde bazı kamu ve özel kurum çalışanları üzerine bir araştırma (Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.

Gümüşburun Ayalp G. ve Arslan F. (2017). İnşaat endüstrisinde özel sektörde çalışan inşaat mühendislerini demotive eden faktörler, BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 19(2), 153-168.

Hackman J. R. and Oldham G. R. (1975). Development of the job diagnostic survey. Journal of Applied Psychology, 60(2), 159-170.

Hayran O. ve Aksayan S. (1991). Pratisyen hekimlerde iş doyumu, Toplum ve Hekim, 6, 16-17.

Hellesøy O., Grønhaug K. and Kvitastein, O. (2000). Burnout: Conceptual issues and empirical findings from a new research setting, Scandinavian Journal of Management, 16, 233-47.

Kalaycı Ş. (2008). SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri, Ankara: Asil Yayın.

Karadede A. ve Baykoç Ö. F. (2006). Problems faced by enterprises after enterprise resource planning (ERP) implementations, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 21(1), 137-149.

Kargün M., Albay F., Cenikli A. ve Güllü M. (2012). Türk futbol hakemlerinin iş doyumu ve mesleki tükenmişlik düzeylerinin incelenmesi. Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi, 3(2), 30-38.

Keser A. (2005). İş doyumu ve yaşam doyumu ilişkisi: Otomotiv sektöründe bir uygulama. Çalışma ve Toplum Ekonomi ve Hukuk Dergisi, 7(7), 77-97.

Luthans F. (1994). Organizational behavior. New York: McGraw-Hill.

Maslach C. (2003). Job burnout: New directions in research and intervention. Current Directions in Psychological Science, 12(5), 189-192.

Maslach C. and Jackson S. E. (1981). The measurement of experienced burnout. Journal of Occupational Behaviour, 2, 99-113.

Maslach C. Jackson S. E. (1986). Maslach burnout inventory manual. CA: Consulting Psychologists Press.

Memnun D. S., Hart L. C. and Akkaya R. (2012). A research on the mathematical problem solving beliefs of mathematics, science and elementary pre-service teachers in Turkey in terms of different variables, International Journal of Humanities and Social Science, 2(24), 172-184.

Morgan G. A., Leech N. L., Gloeckner G. W. and Barret, K. C. (2004). SPSS for introductory statistics: Use and interpretation (2nd ed.), London: Lawrance Erlbaum Associates.

Ng S. T., Skitmore M. R., Lam K. C. and Poon, A. W. C. (2004). Demotivating factors influencing the productivity of civil engineering projects, International Journal of Project Management, 22, 139-146.

Orta Anadolu Kalkınma Ajansı (2014). TR72 bölgesi 2014-2023 bölge planı. <http://www.oran.org.tr/images/dosyalar/111.pdf> (Erişim Tarihi: 04.01.2020).

Özdevecioğlu M. (2002). Kamu ve özel sektör yöneticileri arasındaki davranışsal çalışma koşulları ve kişilik farklılıklarının belirlenmesine yönelik bir araştırma. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19, 115-134.

Özkan N. F. and Kahya E. (2017). Assessing ergonomic risks in an university's administrative offices, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32(1), 141-150.

Pallant J. (2001). SPSS survival manual. UK: Buckingham Open University Press.

Shao T. A. (2002). Marketing research: An aid to decision making, US: South-Western College Publishing.

Smith P. C., Kendall L. M. and Hulin, C. (1969). The measurement of satisfaction in work and behavior. Chicago: Raud McNally.

Tantekin Çelik G. ve Laptalı Oral E. (2013). Türk inşaat sektörü çalışanlarının kişilik özelliklerinin, örgütsel bağlılık ve iş tatmini ile ilişkisi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(2), 15-26.

Türkiye İş Kurumu (2017a). 2017 yılı işgücü piyasası araştırması: İmalat sektörü raporu. <https://media.iskur.gov.tr/15164/imalat-sektoru-raporu.pdf> (Erişim Tarihi: 02.01.2020).

Türkiye İş Kurumu (2017b). 2017 yılı işgücü piyasası araştırması: İnşaat sektörü raporu. <https://media.iskur.gov.tr/15166/insaat-sektoru-raporu.pdf> (Erişim Tarihi: 02.01.2020).

Türkoğlu T. ve Yurdakul Ü. (2017). Mobilya endüstrisinde çalışanların iş doyumunu ile iş performansı arasındaki ilişkinin araştırılması. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 18(1), 88-97.

Uçar U. Ü. ve İşleyen S. K. (2019). Türkiye'deki endüstri mühendisliği eğitiminin mezun görüşlerine dayalı analizi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 11(1), 109-123.

Weiss D. J., Dawis R. V., England G. W. and Lofquist, L. H. (1967). Manual for the minnesota satisfaction questionnaire, Minneapolis: University of Minnesota, Industrial Relations Center.

Yalız D. (2013). Anadolu Üniversitesi beden eğitimi ve spor öğretmenliği bölümü öğrencilerinin duygusal zekâ düzeyleri incelenmesi, Pamukkale Journal of Sport Sciences, 4(2), 94-111.

Yıldız D. ve Uzunsakal E. (2018). Alan araştırmalarında güvenilirlik testlerinin karşılaştırılması ve tarımsal veriler üzerine bir uygulama. Uygulamalı Sosyal Bilimler Dergisi, 2(1), 14-28.

Yıldız E. (2015). Mesleki tükenmişlik ve rehber öğretmenler üzerine bir araştırma, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 33, 37-61.

İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

Havacılıkta Şekil Değiştirebilir Teknoloji Uygulamaları

Selin UZUN*¹ , Bürde İSEN*² , Tamer SINMAZÇELİK*³ 

*Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 41380, Türkiye

Derleme Makalesi, Geliş Tarihi: 27.04.2021, Kabul Tarihi: 17.06.2021

Özet

Bu çalışma kapsamında şekil değiştirebilen teknolojilerin havacılık uygulamalarında dünya çapındaki gelişmeleri, projeleri ve gelecek planları incelenmiştir. İncelenen projelerin aerodinamik, yapısal ve malzeme tasarım yaklaşımlarına yakın perspektiften bakılmıştır. Bu teknoloji sayesinde çoklu göreve uyumlu hale gelen hava aracı, istenilen konfigürasyonu sağlayarak; menzil artışı, yakıt tasarrufu, düşük karbon emisyonu gibi avantajları beraberinde getirerek havacılık sektöründeki gelişmelere ilgiyi çekerken, farklı teknolojilerin de kapısını aralayacaktır. Araştırmalar sırasında şekil değiştirebilir hava araçlarının sabit kanatlı hava araçlarına göre avantaj ve dezavantajları ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şekil Değiştirebilir, Kanat, Kanat Ucu, Göreve Uyumlu Kanat.

Morphing Technology Applications in Aviation

Abstract

Within the scope of this study, worldwide developments, projects and future plans of morphing technologies in aviation applications were examined. The aerodynamic, structural and material design approaches of the projects examined are looked at from a close perspective. Thanks to this technology, the aircraft, which is compatible with multiple missions, provides the desired configuration; While attracting attention to the developments in the aviation sector by bringing advantages such as range increase, fuel saving and low carbon emission, it will also open the door to different technologies. During the research, the advantages and disadvantages of morphing aircraft compared to fixed wing aircraft were discussed.

