EJEAS

European Journal of Engineering and Applied Sciences

ISSN:2651-3412. Volume:7 Number:1

ISSN: 2651-3412

European Journal of Engineering and Applied Sciences
http://dergipark.gov.tr/ejeas
Volume 7 Number 1, June 2024

European Journal of Engineering and Applied Sciences

Volume: 7 Number: 1 June 2024

Eur J Eng Appl Sci

https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejeas
email: ejeas@nku.edu.tr

ISSN: 2651-3412

ISSN: 2651-3412

European Journal of Engineering and Applied Sciences
http://dergipark.gov.tr/ejeas
Volume 7 Number 1, June 2024

Owner

On behalf of Tekirdağ Namık Kemal University,
Dean of Çorlu Fakulty of Engineering,
Prof. Dr. Lokman Hakan TECER

Editor-in-Chief

Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

Vice Editor

Asst. Prof. Dr. Rabia KORKMAZ TAN
Asst. Prof. Dr. Suna Özden ÇELİK
Asst. Prof. Dr. Gülen ÖZKULA

Section Editors

Prof. Dr. Hafız ALİSOY
Prof.Dr. Pelin GÜRKAN ÜNAL
Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE
Prof. Dr. Erdinç UZUN
Assoc. Prof. Dr. Koray ÇİFTÇİ
Assoc. Prof. Dr. Reşat MUTLU
Assoc. Prof. Dr. Kenan ÇINAR
Asst. Prof. Dr. Ulviye POLAT
Prof. Dr. Aylin AKYILDIZ
Asst. Prof. Dr. Rabia KORKMAZ TAN
Asst. Prof. Dr. Suna Özden ÇELİK
Asst. Prof. Dr. Gülen ÖZKULA

Language Editör

Assoc. Prof. Dr. Ufuk ÇETİN	Namik Kemal University	Turkey

Editorial Board

Prof. Dr. Lokman Hakan Tecer	Namik Kemal University	Turkey
Prof. Dr. Gülen İskender	Istanbul Technical University	Turkey
Prof. Dr. Aşkın Demirkol	Sakarya University	Turkey
Prof. Dr. Yılmaz Kılıçaslan	Adnan Menderes University	Turkey
Prof. Dr. Oğuzhan Çiçekoğlu	Boğaziçi University	Turkey
Prof. Dr. Gül Kremer	Iowa State University	USA
Prof. Dr. Nevin Çiğdem Gürsoy	Istanbul Technical University	Turkey
Prof. Dr. Rızvan Erol	Cukurova University	Turkey
Prof. Dr. Gülgün Kayakutlu	Istanbul Technical University	Turkey
Prof. Dr. Emine Çokgör	Istanbul Technical University	Turkey
Asst. Prof. Dr. İsmail Faik Başkaya	Boğaziçi University	Turkey
Assoc. Prof. Dr. Kristina Uzuneanu	"Dunarea de Jos" University of Galati	Romania
Asst. Prof. Dr. Feride Şermin Utku	Yeditepe University	Turkey
Dr. Giusy Lofrano	University of Salerno	Italy

Correspondance Address

T.N.K.Ü. Çorlu Mühendislik Fakültesi Dekanlığı Silahtarağa Mahallesi Üniversite 1. Sokak No:13 59860
Çorlu / Tekirdağ, TURKEY
e-mail: ejeas@nku.edu.tr
Tel: +90 282 2502300
Fax: +90 282 2509924

Front & Back Pages Designed by Abdurrahman Özdemir

ISSN: 2651-3412

European Journal of Engineering and Applied Sciences
http://dergipark.gov.tr/ejeas
Volume 7 Number 1, June 2024

CONTENT

Reviews

7. Gül Kaykıoğlu, Füsun Ekmekyapar **1-5**

Arıtma Çamurlarının Tarımsal Amaçlı Kullanımı:Türkiye'de ve AB Ülkelerinde Yasal Durum

5. Umut Bilen **6-20**

Sürdürülebilir Modanın Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Üzerindeki Rolünün İncelenmesi

Research Articles

3. Betül Taşdelen, Ömer Faruk Güder **21-26**

Kitosan/Hiyaluronik Asit/Jelatin Hidrojellerinin Antikanser İlacında Şişme Davranışı ve İlaç Tutma Kapasitesinin İncelenmesi

4. *Beyza Avcı, Özdemir Berk Varal, İbrahim Dalmış, Serdar Osman Yılmaz* **27-34**

Examination of Surface Hardness and Roughness of AISI 1050 Steel Material in Milling Based on Surface Processing Conditions

5. Faruk Sefi, Emine Gamze Abanozoğlu, Müge Balkaya, Musaffa Ayşen Lav **35-43**

Investigation of the Contribution of First Row Rock Anchors to the Retaining System by Variation of Anchor Bond Length

6. Hazal Gül, Kaya Aysun Sağbaş **44-53**

Müşteri İlişkileri Yönetiminde Büyük Veri ve Robotik Süreç Otomasyonu ile Süreç İyileştirme

European Journal of
Engineering and Applied Sciences

ISSN: 2651-3412 (Print) & 2667-8454 (Online)
Journal homepage: http://dergipark.gov.tr/EJEAS
Published by Çorlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University

European J. Eng. App. Sci. 7(1), 1-5, 2024

Derleme Makalesi

Arıtma Çamurlarının Tarımsal Amaçlı Kullanımı: Türkiye'de ve AB Ülkelerinde Yasal Durum

Gül Kaykıoğlu[1,*], Füsun Ekmekyapar[2]

[1,2] **Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860**
gkaykioglu@nku.edu.tr, fekmekyapar@nku.edu.tr

Geliş:26.11.2023 *Kabul: 21.12.2023* *DOI: 10.55581/ejeas.1396181*

Öz: Dünyadaki hızlı nüfus artışı, doğal kaynakların etkin kullanılabilmesi adına çevre bilincinin artmasına ve dolayısıyla atıksu arıtma tesislerinin sayı ve kapasitelerinin artmasına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak da ikincil bir kirletici olarak ortaya çıkan arıtma çamurlarının bertarafı ve yeniden kullanımı önemli hale gelmektedir. Çamur bertarafı için uzun yıllardan beri çok çeşitli yöntemler denenmiş, önemli çalışmalar yürütülmüştür. Arıtma çamurlarının bitki besin elementleri bakımından zengin olması tarımda kullanma olanaklarının daha fazla irdelenmesine sebep olmuştur. Arıtma çamurlarının tarım alanlarında toprak şartlandırıcı olarak kullanılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli faktörler; çamurun içerisindeki azot, fosfor ve potasyum gibi besin elementleri, potansiyel toksik maddeler, ağır metaller, patojenler ve parazitlerdir. Bunun yanı sıra poliaromatik hidrokarbonlar, antibiyotikler ve mikroplastiklerin de arıtma çamurlarında bulunma potansiyeli endişe uyandırmaktadır. AB ülkelerinde arıtma çamurunun araziye uygulanması yalnızca 86/278/EEC Direktifinde belirtilen ağır metallerin konsantrasyonuna göre düzenlenmektedir. Bu direktifte ağır metal için sınır değerler verilmişken, diğer kirleticiler için sınır değerler bulunmamakta ve tarımda çamur uygulamasının güvenliğinin sağlanmasına ilişkin mevcut ihtiyaçları karşılamamaktadır. Bu çalışmada, arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanılabilmesi için ülkemizdeki mevcut yasal düzenlemeler AB Direktifi, Bulgaristan ve Yunanistan mevzuatları ile karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: *AB Direktifi, ağır metaller, arıtma çamurları, patojenler, tarım, yeniden kullanım.*

Use of Sewage Sludge for Agricultural Purposes: Legal Situation in Turkey and EU Countries

Abstract: Rapid population growth in the world causes environmental awareness to increase in order to use natural resources effectively and therefore the number and capacity of wastewater treatment facilities to increase. Accordingly, the disposal and reuse of sewage sludge, which emerges as a secondary pollutant, becomes important. Various methods have been tried and important studies have been carried out for sludge disposal for many years. The fact that sewage sludge is rich in plant nutrients has led to further examination of its use in agriculture. The most important factors to consider when using sewage sludge as soil conditioner in agricultural areas are; Nutrient elements such as nitrogen, phosphorus and potassium in the sludge are potential toxic substances, heavy metals, pathogens and parasites. In addition, poly aromatic hydrocarbons, antibiotics and microplastics also raise concerns. In EU countries, the application of sewage sludge to land is regulated only according to the concentration of heavy metals specified in Directive 86/278/EEC. While limit values are given for heavy metals in this directive, there are no limit values for other pollutants and they do not meet the current needs for ensuring the safety of sludge application in agriculture. In this study, the current legal regulations in our country for the use of sewage sludge for agricultural purposes were evaluated by comparing them with the EU Directive, Bulgarian and Greek legislation.

Keywords: *EU Directive, heavy metals, sewage sludge, pathogens, agriculture, reuse.*

[*] Sorumlu yazar
E-posta adresi: gkaykioglu@nku.edu.tr (G. Kaykıoğlu)

1. Giriş

Katı atık yönetiminin önemli ve büyük bir bölümünü oluşturan arıtma çamurlarının bertarafı, bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de son yılların önemli çevresel sorunlarından biri haline gelmiştir. Atıksu arıtma tesislerinin çeşitli kademelerinde kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar sonucu oluşan çamurların, alıcı ortamlara deşarjları kanun ve yönetmeliklerle yasaklanmıştır. Bu nedenle uygulanan atıksu arıtma yöntemine bağlı olarak oluşan çamurların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin belirlenmesi ve bunların sürdürülebilir atık yönetimi ve mevzuat hükümleri doğrultusunda bertarafı önemlidir.

Sürdürülebilir atık yönetimi, çevrenin ve insan sağlığının korunması, doğal kaynakların verimli ve etkin kullanılması doğrultusunda gerçekleştirilebilmektedir. Doğal kaynakların verimli kullanılması önemli olduğu gibi bazı atık maddelerin de kaynak olarak kullanılması hem sera gazı emisyonlarının hem de doğal kaynak tüketiminin azaltılması bakımından önemlidir. AB ülkelerinde Metin puntosu kontrol edilmeli. Giriş bölümü 10, bu bölüm ve diğer bölümler 9 punto ile yazılmış. Atık Çerçeve Direktifine [1] göre atık hiyerarşisi: önleme, yeniden kullanım için ön hazırlık, geri dönüşüm, diğer geri kazanım işlemleri ve nihai bertaraf sıralamasına uygun olarak gerçekleştirilmelidir. Buna göre öncelikle çamur üretimini azaltabilecek en iyi arıtma teknolojilerinin kullanılması beklenmektedir. Ancak arıtma çamuru oluşumunu tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bu sebeple evsel/kentsel arıtma çamurlarının organik madde ve enerji geri kazanım olanaklarının araştırılmasına odaklanmak gerekmektedir [2,3]. Arıtma çamurlarına uygulanabilecek nihai bertaraf işlemleri, düzenli depolama, toprak şartlandırıcı olarak kullanım, yakma ve kurutma olmaktadır.

Günümüzde en yaygın uygulanan nihai bertaraf yöntemi depolamadır [4]. Fakat, alan ihtiyacının fazla olması, koku problemleri, nakliye işlemleri, maliyet gibi hususlar sebebiyle, depolamanın uygulanmasında çeşitli problemlerle karşılaşılmaktadır. Kurutma yöntemi arıtma çamurunun yüksek ısıl değere sahip olması durumunda ek yakıt olarak kullanılmasında ve çamurdaki patojenlerin gideriminde etkili olmaktadır. Karbon ayak izinin en yüksek olduğu bertaraf yöntemi olan yakma işlemi, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, ilave yakıt gereksinimi ve baca gazının kontrolü gibi dezavantajlara sahiptir [5]. Özellikle ileri biyolojik arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarında, tesiste gerçekleşen azot ve fosfor giderimine bağlı olarak besi maddeleri yüksek olabilmektedir. Söz konusu tesislerde oluşan arıtma çamurlarının nihai bertarafında arazide bertaraf seçeneğinin kullanılması, stabilize edilen arıtma çamurlarının toprak şartlandırıcı olarak kullanılması en uygun seçenek olarak görünmektedir [6,7].

Arıtma çamurlarının bitkisel üretim için kullanılan toprağa uygulanması, organik madde ve besin maddelerinin, özellikle de azot ve fosforun temini açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca yüksek konsantrasyonlarda Ca ve Mg içermekle birlikte K içeriği düşüktür [6, 8-10]. Organik maddenin artması, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirebilmektedir. Organik madde ve besinlerin yüksek olması, toprak enzimlerinin aktivitesinin yanı sıra toprak mikrobiyal aktivitesini ve toprak mikrobiyal biyokütle büyümesini de arttırmaktadır [6,11]. Topraktaki elementlerin yararlılığını etkileyen faktörler arasında arıtma çamurunun karakterizasyonu, stabilize edilmesi, toprağın pH'ı, organik madde içeriği, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, yetiştirilecek bitki türleri ve çeşitleri gibi hususlar yer almaktadır. Arıtma çamurlarının miktarı ve özellikleri, atıksu karakteristiğine ve uygulanan arıtma tesisi çeşidine ve kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. Organik azot ve inorganik fosfor, arıtma çamurundaki toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) içeriğinin çoğunluğunu oluşturmaktadır [6,8,9]. Arıtma çamurları besi maddelerinden başka ağır metaller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), poliklorlu dibenzo-p-dioksinler ve dibenzo-p-furanlar (PCDD/F'ler), poliklorlu bifeniller (PCB'ler), di (2-etilheksil) ftalat (DEHP), polibromlu difenil eterler (PBDE'ler), deterjan kalıntıları, farmasötikler, kişisel bakım ürünleri, endojen hormonlar, sentetik steroidler gibi maddeler de içermektedir [3,12].

Arıtma çamurunu meydana getiren çeşitli kimyasal maddelerin geniş çaplı etkileri nedeniyle, çamurun arazide uygulanması işlemi için çamurun karakterizasyonunun yapılması gerekmektedir. İşlem görmemiş ham çamurlar, organik madde, besi elementleri, ağır metaller, bakteriler, protozoalar ve virüsler içermektedir [13]. İçerdiği patojenler sebebiyle tarım alanlarına uygulanacak olan arıtma çamurlarının kesinlikle stabilizasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Çamur ve çamurun uygulanacağı toprak yönetmeliklerde belirtilen aralıklarda analiz edilmeli ve toprağın kalitesi kontrol altında tutulmalıdır. Toprak, çamur ve yetiştirilen bitkideki ağır metal içerikleri takip edilmelidir. Ağır metal içerikleri izin verilebilir sınır değerlere yaklaştığında çamur uygulaması kesilmeli zararlı maddelerin besin zincirine ve su kaynaklarına geçmesi engellenmelidir. Arıtma çamurlarının bünyelerinde bulunan ağır metaller bitkiler, hayvanlar ve insanlar için potansiyel toksik riskler oluşturabilmekte olup, toprakta kalıcıdırlar. Yeraltı ve yüzey sularının kirlenmesi sorunlarının yanında, yetiştirilecek bitkilere olabilecek ağır metal geçişi gıda güvenliği açısından üzerinde durulması gereken bir konudur. Son yıllarda yapılan çalışmalarda arıtma çamurlarının içerisinde bulunan ilaç kalıntıları, mikroplastikler vb. maddeler de araştırılmakta ve toprak şartlandırıcı olarak arıtma çamurlarının kullanılması sırasında olası etkileri değerlendirilmektedir [3,12].

AB genelinde arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanımı, üretilen toplam çamur miktarının yaklaşık %30 ila %50'si arasında değişmektedir. Üretilen çamur miktarı 2007 ile 2018 yılları arasında nispeten sabit kalmış olup, üretim genellikle ortalama 7 milyon ila 8 milyon ton arasındadır. Tarımda kullanılan çamur miktarı da 2 milyon ila 3 milyon ton arasında sabit kalmaktadır [14].

Çalışmada AB üyesi komşu ülkelerde ve ülkemizde arıtma çamurlarının tarımda kullanılması sırasında kullanılan sınır değerler karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Yasal Düzenlemeler

AB ülkelerinde arıtma çamurlarının bertarafı 86/278/EEC [15] nolu AB Çamur Direktifi çerçevesine göre gerçekleştirilmektedir. Direktifte toprağa uygulanacak arıtma

çamuru ve uygulanacak toprak için Cu, Hg, Ni, Pb, Cd, Cr ve Zn'nin konsantrasyon sınır değerleri verilmiş olup, bu direktif hükümleri geçerliliğini korumaktadır. Arıtma çamurlarının toprakta kullanılması sonucunda uzun vadede ağır metal konsantrasyonu sınırlandırılmış, toprak ve yetiştirilecek ürünler ile ilgili kısıtlamalara yer verilmiştir. Söz konusu direktifte ham çamurun stabilize edildikten sonra tarımda kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Bazı AB ülkeleri Direktifte belirtilen ağır metallere ilave olarak başka ağır metalleri de mevzuatlarına eklemişler ve uygulamaya koymuşlardır. Bunun dışında PAH, PCB gibi potansiyel toksik maddelere Direktifte yer verilmemiştir. AB komisyonu 86/278/EEC numaralı direktifi gözden geçirerek çamurun tarımsal uygulamalarda kullanımı ve mevcut durumun iyileştirilmesi ile ilgili daha detaylı bir çalışma dokümanı hazırlamıştır. Ancak 86/278/EEC numaralı direktif esas alınarak geliştirilen bu doküman yetki olarak bağlayıcı bir niteliğe sahip olmayıp, yol gösterici özelliktedir. Söz konusu çalışma dokümanında AOX, DEHP, LAS, NP/NPE, PAH, PCB, PCDD/F ve patojen konsantrasyonları ile ilgili sınır değerler de bulunmaktadır. Ülkemizde Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te evsel ve kentsel atıksu arıtımı sırasında oluşan ham ve stabilize arıtma çamurlarının toprak şartlandırıcı olarak kullanım kısıtları ve yasakları yer almaktadır [16].

Tablo 1 Tarımda kullanılan arıtma çamuru ağır metal sınır değerleri (mg/kg kuru çamur)

Ülke	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Cr	As
AB Direktifi [15]	20-40	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000		
Türkiye	10	1000	10	300	750	2500	1000	
Bulgaristan	30	1600	16	350	800	3000	500	25
Yunanistan	20-40	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000		

Tablo 1'de AB Direktiflerinde belirtilen tarımda kullanılacak arıtma çamuru sınır değerleri ve Türkiye, Bulgaristan ve Yunanistan'ın mevzuatlarında geçerli olan sınır değerler verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi, Türkiye ve Bulgaristan için belirlenmiş sınır değerleri 86/278/EEC sayılı Avrupa Direktifi ile karşılaştırıldığında, söz konusu ülkelerin ağır metaller için daha düşük limitler belirledikleri, tarımda çamur kullanımına yönelik daha da katı sınırlar koydukları görülmektedir. Yunanistan, AB Direktifinde belirtilen sınır değerleri aynı şekilde kullanmıştır. Kadmiyum için en düşük sınır değer ülkemizde belirlenmiştir (10 mg/kg kuru madde). Bulgaristan, bakır için sınır değeri 1600 mg/kg kuru madde olarak belirlemişken, ülkemizde bu değer AB Direktiflerindeki en düşük değer olan 1000 mg/kg kuru madde olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde nikel için de Bulgaristan, 350 mg/kg kuru madde belirlerken, ülkemizde bu sınır değer AB Direktiflerindeki en düşük değer olan 300 mg/kg kuru madde olmuştur. Civa, Türkiye'de AB'deki sınır değerin daha da altında olan 10 mg/kg'ı belirlenmişken, Bulgaristan'da AB Direktiflerindeki sınır değer olan 16 mg/kg kuru madde kabul edilmiştir. Kurşun ve çinko için ülkemizde yine emniyetli sınırda kalınmış, sınır değer sırasıyla 750 mg/kg kuru madde ve 2500 mg/kg kuru madde olarak belirlenmişken, Bulgaristan'da bu değerler 800 mg/kg kuru madde ve 3000 mg/kg kuru madde olmuştur. Ayrıca AB direktifine ek olarak Türkiye'de krom için sınır değer 1000 mg/kg kuru madde olarak belirlenmişken Bulgaristan'da bu değer 500 mg/kg kuru madde olmuştur. Bunun yanı sıra Bulgaristan'da arsenik sınır değeri 25 mg/kg kuru madde olarak belirlenmiştir. Görülmektedir ki, Yunanistan AB direktiflerini ağır metal sınır değerleri açısından direkt kabul ederken, Bulgaristan ve Türkiye daha emniyetli tarafta kalarak ya en düşük sınır değerleri ya da daha alt değerleri kabul ederek daha katı bir yaklaşım sergilemiştir.

Tablo 2'de tarımda kullanılacak arıtma çamuru için seçilmiş organik kirleticilere ait 2000 yılında gerçekleştirilen çalışma raporuna göre, Türkiye, Bulgaristan ve Yunanistan mevzuatlarında belirlenmiş sınır değerler verilmiştir. Yunanistan söz konusu organik kirleticiler için sınır değerler belirlememiştir. Ancak ülkemizde çalışma raporunda belirtilen tüm sınır değerler mevzuat kapsamına alınmış ve uygulanmaktadır. Bulgaristan ise yalnızca PAH ve PCB'ler için sınır değerler belirlemiştir (6,5 mg/kg kuru madde ve 1 mg/kg kuru madde).

Tablo 3'te tarımda kullanılacak arıtma çamurlarında bulunabilecek maksimum patojen konsantrasyonlarına ait 2000 yılında hazırlanan çalışma raporu, Türkiye, Bulgaristan ve Yunanistan mevzuatlarında belirlenmiş sınır değerler verilmiştir. Tablo 3'e göre Yunanistan'da herhangi bir sınır değer bulunmadığı, Bulgaristan ve Türkiye'nin stabilize olmuş arıtma çamuru için sınır değerler belirlediği görülmektedir.

AB ülkelerinde arıtma çamurunun araziye uygulanması yalnızca 86/278/EEC Direktifinde belirtilen ağır metallerin konsantrasyonuna göre düzenlenmektedir. Bu direktifte ağır metal için sınır değerler verilmişken, diğer kirleticiler için sınır değerler bulunmamakta ve tarımda çamur uygulamasının güvenliğinin sağlanmasına ilişkin mevcut ihtiyaçları karşılamamaktadır. Direktif, arıtma çamurunun tarımda güvenli bir şekilde kullanımını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Arıtma çamurları antibiyotikler, mikroplastikler gibi diğer kirletici maddeleri de içerebilmektedir. Bu tür kirleticilerin çevre ve organizmalar üzerindeki etkisini değerlendirmek zor olabilmektedir. Bunun için toksisite testleri yapılarak uzun ve kısa vadeli etkilerinin değerlendirilmesi sağlanabilmektedir.

Tablo 2 Arıtma çamurunun tarımda kullanımı için seçilmiş organik kirleticiler için sınır değerleri (in mg/kg çamur kuru madde), (PCDD/F; ng Toksik Eşdeğer. kg^{-1} kuru madde)

Ülke	AOX[1]	DEHP[2]	LAS[3]	NP/NPE[4]	PAH[5]	PCB[6]	PCDD/F[7]
AB Çalışma Raporu [17]	500	100	2600	50	6	0,8	100
Türkiye	500	100	2600	50	6	0,8	100
Bulgaristan	-	-	-	-	6,5	1	-
Yunanistan	-	-	-	-	-	-	-

[1]Adsorblanabilen organik halojenler [2]Diftalat(2-ethylhexyl) [3]Lineer alkilbenzin sülfonat [4]Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir. [5]Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı [6]28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı [7]Poliklorlu dibenzodioksin/dibenzofuranlar

Tablo 3 Tarımda kullanılacak arıtma çamurlarında bulunabilecek maksimum patojen konsantrasyonları

Ülke	Salmonella sp.	Diğer patojenler
AB Çalışma Raporu [17]	50 g çamurda bulunmamalı	Escherichia coli < 500 cfu/g
Türkiye	-	Escherichia coli < 2 log10 (%99)
Bulgaristan	20 g çamurda bulunmamalı	Escherichia coli < 100 MPN/g Clostridium perfringens < 300 MPN/g Helmint yumurta ve larvaları, 1 birim/kg kuru madde
Yunanistan	-	-

3. Sonuç

Tarımsal amaçlar için arıtma çamuru kullanımı konusu oldukça karmaşık olup pek çok risk taşımaktadır. Bu risklerden kaçınmak için ulusal düzenlemelerin yanı sıra Avrupa mevzuatının da geliştirilmesi önemlidir. Kirletici maddelerin yüzey ve yeraltı sularına olası sızıntının önüne geçebilecek ve toprak, bitki, hayvan ve insanlar üzerindeki toksik etkilerin önlenmesini kolaylaştıracak doğru güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir.

Yazar Katkısı

Veri iyileştirme -Yazar Gül KAYKIOĞLU (GK); Biçimsel analiz – Füsun EKMEKYAPAR (FE); Araştırma - GK; Veri toplama - GK; Veri işleme - GK; Literatür taraması - GK; Yazan - GK; İnceleme ve düzenleme - FE

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Gül KAYKIOĞLU'nun "Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Nihai Çamurlarının Tarımsal Amaçla Kullanılabilirliğinin ve Bitki Bünyesindeki Ağır Metal Kapsamındaki Etkilerinin Araştırılması" başlıklı Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi temel alınarak hazırlanmıştır.

Kaynaklar

[1] European Commission /2008/98, Waste Framework Directive (Avrupa Birliği Atık Çerçeve Direktifi).

[2] Grobelak, A., Grosser, A., Kacprzak, M., & Kamizela, T. (2019). Sewage sludge processing and management in small and medium-sized municipal wastewater treatment plant-new technical solution. *Journal of Environmental Management*, 234(15), 90-96.

[3] Seleiman,M., Santanen,F. A., & Mäkelä ,P.S.A. (2020). Recycling sludge on cropland as fertilizer – advantages and risks. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104647.

[4] Hudcová, H., Vymazal, J., & Rozkošný, M. (2019). Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union. *Soil and Water Research*, 14(2), 104-120.

[5] D'Imporzano, G., & Adani, F. (2023). Measuring the environmental impacts of sewage sludge use in agriculture in comparison with the incineration alternative. *Science of The Total Environment*, 905, 167025.

[6] Singh, R.P., & Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, 28(2) 347-358.

[7] Buta, M., Hubeny, J., Zieliński, W., Harnisz, M., & Korzeniewska, E., (2021). Sewage sludge in agriculture – the effects of selected chemical pollutants and emerging genetic resistance determinants on the quality of soil and crops – a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214,

112070.

[8] Samara, E., Matsi, T., & Balidakis, A. (2017). Soil application of sewage sludge stabilized with steelmaking slag and its effect on soil properties and wheat growth. *Waste Management*, 68, 378-387.

[9] Hei, L., Jin, P., Zhu, X., Ye, W., & Yang, Y. (2016) Characteristics of Speciation of Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge of Guangzhou as Fertilizer. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 232-240.

[10] Koutroubas, S.D., Antoniadis, V., Damalas, C. A., & Fotiadis, S. (2020) Sunflower growth and yield response to sewage sludge application under contrasting water availability conditions. *Industrial Crops and Products*, 154, 112670.

[11] Dhanker, R., Chaudhary, S., Goyal, S., & Garg, V.K. (2021) Influence of urban sewage sludge amendment on agricultural soil parameters. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101642.

[12] Hooge, A., Hauggaard-Nielsen, H., Heinze, W.M., Lyngsie, G., Ramos, T.M., Sandgaard, M.H., Vollertsen, J., & Syberg, K. (2023) Fate of microplastics in sewage sludge and in agricultural soils. *Trends in Analytical Chemistry*, 166, 117184.

[13] Zhang, H., Qi, H.-Y., Zhang, Y.-L., Ran, D.-D., Wu, L.-Q., & Wang, H.-F. (2022) Raymond Jianxiong Zeng, Effects of sewage sludge pretreatment methods on its use in agricultural applications. *Journal of Hazardous Materials*, 428, 128213.

[14] European Commission, (22.05.2023): Working Document on Sludge, SWD, 158 final.

[15] European Commission (1986): Council Directive of 12 June 1986 on the Protection of the Environment, and in Particular of the Soil, when Sewage Sludge is Used in Agriculture (86/278/EEC). Council of the European Communities, Official Journal of the European Communities No. L 181/6-12.

[16] Resmi Gazete, (2010). Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, Sayı: 27661.

[17] European Commission (2000): Working Document on Sludge. 3rd Draft. Brussels, 27 April 2000, ENV.E.3/LM.

European Journal of
Engineering and Applied Sciences

ISSN: 2651-3412 (Print) & 2667-8454 (Online)
Journal homepage: http://dergipark.gov.tr/EJEAS
Published by Çorlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University

European J. Eng. App. Sci. 7(1), 6-20, 2024

Derleme Makalesi

Sürdürülebilir Modanın Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Üzerindeki Rolünün İncelenmesi

Umut Bilen[1,*]

[1]Tekstil Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye,59860
ubilen@nku.edu.tr[1]

Geliş: 25.12.2023 *Kabul: 04.01.2024* *DOI: 10.55581/ejeas.1409508*

Öz: Moda endüstrisi dünyada en yüksek oranda istihdam sağlayan endüstrilerden biridir. Diğer yandan, çevreyi en çok kirleten ikinci endüstri olarak adlandırılmaktadır. Endüstrinin en temel özelliği olan hızlı moda, çevre ve sağlıkla ilgili olumsuz etkileri nedeniyle büyüyen bir endişe kaynağıdır. Bu etkileri azaltmak adına sürdürülebilir moda kavramı önem kazanmıştır. Modanın sürdürülebilir olması endüstrinin olumsuz sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerini azaltarak BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SKH'ler) ulaşılmasında itici bir güç haline gelecektir. Bu çalışmada sürdürülebilir moda yaklaşımları ve bu yaklaşımların hangi "Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine" ulaşılmasında ne derece etkili olduğu incelenmiştir. Çok uluslu moda markaları başta olmak üzere, tedarikçilerin ve üretici ülkelerin sürdürülebilir modaya ulaşmak için gerçekleştirdiği uygulamalarına, kazanımlarına ve gelecekteki hedeflerine yer verilmiştir. Ayrıca sürdürülebilir modaya ulaşmadaki zorluklara ve çelişkilere de değinilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Döngüsel moda, Sürdürülebilir kalkınma hedefleri, Sürdürülebilir moda, Sürdürülebilir moda yaklaşımları.*

Investigation of the Role of Sustainable Fashion on Sustainable Development Goals

Abstract: The fashion industry is one of the industries that provides the highest employment rate in the world. On the other hand, it is named as the second most environmentally polluting industry. Fast fashion, which is the most basic feature of the industry, is a growing concern due to its negative effects on the environment and health. In order to reduce these effects, the concept of sustainable fashion has gained importance. Sustainable fashion will become a driving force in achieving the UN Sustainable Development Goals (SDGs) by reducing the negative social, economic and environmental impacts of the industry. In this study, sustainable fashion approaches and the extent to which these approaches are effective in achieving which "Sustainable Development Goals" are examined. The practices, achievements and future goals of multinational fashion brands, suppliers and producer countries to achieve sustainable fashion are included. In addition, the difficulties and paradoxes in achieving sustainable fashion are also mentioned.

Keywords: *Circular fashion, Sustainable development goals, Sustainable fashion, Sustainable fashion approaches.*

1. Giriş

'Moda endüstrisi'; tarım, tasarım, üretim, perakende satış, tanıtım, yıkama, geri dönüşüm ve atık hizmetlerini içeren birçok sektörden oluşan büyük bir endüstridir [1]. Endüstrinin özelliklerinkinden bazıları; sera gazı emisyonları, doğal kaynakların tüketimi, işgücü yoğunluğu, küresel kaynak, enerji yoğunluğu, kısa termin süresi olarak sıralanabilir [2].Günümüzde moda tasarımından satışa kadar olan ağ nerdeyse birkaç haftalık bir süreye inmiştir. Hızla değişen moda, hazır giyim üretiminde büyük bir artışı tetiklemekte ve bu hızla beraber gelişen kullan- at anlayışı yüksek tüketimi getirmektedir. Hızlı moda akımıyla kıyafetlerin hızlı tüketimi çevreye zarar vermektedir [3]. "Fast Fashion" olarak tanımlanan hızlı moda, hızlı üretmenin yanında işçinin emeğinin karşılığını yeterince alamaması, çevreye verilen zarar ve sadece kar odaklı olması nedeniyle de tepki çekmeye başlamıştır. Diğer sektörler gibi moda sektöründeki büyüme

*Sorumlu yazar
E-mail Adresi: ubilen@nku.edu.tr (U.Bilen)

modeli; kirliliğin, tüketim kaynaklarının ve iklim değişikliği maliyetlerinin artmasına neden olmuştur. Bu yüzden modayı sürdürülebilir hale getirme arayışları önem kazanmıştır [4]. Sürdürülebilir moda temel olarak yenilenebilir ve çevre dostu hammaddelerin kullanımı, karbon emisyonunun azaltılması, dayanıklılık ve ürünlerin uzun ömürlü olması gibi sürdürülebilir uygulamalarla ilişkilendirilmektedir [5, 6]. Araştırmalar, tüketicilerin sürdürülebilir modayı çalışma koşulları, ücret eşitliği, işyeri güvenliği ve işçi hakları gibi sosyal unsurlarla da ilişkilendirdiğini göstermektedir [7].

Hızlı modanın çevresel etkilerini kaynağında ele almak ve giderek daha rekabetçi hale gelen bu pazarda bir yer edinmek için bazı üreticiler "eko-modalar" geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) eko-modayı "temel çevresel ölçütlerin iyileştirilmesine katkıda bulunmak ve sürdürülebilir tüketim kalıplarını desteklemek amacıyla bir ürün grubu içindeki ürünün tüm yaşam döngüsüne dayalı olarak genel çevresel performansının tanımlanması" olarak tanımlamıştır. ISO, kriterleri karşılayan giysilerin çevre dostu olarak tanımlanmasına yönelik bir etiketleme sistemi için standartlar geliştirmektedir. Ancak, çevre dostu bir giysiyi neyin oluşturduğuna dair bu tür spesifik standartlar olmasa bile, endüstri giderek artan çeşitlilikte yaklaşımlar benimsemektedir[8].

Günümüzde sürdürülebilir modaya ulaşmak için şirketler ve yönetimler çeşitli ortaklıklarla çalışmalar sürdürmektedir. Dünyanın en büyük alım şirketleri yaptıkları "Modanın Geleceği 2025" forumunda giysinin ömrü boyunca her aşamada maruz kaldığı toplumsal, çevresel ve ekonomik etkileri haritalandırmışlar ve bu etkilerin azaltılması için gerekli yaklaşımları belirlemişlerdir [1]. McKinsey&Business of Fashion (BOF) ortaklığıyla modanın durumunu inceleyen "The State of Fashion 2021" isimli bir rapor hazırlanmıştır ve sürdürülebilirlik için kritik 10 tema ele alınmıştır. Raporda, hazır giyim üretim hacminin yıllık % 2, 7 oranında arttığı ve ürünlerin yeni giysilere geri dönüştürülmesinin % 1'den daha az olduğu ifade edilmektedir [9]. Önde gelen markaları, perakendecileri ve tedarikçilerini temsil eden Textile Exchange, sera gazı emisyonlarını hesaplamakta, sektörün olumsuz çevresel etkilerini en aza indirmek için çalışmakta ve sürdürülebilirliğe bütünsel olarak bakmaktadır [10]. Bazı alanlarda oldukça önemli adımlar atılmışsa da ne yazık ki iklim değişikliği başta olmak üzere birçok soruna henüz yeterince çözüm bulunamamıştır. Bundan dolayı, sürdürülebilir kalkınma belki de son yılların en gözde kavramlarından biri olmuştur. Bu kavramın özünde çevrenin korunmasına öncelik veren bir kalkınma anlayışı ve dünyanın gelecek nesillerimizin bize bir emaneti olduğu gerçeğinden hareketle, kuşaklararası adaletin sağlanması bulunmaktadır [11]. Nitekim 2015 yılında BM nezdinde, dünya liderlerinin bir araya gelerek "Dünyamızı Dönüştürmek: Sürdürülebilir Kalkınma için 2030 Gündemi (Transforming Our World: The 2030 Agenda For Sustainable Devopment)" ile 17 başlıktan oluşan Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin belirlemesi bu konuda atılan en somut adımlardan biri olmuştur [12]. Küresel kriz konularına odaklanan on yedi hedef aşağıda (Şekil 1) gösterildiği gibi; SKH 1 -Yoksulluğa son, SKH 2- Açlığa son, SKH 3-Sağlık ve kaliteli yaşam, SKH 4-Nitelikli eğitim, SKH 5-Toplumsal cinsiyet eşitliği, SKH 6-Temiz su ve sanitasyon, SKH 7-Uygun fiyatlı ve temiz enerji, SKH 8-İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme, SKH 9-Sanayi, yenilikçilik ve altyapı, SKH 10-Eşitsizliklerin azaltılması, SKH 11-Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar, SKH 12-Sorumlu üretim ve tüketim, SKH 13-İklim eylemi, SKH 14-Sudaki yaşam, SKH 15-Karada yaşam, SKH 16-Barış, adalet ve güçlü kurumlar, SKH 17-Amaçlar için ortaklıklar şeklinde sıralanmaktadır. Gündem, 2030 yılına kadar hedeflere ulaşmayı, insanlar ve gezegen için daha fazla barış ve refah kazanmayı amaçlamaktadır.