Keywords: Morphing, Wing, Winglet, Mission Adaptive Wing.

¹Sorumlu yazar selinzun@gmail.com, ²burdeisen@gmail.com, ³tamersc@kocaeli.edu.tr

1. GİRİŞ

Hava araçlarının tüm uçuş koşullarına elverişli olması beklenir. Fakat hiçbir hava aracı bütün koşullar için elverişli olamaz. Hava araçlarında sadece belirli tür uçuş görevlerine uygun en iyileştirilmiş tasarımlar kullanılır. Örneğin yolcu uçakları uzun menzilli seyir kabiliyetine sahip, avcı uçakları ise yüksek hızlı ivmelenme ve manevra performansı maksimum olacak şekilde tasarlanmıştır. Havacılık alanında yaşanan gelişmelerle birlikte verimlilik ve performans artırma arayışları da beraberinde gelmiştir. Hava araçlarının tasarımında uçuş sırasında adaptasyon ve optimizasyon konularında doğadan ilham alınmıştır. Kuşların kanatlarını açması ile tüylerindeki açıklıkların taşıma kuvvetinden itki kuvvetine nasıl dönüştüğü incelenmiştir. Bu incelemelerden yola çıkarak çoklu görev performansını sağlamak için şekil değiştirebilir teknolojiler (Morphing Technology) üzerine çalışılmaya başlanmıştır (Özgen vd., 2008).

1990'ların ortalarında NASA / Langley Araştırma Merkezi'nde şekil değiştirebilen uçak konsepti çalışmaları başlatılmıştır ve günümüzde NASA'nın Çığır Açan Araç Teknolojileri Projesi kapsamında çalışmalar devam etmektedir. Bu projenin amacı hava araçları için aerodinamik yüzey şekli değişikliğini mümkün kılacak çoklu görev performansını sağlayan, hava araçlarına entegre edilebilecek sistemleri geliştirmektir. Şekil değiştirebilir teknolojinin kullanılmak istendiği bir diğer alan ise kanat uçlarıdır (Winglet). Kanat uçları, kanat ucundaki kuyruk türbülanslarını önlemek için dikeyden yaklaşık 25 derecelik bir açıyla oluşturulan küçük kanat yapılarıdır. Sabit kanat ucu kullanımı düz uçuşlar esnasında büyük bir verim sağlamakta iken, düşük hızlarda gerçekleşen iniş ve kalkış esnasında aynı verimi sağlamamaktadır. Özetle iniş ve kalkış esnasında düz bir kanat profili, uçuş esnasında ise şekil değiştirebilir kanat ucu vasıtasıyla dikeye yakın bir konuma ulaşan kanat ucu profili yardımı ile aerodinamik verimliliğin artışının bir sonucu olarak uçuş menzilin artışı, yakıt tasarrufu ve buna bağlı olarak daha az karbon salınımı gibi avantajlar sağlanması beklenmektedir.

2. ŞEKİL DEĞİŞTİREBİLİR HAVA ARAÇLARINA GENEL BAKIŞ

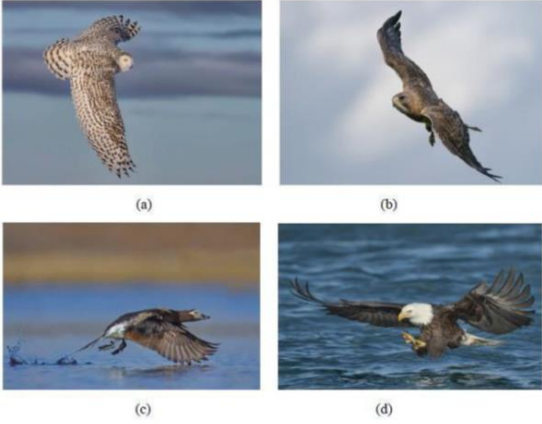
Şekil değiştirebilir hava aracı, farklı uçuş koşullarına uyum sağlamak için uçuş sırasında geometrisinin konfigürasyonunu değiştiren araç olarak tanımlanır. Bu hava araçlarındaki gövde geometrileri çeşitli hedefler doğrultusunda artırılmış performans elde edebilmek için uyarlanabilmektedir (Pendleton vd., 1992).

Şekil değiştirebilir hava araçları ile, uçuş esnasında konfigürasyonu değiştirmek suretiyle, çok amaçlı görevleri en verimli şekilde gerçekleştirmek, birden fazla sayıda, pahalı ve göreve özgü uçağa ihtiyaç duymadan görevleri yerine getirmek ve maliyet etkinliğini artırabilmek mümkündür (Acar ve Oktay, 2018).

Tüm bunların yanı sıra şekil değiştirebilir özelliği, yakıt ekonomisi, menzil artışı, karbon emisyonunda ve gürültü kirliliğinde azalmayı da beraberinde getirmektedir. Flightpath 2050 gündeminde formüle edilen yeşil tasarım kriterleri, NOx emisyonlarında %90 azalma, algılanan uçak gürültü seviyelerinde %65 ve yolcu/kilometre başına CO2 emisyonlarında %75 azalma ile temsil edilmektedir. Klasik Breguet menzil denklemi bize bu hedeflere ulaşmanın tek yolunun daha iyi motorlar, aerodinamik açıdan daha verimli kanatlar ve daha hafif yapılar olduğunu söylemektedir. Bununla birlikte, geleneksel uçak tasarımı, uçuş zarfında ve yakıt koşulunda yalnızca tek bir noktaya göre optimize eder; bu nedenle, tüm uçaklar uçuş zarfının diğer noktalarında yetersizdir. Doğrudan ve dolaylı çevre gereksinimlerini karşılayabilen daha verimli uçakların, yalnızca uçağın kabiliyetini uçustaki konfigürasyonunu her zaman en uygun konfigürasyonda olacak şekilde uyarlayarak geliştirerek elde edilebilmesi muhtemeldir. Aktif Esnek Kanat, Aktif Aeroelastik Kanat, Aktif Aeroelastik Uçak Yapıları (3AS), Akıllı Uçak Morphing Teknolojileri (SMorph), Yeni Nesil Kanatlar için Akıllı Yüksek Kaldırma Cihazları (SADE) dahil olmak üzere son 15 yılda birçok alternatif sistem araştırması yapılmıştır. NOVEL Hava Aracı Yapılandırması (NOVEMOR) kapsamında şekil değiştirebilir teknolojinin farklı konseptleri incelenmiştir. Ancak hangisinin en iyi konsept olduğunu belirleyecek açık bir yol bulunmadığı söylenmiştir (Mills ve Ajaj, 2017).