Şekil 1. *BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri [15].*

Birleşmiş Milletler, moda endüstrisini tüm karbon emisyonlarının %8'ine ve tüm küresel atık suyun %20'sine yol açarak, tüm endüstriler arasında çevreyi en çok kirleten ikinci endüstri olarak adlandırmaktadır. Moda endüstrisi tek başına uluslararası uçuşlar ve deniz taşımacılığının toplamından daha fazla karbon emisyonundan sorumludur ve yılda yaklaşık 93 milyar metreküp su kullanmaktadır [13]. Buna ek olarak, son yıllarda endüstrinin plastiğin okyanuslara girmesine büyük katkı sağladığı tespit edilmiştir; bu durum, çevre ve sağlıkla ilgili olumsuz etkileri nedeniyle büyüyen bir endişe kaynağıdır. Hızlı moda aynı zamanda güvenli olmayan süreçler ve üretimde kullanılan tehlikeli maddeler nedeniyle tehlikeli çalışma koşullarıyla da bağlantılıdır [14]. Bu yüzden modanın sürdürülebilir olması endüstrinin olumsuz sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerini azaltarak BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SKH'ler) ulaşılmasında itici bir güç haline gelecektir.

Literatürde BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile ilişki bazı çalışmalar mevcuttur. Vijeyarasa ve Liu (2022), SKH'lerin birkaçını kumaş ve moda bölümü bağlamında detaylandırmış ve SKH 6, 8 ve 12'yi kullanarak toplumsal cinsiyet açısından adil bir moda sektörü önermiştir [16]. Gardetti ve Muthu (2020), SKA 12 sorumlu üretim ve tüketimin tekstil ve moda endüstrileri için en hayati konu olduğunu belirtmiştir [17]. Yine Radhakrishnan (2020), SKA 12'yi vurgulamakta ve sürdürülebilir bir hazır giyim geleceği için kişiye özel üretime, döngüsel modaya doğru bir zihniyet

[1]Cradle to Cradle sertifikası döngüsel ekonomi için oluşturulmuş daha güvenli ve daha sürdürülebilir ürünler için dünya çapında tanınan bir sertifikadır.
[2]PFC yüksek miktarda sera gazlarına neden olan ve yalnızca karbon ve flordan oluşan insan yapımı kimyasallardır.
[3]Higg Endeksi kıyafet ve ayakkabılarda tedarik zincirinin her aşamasında çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği değerlendirmek için oluşturulan bir öz değerlendirme standardıdır.

değişimine gidilmesi ve tüketicilerin etik ve bilinçli satın alma davranışı için eğitilmesi gerektiğini ön görmektedir [18].

Thakker ve Sun (2023), sürdürülebilir kalkınma hedeflerini sürdürülebilir tekstil ve moda endüstrisi için meşru, uygulanabilir ve rasyonel bir eylem çerçevesi olarak sunmaktadır [11]. Caiado ve ark. (2018), sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin, çok uluslu şirketler dâhil olmak üzere farklı aktörler tarafından kolektif küresel eylem gerektirdiğini ortaya koymuştur [19]. Hempstead 'ın çalışması, moda sektörünün 98 milyon ton yenilenemeyen kaynak kullandığını ve giysilerimizin dünya okyanuslarına 24 trilyon mikroplastik parçacık sızdırarak deniz biyoçeşitliliğinde kaosa neden olduğunu belirtmektedir. Araştırma, SKH 12, 14, 10, 5 ve 17'ye vurgu yapmakta ve dev moda sektörünün sosyal eşitsizlikleri ve toplumsal cinsiyet önyargılarını dinamik bir şekilde azaltma sorumluluğuna ve kabiliyetine sahip olduğunu belirtmektedir. Moda dünyasının tüm paydaşlarla birlikte ortaklık kurarak döngüsel ekonomi değeri yaratması gerektiğini ileri sürmektedir [11].

2. Amaç

Bu çalışmada sürdürülebilir moda yaklaşımları ve bu yaklaşımların hangi BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşılmasında ne derece etkili olduğu incelenmiştir. Çok uluslu moda markaları başta olmak üzere, tedarikçilerin ve üretici ülkelerin sürdürülebilir modaya ulaşmak için gerçekleştirdiği uygulamalarına, kazanımlarına ve gelecekteki hedeflerine yer verilmiştir. Ayrıca sürdürülebilir modaya ulaşmadaki zorluklara ve çelişkilere de değinilmiştir. Sürdürülebilir moda sağlanması için gerekli temel yaklaşımlar 6 ana başlık altında toplanmıştır. Başlıklar sürdürülebilir modanın ilişkilendirildiği unsurlar [5, 6, 7] esas alınarak seçilmiştir. Sürdürülebilir tekstil ve moda üzerine birçok çalışma mevcuttur ancak sürdürülebilirlik hedefleri, uygulamaları, kazanımları ve verileri sürekli gelişmekte ve yenilenmektedir. Bu çalışmada son yıllardaki sürdürülebilir moda uygulamalarına ağırlık verilmiştir.

3. Sürdürülebilir Moda Yaklaşımları ve Bunların Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Üzerindeki Rolü

Tüketici ve üretici için sürdürülebilir modaya ulaşmak adına uygulanması gereken yaklaşımlar aşağıdaki şekildedir:

1.Yeşil ve Temiz üretim; organik ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hammadde kullanımı ve üretim uygulamaları, temiz ve düşük maliyetli enerji kullanımına yönelik faaliyetlerin arttırılması

2.Uzun giysi ömrü; yüksek kaliteli ve zamansız tasarımlar, giysi ömrünün uzatılmasına yönelik önlemler alınması

3.Adil ve etik üretim; ücret ve sosyal sorumluluk politikaların iyileştirilmesi, şeffaflık ve izlenebilir tedarik zinciri sağlanması

4.Döngüsel moda; ileri dönüştürme, ikinci el, vintage ve hot-couture giysilerin kullanımın yaygınlaştırılması, onarımın faaliyetlerinin ve giysi kiralanmasının yaygınlaştırılması

5.Teknoloji ve İnnovasyon arttırılması; yenilikçi hammadde

6.Tüketici Bilinci Oluşturma; sürdürülebilir moda bilinci oluşturmak, sürdürülebilir modaya kolay ulaşmanın sağlanması ve tüketici eğitimlerinin arttırılması

3.1. Yeşil ve Temiz Üretim

Yeşil tekstiller, çevreye zararlı tekstillerin yerini almak ve ekolojik etkiyi en aza indirmek için üretilen kumaşlar veya elyaflardır. Yeşil tekstiller (ya da eko-tekstiller) sürdürülebilir moda ve çevre dostu trendlerin bir parçası olup, ekolojik açıdan en zararlı endüstri olarak kabul edilen geleneksel tekstil endüstrisinin kirlilik yaratan ürünlerine alternatifler sunmaktadır. Yeşil tekstiller, organik veya geri dönüştürülmüş malzemeler, daha az ambalaj ve daha verimli enerji kullanan üretim kullanmak üzere tasarlanmış giysi veya aksesuarları da kapsamaktadır [20, 21]. Geri dönüştürülmüş pamuk, polyester, naylon gibi lifler çevreye en az zararı verirken, çevreye en çok zararı pamuk, yün, viskoz gibi lifler vermektedir [22]. Pamuk doğal bir lif olduğu için tüketiciler tarafından, çevreye karşı sorumlu bir lif olduğuna inanılmaktadır. Oysaki pamuk bitkisinin yetiştirilmesi sırasında su kaynakları tükenmekte ve ağır pestisitler kullanılmaktadır. Pamuklu ürünlerin işlenmesi sırasında ise çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Her ne kadar yün üretiminde pamuk üretiminde olduğu gibi gübre veya herbisit kullanımı uygun şekilde kontrol edilemese de koyunlar tarafından aşırı otlatma nedeniyle toprak erozyonu meydana gelebilmektedir. Yünün işlenmesi, liflerin temizlenmesi ve yağ ve yabancı maddelerin giderilmesi için sabun ve alkali çözeltilerin kullanılmasını gerektirmektedir [23].

Polyester gibi petrol bazlı sentetik liflerin kullanılması liflerin çok uzun çözünebilirlik süresinden dolayı hem doğaya zarar vermekte [24] hem de petrol kaynaklarının tüketme riskini arttırmaktadır [25]. Diğer yandan sentetik liflerden üretilen tekstil ürünlerinin yıkanması çevreye salınan, mikro plastik kirliliğine de neden olmaktadır. Yapılan bir çalışmada sentetik giysilerin yıkanması sırasında ortaya çıkan mikroliflerin miktarının yıkama başına giysi kütlesinin yaklaşık %0,3'ü olduğu belirtilmiştir [26]. Çevreye zararlı olduğu bilinen, polyester ve poliamid dâhil yapay elyaflardan elde edilen kumaşlar sürdürülebilirlik açısından kötü olarak değerlendirilse bile geri dönüşüm ve biyolojik olarak parçalanabilen versiyonlar oluşturarak, çevreye verdikleri zararı azaltacak şekilde üretilebilirler. [27,28]. Örnek olarak, Adidas, 2015 yılından bu yana, işlenmemiş polyester yerine 'Parley Ocean Plastic' kullanan çevre örgütü 'Parley for the Oceans' ile işbirliği yapmaktadır. Adidas, sadece 2022 yılında Parley Ocean Plastic'ten elde edilen plastiğin kullanıldığı yaklaşık 27 milyon çift ayakkabı üretmiştir. Böylece 2023'deki en sürdürülebilir 10 marka arasına girmiştir. Marka, 2024 yılına kadar kullandığı tüm işlenmemiş polyesteri geri dönüştürülmüş polyesterle değiştirmeyi hedeflemektedir [29].

[1]Cradle to Cradle sertifikası döngüsel ekonomi için oluşturulmuş daha güvenli ve daha sürdürülebilir ürünler için dünya çapında tanınan bir sertifikadır.
[2]PFC yüksek miktarda sera gazlarına neden olan ve yalnızca karbon ve flordan oluşan insan yapımı kimyasallardır.
[3]Higg Endeksi kıyafet ve ayakkabılarda tedarik zincirinin her aşamasında çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği değerlendirmek için oluşturulan bir öz değerlendirme standardıdır.

Sürdürülebilir bir yaşam için, SKH 13 iklim değişikliği ve etkileri ile mücadeleyi ve SKH 14 sudaki yaşamı ve deniz kaynaklarını korumayı hedefler [30]. Moda endüstrisi, sağlıklı okyanusların sağladığı çevresel, ekonomik ve sosyal faydaların farkında olmalıdır. Okyanuslara zarar veren bireysel faaliyetler genellikle ulusal sınırların çok ötesinde hissedildiğinden, okyanusların sağlığının sorumluluğu hepimize aittir. Her iki sorunun da ele alınabilmesi için endüstrinin organik, yenilenebilinir ve çevresel etkileri daha düşük olan elyaflara olan odağını artırması gerekmektedir [31]. Önde gelen markaları, perakendecileri ve tedarikçilerini temsil eden Textile Exchange bu elyafların kullanımı hızlandıracak "İklim+" stratejisi yaklaşımı ile 2030 yılına kadar tekstil elyafı ve malzeme üretiminden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının %35-45 oranında azaltılmasını hedeflemektedir [32]. Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden 13. hedef iklim eylemi birincil endişe kaynağıdır [33]. Uzun vadeli küresel hedef, küresel ortalama sıcaklık artışını 1, 5°C'nin altında olacak şekilde sınırlamayı ve 2050 yılına kadar net sıfır karbon emisyonunu amaçlamaktadır. Bu amaca ulaşmak adına 2018 yılında "United Nations Climate Change" desteğiyle "İklim Eylemi için Moda Endüstrisi Şartı (Moda Tüzüğü) "oluşturulmuştur [34].

Giysi hammaddesi olan lifin elde edilme süreçlerinde pestisit kullanımının toprağın bozulmasına ve biyolojik çeşitliliğin kaybolmasına neden olduğu bilinmektedir [21]. Hedef 15, karadaki yaşamın korunmasıyla ilgilidir. Karasal ekosistemleri korumak ve restore etmek, ormanları sürdürülebilir bir şekilde yönetmek, çölleşmeyle mücadele etmek, arazi bozulmasını durdurmak ve tersine çevirmek ve biyolojik çeşitlilik kaybını durdurmaktır. O yüzden, yenilebilir kaynaklardan elde edilen liflerin kullanımı SKH 15' i iyileştirmeye önemli derecede etki edecektir. Öte yandan sentetik liflerin petrol gibi yenilenemeyen kaynaklardan elde edilmesinin, iplik oluşumundan terbiyeye kadar tüm süreçlerde kimyasal kullanılmasının kanserojen ve norölojik etkilere, alerjilere neden olabileceği, doğurganlığı etkileyebileceği düşünülmektedir [21]. Hedef 3'ün temelinde herkesin sağlık hizmetlerine erişimi sağlamak vardır. Bu hedefle, dünya çapındaki ülkeler, sağlık sorunlarını öngörmek ve bunlara karşı koymak için acil ve kararlı adımlar atmaya teşvik edilmektedir [12]. Hedefin içeriğinde salgın hastalıklara daha çok yer veriliş olsa da, yenilebilinir kaynakların kullanılması üretim kaynaklı sağlık sorunlarının oluşmasını azaltarak dolaylı olarak 3 numaralı "Sağlıklı ve Kaliteli Yaşam" hedefine ulaşılmasını destekleyecektir.

Moda dünyasında bu konuya yönelik geçmişteki uygulamalar şu şekildedir. Levi's ve H&M, dönüştürülmüş polyester ve organik pamuk kullanarak, Nike geri dönüştürülmüş plastik şişelerden ürettiği spor giysiler ile tüm dünyada sürdürülebilirlik anlamında önemli bir farkındalık yaratmıştır. Asics'in Hera Bambu bileksiz çoraplarında geri dönüştürülmüş polyester ve bambu lifleri bir arada kullanılmıştır. Puma'nın InCycle sürdürülebilir koleksiyonu, ayakkabı, giyim eşyası, aksesuar ve ev yalıtım malzemeleri içermekte olup, biyolojik olarak parçalanabilir polimerlerden, geri dönüştürülmüş polyesterden veya organik pamuktan üretilmiştir. Lindex firmasının "Recycled" etiketine sahip giysileri, geri dönüştürülmüş malzemelerden üretilmektedir. Esprit, Beachwear Collection 2013'te %82 oranında dönüştürülmüş naylon kullanmıştır. Çevre dostu Esprit giysileri içerisinde %100 geri dönüştürülmüş polyesterden üretilen giysiler de bulunmaktadır. Esprit'in geri dönüşüm koleksiyonları, giysilerde en az %30 oranında geri dönüştürülmüş malzeme kullanıldığını belgeleyen Küresel Geri Dönüşüm Standardı (Global Recycle Standard-GRS) ile sertifikalandırılmıştır [35].

Gündelik giyimde büyük bir perakendeci olan Patagonia, 1993'ten bu yana tüketici sonrası polietilen tereftalattan (PET) yapılmış plastik şişelerden dönüştürülmüş elyaflardan elde edilmiş polar giysiler satmaktadır. Patagonia ayrıca pamuklu tişörtlerini geri dönüştürmektedir ve bu da yoğun su kullanan bir ürün olan pamukta kilogram başına 20.000 litre su tasarrufu sağlamaktadır. Bir diğer yaklaşım ise bitki bazlı malzemelerden üretilen polimerlerin kullanılmasıdır. Bunlardan biri olan ve Cargill tarafından ticari marka haline getirilen Ingeo, fermente edilerek polilaktide dönüştürülen mısır yan ürünlerinden üretilmektedir. Bu polimer, liflere dönüştürülmekte ve sıkı bir denetim altında üretildiğinde kompost haline getirilebilecek kumaşlara dokunmaktadır. Versace, koleksiyonlarında Ingeo kullanan haute couture tasarımcı giyim şirketlerinden biridir [36].

Asics, Toyota Group çatısı altındaki Toyoda Gosei ile iş birliği yaparak geri dönüştürülmüş hava yastıkları ve otomobil direksiyonlarından üretilen sürdürülebilir bir sneaker tasarlamıştır [37]. Petit pili markası büyüyen çocuk giysileri koleksiyonunda geri dönüştürülmüş malzemeler kullandığını ve bu elbiselerin geleneksel elbiselere göre kıyasla 69 kg CO2 azaltımı yarattığını belirtmiştir [38]. Luokk markası büyük beden ürünlerinde özel sertifikalı tarım alanlarında doğal yöntemlerle üretilmiş organik pamuk kullanmaktadır. Organik pamuğun yetiştirilme aşamasında sağlığa zararlı kimyasal tarım araçları yerine kullanılan doğal gübre ve böcek ilaçları sürdürülebilir tarımın artmasına olanak sağlamaktadır [39].

INDİTEX grubunun moda markası Zara, 2019 yılından itibaren giyim koleksiyonunda sürdürülebilir ürünleri için "join life" etiketi altında, geri dönüştürülmüş liflerden elde edilmiş ürünler kullanmaktadır. Marka'nın web sitesinde 2023 yılı itibari ile kullandıkları pamuğun %100 'ünün sürdürülebilir kaynaklardan elde edildiği, 2025 için polyester ve keten tedariğinde %100 sürdürülebilirlik taahhüdü olduğu görülmektedir [40]. Amerika'nın önde gelen moda markası GAP Inc. ise 2022 sürdürülebilirlik raporunda, kullandıkları pamuğunun %81 'inin daha sürdürülebilir kaynaklardan elde edildiğini belirtmiştir [41]. Lenzing Grup'un sürdürülebilirlik hedefleri arasında 2025 yılına kadar ticari ölçekte yüzde 50'ye kadar tüketici sonrası geri dönüştürülmüş içeriğe sahip viskon, modal ve liyosel kesikli elyaf sunmak mevcuttur. Ayrıca Lenzing, iklim hedefleri SKH13 kapsamında, 2017 başlangıç noktasına kıyasla elyaf tonu başına sera gazı emisyonlarını %50 oranında azaltmayı taahhüt etmiştir [42].