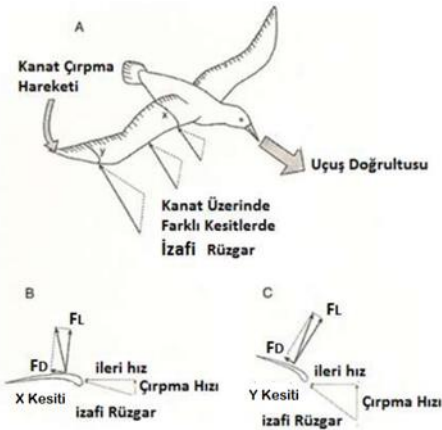
Aerodinamik verimliliği iyileştirmek için tasarlanan ve kullanılan kıvrık kanat ucu tasarımları göz önüne alındığında, gözden kaçırmamak gerekir ki mevcut tüm kanat ucu tasarımları kanat üzerine sabitlenmeleri açısından ortak bir zorluğu paylaşmaktadır. Bu nedenle, uçağın aerodinamik şekli yalnızca, uçağın en çok zaman harcayacağı ve yakıtın çoğunu tüketeceği tek bir duruma göre optimize edilir. Hava aracının kalkış ve iniş anında düşük hız etkin olduğu için girdaplardan doğan sürtünme etkisi azdır. Dolayısıyla düşük hızın etkin olduğu, yüksek kaldırma kuvvetine gereksinim duyulduğu durumlarda kıvrık kanat ucu tasarımının getirisi pek olmamaktadır. Bu nedenle düşük hızlarda kullanılmak üzere kıvrık kanat ucunun yatay konumda kalması suretiyle kaldırma kuvvetinin artırılması söz konusu olabilir. Kalkış sonrası ise istenen açıda dikey konuma dönmesi sureti ile uçuş

esnasında aerodinamik verimliliği arttırmak, beraberinde menzil artışı, yakıt tasarrufu ve düşük karbon emisyonu gibi çoklu faydaları beraberinde getirmektedir (Şahin ve Oktay, 2019).



Şekil 1. Uçuş esnasında kuşların farklı kanat konfigürasyonları (Kaygan, 2020).

Kuşların uçuş esnasındaki kanat ve gövde şekilleri ve hareketleri (Şekil 1) hava araçlarının tasarımında çok ciddi bir motivasyon kaynağıdır. Kanatların formu ve açılarının uçuş esnasında rüzgara ve hıza uygun bir şekilde optimum bir şekilde şekil değiştirebilir olmaları kuşları uçuş konusunda benzersiz kılmaktadır (Kaygan, 2020).



Şekil 2. Kanat çırpma hareketinden oluşan kuvvetler (Yavçin ve Kaptı, 2015).

Doğada sıkça rastladığımız kuşların kanat çırpmasıyla oluşan nispi rüzgar ve bundan dolayı oluşan kaldırma kuvvetinin nasıl itki kuvvetine dönüştüğü Şekil 2’de tasvir edilmiştir. Şekil 2A’da gösterildiği gibi kanadın kök kısmında kanat çırpmadan dolayı meydana gelen bir hareket söz konusudur. Fakat kanat kökünden, kanadın uç kısmına gidecek şekilde uzaklaştıkça, hücum kenarı firar kenarından daha aşağıda ve buna bağlı olarak en çok

yer değiştirme uçtaki profil tarafından yapılmaktadır. Bu gözlemlerden yola çıkarak kanat ucunun çizgisel hızı daha fazla denilebilir. Kanadın x kesitine ait profil Şekil 2B’de görülmektedir. Bu profilde FL kuvvetinin dikey doğrultusu bize ipucu vermekte olup bu kuvvetin her kanat çırpmada kuşa irtifa kazandırdığı söylenebilir. Kanadın y kesiti profili Şekil 2C’de görülmekte olup, hücum kenarı aşağıda, firar kenarı yukarıda kalarak, hem FL kuvvetinin yönünün uçuş doğrultusunda olması hem de çizgisel hızın yüksek olması nedeniyle kuşu ileri itiren hızın büyüklüğü de yüksek olmaktadır. Her kanat çırpmada kanat yukarı-aşağı yönlü hareket ederek uygun taşıma kuvveti yakalanır ve bunu ileri doğrultuya yönlendirerek itki gücünün istenildiği değerde artmasını sağlar. Uyarlanabilir kanat ucunun davranışı, hem aerodinamik hem de yapısal mekaniğin bir fonksiyonudur. Bu nedenle, uyarlanabilir kanat ucunun doğru modellenmesi her iki alanı da kapsamalıdır (Yavçin ve Kaptı, 2015).

3. TASARIM YAKLAŞIMLARI

3.1 Aerodinamik Tasarım Yaklaşımı

Yıllar içerisinde sabit kanatlı uçakların ağırlık ve boyutlandırma tasarımında yararlanılması için istatistiksel ve deneysel yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler geliştirilirken benzer tipte araçların özellikleri kullanılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Şekil değiştirebilen uçaklar için böyle bir veri tabanından bahsedilememektedir. Bu sebeple, şekil değiştirebilir araçların tasarımında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bir yapay veri tabanı oluşturulması ve ağırlık tahmini ile boyutlandırmanın ise bilinen yöntemlerle devam ettirilmesi önerilmektedir (Pendleton vd., 2007).

Şekil değiştirebilen bir uçak için aerodinamik analiz yaklaşımı, rijit uçaklardan farklı olarak; değişen uçuş koşullarının yanı sıra uçağın geometrik yapısındaki değişimleri de dikkate almak durumundadır. Şekil değiştirebilen hava araçlarının tasarım ve analiz aşamalarında kullanılmak üzere geometrideki değişimleri hesaba katacak, doğrusal olmayan yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar, günümüzde kullanılan yöntemlerin çoğunun aracı rijit kabul edip, doğrusal yöntemler benimsenmesi, bu alanda yenilikçi çalışmalar gerektiğini göstermektedir (Özgen vd., 2008).

Üzerinde çalışılan, hayata geçirilen çalışmalar belirtilen avantajları beraberinde getirirse bile her birinin yaygın olarak benimsenmesini engelleyen belirli dezavantajları vardır. Aerodinamik açıdan bu dezavantajlara karşılık çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan biri olan plazma

aktüatörler, yüzeyde yapay akış oluşturarak geometri üzerinde değişiklik yapmak yerine doğrudan havayı kontrol etmektedir. Uçuş sırasında şekil değişimi sonucu meydana gelen olumsuzluklar plazma aktüatörler kullanılarak bertaraf edilebilir. Plazma aktüatörün istenilen yere konumlandırılabilmesi, istenilen akış kontrolüne olanak sağlaması, basit ve anlaşılır yapısı, tepki süresinin az olması gibi getiriler göz önüne alındığında umut veren yöntemler arasında yer almaktadır. Tavsiye edilen plazma aktüatörü, mevcut çalışmalara göre sadece yüksek hücum açıları için çok etkilidir (Falcao vd., 2011) (Şanlısoy, 2013).

3.2 Yapısal Tasarım

Şekil değiştirebilir kanat tasarımında en iyi yük dağılımını sağlayabilen, uyarıcılar ile yeni şeklini alabilen kanatlar tasarlanması hedeflenmektedir. Şekil değişimi ile birlikte değişecek olan irtifa dümeni (elevator), istikamet dümeni (rudder) gibi değişiklikleri iletebilecek algılayıcılar ve gerekli komutları verecek kontrol mekanizmasına ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Temel görev yüzeyin geometrisini değiştirerek aerodinamik kuvvet dağılımını istenen yapılandırmada en iyi hale getirmektir. Başlangıç ve hedef geometrileri yapısal tasarımın temel kriterleridir. İhmal edilmemesi gereken alt kriterlerin ise; en hafif, en az gürültü, en az aktivasyon kuvvet gereksinimi gibi kriterler olduğu söylenmiştir. Asgari gürültü yapısal tasarım açısından aeroelastik en iyileştirme, yapısal en iyileştirme ise yapının doğal frekans değerlerinin en iyi aeroelastik karakteri gösterecek biçimde ayarlanmasıdır. Yüzey şekli ne kadar iyi kontrol edilir ve pürüzlülük ne kadar az olursa aerodinamik verim o kadar artar.