Dünyada birinci sıradaki hazır giyim ihracatçısı Çin'de [43] moda endüstrisinin yeşil dönüşümünü ve düşük karbonlu gelişimini ortaklaşa teşvik etmek için, 2019 yılında Çin Yeşil Karbon Vakfı (CGCF) altında moda iklim yeniliği için hayır kurumlarının finansmanı ile özel bir fon kurulmuştur. Fon, Ulusal Tekstil Ürün Geliştirme Merkezi tarafından başlatılmış

ve Chenfeng Group, Lenzing Group, Tytex, K-Boxing ve Sateri şirketleri bağış yapan ilk işletmeler olmuştur. Fon, yeşil kamu refahı, yeşil finans, yeşil güçlendirme vb. yoluyla "Moda Endüstrisi İklim İnovasyonu 2030 Eylemi "ni desteklemeyi taahhüt etmektedir[44].

3.2. Uzun Giysi Ömrü

Sürdürülebilir moda amaçlarından biri de uzun süre giyilebilen, yüksek kaliteli ürünler üretmektir [1]. Ucuz ve kaliteli malzeme karşılaştıran bazı çalışmalarda; fiyat ve kaliteleri, sürdürülemez tüketim, küresel ekonomi, tekstil tüketici modeli ve dayanıklı kumaşların çevresel etkileri gibi konular ele alınmıştır [45, 46]. Bu çalışmalar, bir tekstilin genel yaşam döngüsünün kalitesizlik ve hızlı değişim nedeniyle daha da kısaldığını ortaya koymuştur. Modadaki trendlerin hızla değişmesi ve en yeni modeli satın alma dürtüsü birçok ürünün ömrünün kısa olmasına ve çöpe atılmasına neden olmaktadır. Giysilerin %73'ünün çöplüklere atıldığı ve %1'den azının yeni giysilere dönüştürüldüğü göz önüne alındığında, giysilerin çöpe atılmasının hem yeri doldurulamaz kaynaklar açısından hem de ekonomi açısından önemli maliyetleri vardır. Birleşik Krallık ‘ta her yıl 140 milyon £ değerinde giysinin çöplüklere gönderildiği tahmin edilmektedir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş elyafların önemli bir kısmı çöpe atılmaktadır. Bunlar, yalıtım malzemeleri, endüstriyel mendiller ve dolgu malzemeleri olarak sınıflandırılsalar da, hâlâ toplam atılan malzemenin %12'sini geri dönüştürülmüş elyaflar oluşmaktadır [47]. Birçok giysinin kullanım ömrü gereğinden kısa sürmektedir. Endişe; hızlı modanın hızlı çöp depolamaya yol açmasıdır [48].

SKH 12 sorumlu üretim ve tüketim hedefine ulaşılabilmesi için hem kullanım sonucu atıkların, hem de üretim sonucu atıkların azaltılması gerekmektir. Ekosistemlerdeki giyim atıklarına yönelik giderek artan düzenlemeler, birçok kaynak sağlayan ülkede üretim tesislerinin kapanmasıyla sonuçlanmıştır. Hem Çin hem de Hindistan çevresel düzenlemeleri hızlandırmış ve bir dizi endüstri sertifikası ve kimyasal yönetim çerçevesini giderek daha yaygın hale getirmeye başlamışlardır [31]

Dünya iklim değişikliği, kirlilik ve biyolojik çeşitlilik kaybından oluşan üçlü bir krizle karşı karşıyadır. Hedef 15'e ulaşmak için insanlığın doğayla olan ilişkisini değiştirmemiz ve doğanın dünyadaki yaşamımızın kökü olduğunun farkına varmamız gerekmektedir [12]. Atıkların azaltılması hem su altı yaşamının ve hem de karadaki yaşamın iyileşmesine (SKH 14 ve SKH 15 hedeflerine) büyük oranda katkı sağlayacaktır. Kullanılmış giysi atıklarının azaltılmasının temelinde giysinin uzun süre kullanılması vardır. Buna ulaşmak için gerekli yaklaşımlardan biri yüksek kaliteli ve zamansız tasarımlar diğeri ise giysilerin daha az eskimesini sağlayacak önlemlerin alınmasıdır [1].

"Bir ürünün çevresel etkisinin %80'inden fazlasının tasarım aşamasında belirlendiği” [49] sıklıkla dile getirilmektedir. Bu da sorunu çözmek için sürdürülebilir tasarımın ön plana çıkarılması gerektiği anlamına gelmektedir. Malzeme seçimi, giyim ömrü boyunca çevresel etkileri etkileyebilir ve bu nedenle marka tasarımcıları sürdürülebilir tasarımı uygularken sadece modanın nasıl üretildiğini değil, nasıl tüketildiğini de hesaba katan daha bütünsel bir perspektife ihtiyaç duymalıdır. Sonuçta, düşük kaliteli ya da yetersiz şekilde tasarlanmış giysilerin yalnızca birkaç kez giyilmesi durumunda, sürdürülebilir malzemelerin etkisi sınırlı olacaktır ve çevreye zarar verecektir. Malzemenin çok hızlı eskimemesi için malzemenin eskime sürecini değerlendirmek önemlidir. Buna ek olarak, tasarım yaparken yıkamada kullanılacak su ve enerji kullanımı, giysi bakımının çevresel etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Gereksiz paketlemeden kaçınılmalıdır. Kullan at şeklindeki ucuz bir paketleme ozon tabakasına zarar verebilir. Birçok faydalı ürün kullanımı bittikten sonra zararlı hale dönüşebilir. Ürünün yaşam döngüsünün de tasarlanması gerekir. Doğal malzeme sentetiklere göre her zaman daha iyi bir çözüm olmayabilir. Tasarımcı tasarıma getirdiği çözümlerle ürünün yaşamını uzatabilmelidir. [50, 51, 52]. Bu konuda, H&M markasının uygulaması dikkat çekicidir. Marka, ürünlerden kaynaklanan ayak izinin tasarım aşamasında belirlendiği yaklaşımı ile ürün geliştirmenin erken aşamalarında farklı kumaşların döngüsel potansiyelinin anlaşılmasını ve karşılaştırılmasını sağlamak için “Circulator” adı altında bir araç geliştirmiştir. Circulator ürünün amacına bağlı olarak ürün için hangi malzemelerin, bileşenlerin ve tasarım stratejilerinin en uygun olduğu konusunda karar vermede yönlendirici bir araçtır [53]. Hollanda’da yapılan bir çalışmaya göre bir giysi ortalama olarak 3 yıl ile 5 ay arası gardıropta beklemektedir. Bu süre içinde kullanıcı giysiyi 44 defa giymekte, yıkama aralığı 2, 4- 3, 1 gün olmaktadır. Sıkça yıkanan giysiler en yüksek çevresel etkiye sahiptirler. Hem tasarımcı hem tüketici, amaç ve kullanım açısından en uygun tekstil malzemelerini ve renklerini optimize ederek, , tekstil ürününün kullanım ömrü boyunca yıkama sayısını en aza indirmiş olmalıdır [54].

Litvanya’da yapılan çalışmada, yavaş moda tasarımcılarının uyguladığı teorik ve pratik yavaş moda ilkeleri kullanılarak; temelinde doğal malzeme ve yerel üretici kullanımı, minimum kumaş israfı, tek beden giysi felsefesi yatan; “Just Share” koleksiyonu oluşturulmuştur. Orijinal model yapıları “sıfır atık” ilkesine dayanmaktadır [55]. Benzer şekilde, Polonyalı marka Blessus modüler bir yaklaşımla giysileri tasarlamış, birden fazla kıyafete dönüştürülebilen giysiler oluşturmak için paneller ve fermuarlar kullanmıştır. Böylece ürünün çok yönlülüğü ve ömrü arttırılmıştır [52].

Son yıllarda yenilikçi tasarımlardan biri de uzun süreli kullanım amacıyla Petit pli markası tarafından çocuklar için üretilmiş yedi bedene kadar büyüyen giysilerdir. Pantolon gibi ürünlerde kendi geliştirdikleri teknoloji ile boyuna pli, üst giyimde ise enine pli yaparak giysilerin bedenlerinin büyümesi sağlanmaktadır. Ayrıca bu giysiler geri dönüştürülmüş malzemelerden üretilmiştir ve uzun ömürlüdür [56]. H&M yeni doğan bebekler için “Cradle to Cradle Gold[1]” sertifikası alan bir koleksiyon çıkarmıştır. Koleksiyondaki giysiler ve aksesuarlar, büyüyebilmeye ayarlanabilir özellikleriyle uzun ömürlü olacak şekilde tasarlanmıştır [53]. Denim devi Levi's, zamana karşı dayanıklı ikonik ürünler yaratmasıyla tanınmaktadır. Marka, giyim endüstrisinin önemli etkilerini ele almak için stratejik tasarımlara ve ortaklıklara öncelik vermektedir. Şirket ayrıca, küresel ölçekte değişime ilham vermek için müşterilerini karşılıklı diyalog kurmaya teşvik etmektedir [57].

Sürdürülebilir moda için önerilen bir uygulama da el örgüsünün kullanımıdır. El örgüsü tamamen modaya uygun örme giysi üretimi için sıfır atık üreten, sıfır karbon salan, düşük maliyetli istihdam yaratan bir prosestir. Ayrıca, 3D örgü yeniliği ile dikişsiz trikolar kullanılması; israfın daha da azaltılmasında, nakliye emisyonlarının azaltılmasında ve ekonomik ve sürdürülebilir moda üretmek için örme sonrası operasyonların ortadan kaldırılmasında etkili bir rol oynamaktadır [58]. Sonuç olarak, sürdürülebilir tasarım uygulamalarının arttırılması, tekstil emisyonları ve atıklarından kaynaklanan karbon ayak izinin azaltılmasını ve dolayı ile SKH13 iklim eylemi hedefine daha hızlı bir şekilde ulaşılmasını sağlayacaktır.

3.3. Adil ve Etik Üretim

Sürdürülebilir modaya ulaşmak için en önemli yaklaşımlardan biri adil ve etik üretimdir. Şirketler sürdürebilirlik ve etik davranışların modaya girdiğini farkına varmışlardır. Çünkü ekonomik ve trendlere uyumlu modeller genelde yüksek oranda karlılık sağlasa da, etik sorunları da beraberinde getirmektedir [59]. Araştırmalar, tüketicilerin sürdürülebilir modayı çalışma koşulları, ücret eşitliği, işyeri güvenliği ve işçi hakları gibi sosyal unsurlarla da ilişkilendirdiğini göstermektedir [60]. Etik moda, moda endüstrisindeki tüketici eğitiminin bir sonucudur. 1980'lerde başlayan, şeffaflık ve etikliğin daha net olmasını amaçlayan bir akımdır[61]. Etik moda, genellikle adil çalışma koşulları ile ilişkilendirilir ancak endüstrinin durumunu açık bir şekilde gösteren sertifikalar ve izlenebilirlik sağlanması [62] da etik moda ile yakından ilişkilidir. Hızlı modaya yönelik değişen tutumları incelemek amacıyla Z kuşağı üzerinde yapılan bir araştırma sonuçlarından biri; kuşak üyelerinin, adil çalışma koşullarına ait bilgilerin daha net olması halinde, perakendecilere yönelik tutumlarını değiştireceğini ve dolayısıyla bunun satın alma davranışlarını etkileyeceğini göstermiştir [63].

Tedarik zincirinde şeffaflık ve izlenebilirlik, sürdürülebilir bir moda işi yürütmenin temel değerlerinden biridir [64]. Ancak, Purker ‘ın 2022 ‘deki “Sürdürülebilirlik Efsaneleri” başlığı altındaki yazısı; standart bir dil veya düzenlenmiş çerçeveler olmadığından, şirketlerin gerçekte ne yaptıklarını deşifre etmelerin son derece zor olduğunu, çoğu kurumsal sosyal sorumluluk raporu moda markalarının karbon emisyon profilini tam olarak ölçmediğini ve bunun dış taraflarca denetlenmediğini belirtmektedir [65]. Benzer şekilde Uluslararası Pamuk Danışma Komitesi’nin 2023 ‘de yayınladığı raporda BoF-The Business of Fashion (Sürdürülebilirlik İndeksi) analiz edilmiş ve indeksin markalardan alınan bilgiler doğrultulusunda hazırlandığı için tam olarak gerçekleri yansıtmadığı iddia edilmiştir. Mevcut sistemin gerçek sürdürülebilirliği değerlendirmede yetersiz kaldığı be bunun da tüketim ve yatırım kararlarını yanlış yönlendirilebileceği vurgulanmıştır [66].

Literatürde sürdürülebilirliği şirket misyonlarına dâhil etmeye yönelik kurumsal girişimleri özel olarak takip eden çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Egels-Zanden'in tamamen sürdürülebilir bir şirket yaratmanın düşüşleri ve zaferleri üzerine yaptığı çalışma, "dünyanın en şeffaf şirketi" olan İsveç merkezli Nudie Jeans Co.'nun iç işleyişi için ~~bir~~ çerçeve sağlayan bir çalışmadır. Şirket, yavaş üretimin yanı sıra "tam şeffaflığı" da zorunlu kılan kurumsal bir ideal yaratarak, sosyal sürdürülebilirliği küresel değer zincirlerinde stratejiye entegre etme nihai hedefini benimsemiştir. Nudie Jeans Co. yalnızca kabul edilebilir çalışma koşullarına sahip demokratik ülkelerden tedarik yaparak, şirket içindeki ve dışındaki tüm üretim uygulamalarını tüketicilere açıklayarak ve tamamen şeffaf pazarlama uygulamalarına dayalı bir kurumsal kültürü teşvik ederek işçi haklarını ele almaktadır [67].

Şeffaflık uygulamaları üzerine İsveç’li moda markası ASKET’in son yıllardaki uygulaması oldukça dikkat çekicidir. ASKET, müşterilerine satın aldıkları her giysinin çevresel maliyetinin ayrıntılı bir şekilde gösteren, “Impact Receipts” isimli bir dökümü giysiye eklemiştir. Bu dökümlerle modada modern tüketim alışkanlıklarını değiştirmeye yönelik önemli bir adım atmıştır. Bilinçsiz giyim alışverişinin gezegene verdiği zarara dikkat çeken marka, kendi müşterilerine “Impact Receipts” ile satın aldıkları her giysinin üretimiyle ilgili CO2 emisyonlarına, su kullanımı ve enerji tüketimi gibi kritik faktörlere ışık tutmaktadır. Dökümler, çiftçilikle başlayan ilk aşamalarından iplik eğirme, dokuma, boyama, inşaat ve nakliye aşamalarına kadar giysi üretiminin her yönünü dikkate alarak giysinin gezegene olan maliyetini müşteriye sunmaktadır. ASKET, gittikçe yaygınlaşan karbon etiketlerinden çok daha şeffaf ve cesur bir hamle yapıp, tüketicilerin moda alışveriş alışkanlıklarını değiştirmenin ilk adımı olacağını ve basit alışverişten anlamlı seçimlere geçişi teşvik edeceğini umduğunu belirtmiştir. Şeffaflığı daha da artırmak için şirket, her bir satın alımın ekolojik etkisini her bir ürünün satış sayfasında sunarak alışveriş alışkanlıkları ile bunun etkileri arasındaki kopukluğu gidermeyi amaçlanmıştır [68]. Benzer şekilde; Love Change ve Dubai merkezli etik moda markası Palem ürünleri, müşterinin tedarik zincirini taramasına ve görüntülemesine olanak tanıyan benzersiz QR kodlarıyla birlikte gelmektedir [69].

Reformation markası, yenilikçi RefScale programı sayesinde ürünlerinin karbon ve su ayak izini titizlikle takip ederek, üretimin etkisinin hesaplamasını sağlamaktadır. Bu daha sonra bir rapor haline getirilmekte ve markanın şeffaf kalmasını sağlamak için üç ayda bir tüketicilere gönderilmektedir. Ten tree de, şeffaflığı ilke haline getirmiş sürdürülebilir bir moda markasıdır. Sürdürülebilir pamuk tedarik etmek için Endonezya'daki ormanları restore etme yolculuklarını aktif olarak paylaşmaktadır. Açık yaklaşımı sayesinde, daha sağlıklı bir dünya yaratma misyonlarına katılmaları için başkalarına ilham vermeyi amaçlamaktadır[57].

Görüldüğü üzere şeffaflık ve izlenebilirlik SKH 12 sorumlu üretim ve tüketimi desteklemektedir. Gerçekte ne olduğunu tüketiciye göstererek, bilinçsiz tüketimden kaynaklı çevresel etkilerin azalmasını sağlamaktadır. Bunun yanında şeffaflık ve izlenebilirlik, belirlenmiş SKH’ lere ulaşmadaki gerçekliğin tespit edilmesine hizmet etmektedir. Örneğin, CO2 emisyonlarına, su kullanımı ve enerji tüketimi gibi kritik faktörlere ışık tutarak, özellikle SKH-13 iklim hedefine ulaşmadaki durumun doğru değerlendirilmesini ve doğru aksiyonların alınmasını sağlayacaktır. Ayrıca bu şeffaf yaklaşımlar, tüm SKH’nin temelinde yatan daha yaşanılır bir dünya yaratma amacının yayılmasına ve başka üreticiler tarafından benimsenmesine de yardımcı olacaktır.

Adil ve etik bir üretim için sosyal açıdan sürdürülebilirlik normlarına uymak bir gerekliliktir. Sosyal sürdürülebilirlik, toplumun bütünlüğünün ve ortak hedeflere yönelik çalışma yeteneğinin korunmasını gerektirir. Kişilerin sağlık ve esenlik, beslenme, barınma, eğitim ve kültürel ifade gibi bireysel ihtiyaçları karşılamalıdır [70]. SKH 8 ekonomik büyüme ve insana yakışır iş için, fabrika çalışanlarına ergonomi, ücretler, temiz su ve gıda dâhil olmak üzere iyi çalışma koşulları sağlanması gibi adil ticaret uygulamalarının takip edilmesini önermektedir [31]. Fair Labour Association, Fair Wear Foundation ve Cradle-to-Cradle gibi sosyal sertifikasyon sistemleri bunun için akreditasyon sağlamaktadır [71]. Ülkemizde de uluslararası anlaşmalara dayanan ve üzerinde uzlaşılmış "Sosyal Sorumluluk Denetiminde Kalite Kontrol Ve Sosyal Sorumluluk Denetimi" SA 8000 standartı mevcuttur. Bu standart; çocuk işçi çalıştırmama, zorla çalıştırma politika ve prosedürü olması, çalışma saatlerinin yasal süreler içinde olması, sendika oluşturma ve toplu pazarlık hakkı, maaşların ödenmesi, sağlık ve güvenlik, ayrımcılık ve disiplin uygulamaları ve çevre başta olmak üzere çeşitli denetim konularını içermektedir [72].

SKH 10, iş sağlığı ve güvenliği yasalarını ve tekstil işçilerinin insan haklarını uygulayarak ve izleyerek, özellikle Afrika, Hindistan ve diğer gelişmekte olan ülkeler arasındaki eşitsizliklerin azaltılmasını güçlendirmektedir [73]. Moda markalarının hazır giyim üretimi için kullandığı Bangladeş, Vietnam, Hindistan, Çin gibi ülkelerdeki fabrikalarda işçi ücretleri çok düşüktür [74]. Özellikle 2023 'de yayınlanan haberde, dev moda markları Bangladeş'teki adil olmayan ücret politikaları ile gündeme gelmektedir [75].

Çin dünyanın en büyük tekstil ve giyim ihracatçısıdır. 2020 yılında 142 milyon dolarla ve % 31. 6 lık pay ile toplam dünya ihracatında binci sıraya yerleşmiştir. Amerika ise bu ülkeden hazır giyim ithalatında birinci sıradadır [76]. Dev moda markalarına yüksek oranda üretim yapan Çin uzun yıllar boyunca düşük işçi ücretleri, uzun mesai ve uygunsuz çalışma koşulları ile gündeme gelmiştir. Ayakkabı üreticisi Nike International, Çin ve Güneydoğu Asya'daki üretim tesislerinde 1991' den buyana çalışma hakları ihlalleri ile ilgili bir dizi rapor yayınlanmıştır [77]. Uluslararası Pamuk Danışma Komitesi'nin Mart 2023 'de yayınlanan, Dünyanın sürdürebilirlik açısından durumunun değerlendirildiği raporda; merkezi Çin'de olan ve hızlı moda markalarının ilk sıralarında yer alan Shein markasının işçilere yeterli geçim ücreti ödemediği belirtilmektedir. Hızlı modaya teşviki ve yetersiz ücret politikaları nedeniyle gerçekte sürdürülebilir bir moda yaratamayacağı vurgulanmaktadır [66].

Birleşmiş millerin SKH 1 "Yoksulluğu Bitirme" hedefine ulaşmak için, moda endüstrisi tüm çalışanlarına adil ve eşit ücretler ödeyerek ve tedarik zincirinde hiç kimsenin yoksulluk sınırının altında yaşamamasını sağlayarak, faaliyet gösterdiği toplulukların ekonomik geçim kaynaklarının iyileştirilmesinde aktif bir rol oynamalıdır [31]. Yeterli ücret politikaları sadece SKH 1'i değil, dolaylı olarak SKH 2 "Sıfır Açlık", SKH3 "İyi Sağlık ve Esenlik" hedeflerini de destekleyecektir. Diğer yandan hazır giyim markalarının üretim yerlerinde, iş sağlığı ve güvenliği yasalarının ve insan haklarının uygulanması ve bunun doğru bir şekilde izlenmesi yani "Sosyal Sorumluluk" standartlarına uyulması, SKH 8 ve 10 hedeflerine ulaşmak için büyük bir katkı sağlayacaktır.

Moda endüstrisinde kadın işçilere yönelik olumsuz uygulamalarla ilgili örnekler zaman zaman gündeme gelmektedir. 2018 yılında "The Guardian'da yayınlanmış makalede; "H&M ve GAP Inc.'in hızlı moda tedarik zinciri modelinin, makul olmayan üretim hedefleri ve düşük teklifli sözleşmeler yaratarak kadınların düşük ücretli fazla mesai yapmasına ve aşırı baskı altında çok hızlı çalışmasına neden olmaktadır" şeklinde açıklama mevcuttur [78]. SKH 5, cinsiyet eşitliğini sağlamayı ve tüm kadınları ve kız çocuklarını güçlendirmeyi önermektedir [79]. Bu hedefe ulaşmak için moda endüstrisinin sürdürülebilirlik gerekliliklerinden biri olan adillik ve etikliğe gösterdiği önemi arttırması ve bunu sürdürülebilirlik stratejilerinin bir parçası haline getirmesi gerekmektedir. Bahsi geçen marka GAP Inc. 2022 sürdürülebilirlik raporunda stratejik fabrikaların %18'i nin yönetici düzeyinde cinsiyet eşitliğini sağladığını, 2025 yılında bu rakamın %100 'e ulaşacağını belirtmiştir Rapordaki 2025 hedeflerinde, çalıştıkları fabrikaların %100' ünde cinsiyete dayalı şiddete yönelik önleme ve müdahale yönetim sistemlerinin ve eğitimlerin olacağı da vurgulanmaktadır[80].

Çin moda endüstrisi hakkında süregelen olumsuz söylemlere rağmen, devletin SKH 5 adına paydaşlarla birlikte birçok atılım gerçekleştirildiği görülmektedir. Çin tekstil ve hazır giyim endüstrisinin 2019-2020 yılları için hazırlamış olduğu sosyal sürdürülebilirlik raporunda göze çarpan bazı projeler şu şekildedir. Ağustos 2019'da Çin Ulusal Tekstil ve Hazır Giyim Konseyi Sosyal Sorumluluk Ofisi "Aile Dostu Fabrika" kavramını ortaya atarak, sektörü tekstil işletmelerinde kadın işçi sayısının attırılmasına ve kadın çalışanların görüşlerine yer verilmesine, daha insan odaklı yönetim sitemi ve kurum kültürü oluşturulmasına davet etmiştir. Ayrıca, işletmelerin aile içi şiddetle mücadele kampanyasının desteklenmesi adına, birçok eyalette 60 tan fazla işletmenin katılımı ile eğitimler verilmiştir. Denizaşırı işletmelerdeki kadın çalışanların istihdam, eşit işe eşit ücret ve işyeri güvenliği konularında karşılaştıkları zorlukları ele almak üzere proje yürütülmüştür. Toplumsal cinsiyetle ilgili konuların benimsenmesi üzerine Kamboçya ve Vietnam'da 17 Çin sermayeli işletmenin üst düzey yöneticilerine yönelik eğitimler verilmiştir. Sosyal Sorumluluk Ofisi, "Kadın Liderliği ve Humen Marka Sorumluluğu" temalı yenilikçi bir sosyal sorumluluk tanıtım kampanyası başlatmış ve kamuoyunu tabandaki kadın çalışanların güçlendirilmesi, kadın yöneticiler ve kadın liderliği gibi konulara dikkat etmeye çağırmıştır [44].

Lenzing Grup'un sürdürülebilirlik hedefleri [81] bu konudaki en iyi örneklerden biridir. İnsanı Güçlendirme başlıklı hedefleri SKH 5, 8 ve 10 'u destekleyici niteliktedir. Lenzing içinde ve dışında eşitliği, çeşitliliği ve katılımı teşvik etmek olan özel bir sosyal sürdürülebilirlik ekibine sahiptir. Personel çeşitliliğine yönelik eğitimler ve "Women@ Lenzing" adında bir çalışan grubunun kurulması gibi çeşitli uygulamalar mevcuttur.

3.4. Döngüsel Moda

Sürdürülebilir modayla tüketim hızının yavaşlatılması, ürünlerin yaşam döngülerinin 'beşikten mezara' değil de

‘beşikten beşiğe’ olacak şekilde düzenlenmesini hedeflenmektedir [82]. Bu yaklaşım; ürün kullanım ömrünü doldurduğunda tüketicinin ve üretilen hafif kusurlu ürünleri için markanın, en doğru atık yönetimi ile ürünleri doğaya atmak yerine üretim döngüsüne geri kazandırmasını kapsamaktadır. Böylece ürün yaşamı boyunca toksik bir unsura dönüşmeden, iklimi ve çevreyi olumsuz etkilemeden yeniden ekonomiye girebileceği bir döngüyle beşikten-beşiğe bir sisteme dâhil olmaktadır [83]. İleriye dönüştürme, onarım, kiralama, ikinci el ve vintage kullanımı uygulamaları, ürünlerin yaşam döngüsünde ‘beşikten beşiğe’ kullanımına uygun döngüsel moda örnekleridir.

Gardetti ve Muthu (2020) ‘ye göre 12 numaralı sorumlu üretim ve tüketim hedefi tekstil ve moda endüstrileri için en hayati konudur [17]. Hazır giyim sektöründen Dutch Awearness, Excess Materials Exchange, Rapanui, Stylelend ve Tejidos Royo gibi vaka çalışmaları, SKH 12'ye ulaşmak için kaynakların, finansmanın ve iş potansiyellerinin yeniden düzenlenmesini önermektedir [11]. Yine Radhakrishnan, SKA 12'yi desteklemekte ve sürdürülebilir bir giyim geleceği için kişiye özel üretime ve döngüsel modaya doğru bir anlayış değişikliğine gidilmesini önermektedir [18]. Hazır giyim sektöründe sürdürülebilirlik için döngüsel ekonominin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır [84]. Ellen MacArthur Foundation tarafından hazırlanan “Yeni Bir Tekstil Ekonomisi: Modanın Geleceğini Yeniden Tasarlamak “raporu döngüsel ekonomi ilkelerine dayanan bir vizyonun ana hatlarını çizmekte ve hedefler ile eylemleri ortaya koymaktadır [85].

Döngüsel ekonomi kavramının ilk ortaya çıktığı dönemde, geri dönüşüm (recycling) döngüsel ekonomi yaklaşımında anahtar unsur olarak değerlendirilmekteyken, günümüzde ekonomik döngüsellik “10R” stratejisiyle ifade edilmektedir. Bu kapsamlı “10R” strateji seti döngüsellik seviyelerine göre; Reddet (Refuse), Yeniden düşün (Rethink), Azalt (Reduce), Yeniden kullan (Re-use), Tamir et (Repair), Yenile (Refurbish), Yeniden üret (Remanufacture), Başka amaçla kullan (Repurpose) ,Geri dönüştür (Recyle) ve Geri kazan (Recover) şeklinde sıralanmaktadır [86]. Geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımının önemine ve uygulamalarına 1 numaralı başlık altında yer verilmiştir.

“Reduce” üretim ve tüketim süreçlerinde ortaya çıkan atıkların ve kirleticilerin azaltılmasını ifade etmektedir [87]. Modada “Re-use”, kiralamak veya ödünç almak yöntemi ile ürünün tekrar kullanılmasını sağlamaktır. Böylece atık oluşumu geciktirilebilinir [89]. “ Repurpose” ise eskimiş ürünün parçalarının çıkarılıp başka bir amaçla kullanılmasıdır. “Upcycling” (ileri dönüşüm) atılmış ve kullanılmış giysilere değer katarak değiştirilmesi, yeniden tasarlanarak yenilenmesi ve yeniden yapılması yoluyla giyilebilir giysilerin elde edilmesidir. Sonuç olarak, katma değerli ürün sadece sürdürülebilir olmakla kalmamakta, aynı zamanda atık malzemelerin imhası sorununu ertelenirken, tüketiciye iyi giysi seçme olanağı sağlanmaktadır [90].

Kullanılmış giysilerin döngüsel ekonomi stratejileri ile tekrar hazır giyim zincirine katılması sürdürülebilir moda sağlanması için oldukça önem taşımaktadır ve SKH 12 sorumlu üretim ve tüketim hedefi ile yakından ilişkilidir. Diğer yandan, döngüsel moda uygulamaları daha az hammadde kullanılmasını ve dolayısı ile daha az üretim yapılmasını sağlamaktadır [89]. Az üretim sera gazı emisyonlarını, atık suları, giysi atıklarını, enerji kullanımını azaltarak, soluduğumuz havayı ve suyumuzu daha az kirleterek, 13, 14 ve 15 numaralı sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında oldukça büyük bir katkı sağlayacaktır.

Birçok moda markasının kendilerine özel döngüsel moda sağlayacak uygulamaları mevcuttur. Eileen Fisher markası, Resewn Koleksiyonu sayesinde 2009'dan bu yana eski giysileri geri alarak yeniden değerlendirmektedir. Müşterilere, eski Eileen Fisher kıyafetlerini geri getirdiklerinde, iade edilen her ürün için 5 ABD Doları tutarında hediye çeki verilmektedir. İade edilen ürünler daha sonra markanın kendi fabrikalarında, yenilenerek, tekrar boyanarak, onarılarak, yeniden dikilerek veya keçelenerek yeniden satışa sunulmaktadır [92]. İleri dönüşüm yapan bir diğer büyük isim de “ASOS Reclaimed” serisiyle ASOS markasıdır. Seri vintage dokunuşlu ürünleri ile dikkat çekmektedir. Sürdürülebilirlik konusunda önde gelen moda markası Reformation da “Reclaimed Vintage” parçalarında, etik bir şekilde üretilmiş kumaşlar ve vintage malzemeler kullanmaktadır [93].

Ağırlıklı olarak denime odaklanan vintage marka RE/DONE, vintage denimi (eski Levi's modellerini) dikiş yerlerinden ayırmakta ve onu yeni kot pantolonlara dönüştürmektedir. Üstelik bunu sert kimyasallar kullanmadan ve su tasarrufu sağlayarak yapmaktadır [94]. Ancak karmaşık ve dayanıklı tasarımlar nedeniyle ağırlıklı olarak manuel bir işlem olan sökme işlemiyle ilgili yüksek maliyetler giysilerin dönüştürülmesini zorlaştırmaktadır. Pakistan'daki giysi geri dönüşüm şirketlerinden alınan verileri de içeren bir endüstri araştırmasında denimin %30 ile %52'sinin sökme sırasında kaybolduğu belirtilmiştir. Denim pantolon veya ceket gibi dikilmiş giysileri oluşturan malzemelerin geri dönüştürülmesinden önce parçalarına ayrılması ve dikişlerinin sökülme işlemi, yüksek mukavemetli sentetik dikiş ipliği kullanılmasından dolayı zaman alıcı ve maliyetlidir. Resortecs®, moda endüstrisindeki yaygın olan bu sorunu çözmeye yardımcı olmak amacıyla, giysilerin daha etkili şekilde geri dönüştürülebilmesi için sökme işlemini kolaylaştıran yeni bir iplik türü tasarlamıştır. İpliklerin farklı erime noktaları (150°C, 170°C ve 200°C) mevcuttur ve ticari bir fırın kullanılarak eritilmektedir. İplik seçimi, parçalara ayrılan giysinin türüne bağlıdır. Resortecs® çözümü, aynı anda 500 kg'a kadar giysinin (1000'den fazla kot pantolona eşdeğer) sökülmesine olanak tanımaktadır [95].

Whimsy + Row markası, karbon ayak izinin düşük kalmasını sağlamak amacıyla, üretilen her parçanın benzersiz olmasını ve atık oluşturmadan üretilmesini sağlamak için üretim miktarlarını sınırlamaktadır. Buna ek olarak, şirket web sitesinde bir bekleme listesi özelliği başlatarak her bir üründen ihtiyaç duyulan miktarı tam olarak ölçmekte ve böylece hem fazla hem de eksik üretimden kaçınmaktadır [57].

Giysi ödül programları, giysiyi geri dönüşüme kazandırma veya daha uzun süre giyme yönleriyle hızla önem kazanmaktadır. Örneğin, Tommy Jeans Xplore serisi, müşterileri giysileri her giydiklerinde ödüllendiren bir akıllı

çip teknolojisinden oluşmaktadır. Giysilere, iOS Tommy Hilfiger Xplore uygulamasına bağlanan bir bluetooth akıllı etiketi yerleştirilmiştir. Toplanan puanlar, Tommy ürünlerinden alışveriş yapıldığında müşteriye indirim kazandırmaktadır [96].

Sürdürülebilirlik için döngüsel moda uygulamalarından biri olan onarım, tüketicinin üstleneceği bir sorumluk gibi gözükse de moda üreticilerinin de bu sorumluluğu paylaşması gerekir. H&M'in yeni konsepti "COS" Tam Çember kapsamında, toplanan giysilerin bir kısmı "Restore" etiketi altında yeniden satılmak üzere onarılmaktadır. Yine grubun portvöy markası olan Monki, üretim sırasında küçük yırtıklar oluştuktan sonra işlenen kot pantolonlardan oluşan sınırlı bir koleksiyon sunan bir denim onarım projesi oluşturmuştur. H&M'in "Let's Make Better" denim koleksiyonu ve Monki'nin döngüsellik için tasarlanan ilk denim koleksiyonu, döngüsellik ilkelerine uyacak şekilde piyasa sürülmüştür. Marka, 2022 yılında onarım hizmetlerini genişletmiş ve "H&M Onarım İstasyonları" beş pazarda yedi önemli şehirde faaliyet göstermiştir. Diğer bir döngüsel moda yaklaşımı ikinci el giysi kullanımlarının arttırılmasıdır. H&M, İsveç ve Almanya'daki web sitesine Sellpy'den (ikinci el satan web sitesi) seçilmiş bir ikinci el ürün yelpazesi ekleyerek yeni bir "entegre müşteri" deneyimi sunmuştur. Marka ikinci el ürünlerin standart bir satın alma işleminden farksız olduğunu göstererek müşteri engellerini ortadan kaldırmayı amaçlamıştır [97]. Hintli bir şirket olan Relove, döngüsel moda fikri etrafında bir hareket yaratarak, kullanılmayan kıyafetlerin müşteri tarafından satılmasına olanak oluşturmuştur. Pek çok marka web sitelerine "yeniden sev/yeniden sat" butonu ekleyerek bu harekete katılmaktadır. Suta Bombay, Snitch ve Okhai gibi moda markaları bunlara örnektir. Tüketiciler de bu iki eylem çağrısına yanıt vererek döngüsel moda hareketine katılmaktadır [98]. Günümüzde ikinci el satışını attırmak üzere dünya genelinde birçok web sitesi mevcuttur. Rent- the Runway ve diğer kiralama hizmetleri, kiralamanın çevresel faydalarını aktif olarak teşvik etmektedir. Ancak bu konuya daha yakından bakıldığında kiralama modelinin bir sürdürülebilirlik çözümü olmadığı ortaya çıkmaktadır. Rent-the Runway'in kendi sitesine göre kiralama, geleneksel yeni giysi alımına kıyasla CO2'yi yalnızca %3 oranında azaltmaktadır [65].