Bu tür uygulamalar incelendiğinde ilk olarak başlangıç ve hedef geometri belirlenmesinin ardından şekil değişiminde kullanılacak olan mekanizma (örn: servo motor) ve malzemeler (EAP / SMA vb.) belirlenmiştir. Bu aşamalar tamamlandıktan sonra bilgisayar ortamında katı modellemeye geçilmiş ve sonlu elemanlar modelleri hazırlanmıştır. Belirlenen malzemenin özellikleri sonlu elemanlar modeline aktarılarak yapının doğal frekansları ile titreşim biçimleri belirlenmiştir. Bilgisayar ortamında benzeşimleri (simülasyonlar) yardımıyla yapının sonlu elemanlar modelinin geliştirmeleri yapılmıştır. Böylelikle en hafif ve dayanıklı yapı modeli belirlenmiştir. Bütün aşamalar tamamlandıktan sonra en uygun aeroelastik özelliklere sahip ve en az aktivasyon kuvveti gerektiren yapı belirlenerek son yapılandırmaya ulaşıldığı gözlemlenmiştir (Özgen, 2008) (Ünlüsoy vd., 2012).

3.3. Birleştirilmiş Aero – Yapısal Analiz

Yapılan çalışmalarda Aero – Yapısal Analiz için, yapısal kontrol noktaları aerodinamik kontrol noktalarına denk hale getirilerek sabitlendiği ve buna düğüm dendiği gözlemlenmiştir. Daha sonra sabitlenmiş kontrol noktaları ile yapısal analiz yapılarak kanat kaplamasında meydana gelen deformasyonlar göz önüne alınarak ilerlenmiştir. Yapının yeni şeklinin aerodinamik analizi yapılarak yeni yükler belirlenmiştir. Yakınsama elde edilene kadar bu işlemler tekrarlanmıştır. Sadece aerodinamik yükler değişkenlik göstermekte ve yapı üzerinde farklı deformasyonlara neden olmaktadır. Her düğümdeki kuvvet değişimi %1'in altına düştüğünde yakınsamanın istenen seviyeye ulaştığı varsayılmaktadır (Vale vd., 2007).

3.4 Malzeme Tasarımı

Şekil değiştiren hava araçlarında kullanılacak malzemelerin yapısal özelliklerde yüksek geri kazanım, dayanıklılık, esneklik, elastikiyet ve çevre koşullarına dayanıklı olması gibi çeşitli özellikler taşıması gerektiği belirtilmiştir. Bu uygulamalarda genellikle Elektoraktif polimerler (EAP) ve şekil hafızalı polimerler (ŞHP) kullanılmıştır. Aday malzemeler olarak bazı piezoelektrik malzemeler, şekil hafızalı alaşımlar (ŞHA) ve ferro-elektrik malzemeler gösterilmiştir.

Elektoraktif polimerler, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürebilme özelliğine sahiptir. Malzemenin seçimi uyarıcıya bağlı olarak gerinim, kuvvet, hız, voltaj ve aktivasyon için gerekli olan tepkiye göre değişmektedir. Karbon bazlı dolgu maddeleri malzemeye rijitlik kazandırdığı için EAP'lerde genel olarak karbon nanotüpler kullanılmıştır.

Polimer malzemede şekil değişikliğini gerçekleştirebilmek için uyarıcıya ihtiyaç vardır. Yapılan incelemelere göre elektriksel, ısı, kimyasal, optik ve manyetik uyarı sistemleri bulunmaktadır. Elektriksel uyarıcılar daha az donanım gerektirmeleri ve kullanışlı olmaları nedeniyle uçaklarda kullanıma daha uygundur. Elektriksel ya da ısı uyarılma ile kullanılacak olan malzemeler, polimer malzemelerin ayırt edici özelliği olan geçiş sıcaklıklarının üzerine (camsı geçiş sıcaklığı gibi) ısıtıldıklarında şekil hafızası etkisi başlatılmış olur. Bu işlem sayesinde malzeme yumuşar ve yapının hedef şekline göre uzama gösterir. Bu işlemten sonra soğutulduğunda ise hafızasındaki şekline geri döndüğü belirtilmiştir. Şekil değişiminde geri kazanım kalitesi şekil değiştirme sırasında depolanmış mekanik enerjiden gelmektedir.

Şekil hafızalı polimerlerin rijitlik ve elastikiyet oranları ayarlanabilmektedir. Bu polimerler termoplastik ya da termoset esaslı olabilir.

Şekil hafızalı alaşımlar havacılık uygulamalarında ilk olarak 1970'li yıllarda F-14 savaş uçaklarının hidrolik borularında kaplin olarak kullanılmaya başlanmış, olumlu sonuçlar elde edilince havacılık alanında kullanımı yaygınlaşmıştır. Şekil hafızalı alaşımlardan yapılmış aktüatörler kullanarak hareketli şeritler (chevron) tasarlanmış ve bu tasarımı Boeing 777- 300 ER ticari uçağı üzerine takılı GE90-115B jet motoru üzerinde test edilmiştir. ŞHA ile tasarlanan kanatların farklı aerodinamik basınçlara dayanabildiğı ve değışen hava koşulları ile geleneksel aktüatörlerin aksine, direngenlik özelliklerinde herhangi bir kayıp olmadığı gözlenmiştir.

Havacılık uygulamalarında kullanılacak bu malzemelerden beklenen özellikler aşağıdaki gibidir:

- Yüksek tokluk,
- Yüksek çekme mukavemeti,
- Yüksek ısı iletkenliğı,
- Fiberler ile yüksek uyum,
- Yüksek kimyasal dayanım,
- Yüksek aşınmaya direnci,
- Yüksek UV ışınımı dayanımı.

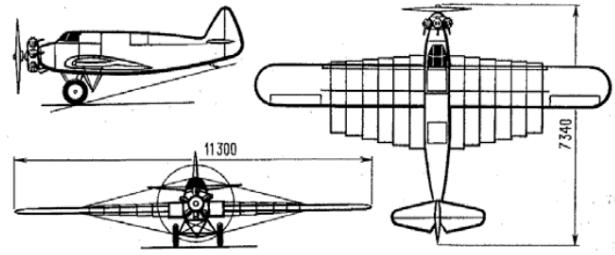
Dezavantajları ise havacılıkta kullanılan diğer malzemelere göre çok daha maliyetli olması ve yorulma dayanımlarının düşük olmasıdır. Verimleri düşük olduğundan kullanım yerleri kısıtlı olduğu belirtilmiştir (Özgen vd., 2008) (Acar ve Oktay, 2018) (Perkins vd., 2004).

Şekil hafızalı polimerlere örnek olarak CRG firmasının Veriflex adındaki şekil hafızalı polimeri verilebilir. Isıtılırken gerilebilir, katlanabilir, yuvarlanabilir, bükülebilir veya başka şekillerde yeniden yapılandırılabilir bal peteğı şeklinde yapı kullanılmıştır. Daha düşük sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve sertlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Dinamik yapılarda ve hem yapısal mukavemet hem de "şekil değıştirme" modül esnekliğı gerektiren diğer uygulamalarda kullanım için alternatif bir malzeme üretilmiştir (Perkins vd., 2004)

Şekil değışimlerinden kaynaklanan yapıdaki boşluklar tamamen kaplama (Fully-Covered) ve boşluk azaltma (Gap Reduction Method) ile kapatılarak aerodinamik iyileştirme yapılmaktadır. Lateks gibi esnek kaplama kullanımı orta derecede başarı gösteren bir fikirdir. Ancak yüksek dihedral katlama sırasında pürüzsüz bir yüzey sağlamak için gereken gerginlik miktarı çok fazladır. Bu yöntem şekil değıştirme mekanizmalarına önemli ölçüde ekstra yük yükleyerek aerodinamik verimlilik avantajını azaltmaktadır. Boşluk azaltma alternatif yöntemi, sorunu doğrudan çözmek değil, etkisini azaltmaktadır. Bu yöntem, üst ve alt yüzeyler arasındaki boşluğu en aza indirmek için kanat ucu ile kanatçık arasındaki boşluğu azaltmayı amaçlamaktadır. Kanat ucunun 180 derece hareket edecek şekilde tasarlanması en zor kısmıdır. Bu hesap edilerek yöntem kullanılmalıdır (Mills ve Ajaj, 2017).

4. ÖRNEKLER

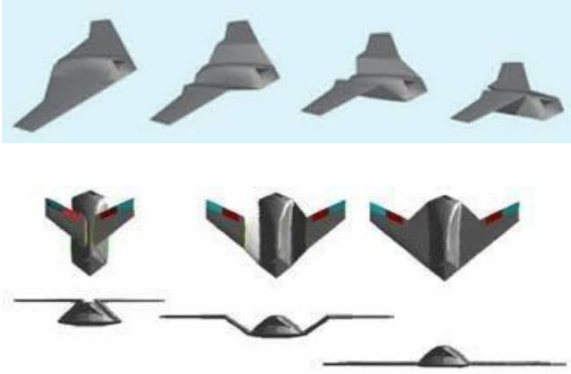
Bu bölümde dünya çapındaki gelişmeler, konu ile ilgili projelere dair bilgiler aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3. Bakshaev LIG-7 (Weisshaar, 2006).

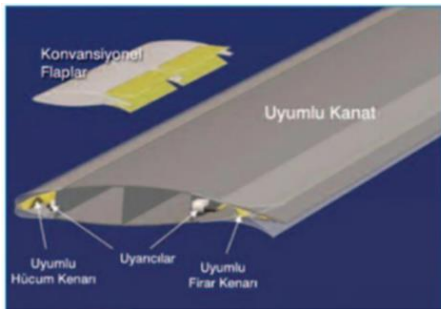
İki boyutlu uçak içi operasyona sahip alışılmadık ve yenilikçi geçiş yapan bir uçak olan Bakshaev LIG-7 (Şekil 3), 1937'de Sovyetler Birliğı'nde geliştirilmiştir. Şekilde gösterilen bu uçak, seyir uçuşu için tasarlanmış, yüksek açı oranına sahip ince bir kanada sahiptir. Kalkış ve iniş için, gövdeden kanat açıklılığının 2/3'üne kadar altı geniş akor kanat bölümü genişletilmiştir. 50 cm genişliğindeki her kanat bölümü, iç tarafta bir destek kirişi ve dış tarafta hafif bir çerçeve ile kontrplaktan yapılmıştır. Teleskopik kanat bölümleri, kokpitten elle çalıştırılan gerilmiş çelik tellerle geri çekilmiş ve uzatılmıştır. Geri çekilebilir tüm bölümler, geri çekildiğinde gövdenin içinde tamamen gizlenmektedir. 1937'de uçuş testleri, kanatların geri çekilmesi (20 ila 30 saniye) ve uzatmanın (30 ila 40 saniye) uçuş sırasında gerçekleştirilmesinin yerde olduğundan daha kolay olduğunu göstermiştir. Seyir esnasında herhangi bir tuhaflik gözlemlenmemiştir. Gözlemciler göre, şekil değıştirme etkisi kalkış ve iniş özellikleri üzerindeki

etkisi etkileyici ve güvenilir. Küçük bir kanat yüzeyine sahip tek kanatlı bir uçağa benzeyen bir tasarım oluşturmak için akıştan etkilenen alanı azaltmak için gövdeye katlanmıştır (Weisshaar, 2006).



Şekil 4. Lockheed Martin'in "Katlanan Kanat" konsepti (Kikuta, 2003).

Şekil 4'te bulunan Lockheed Martin firmasının geliştirdiği "Katlanan Kanat (folding wing)" konseptinde, kanat kaplama malzemesi olarak şekil hafızalı polimerler (Shape Memory Polymer) kullanılmıştır. Bu malzeme içerisine yerleştirilen küçük ısıtıcılar sayesinde gerçekleşen ısıtma işlemi sayesinde malzeme saniyeler içerisinde yumuşayarak şekil değiştirmektedir. Bu uçak, geometrik şeklini o kadar büyük ölçüde değiştirebilir ki, uzun menzilli seyir, yüksek hızlı fırlamaya geçiş gibi aşırı görev gereksinimlerini yerine getirebilmektedir. Gelişmiş cilt malzemesi ve dikişsiz cilt tasarımı, uçuş sırasında yüksek aerodinamik verimlilik için yüzey düzgünlüğünü koruyabilmektedir. Kanat kıvrım bölgelerindeki karmaşık altyapı, kanat yapısı, çalıştırma bileşenleri, enstrümantasyon ve vakum tüplerini barındırmaktadır. Sistem 130° kanat katlanmasına izin vermektedir. Ancak, Lockheed-Martin'in uçağının kumanda sistemi yazılımındaki sorunlardan dolayı uçuşunu gerçekleştiremediği bildirilmektedir (Özgen vd., 2008) (Acar ve Oktay, 2018).



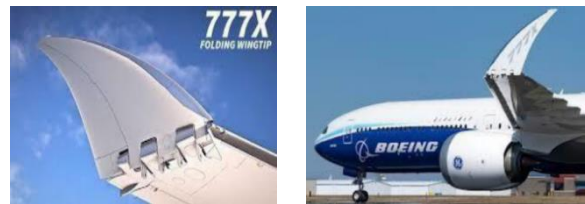
Şekil 5. FlexSys Inc. firması tarafından geliştirilen "Uyumlu Kanat" (Özgen vd., 2008).