Hem tüketici hem de üreticini sorumluluğuna giren bu uygulamalar en çok "SKH 13 İklim Eylemi" ile ilişkilidir. Küresel moda ajandası "Fashion on Climate" a göre, tüketicide ömrünü tamamlayan giysiler için kiralama, yeniden satış, onarım ve yenileme gibi döngüsel modellerin uygulanması sera gazı emisyonunun 2030'a kadar yaklaşık 143 milyon ton azaltılmasını sağlayabilir [99]. Diğer yandan, Uluslararası Pamuk Danışma Komitesi'nin 2023 'de yayınladığı, dünyanın sürdürebilirlik açısından durumunun değerlendirildiği raporda, hızlı moda ve spor ürünleri endüstrisinin BoF indexleri ile belirlenen şu anki durumunun gerçekçi olmadığı ve "sıcaklığın 1.5 °C azaltılması " iklim hedefine yaklaşılmasına olanak tanımadığı ileri sürülmektedir [66].

3.5. Teknoloji ve İnnovasyonun Arttırılması

SKH- 9, kapsayıcı ve sürdürülebilir sanayileşme, altyapı ve inovasyona odaklanmaktadır. Markaların yeni teknolojileri ve innovasyonları kullanarak sürdürülebilirliği artırması ve bunun için yeni uygulamalara imza atması SKH-9' u destekleyecektir. Birçok şirket, yeni teknolojiler ve innovasyonla sürdürülebilirliğini iyileştirmeye çalışmaktadır. "Fiber to Fashion" adlı tekstil pazarı odaklı ticari portalda 2021 yılında "Moda İnovasyonu - Modanın Geleceğini Yaratan En İyi 22 Teknoloji" belirlenmiştir [96]. Aşağıda bunlardan bir kaçına yer verilmiştir.

Algiknit, çeşitli deniz yosunlarından tekstil ve elyaf üreten bir şirkettir. Ekstrüzyon işlemi sırasında, biyopolimer karışımını, örülebilen veya israfı en aza indirmek için 3D yazdırılabilen yosun bazlı bir ipliğe dönüştürür. Nihai ürün, biyolojik olarak parçalanabilir ve kapalı-devre bir döngüde doğal pigmentlerle boyanabilmektedir.

BioGlitz, biyolojik olarak doğada çözünebilen sim üreten dünyanın ilk şirketidir. Okaliptüs ağacı özünden yapılan benzersiz bir formüle dayanan eko-sim, gübrelenebilen ve biyolojik olarak doğada çözünebilir. Mikroplastiklerle ilişkili çevresel zararlar olmadan, sürdürülebilir sim tüketimine izin verdiği düşünülürse, mükemmel bir moda inovasyonudur.

BA-X, dairesel tasarımı, dairesel perakende modellerini ve kapalı-devre döngüde geri dönüşüm teknolojilerini birbirine bağlayan bulut tabanlı yenilikçi bir yazılım üretmiştir. Sistem, giysilere, "ters tedarik zinciri ağına" bağlanan bir tanımlama etiketi takılarak, giysileri en az atık ve kirlilikle dairesel bir modelde tasarlanmasına, satılmasına ve geri dönüştürülmesine olanak tanımaktadır.

Flocus, kapok liflerinden doğal iplikler, dolgular ve kumaşlar elde etmek için yeni bir teknoloji tasarlayan bir şirkettir. Kapok, pestisit ve böcek ilacı kullanılmadan doğal olarak yetişen bir ağaçtır. Ayrıca, tarımsal tarıma uygun olmayan kurak topraklarda bulunur ve pamuk gibi yüksek su tüketimi olan doğal elyaf ürünlerine sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır.

Elma pektini, genellikle üretim sürecinin sonunda çöpe atılan, endüstriyel bir atık ürünüdür. Bununla birlikte, Frumat tarafından geliştirilen yeni bir teknoloji, elma pektininin sürdürülebilir ve doğada çözünebilen malzemeler üretmek için kullanılmasına izin vermektedir. Marka, lüks aksesuarlar yapmak, yeterince dayanıklı, deri benzeri bir malzeme yaratmak için elma kabuklarını kullanmaktadır. Ayrıca, bu tür vegan elma derileri zehirli kimyasallar olmadan boyanabilir ve tabaklanabilir.

PlanetCare isimli firma, mikroplastikleri atık suya ulaşmadan yakalamak için çamaşır makinelerine entegre edilebilen mikrofiber filtreler üretmektedir. Sistem, su mikrofiltrasyonuna dayalıdır ve elektrik yüklü lifler ve zarlar sayesinde çalışmaktadır. Bu nanoteknoloji, okyanuslardaki mikroplastik kirliliğini azaltmaya katkı sağlamaktadır.

Görüldüğü üzere sürdürülebilir modayı arttırıcı innovasyonlar, mikroplastikleri azarlatarak "denizde yaşam-SKH 14 'e ulaşmayı destekleyecektir. Atıkları ve emisyonu azaltarak SKH 13- iklim krizi hedefine ulaşmayı hızlandıracaktır. Ayrıca atıkların ve emisyonun azaltılması sadece ikilimin iyileştirmesini değil ayrıca karasal ekosistemleri korumak

üzere belirlenmiş SKH 15 ‘i de destekleyecektir. SKH 9, kapsayıcı ve sürdürülebilir sanayileşme, altyapı ve inovasyon hedefi sürdürülebilir modadan güçlü bir şekilde destek alan ve aslında diğer SKH’ lerine ulaşmayı kolaylaştırmak için uygulanması gereken bir hedeftir.

SKH 6, tehlikeli kimyasalların sıfır deşarjı, atık suyun geri dönüştürülmesi vb. yoluyla güvenli su ve sanitasyonun sağlanmasıdır. Moda endüstrisinin, üstte belirtildiği gibi küresel atık suyun %20' sine neden olduğu göz önüne alındığında bu hedefe ulaşılmasında endüstri üyelerine büyük roller düşmektedir. Asket, Kalita ve PRISM Squared gibi markalar en iyi uygulamalara ulaşmak için çalışmaktadır [11]. GAP Inc. 2022 sürdürülebilirlik raporunda bu konuları benimseyip çalışmalarını sürdürdüğünü belirtmiştir. Örneğin, tedarik zincirindeki tehlikeli kimyasalların sıfır deşarjına yönelik çalışmaları doğrultusunda 2023 yılı itibari ile PFC[2] bazlı kaplamaları tamamen ortadan kaldırmıştır [100].

SKH-7 uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimin sağlanmasıdır [101]. Örnek olarak IKEA, üretim için güneş panelleri kurmak gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını uygulayarak sera gazı emisyonunu azaltmayı taahhüt etmiştir [102]. Türkiye’de Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Güneş Enerji Sistemi (GES) kurulumunu teşvik kapsamına almıştır. Türkiye’de GES kurulum yapan 142 tekstil firmasında hem CO2 salınımı azalmış hem de %50 oranında enerji tasarruf edilmiştir [103]. Bu konudaki en iyi örnek tentree markasıdır. Moda endüstrisinde faaliyet gösteren şirket 2020 yılında karbon nötr olmayı başarmıştır [57].

Zara markası ile INDİTEX Grup, 2050 yılı hedefini 10 yıl erkene çektiklerini ve 2040 yılına kadar net sıfır emisyon hedeflediklerini belirtmektedir. +Care for water planet başlığı altındaki Zara ürünleri, üretim sürecinde su tüketiminin azaltıldığı giysiler olup, bunlar için ozon veya cold pad boyama gibi teknolojiler veya suyun yeniden kullanımına izin veren kapalı döngülerin kullanımı, su tüketiminin azaltılmasına yardım etmektedir [104]. Türk markası Kığılı, yeşil modayla uyumlu rahat giyim kapsül koleksiyonda, üretim sürecinde su kullanımını azaltmak için pamuktan 20 kat daha az su tüketen kenevir lifi tercih ettiklerini belirtmiştir [105].

3.6. Tüketici Bilinci Oluşturma

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri-12, sorumlu tüketim ve üretim kalıplarını sağlamak için bireyler, hükümetler ve kurumsal kuruluşlar da dâhil olmak üzere herkese hitap etmektedir [106]. Sürdürülebilir tüketim genel bir ifade ile “doğal kaynakların hayat standartlarını yükseltmek için ölçülü ve akıllıca kullanımı” şeklinde tanımlanabilir. Bu kullanım gerçekleşmediği takdirde üretimle beraber tüketim, çevresel sorunların kaynağını oluşturmaktadır [107].

Connolly ve Prothero’ göre, yeşil tüketimin bir strateji olarak uygulanıp uygulanamayacağı konusuna odaklanmaktansa, insanların birey olarak küresel çevre problemlerine yardımcı olabileceğine inanmasını sağlayacak süreci kavramaya çalışması daha anlamlı olabilir [108]. Ancak sürdürülebilirlik konusunda bir bireyin tek başına daha fazla sorumluluk alması kolay değildir. Çeşitli sosyal ve piyasa baskıları söz konusudur. Armstrong ve ark. 10 hafta boyunca kıyafet satın almaktan kaçınmaya gönüllü olan yükseköğrenimdeki moda odaklı öğrencilerle yenilikçi bir deney yapmışlar ve sonuçlarını tartışmışlardır. Birçok katılımcı deneyden para tasarrufu, mevcut gardırobunu yaratıcı bir şekilde kullanma ve öz düzenleme duygusu dâhil olmak üzere faydalar elde ettiğini ifade etmiştir. Tartışma, tüketicilerin giyim tüketim alışkanlıklarını değiştirmek için önemli ölçüde yardıma ihtiyaç duyduklarını öne sürmektedir. Eko-tasarım ve eko-moda, tüketimin bireysel ve toplumsal ihtiyaçlarını karşılarken onları daha sürdürülebilir tüketime yönlendirebilir. Ancak kültürel etkenleri değiştirmek için geleneksel giyim perakendecilerinin, sürdürülebilirlik değerlerini pazarlama stratejilerine dâhil etme konusunda daha fazla sorumluluk almaları gerekmektedir. Kısacası sürdürülebilirlik konusunda önemli bir sorumluluk payı tüketicilere verilse de, diğer aktörlerin ve toplumsal çevrelerin de onların hem sorumluluklarını anlamalarına hem de bu sorumluluğu üstlenmelerine yardımcı olması gerekmektedir [109].

Tüketicilerin giyim alışkanlıkların daha sürdürülebilir olmasını destekleyen bazı uygulamalar mevcuttur. H&M “Take Care” konsepti, müşterilerin kıyafetlerinin bakımını yapmalarına yardımcı olacak rehberlik ve ürünler sağlamak üzere tüm küresel çevrimiçi pazarlarda sunulmaktadır. Hindistan'da “My Closet” adlı çevrimiçi hizmet aracılığıyla, kullanıcılarına on yıl boyunca H&M'den yaptıkları tüm alışverişlerin özetini sunan bir 'dijital gardırop' pilot uygulamasını hayata geçirmişlerdir. Bunun müşterilerinin tarzlarını keşfetmelerine yardımcı olduğunu ve kıyafetlerinin ömrünü nasıl uzatacakları ve kullanımlarını nasıl artıracakları konusunda ilham verdiğini belirtmişlerdir [97]. Moda kiralama uygulamaları binlerce moda markası için etik derecelendirmeler sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu derecelendirmeler markaların insanlar, hayvanlar ve gezegen üzerindeki etkilerine dayanmaktadır. Derecelendirme sistemi standartları, sertifikaları ve kamuya açık verileri bir araya getirerek tüketici için hazır puanlar haline getirmektedir. Bu uygulamalar moda endüstrisinde şeffaflığı teşvik etmekte ve müşterilerin bilinçli satın alma kararları vermelerini sağlamaktadır [96].

Bain ve WWF'nin 2022 yılındaki 'Markalar Sürdürülebilir Moda Fırsatını Nasıl Kucaklayabilir' başlıklı araştırması, küresel moda tüketicilerinin %15'inin sürdürülebilirlik konusunda son derece ilgili olduğunu ve ürünün etkilerini azaltıcı yönde satın alma kararları verdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, tüketicilerin üçte birinin sürdürülebilir ürün veya markaları sürdürülebilir olmayanlardan ayırt edebildiği de ortaya konmuştur. Bu zorluğun yaşla birlikte arttığı belirtilmiştir [110]. Y kuşağı üzerinde yapılan bir çalışmada, katılımcılar, moda endüstrisinin sürdürülemez olduğunu düşündüklerini ve ürünlerin sürdürülebilir olduğunda daha pahalı ve bulunamaz olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, Higg Endeksini[3] kullanan şeffaf bir etiketleme şemasının tüketicinin alım kararı için net bir sistem olacağını düşündüklerini ifade etmişlerdir [111]. Z kuşağı üzerinde yapılan bir araştırma sonuçları ise, kuşak üyelerinin adil çalışma koşullarına ait bilgilerin daha net olması halinde, perakendecilere yönelik tutumlarını değiştireceğini ve dolayısıyla bunun satın alma davranışlarını etkileyeceğini göstermiştir [63]. Çalışmalar,

genç neslin sürdürülebilir modayı farkında olduğunu ancak fiyat, şeffaflık ve izlenebilirliğin alım kararlarını etkilediğini göstermektedir. Bu yüzden, moda markalarının bu konuları benimsemesi ve sürdürülebilir satın almayı tüm tüketiciler için daha kolay hale getirmesi gerekmektedir.

Markalar, tüketicilerin duygusal motivasyonlarını tetiklemek ve onları sürdürülebilirlik doğrultusunda daha bilinçli kararlar vermeye teşvik etmek için marka değerlerini sürdürülebilir uygulamalarla güçlendirebilirler. Ancak sürdürülebilirlik yaklaşımı, herkese uyan tek bir eylemden oluşmamaktadır. Şirketlerin hedef kitlelerini doğru bir şekilde tanımlamaları, tüketicileri heyecanlandıran yenilikçi ürünler yaratmaları ve tüm ürün kategorilerinde bütüncül bir sürdürülebilirlik yaklaşımı benimsemeleri gerekmektedir [112].

Tüketicilerin çevreyi koruma, etik ve bilinçli satın alma davranışının geliştirilmesi için eğitilmesi gerekir [18]. T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın, SKH 12 Sorumlu üretim ve tüketime ulaşmak için belirlediği hedeflerden biri; 2030 yılına kadar insanların her yerde sürdürülebilir kalkınma ve doğayla uyumlu yaşam tarzları hakkında gerekli bilgilere ve farkındalığa sahip olmalarını sağlamaktır [113].

Tasarım ve üretim süreçlerinin dışında kalan tüketici kullanımı giysilerin ömrünü belirleyen en önemli aşamalardan biridir. Sürdürülebilir tüketici davranışları geliştirilerek, ürünlerin bilinçli kullanımı sağlanarak giysi ömrü uzatılabilir. Küresel Moda Ajandası' na göre tüketicileri bilinçlendirmeye yönelik doğru etiketleme ve bakım talimatları doğrultusunda, daha az yıkama ve kurutma uygulamalarıyla CO2 salımı 2030'a kadar yaklaşık 186 milyon ton azaltılabilir [99]. Görüldüğü üzere, sürdürülebilirlik konusunda tüketici bilinci oluşturma sadece SKH 12 'ye hizmet etmez, aynı zamanda çevreye duyarlılık anlayışı sayesinde SKH13, SKH14 ve SKH 15'in gerçekleşmesini de destekler. Ayrıca, tüketici eğitimleri etik ve adil moda beklentisini arttıracak [61] ve giysi üreticilerinde sosyal sorumluluk standartlarına uyma üzerine baskılar yaratacaktır. Bu da dolaylı olarak, SKH 9 kapsamındaki insana yakışır iş sağlanması hedefinin iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır.

4. Sonuç

Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin geniş çapta sahiplenilmesi, tüm paydaşların küresel hedefleri uygulamaya yönelik güçlü bir kararlılığını gerektirir. Tasarımcı, tedarikçi, üretici ve tüketici gibi paydaşları hepsi daha sürdürülebilir bir tedarik zinciri elde etmek için birlikte çalışmalıdır. Bu çalışmada sürdürülebilir moda yaklaşımları ve bu yaklaşımların hangi BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşılmasında ne derece etkili olduğu incelenmiştir. Çok uluslu moda markaları başta olmak üzere, tedarikçilerin ve üretici ülkelerin sürdürülebilir modaya ulaşmak için gerçekleştirdiği uygulamalarına, kazanımlarına ve gelecekteki hedeflerine yer verilmiştir. Çalışma değerlendirildiğinde, moda marklarının sürdürülebilir modaya ulaşma adına oldukça iyi uygulamaları, kazanımları ve gelecek hedefleri olduğu görülmektedir. SKH 9 kapsamındaki innovasyonların artırılmasının moda endüstrisi tarafından dikkate alınan bir konu olduğu ancak yaygınlaştırılması gerektiği düşünülmektedir. Uygulamaların ve hedeflerin ağırlıklı olarak, öncelikle SKH 13' e ulaşmayı, daha sonra SKH 14 denizdeki yaşamın ve SKH 15 karadaki yaşamın iyileştirilmesini amaçladığı görülmüştür. Ancak bunların yeterliliği ve gerçeği yansıtması konusundaki endişeler de devam etmektedir. Tüm kayda değer uygulamaların yanında, moda endüstrisinde son 25 yılda yapılan deneyler ve sözde yeniliklerin endüstrinin küresel etkilerini azaltmakta başarısız olduğunu vurgulayan değerlendirmeler de mevcuttur [65,66]. Bunun en büyük sebebi tüketicilerin ucuz ve hızlı modaya olan talebinin endüstride durmak bilmeyen büyüme baskısı yaratmasıdır ve bu konu moda endüstrisinin en büyük paradoxu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çalışmanın değerlendirilmesi sonucunda, endüstrinin şeffaflık ve izlenebilirlik konusunda yeterli olmadığı ve buna ağırlık vermesi gerektiği düşünülmektedir. Şeffaflık ve izlenebilirlik, tüketicinin sürdürülebilir modaya yönlenmesini sağlayarak, 12 numaralı "sorumlu üretim ve tüketim" hedefini desteklemektedir. Sorumlu üretim ve tüketim, SKH 13, SKH 14 ve SKH 15'in gerçekleşmesini hızlandıracaktır. Şeffaflığın ve izlenebilirliğin artması için doğru sürdürülebilirlik indexlerin oluşturulması önem taşımaktadır.