FlexSys Inc. Firması tarafından, Amerikan Hava Kuvvetleri Laboratuvarı'nın (American Air Force Research Laboratory- AFRL) desteği ile 'Uyumlu Kanat'ın (compliant wing) (Şekil 5) rüzgar tüneli ve uçuş testlerini gerçekleştirmiştir. 127 cm açıklığa sahip değişken kamburluklu tek parça kanadın fırar kenarı 30 derece/saniye hızla bükülebilmektedir. Kanadın veter boyu 76,2 cm uzunluğunda olup, fırar kenarı toplam 10 derece bükülebilmekte, tüm kanat ise 1 derece/feet oranında burulabilmektedir (twist). Deneyler, hücum ve fırar kenarlarının deforme edilmesinin, kanadın aerodinamik etkinliğini belirgin bir şekilde arttırabileceği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu şekil değişiklikleri uçuş şartlarındaki değişimlere bağlı olarak otomatik olarak yapıldığında önemli yakıt ekonomisi sağlanacak ve manevra kabiliyetinde önemli artışlar gerçekleştirilecektir (Özgen vd., 2008).



Şekil 6. Flexsys şirketi tarafından geliştirilen esnek kanat flapı (Acar ve Oktay, 2018).

Şekil değiştirebilir kanat teknolojisi üzerine 2014 yılında NASA Armstrong Uçuş Araştırma Merkezi ve FlexSys şirketi ortaklığında FlexFoil adıyla Gulfstream III jeti üzerinde deneme yapılmış ve başarılı olmuştur. Geliştirilen şekil değiştirebilir kanat flapı (Şekil 6), -9°C ile +40°C sıcaklıkları arasında 30°'ye kadar şekil değişimi sağlayabilmektedir. Bu da günümüzde motor yardımı ile kontrol edilen kanat flaplarına ihtiyaç bırakmamaktadır. Şekil değiştirebilir kanat flapı kullanımı ile ağırlıkta azalma, bakım masraf ve işçiliğin azalması (SHA kullanıldığı için motor karmaşıklığı azalmakta), %3-12 arası yakıt tasarrufu ve iniş-kalkış sırasında %40'a kadar gürültü azaltılabileceği belirtilmektedir (Acar ve Oktay, 2018).



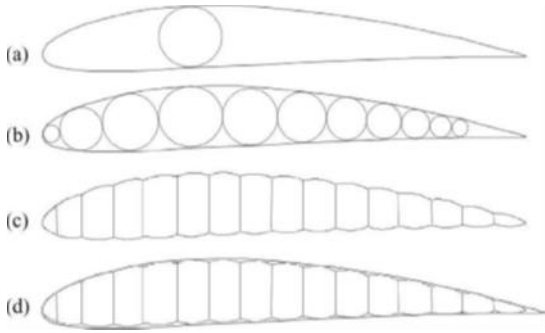
Şekil 7. Boeing 777X – Folding Wingtip

Airbus ve Boeing tarafından izlenen mevcut eğilim, kanat uçlarının havalimanı kısıtlamalarını karşılamak için yerde katlanabildiği ve uçuş sırasında daha geniş kanat açıklığının aerodinamik verimliliği en üst düzeye çıkarmasına izin veren daha geniş kanat açıklığına sahip uçaklar inşa etmektir. Umut verici bir örnek, 777-200LR için 64,8 m'ye kıyasla 71,0 m kanat açıklığına sahip olmasını sağlayan katlanır kanat uçlarına sahip olan Boeing 777-x'tir (Şekil 7) (Mills ve Ajaj, 2017).



Şekil 8. Festo (Almanya) firması tarafından geliştirilen robotik kuş (Yavçin ve Kaptı, 2015).

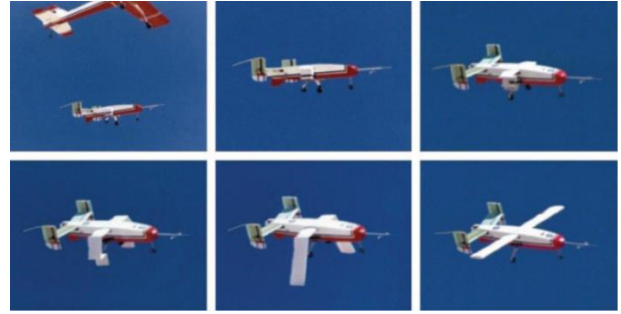
Festo (Almanya) firması tarafından geliştirilen "smartbird" adlı robotik kuş çalışması Şekil 8'de gösterilmektedir. Tasarlanan bu robotik kuş, formüller ve hesaplamalar ile üretilmesine rağmen defalarca başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Uzun süren denemeler sonucunda uygulanan iyileştirmelerle doğadaki kuş uçuşunu taklit etmeyi başardıklarını bilim dünyasına duyurmaktadırlar (Yavçin ve Kaptı, 2015).



Şekil 9. Şişirilebilir kanat kesitleri (Min vd., 2010).

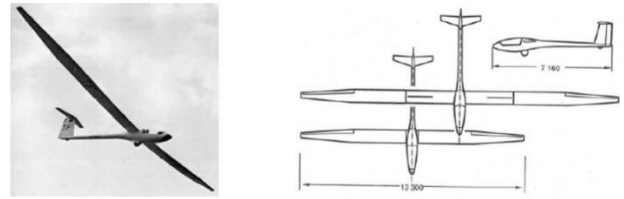
Şişirilebilir kanatlar, yerleştirildiklerinden 10 kat daha küçük paket hacimli bir çözüm sunmaktadırlar. Şişirilebilir kanadın mukavemeti ve sertliği, kısıtlayıcı malzemenin iç basıncı ve esneklik modülü tarafından kontrol edilmektedir. Şekil 9, birkaç çeşit şişirilebilir kanat kesitini göstermektedir. En basit şişirilebilir kanat tasarımı, ana kanat direği olarak kullanılan tek bir şişirilebilir borudan oluşan Şekil 9a'da gösterilmektedir. Şekil 9b, kırıç hattı boyunca kanat kutusu olarak hizmet edebilen dış yüzeyli çok sayıda silindirik uçak kanadı ana kırıçlerini göstermektedir. Şekil 9c'de gösterilen kaplamasız bölme tasarımı "engebeli" bir görünüme

sahiptir. Şekil 9d, geliştirilmiş aerodinamiğe sahip bir cilt nedeniyle daha yumuşak bir görünümü göstermektedir (Min vd., 2010).



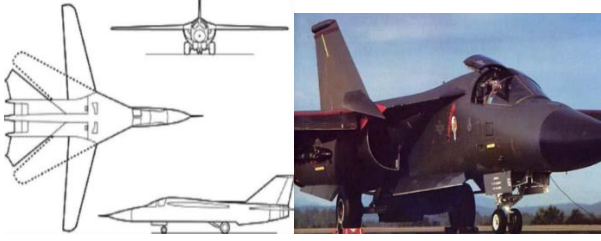
Şekil 10. Uçuş sırasında NASA Dryden I2000 şişirilebilir kanatlarının hızlı açılma dizisi (Min vd., 2010).

NASA Dryden I2000 (Şekil 10) şişirilebilir kanatlı uçağın bir örneğidir. Taşıyıcı uçaktan ayrıldığında, şişirilebilir kanatları, yerleşik bir basınçlı nitrojen sistemi aracılığıyla dışarı fırlatılarak hızlıca açılır. Tüm şişirme süreci, sıkıştırılmış hava kullanılarak 1/4 saniyeden daha az sürmektedir ve bu neredeyse insan gözünün görebildiğinden daha hızlıdır. Şişirilebilir kanatlar da iki umut verici şekilde uygulanabilmektedir. Kanat, güneş ışığından gelen ultraviyole ışınlarına veya LED'ler gibi iç kaynaklardan onlarca saniye içinde sertleşecek olan ultraviyole ışınlarına duyarlı bir malzeme ile kaplanabilir. Diğer alternatif ise şişirmeyi sağlayacak gaz reaksiyonlarından yararlanmaktır (Min vd., 2010).



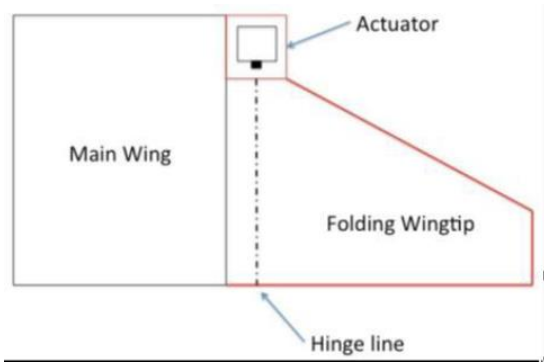
Şekil 11. Alman FS-29 yelkenli uçağı ve fs-29 planör geometrisi ve yandan görünüm (Weisshaar, 2006).

Şekilde gösterilen Alman FS-29 planör (Şekil 11), yükselen performansı iyileştirmek için teleskopik bir kanatla tasarlanmıştır. "Performans uçuşu", bir uçağın mümkün olan en kısa sürede belirli bir mesafeyi kat etmesini gerektirmektedir. Bunu yapmak için yelkenli, seyir veya tırmanma modunda olmasına bağlı olarak iki farklı hızda çalışmaktadır. Tasarımcılar, bir uçuş modundan diğerine geçerken performansı artırmak için kamber değiştirme kanatçıkları ve su balastı kullanılmıştır (Weisshaar, 2006).



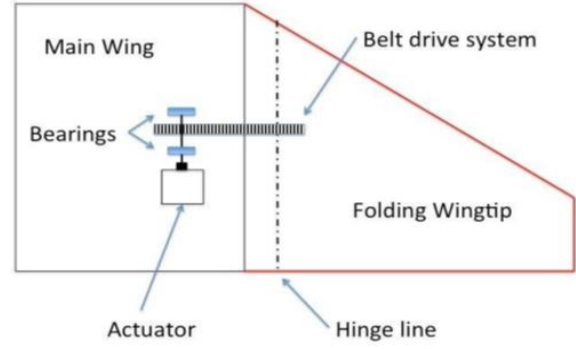
Şekil 12. Kanat boşluğu üzerindeki akışı iyileştirmek için vorteks jeneratörlü F-111 uçağı (Min vd., 2010).

Süpürme kanadı (Swing wing) özelliğine sahip ilk üretim uçağı, 1960'larda geliştirilen ve ilk kez 1967'de hizmete giren Şekil 12'de gösterilen F-111' dir. F-111, kanatları tamamen açılmış olarak 2000 fit kadar mesafede kısa bir sürede kalkış ve iniş yapabilmekte ve ayrıca kanatları tamamen geriye çekilerek ses hızının iki katından daha fazla bir hıza ulaşabilmektedir (Min vd., 2010).



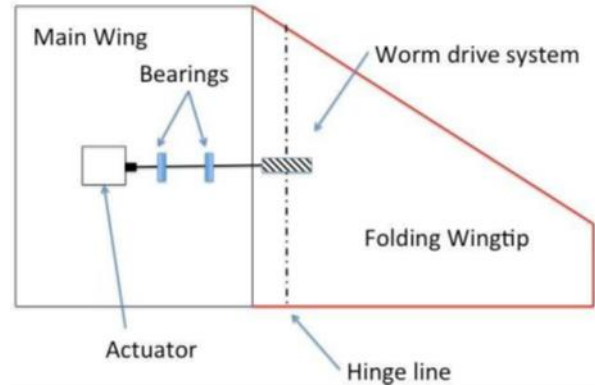
Şekil 13. Mentеше hattı aktüatörlerini kullanan Konsept 1 (üstten görünüm) (Mills ve Ajaj, 2017).

Konsept 1 (Şekil 13), gereken dönme torkunu geliştirmek için mentеше hattı aktüatörlerinin kullanımını araştırmaktadır. Bu tasarımın avantajı, aktüatörler ile mentеше hattı arasındaki doğrudan bağlantının ek iletim kayıplarını azaltması ve sistemi daha verimli hale getirmesidir. En büyük dezavantaj, aktüatörün montaj pozisyonundan dolayı kanatçık alanındaki kayıptır. Aktüatörü bu pozisyona yerleştirmenin bir başka dezavantajı, uçağın iniş veya kalkış sırasında devrilmeye hareketi yapması durumunda hasara açık olması olduğu belirtilmiştir. Ek olarak, aktüatör kütlesi bu pozisyonda kök eğilme momentini maksimize edeceği hesaplanmıştır.



Şekil 14. Kasnak dişli sistemi kullanan Konsept 2 (üstten görünüm) (Mills ve Ajaj, 2017).

Konsept 2 (Şekil 14), kanatçık yüzey alanını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Aktüatör torkunu mentеше hattına aktarmak için zamanlama kasnakları ve kayışları sistemi kullanılmıştır. Konsept 1 ile karşılaştırıldığında, daha yüksek iletim kayıpları gözlemlenmiş ve bu, yatakların kullanılmasıyla kontrol edilmiştir. Aktüatörün kendisine yanal yük etki etmemesini sağlamak için aktüatörün yanına yerleştirilmiş rulman kullanılmıştır.



Şekil 15. Sonsuz dişli sistemi kullanan Konsept 3 (üstten görünüm) (Mills ve Ajaj, 2017).

Şekil 15'te gösterilen Konsept 3, torku aktarmak için bir helikon dişli (sonsuz dişli) kullanılmıştır. Bu sistemin en büyük avantajının, kapatma kilitleme özelliği olduğu belirtilmiştir. Vida üzerindeki helis açısı dikkatlice seçildiğinde, vida aktif olarak sürülmedikçe tekerlek dönmemektedir. Bu, tek bir pozisyonda kaldığında sistem için sıfır güç gerektiği anlamına gelmektedir. Ana kanadın ucu ile kanatçığın kökü arasındaki boşluk kritik bir bölgedir. Herhangi bir çalıştırma şekliyle, bu parçalar arasında havanın kaçmasına izin veren ve verimliliği düşüren bir boşluk olacağı belirtilmektedir. Bu boşluğun etkisinin olduğu seviye henüz ölçülmemiştir, ancak sorun dikkate alınmıştır. Bu sorunu çözmek için iki ana fikir araştırılmıştır. Birincisi, bölgeyi bir çeşit deri kullanarak tamamen kapatmaktır. İkincisi, boşluğu olabildiğince azaltmaktır (Mills ve Ajaj, 2017).

5. GELECEKTEKİ OLASI UYGULAMALAR

Bu araştırma kapsamında, dünya çapındaki gelişmeler, projeler ve gelecek planları incelenmiştir.