Sürdürülebilir moda gereklerinin ilk sıralarında yer alan " Adil ve Etik Üretim" SKH 5, 8 ve 10 ile yakından ilişkilidir. Günümüzde, bu hedefleri desteklemek üzere birçok moda markası sosyal sorumluluk standartlarını kullanmaktadır. Ancak, kadın çalışanları destekleyici uygulamaların moda endüstrisinde yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmadaki dev markaların kadını destekleyici stratejileri dikkat çekicidir. Bunların tüm endüstride uygulanması "SHK 5" hedefini güçlü bir şekilde destekleyecektir.

Dünyada, özellikle az gelişmiş ülkelerde açlık ve yoksulluk hala devam etmektedir. Moda endüstrisinin en büyük sorunu düşük işçi ücretleridir. Çalışma, moda endüstrisinin SKH 1 ve SKH 2'yi geliştirme yönünde zayıf kaldığını göstermektedir. Moda endüstrisi yüksek istihdam sağlayan ve bu hedeflere ulaşılmasında e daha büyük katkı sağlayabilecek güçlü bir endüstridir. Kaynaklar, dünyanın en büyük moda üreticisi Çin'in düşük işçi ücretleri ve olumsuz çalışma koşulları ile sık sık gündeme geldiğini göstermektedir. Az gelişmiş ülke sınıfına girmeyen hatta yüksek teknoloji üreticisi olan Çin'deki bu durum hızlı, fazla miktarda üretim ve yüksek kar amaçlayan moda endüstrisinin sürdürülebilir hale gelebilmesindeki paradoksu desteklemektedir.

Sürdürülebilir moda yaklaşımlarının uygulanması SKH'lere ulaşılması açısından önem taşımaktadır. Ancak, doğru malzeme bilgisi eksikliği, eksik şeffaflık ve izlenebilirlik, bilgi paylaşımı şüpheleri gibi zorluklar, sürdürülebilir modaya ulaşmak için potansiyel risklerdir.

Döngüsel modayı arttırmak için üreticilere düşen geri dönüşüm konusundaki uygulamalar oldukça yaygındır. Ancak, ileri dönüşüm uygulamaları sınırlı olup, dünya genelinde arttırılmalıdır. Kiralama, ikinci el, onarılmış ve dönüşmüş ürünü satın alma bilincinin geliştirilmesi SKH12 ile ilişkilidir. Diğer yandan, bu uygulamaların yaygınlaştırılması üretim miktarını azaltacak, dolayısı ile en büyük endişe olan iklim krizini (SKH13) çözmeye, denizde ve karadaki yaşamı iyileştirmeye (SKH14 ve SKH15) yüksek derecede katkı

sağlayacaktır. Bu uygulamaların arttırılması için tüketiciler teşvik edilmelidir. Tepe ve yerel yönetimlerin bu uygulamalara teşvik edici faaliyetleri medya yolu ile arttırılmalıdır. Tüketici aşırı tüketim ve giysilerin ömrünün korunması konusunda bilinçlendirilmelidir. Tüketici bilincini geliştirmek üzere okul ve aile seviyelerinde eğitimler verilmedir. Ancak, medyadaki aşırı tüketime sevk eden reklamlara sınır getirilmediği sürece buna ulaşmanın kolay olduğu düşünülmemektedir. Ayrıca onarım, onarım ücretlerinin yüksek olması ve düşük fiyatlı giysiye ulaşmanın kolay olması nedeniyle tercih edilmemektedir. Bu konuda, markaların desteklerini arttırması gerekmektedir. Ek olarak, bu hedeflere ulaşılması için, sürdürülebilir ürünlere kolay ulaşılması ve ürünlerin fiyatlarının uygun düzeyde olması sağlanmalıdır. Bunun için de üreticilerin düşük fiyatlı enerji kullanması gereklidir. Üreticilerin sürdürülebilirlik derecelerine göre sınıflandırılması ve sınıflarına göre düşük fiyatlı enerji sağlanması buna katkı sağlayabilir. Bu uygulama moda markalarını daha sürdürülebilir olmaya teşvik edebilir. 2030 'a fazla bir zamanımız kalmadığı göz önünde alındığında, moda endüstrisindeki sürdürülebilirlik eylemlerine hızlı bir şekilde ağırlık verilmesi gerekliliği açıkça ortadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

[1]Fashion Futures 2025. https://www.forumforthefuture.org/fashion-futures-2025

[2] Woo, H., Do consumers want a "Good" apparel brand? The effects of apparel brands' corporate social responsibility (CSR) practices on brand equity moderated by culture. Master Degree, (2013), The University of North Carolina, Greensboro, NC

[3] Razzaq, A., Ansari, N. Y., Razzaq, Z., & Awan, H. M. (2018). The ımpact of fashion ınvolvement and pro-environmental attitude on sustainable clothing consumption: the moderating role of ıslamic religiosit. *SAGE Open*, 8 (2), 1-17. https://doi.org/10.1177/2158244018774

[4] Fletcher, K. (2010). "Slow fashion: An invitation for systems change", Fashion Practice, 2(2), 259-266.

[5] Joergens, C. (2006). Ethical fashion: "Myth or future trend?". *Journal of Fashion Marketing and Management*, 10, 360–71.

[6] Shen, D., Joseph R., & Feng L. (2013). Consumers' awareness of sustainable fashion. *Marketing Management Journal*, 23, 134–47

[7] McNeill, L., & Brittany V. (2019). Identity, self-concept and young women's engagement with collaborative, sustainable fashion consumption models. International Journal of Consumer Studies, 43,368–78.

[8] Claudio, L. (2007). Waste couture: environmental impact of the clothing industry. *Environ health perspect*, 115(9), 449–454. doi: 10.1289/ehp.115-a449

[9]McKinsey & Company. (2022). The fashion state 2021 report. https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/state-of-fashion-archive#section-header-2021 Erişim tarihi: 1.11.2023

[10] Textile Exchange. (2023). https://textileexchange.org/our-story/

[11] Thakker, A. M., & Sun, D. (2023). Sustainable development goals for textiles and fashion, *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 101989–102009 https://doi.org/10.1007/s11356-023-29453-1

[12] United Nations 2015. https://sdgs.un.org/goals

[13]BBC News. (2021). Thunberg calls out climate impact of fashion brands in vogue interview. https://www.bbc.com/news/world-europe-58145465 (Erişim Tarihi 20.10.2023)

[14] Sustainable Development Goals. (2018). UN Alliance aims to put fashion on path to sustainability, Unece Presss. https://unece.org/forestry/press/un-alliance-aims-put-fashion-path-sustainability

[15] https://unsdsn.bogazici.edu.tr/tr/surdurulebilir-kalkinma-amaclari

[16] Vijeyarasa. R., & Liu, M. (2022). Fast fashion for 2030: using the pattern of the Sustainable Development Goals (SDGs) to cut a more gender just fashion sector. *Bus Hum Rights J*, 7, 45–66. https:// doi. org/ 10.1017/ bhj. 2021. 29

[17] Gardetti, A.M & Muthu, S.S., The UN Sustainable Development Goals for the textile and fashion industry. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2020. ISBN: 978–981–13–8786 https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-29453-1

[18] Radhakrishnan, S. Sustainable consumption and production patterns in fashion, A.M. Gardetti, S.S. Muthu (eds.). Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2020. ISBN : 978–981–13– 8786–9. https:// doi. org/ 10. 1007/ 978- 981- 13-8787-6

[19] Caiado, R.G.G., Leal Filho, W., Quelhas, O.L.G., de Mattos Nascimento, D.L., Ávila, L.V. (2018). A literature-based review on potentials and constraints in the implementation of the sustainable development goals. *J. Clean. Prod,* 198, 1276–1288. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.102

[20] https://en.wikipedia.org/wiki/Green_textile

[21] Gardetti, M. A., & Torres, A.L., "Sustainability In Fashion and Textiles: Values, Design, Production and Consumption", In: Introduction , M. A. Gardetti , A. L. Torres (eds), New York, pp. 10-11,2017.

[22] Niinimaki, K. , Sustainable Fashion: New Approaches, In: Sustainable fashion, K. Niinimaki (eds), *Aalto University Publication Series*, Helsinki, Finland, pp.12-31,2013.

[23] Chen, H., & Burns, L. D. (2006). Environmental analysis of textile products. *Clothing and Textiles Research Journal*, 24, 248-261.

[24] Ekici, Ö. K. (2011). Mikroorganizmaların çevreye hizmeti, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Haziran Sayısı, 74-77.

[25] Zupin, Z., & Dimitrovski, K. Mechanical properties of fabrics from cotton and biodegradable yarns bamboo, spf, pla in weft. In: Woven fabric engineering , A. Macar(eds), Wilmington: Scitus Academics LLC., pp.25-28, 2010.

[26] Hartline, N. L., Bruce, N. J., Karba, S. N., Ruff, E. O., Sonar, S. U., Holden, P. A., 2016, Microfiber Masses Recovered from Conventional Machine Washing of New or Aged Garments, *Environ. Sci. Technol*., 50, pp.11532−11538.

[27]Allende, N. (2021). Unexpected sustainability: recycled and biodegradable polyester and polyamide. Fabricsigh. https://www.fabricsight.com/blogs/posts/unexpected-sustainability-recycled-and-biodegradable-polyester-and-polyamide

[28]Park, H.C., Kang, K.Y., Im, S.S. (2004). Biodegradability of Cellulose Fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 94, pp.248–253.

[29]Buchholz, L. (2023). Sustainability Magazine. Top 10: Sustainable Clothing Companies. https://sustainabilitymag.com/articles/top-10-sustainable-clothing-companies

[30]BM Türkiye. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri. https://turkiye.un.org/tr/sdgs Erişim tarihi:20.12.2023

[31]Fashion Takes Action 2023. Fashion's role in the sustainable development goals. https://fashiontakesaction.com/sdgs/ Erişim tarihi: 12.12.2023

[32] Textile Exchange. (2020). New Textile Exchange report shows latest trends in the preferred fiber and materials market – growth in most areas but not at the speed and scale required.https://textileexchange.org/news/new-textile-exchange-report-shows-latest-trends-in-the-preferred-fiber-and-materials-market-growth-in-most-areas-but-not-at-the-speed-and-scale-required/

[33] Textile Exchange. (2018). https://textileexchange.org/news/textile-exchange-and-kpmg-develop-an-sdg-roadmap-for-the-apparel-retail-and-textile-sector/

[34] United Nations Climate Change. (2023). New report: Fashion industry needs to make climate action a top trend. https://unfccc.int/news/new-report-fashion-industry-needs-to-make-climate-action-a-top-trend

[35] Eser, B., Çelik , P., Çay , A., Akgümüş, D. (2016). Tekstil ve konfeksiyon sektöründe sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm olanakları. *Tekstil ve Mühendis*, 23(101), 43-60

[36] Claudio, L. (2007). Waste Couture: Environmental Impact of the Clothing Industry. Environmental Health Perspectives, 115(9),449–454. doi: 10.1289/ehp.115-a449

[37]https://bigumigu.com/haber/toyotanin-otomobil-parcalarindan-uretilen-surdurulebilir-sneaker/

[38] https://theindexproject.org/post/petit-pli

[39]https://www.luokk.co/blog/icerik/buyuk-bedende-surdurulebilir-giyim-modasi

[40] INDİTEX. (2023). Sustainability, the basis for transformation https://static.inditex.com/annual_report_2021/en/unique-model/sustainability-basis-transformation.html

[41] https://www.gapinc.com/en-us/values/sustainability/esg-report

[42]https://www.lenzing.com/sustainability/sustainability-management/sustainability-targets

[43] Global Fashion Industry Statistics. https://fashionunited.com/global-fashion-industry-statistics Erişim tarihi 1.12.2023

[44] Social Responsibility Report of China's Textile and Apparel Industry 2019-2020. http://www.csc9000.org.cn/Download/wj/2019-2020EN.pdf

[45] Das, D. (2008). Urban quality of life: a case study of guwahati. *Social Indicators Research*, 88, 298-301.

[46] Schor, J.B.(2005). Prices and quantities: Unsustainable consumption and the global economy. *Ecological Economics*, 55(3), 309-320. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.07.030

[47]WRAP. (2017) .Valuing our clothes: the cost of UK fashion. https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/valuing-our-clothes-the-cost-of-uk-fashion_WRAP.pdf

[48] Cooper, H., & Claxton, S. (2015). "From rag trade to retail: garment failure and the potential for sustainable fashion" PLATE Conference, Nottingham Trent University, 73-74.

[49] Moorhouse, D. (2020). Making fashion sustainable: Waste and collective responsibility. One Earth, 3(1), 17–19. doi: 10.1016/j.oneear.2020.07.002

[50].Niinimäki,K. (2006). Ekodesign and textiles. RJTA, 10(3), 67-75.

[51] Niinimäki, K., (2013), Tenents of sustainable fashion, In: Sustainable fashion: new approaches, K.Niinimäki (eds), Aalto University Publication Series, Helsinki, Finland, pp. 12-29.

[52] BSR Corporation (2012). Sustainable fashion design: oxymoron no more? https://www.bsr.org/reports/BSR_Sustainable_Fashion_Design.pdf Erişim tarihi: 1.10.2022

[53] https://circulator.hmgroup.com/

[54]Koskela,M.,& Vinnari,M.(2009). Future of The Consumer Society, In Future of the Consumer Society Conference (pp.129) Tampere, Finland. https://docplayer.net/45978221-Future-of-the-consumer-society.html

[55]Antanavičiūtė, A., & Dobilaitė, V., Principles of slow fashion application in clothing collection creation environmental research, *Engineering and Management*, 71(2), 54-59 ISSN 1392-1649.

[56] https://theindexproject.org/post/petit-pli

[57] Buchholz, L. (2023). Top 10: Sustainable clothing companies. *Sustainability Magazine*. https://sustainabilitymag.com/articles/top-10-sustainable-clothing-companies

[58]Saptarshi M.,Subhankari M., Pintu, P., Sankar R. M., Kunal, S. Advanced Knitting Technology. The Textile Institute Book Series, In: Chapter 20 - Sustainability analysis for knitting process and products, Pages 657-671, 2022. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85534-1.00001-5

[59]Sanjukta, P., & Arlesa, S. (2013). Slow fashion movement: Understanding consumer perceptions—An exploratory study. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 20(2):200-206

[60]McNeill, L.,& Rebecca, M. (2015). Sustainable fashion consumption and the fast fashion conundrum: Fashionable consumers and attitudes to sustainability in clothing choice. *International Journal of Consumer Studies*, 39: 212–22

[61]Shen, B., Wang, Y., Lo ,C. K. Y., & Shum, M. (2012). The impact of ethical fashion on consumer purchase behavior. *Journal of Fashion Marketing and Management*,16(2),234-245.

[62]Henninger, C.E, Alevizou, P., & Oates, C. (2016). ''What is sustainable fashion?''. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 20(4), 400-416.

[63] Mimmy, L., & Sophie V. Changing attitudes towards fast-fashion - A qualitative study of Swedish generation Z and their increased ecological conscience, (2020), Bachelor thesis, Linnaeus University, School of Business and Economics, Department of Marketing. Swedish.

[64] Carter, C., & Easton, P. (2011). Sustainable supply chain management: Evolution and future directions. International *Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(1), 46-62.

[65] Pucker, K.P. (2022). The Myth of sustainable fashion. https://hbr.org/2022/01/the-myth-of-sustainable-fashion Erişim tarihi: 2.12.2023

[66]Veronica, B. K., & Baumann-Pauly, D. (2023). Amplifying misinformation: The case of sustainability indices in fashion. International Cotton Advisory Committee, Cotton: Review of the World Situation, 76(3).

[67] Egels-Zandén, N. (2016). Not made in China: Integration of social sustainability into strategy at Nudie Jeans Co. Scandinavian. *Journal of Management*, 32(1), 45-51. https://doi.org/10.1016/j.scaman.2015.12.003

[68] https://bigumigu.com/haber/giysilerin-gercek-faturasi/

[69]https://www.linkedin.com/pulse/power-slow-fashion-sustainable-future-dhirta-rikhye

[70]Moldan, B., Janousková, S.& Hak, T. (2012). How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. Ecological Indicators, Vol: 17, 4-13

[71]CBI Ministry of Foreign Affairs (2022). What is the current offer in social certifications and how will it develop? https://www.cbi.eu/market-information/social-certifications

[72]Barış, Ö. (2017). SA 8000: 2014 Sosyal Sorumluluk Standardına Göre Çalışma Yaşamının Değerlendirilmesi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 6(5), 2368 – 2378.

[73]BM Türkiye, Türkiye Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları, Eşitsizliklerin Azaltılması https://turkiye.un.org/tr/sdgs/10 Erişim tarihi 20.12.2023

[74]https://www.aljazeera.com/news/2023/1/11/fashion-brands-paid-less-than-production-cost-to-bangladesh-firms

[75]NEWS. (2023). Global fashion brands exploiting Bangladesh workers: Study https://www.aljazeera.com/news/2023/1/11/fashion-brands-paid-less-than-production-cost-to-bangladesh-firms Erişim tarihi 10 . 12 2023

[76]World Trade Organization. World Trade Statistical Review 2021. https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2021_e/wts2021_e.pdf

[77]https://www.studysmarter.co.uk/explanations/business-studies/business-case-studies/nike-sweatshop-scandal/

[78] Hodal K. (2018). Abuse is daily reality for female garment workers for Gap and H&M, says report. Guardian News & Media Limited or its affiliated companies https://www.theguardian.com/global-development/2018/jun/05/female-garment-workers-gap-hm-south-asia

[79] UN. (2023). Sustainable developments Goals. Goal 5: Achieve gender equality and empower all women and girls. https://www.un.org/sustainabledevelopment/gender-equality/

[80] https://www.gapinc.com/en-us/values/sustainability/esg-report

[81]https://www.lenzing.com/sustainability/sustainability-management/sustainability-targets

[82] Özsoy, T., & Madran, C. (2015). Ürün ömrü algısının sürdürülebilir tüketim boyutundan bir analizi. *Küresel İktisat ve İşletme Çalışmaları Dergisi*, 4 (7): 73-91.