Şekil değiştirebilir yapının kullanılması, uçağın birden fazla özelliğe sahip olmasını ve çoklu görev performansını artırmaktadır. Hem İHA sektöründe, hem sivil havacılık sektöründe hem de askeri havacılık sektöründe, istenilen karakteristik özelliklere geçiş yapılarak, uçuşun istenilen aşamasında istenilen karakteristik değişiklikleri gerçekleştirerek, gelecekteki gelişmeler ve popüleriteye ulaşmak için çok önemli bir uygulamadır. Gün geçtikçe azalan hammadde ve fosil yakıt pazarının ekonomiye ve çevreye zararları göz önüne alındığında, yolcu, askeri savaş jetleri ve İHA'larda şekil değiştirebilir kanat tasarımlarının kullanılması hammadde ve fosil tüketiminin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Daha az yakıt ve artan uçuş konforu sayesinde hem havacılık sektörüne avantaj sağlayacak hem de farklı teknolojilerin kapısını aralayacaktır.

Bu alanda yaşanan gelişmelerden elde edilecek sonuçlar havacılık sektörünü ileriye taşınmanın yanı sıra hava ve gürültü kirliliklerini azaltarak insan hayatında da kaliteyi artıracak iyileştirmeleri de beraberinde getirecektir. Avrupa Komisyonu ve Avrupa Havacılık Endüstrisi'nin ortakları Clean Sky adlı bir teknoloji girişimi oluşturulmuş ve havacılığın yarattığı çevre ve gürültü kirliliklerini azaltmaya yönelik proje çalışmaları başlatılmıştır. Bu projelerden birçoğunda şekil değiştirebilen kanatlar kontrol yüzeyleri değerlendirilmektedir.

Bunlara ek olarak, şekil değiştirme şeklinin değişme hızı önemlidir. Yavaş değişiklikler, bazı görevler için performansı değiştirmek için yeterli olabilirken, hızlı değişiklikler, uçağın dönüşünü daha verimli hale getirecek şekillerde uçak manevra kabiliyetine katkıda bulunabilmektedir. Şekil değiştirebilir tasarım çalışması disiplin ve süreklilik isteyen bir çalışma gerektirmektedir. Böyle bir çalışmaya başlarken tüm etkiler göz önüne alınarak, gelişme kaydedilmelidir. Şekil değiştirebilir kanatların kullanılması, gelecekte de kullanımı ile şüphesiz büyük avantajlar getirecektir. Üretim tekniklerinin teknoloji ile ilerlemesi ve geçişli kanatların kullanımında en doğru tasarım ile şekil değiştirebilir kanat uygulaması kısa vadede seri üretim olarak yerini alacağı düşünülmektedir. Yeni kanatta test edilen şekil değiştiren yapı, gelecekte belki de tüm uçak bileşenleri için denenecek ve daha gelişmiş bir tasarımla herkes için kullanışlı bir teknolojiye yol açacaktır.

Ancak unutulmamalıdır ki dış yüzey, iç yapı, çalıştırma, kontrol sistemleri vb. içeren şekil değiştirebilir teknolojisinin seçimi, kabiliyeti ve maliyetin nasıl dengeleneceğine bağlı olacaktır. Her şekil değişimine bağlı olarak kanadın aerodinamik kuvvetleri, momentleri, ağırlık merkezi ve eylemsizlik momenti değişeceği için hesaplamalar yapılırken bunlar göz ardı edilmemelidir. Bunun yanı sıra, yeterli yapı mukavemeti, kinematik, çalıştırma sistemi, ağırlık ve tüm alt sistemlerin entegrasyonunun geliştirilmesinde de zorluklar vardır (Acar ve Oktay, 2018) (Ryseck vd., 2019).

Yapılan araştırmalar bize gösteriyor ki, geçiş kanadı üretimi kolay olmamakla birlikte seri üretimde yerini almaya başladıkça, havacılık açısından insanoğlunun ihtiyaçlarının daha üst düzeyde karşılayacaktır.

KAYNAKLAR

Acar E. ve Oktay T. (2018). Havacılık ve Uzay Uygulamalarında Şekil Hafızalı Alaşım, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 335–349.

Falcão L., Gomes A. A., and Suleman A., (2011). Aero-structural design optimization of a morphing wingtip, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 22(10), 1113–1124.

Kaygan E. (2020). Aerodynamic Analysis of Morphing Winglets for Improved Commercial Aircraft Performance, Journal of Aviation, 4(1), 31-44.

Kikuta M. T. (2003). Mechanical Properties of Candidate Materials for Morphing Wings (Master of Science), Virginia Polytech. Institute State University.

Mills J. and Ajaj R. (2017). Flight dynamics and control using folding wingtips: An experimental study, Aerospace, 4(2), 1-24.

Min Z., Kien V.K., and Richard L.J.Y. (2010). Aircraft morphing wing concepts with radical geometry change, The IES Journal Part Civil and Structural Engineering, 3(3), 188–195.

Özgen S., Güçlü S., Şahin M., Yaman Y., Bayram G., Uludağ Y. ve Yılmaz A. (2008). Şekil Değiştiren Uçaklar Havacılıkta Yeni Bir Devrim Yaratabilir mi, Savunma ve Havacılık, 22126, 125-128.

Pendleton E., Lee M. and Wasserman L. (1992). Application of Active Flexible Wing technology to the Agile Falcon, Journal of Aircraft, 29(3), 444–451.

Pendleton E., Flick P., Paul D., Voracek D., Reichenbach E., and Griffin K. (2007). The X-53 a summary of the Active Aeroelastic Wing flight research program, Structural Dynamics and Materials Conference 2.

Perkins D. A., Reed J. L., and Havens E. (2004). Morphing Wing Structures for Loitering Air Vehicles, 45th Structural Dynamics and Materials Conference.

Ryseck P., Yeo D., Hrishikeshavan V., and Chopra I. (2019). Aerodynamic and mechanical design of a morphing winglet for a Quadrotor Biplane Tail-sitter, Autonomous VTOL Technical Meeting and Electric VTOL Symposium.

Şanlısoy A. (2013). Plazma Aktüatörün NACA2415 Model Uçak Kanadı Etrafındaki Akış Kontrolü Üzerine Etkisinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şahin H. ve Oktay T. (2019). Başkalaşan Kanat Ucu Tasarımı ve Avantajları, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 606–610.

Ünlüsoy L., Körpe D.S., Şahin M., Özge S., ve Yaman Y. (2012). Büyük Oranda Şekil Değiştirebilen Kanatların Aerodinamik ve Yapısal Tasarımı, 6. Savunma Teknolojileri Kongresi.

Vale J., Lau F., Suleman A., Gamboa P., and Aleixo P. (2007). Design and Testing of a Morphing Wing for an Experimental UAV, The Applied Vehicle Technology Panel Symposium.

Weisshaar T. A. (2006). Morphing aircraft technology-new shapes for aircraft design, Multifunctional Structures/Integration of Sensors and Antennas.

Yavçin E. ve Kaptı A. O. (2015). Uçma hareketinin biyomekaniğinin incelenmesi ve bir robotik kuş tasarımı çalışması, SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 19(1), 27-40.