[83] Nivogo. Döngüsel moda için bir adim: Cradle-To-Cradle nedir? https://nivogo.com/dongusel-moda-icin-bir-adim-cradle-to-cradle-nedir/ Erişim Tarihi 12.11.2023

[84]Gabriel, M., & Luque, M.L.D. (2020) Sustainable Development Goal 12 and its relationship with the textile industry. The UN sustainable development goals for the textile and fashion industry. *Textile Science and Clothing Technology*, 21-46 https://doi.org/10.1007/978-981-13-8787-6_2

[85]Ellen MacArthur Foundation, A new textiles economy: Redesigning fashion's future. (2017). https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy

[86] Kuvvetli-Yavaş, H.(2023).Ekonomide bir paradigma değişimi olarak döngüsel ekonomi, *Türkiye'de sifir atik: Tespitler, beklentiler ve firsatlar kongresi* (ss.6-34), Arel

Üniversitesi, İstanbul.

[87] İşletmeler İçin Döngüsel Ekonomi Rehberi.(2020) https://www.business4goals.org/wp-content/uploads/2021/03/%C4%B0sletmeler-icin-Dongusel-Ekonomi-Rehberi.pdf

[88]Yang Q. Z., Zhou J., & Xu K., (2014). A 3R Implementation Framework to Enable Circular Consumption in Community, *International Journal of Environmental Science and Development*, 5(2),217-222 DOI:10.7763/IJESD.2014.V5.481

[89] Yücel, S.,& Tiber,B. (2018). Hazır Giyim Endüstrisinde Sürdürülebilir Moda. *Tekstil ve Mühendis*, 25:((112), 370-380.

[90]Pandit,P., Nadathur,T.G.,& Jose, S. (2019). Circular economy in textiles and apparel processing, manufacturing, and design. The Textile Institute Book Series. In: Chapter 5-Upcycled and low-cost sustainable business for value-added textiles and fashion, Sciencedirect, pp.95-122 https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102630-4.00005-4

[91] Knowledge hub. Case studies. Renew: a life's commitment to Eileen Fishers garments. Erişim tarihi: 20.12.2023 https://knowledge-hub.circle-economy.com/article/4213?n=Renew-a-life%27s-commitment-to-Eileen-Fishers-garments-

[92] https://immago.com/upcycling-clothes/

[93]Binark, E. (2017). Sürdürülebilir moda. Keşfetmeniz gereken duayarlı markalar https://modakariyeri.com/surdurulebilir-markalar/ Erişim tarihi 10.11.2023

[94]Brown Thomas Magazine. Fashion. Re/Done: The sustainable denim brand you should know about. https://www.brownthomas.com/magazine/issue-17/fashion-re-done.html Erişim tarihi 10.11.2023

[95]Ellen Macarthur Foundation. (2021). Dissolvable stitches that improve clothing recycling: Resortecs. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/dissolvable-stitches-that-improve-clothing-recycling-resortecs Erişim Tarihi 13.12.2023

[96]Fiber to Fashion. (2021). Fashion Innovation - Top 22 Technologies creating the future of fashion https://www.fibre2fashion.com/industry-article/8906/fashion-innovation-top-22-technologies-creating-the-future-of-fashion Erişim Tarihi 13.12.2023

[97] H&M Group Annual And Sustainability Report 2022. https://hmgroup.com/investors/annual-and-sustainability-report/

[98]https://www.linkedin.com/posts/massimomartinotti_a-story-and-a-movement-for-millennia-stories-activity-7018224921784770560-awpt?utm_source=share&utm_medium=member_desktop&trk=article-ssr-frontend-pulse_x-social-details_comments-action_comment-text Erişim tarihi:1.12.2023

[99]Fashion on Climate. http://www2.globalfashionagenda.com/initiatives/fashion-on-climate/

[100]GAP.Inc.2022 ESG Report. https://www.gapinc.com/en-us/values/sustainability/esg-report

[101]UN. (2023). Sustainable development goals. Goal 7: Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/

[102] Energy5. (2023). Solar energy innovation. The bright side of sustainable fashion utilizing solar energy for manufacturing https://energy5.com/the-bright-side-of-sustainable-fashion-utilizing-solar-energy-for-manufacturing

[103] Tekstil Teknoloji. (2023). Yenilenebilir Enerji, 324, 36.

[104] INDİTEX Annual Report 2021 https://static.inditex.com/annual_report_2021/en/unique-model/sustainability-basis-transformation.html

[105] **https://www.kobiaktuel.com.tr/genel/surdurulebilir-moda-icin-standartlari-yukseltiyoruz-h3324.html**

[106] UN. (2023). Sustainable development goals. Goal 12. https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/

[107] Odabaşı, Y. (2004). Postmodern pazarlama: Tüketim ve tüketici. MediaCat Yayınları, İstanbul, ss. 58

[108] Connolly, J.,& Prothero, A.(2008). Green consumption: life-politics, risk and contradictions. *Journal of Consumer Culture*, 8(1), 117-145.

[109] Boström,M.,& Micheletti, M. (2016). Introducing the sustainability challenge of textiles and clothing. Journal of Consumer Policy, 39, 367–375 DOI10.1007/s10603-016-9336-6

[110] Adegeest, D.A. (2022). Consumers want to shop sustainably, what are the opportunities for brands? Fashion United. https://fashionunited.uk/news/retail/consumers-want-to-shop-sustainably-what-are-the-opportunities-for-brands/2022102465829 Erişim tarihi 15.12.2023

[111]Forsman, L., & Madsen, D. (2017). Consumers' attitudes towards sustainability and sustainable labels in the fashion industry. Master Thesis. The Swedish School of Textiles, University Of Borås, Borås, Sweden.

[112] Harvard Business Review Türkiye. (2023).Sürdürülebilirlik ve şirketlerin bilinçli tüketimdeki kritik görevi https://hbrturkiye.com/sponsorlu-icerik/surdurulebilirlik-ve-sirketlerin-bilincli-tuketimdeki-kritik-gorevi

[113]T.C. Cumhurbaşkanliği Starteji ve Bütçe Başkanliği. Sürdürülebilir üretim ve tüketim kalıplarını sağlamak. 12 Sorumlu tüketim ve üretim. http://www.surdurulebilirkalkinma.gov.tr/amaclari/surdurulebilir-tuketim-ve-uretim-modellerini-temin-etmek/ Erişim tarihi 20.12.2023

European Journal of
Engineering and Applied Sciences

ISSN: 2651-3412 (Print) & 2667-8454 (Online)
Journal homepage: http://dergipark.gov.tr/EJEAS
Published by Çorlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University

European J. Eng. App. Sci. 7(1), 21-26, 2024

Araştırma Makalesi

Kitosan/Hiyaluronik Asit/Jelatin Hidrojellerinin Antikanser İlacında Şişme Davranışı ve İlaç Tutma Kapasitesinin İncelenmesi

Betül TAŞDELEN[1,*], Ömer Faruk GÜDER[2]

[1] **Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860**
[2] **Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye, 34119**
[1,] btasdelen@nku.edu.tr, [2] omrfrkgdr@gmail.com

Geliş: 04.03.2024 Kabul: 30.04.2024 DOI: 10.55581/ejeas.1447096

Öz: Günümüzde kanser teşhisi konulan hasta sayısı her geçen gün artmaktadır. Pek çok kanser tedavisinde kemoterapi vazgeçilmez tedavi yöntemidir. Kemoterapi uygulamalarının dezavantajlarını ortadan kaldırmak ve hastaya yeterli dozda ilaç verilmesinin sağlanması amacıyla hedefe yönelik ilaç salım teknolojileri geliştirilmiş ve hidrojeller bu alanda öne çıkmıştır. Hidrojeller, çapraz bağları ve 3-boyutlu ağ yapıları sayesinde su absorplama ve desorplama yeteneğine sahiptirler. Doğal polimerik hidrojeller tıp alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kitosan(CS) doğal biyopolimeri, yüksek biyouyumluluk, biyobozunabilirlik ve düşük toksisite gibi benzersiz özellikleri nedeniyle uzun yıllardır kontrollü ilaç salım sistemlerinde kullanılmaktadır. Farklı doğal biyopolimerlerin CS ile sentezlenmesi ile oluşan hidrojellerin şişme ve ilaç tutma kapasitesi özellikleri geliştirilebilir. Bu makalede, CS'ye hyaluronik asit(HA) ve jelatin(GEL) ilave edilmesiyle geliştirilmiş yeni tip CS/HA/GEL hidrojellerinin model ilaç olarak kullanılan 5-Fluorourasil(5-FU) antikanser ilacındaki kütlece şişmeleri değerlendirilmiş, UV-Vis spektrofotometre ile 5-FU ilacı tutma kapasiteleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, CS, CS/HA ve CS/HA/GEL hidrojellerinin antikanser ilacında şişme davranışı ve ilaç tutma kapasiteleri incelendi. CS'ye HA eklenmesiyle 5-FU tutma kapasitesi (1.2 mg 5-FU/g kuru jel) artarken CS'ye GEL ilave edilmesiyle ise 5-FU tutma kapasitesi (0.4 mg 5-FU/g kuru jel) azalma gözlenmiştir. Sentezlenen hidrojeller, biyomedikal alanda kontrollü ilaç salım sistemlerinde umut vadetmektedir.

Anahtar kelimeler: *Hidrojel, Hyaluronik asit, İlaç Tutma, Jelatin, Kitosan, 5-FU*

Swelling and Anticancer Drug Uptake Capacity of Chitosan/Hyaluronic Acid/Gelatin Hydrogels

Abstract: Nowadays, the number of patients diagnosed with cancer is increasing day by day. Chemotherapy is an indispensable treatment method in many cancer treatments. Hydrogels have the ability to absorb/desorb water thanks to their cross-links and 3-dimensional network structures. In order to eliminate the disadvantages of chemotherapy applications and to ensure that a sufficient dose of drug is given to the patient, targeted drug release technologies have been developed and hydrogels have come to the fore in this field. Natural polymeric hydrogels are widely used in the medical field. Chitosan(CS) natural biopolymer has been used in controlled drug release systems for many years due to its unique properties such as high biocompatibility, biodegradability and low toxicity. By using different natural biopolymers with CS, the swelling and drup uptake capacity properties of the hydrogels can be improved. In this article, the swelling and drug uptake capacity of CS, CS/HA and CS/HA/GEL hydrogels in the 5-Fluorouracil (5-FU) used as a model drug was evaluated and drug uptake capacities were determined by UV-Vis spectrophotometer. As a result, swelling and drug uptake capacities of CS, CS/HA and CS/HA/GEL hydrogels in anticancer drug solution were investigated. While the 5-FU retention capacity (1.2 mg 5-FU/g dry gel) increased with the addition of HA to CS, a decrease in 5-FU retention capacity (0.4 mg 5-FU/g dry gel) was observed with the addition of GEL to CS. All the prepared hydrogels are promising in future for controlled drug delivery sytems in biomedical applications.

Keywords: *Hydrogel, Hyaluronic acid, Drug retention, Gelatin, Chitosan, 5-FU*

*Sorumlu yazar
E-mail adresi: btasdelen@nku.edu.tr (B. Taşdelen)

1. Giriş

Çağımızın en ölümcül hastalığı olan kanser, günümüzde çokça görülmektedir. Her geçen gün pek çok farklı kanser çeşidi artarak literatürde yerini almaktadır. Radyoterapi, kemoterapi, immünoterapi ve cerrahi uygulamalar kanser tedavileri arasında yer almaktadır [1]. Pek çok kanserin tedavisinde kemoterapi uygulanması gerekmektedir [2].

Kemoterapi, kanser tedavisinin başarıya ulaşmasında önemli bir yöntem olarak ele alınsa da, antikanser ilacının kanser hücrelerinin dışındaki normal hücreler tarafından da metabolize edilmesi çeşitli yan etkilere, ilaç reaksiyonlarına ve kanser hücrelerinin düşük doz antikanser ilacı almasına neden olmaktadır. Kontrolsüz ilaç dağılımı, zayıf hedefleme, düşük terapötik indeks, ilaç toleransı ve düşük ilaç yükleme etkinliği gibi dezavantajlar kemoterapi uygulamasını sınırlamaktadır [3]. Antikanser ilaçları seçici olmadıklarından kanserli hücreler ile normal hücreler arasında ayrım yapamamakta ve normal dokularda ilaca bağlı toksisiteye sebep olmaktadırlar [4].

Kemoterapinin kısıtlayıcı etkilerini ortadan kaldırmak ve etkinliğini arttırmak için ilaçların tümör dokusunda seçici olarak birikmesini sağlayacak lokalize hedefleme ve kontrollü ilaç dağıtım sistemleri geliştirilmiştir [5]. Kemoterapi uygulamalarının eksikleri ve kontrollü ilaç dağıtım sistemlerindeki gelişmeler araştırmacıları lokalize ilaç dağıtımı için enjekte edilebilir biyopolimer bazlı hidrojellere yönlendirmiştir.

Hidrojeller, 3 boyutlu ve çapraz bağlı dallanmış veya doğrusal yapılı hidrofilik polimerlerden meydana gelmektedir. Yüksek yüzey alanına sahip hidrojeller, kendi kütlelerinden daha yüksek kütlelerde suyu, fizyolojik çözeltileri veya yüklenen ilaçları absorbe etmektedir [6]. Hidrojeller yüksek geçirgenlikleri, yüksek absorbe yetenekleri ve spesifik 3 boyutlu hidrofilik yapılarıyla biyomedikal uygulamalarda büyük önem kazanmış ve değerli ilaç dağıtım malzemeleri arasında görülmüştür [7-9]. İhmal edilebilir sitotoksisite, su tutma kapasitesinin yüksekliği, biyobozunurluk ve mükemmel biyouyumluluk gibi eşsiz özellikleri son yıllarda hidrojellerin kanser tedavisindeki kullanımını da yaygınlaştırmıştır [10-12].

Kanser tedavisinde kullanılan hidrojeller, iç veya dış uyaranlara cevap vererek ilaç salımı gerçekleştiren, kullanım amacı ve yerine göre işlevselleştirilebilen, nanojellerden makroskobik boyuttaki jellere kadar farklı boyutlarda tasarlanabilmektedir [13,14]. Şekil ve boyutları farklılık gösterse de hidrojellerin polimer ağı ile ilaç arasındaki benzer etkileşimleri sebebiyle ilaç salım yöntem ve mekanizmaları birbiriyle benzerdir. Sistemik toksik yan etkileri azaltmak, çoklu enjeksiyonun sebep olduğu rahatsızlıkları azaltmak ve kanserli dokuda uzun süre yüksek ilaç konsantrasyonunu korumak için antikanser ilaçları hidrojellere yüklenmekte ve kanserli doku etrafına implante edilmektedir. Tümör doku, normal dokulara göre asidik pH, hipoksi, gelişmiş tutma ve geçirgenlik gibi özelliklere sahiptir. Bu özelikleri ilaç dağıtım sistemlerinin tasarımında kullanılmaktadır [15].

Hidrojellerin ışık, sıcaklık, pH, manyetik alan gibi dış uyarılara cevaben konformasyonel değişiklik gösterme yeteneği, tümör dokunun kendine özgü özelliklerine uygun olarak tasarlanan hidrojel sistemlerle kanser tedavisi için yüksek ilaç dağıtım verimliliği sağlamaktadır [16]. Hidrojeller ilaç taşıyıcı olarak kullanımlarının dışında, birden fazla zayıf çözünürlük ve düşük stabiliteye sahip ilacın yüklenerek sürekli dağıtımını sağlayan lokalize bir depo görevi de görebilmektedir [17]. İkili veya çoklu ilaç kombinasyonu, tek ilaçlı kemoterapiye göre her ilacın dozajının azaltılabilmesi sayesinde etkili bir tedavi oluştururken toksik yan etkileri azaltabilmektedir [18].

Biyolojik olarak parçalanabilir, biyoyuyumlu ve düşük immünojeniteye sahip Kitosan (CS), hücrelere karşı daha geçirgen ve bol miktarda bulunan doğal bir biyopolimerdir [19,20]. Doğal polimerler arasında CS, ilaç dağıtım sistemlerinde önemli bir yere sahiptir. Amin gruplarının varlığı sebebiyle pH'a duyarlıdır [21]. CS'nin ucuz ve bol bulunabilirliği avantaj sağlamaktadır. Sahip olduğu özellikleri CS'yi ilaç dağıtımında potansiyel bir biyopolimer olarak öne çıkarmaktadır [22].

CS hidrojelleri, uygun boşluklu yapıları sayesinde in vivo ve in vitro olarak birden fazla ilaçla etkili bir şekilde yüklenebilmektedir. CS hidrojelleri insan vücudunda belirgin toksik yan etkiler oluşturmadan kolayca küçük moleküllere metabolize edilmektedir. Ayrıca küçük moleküllerden proteinlere kadar çok çeşitli ilaç moleküllerini yapıları içerisine alarak taşıyabilmektedir [23]. CS, yüksek biyouyumluluk ve biyoaktivitesiyle kompleks biçimde kullanılabilmektedir. CS'nin mekanik özellikleri, hücre afinitesi ve hücreler arası uyumu CS'ye eklenen diğer biyopolimerle arttırılabilir [24].

Dokular arası madde geçişi, dokuların hidrasyonu, hücre bölünmesi ve hücre farklılaşması gibi hayati aktivitelerde yer alan Hyaluronik asit (HA), doğal bir biyopolimerdir. Vücudun her dokusunda bulunur. Biyoaktif ve biyouyumludur, immünojenik ve trombojenik olmamakla birlikte yüksek su afinetisine sahiptir. HA, diğer polimerle kombine edilmesiyle hidrojellerin su tutma kapasitesinin arttırılmasını sağlamaktadır [25].

Jelatin (GEL), temel olarak prolin, glisin ve 4-hidroksiprolin aminoasitlerinden oluşan, CS ve HA gibi biyouyumlu ve toksik olmayan bir biyopolimerdir. GEL'in yaklaşık %90'ı proteindir. Geriye kalan kısmı mineral, su ve tuzlardan oluşmaktadır. GEL immunojenik ve antijenik değildir. Hidrojel sentezinde diğer biyopolimere göre kolay jelleşebilme özelliği sebebiyle tercih edilmektedir. GEL özellikle çoklu uygulamalardaki başarısıyla dikkat çekmektedir. GEL, CS ile kombine edildiğinde oluşturulan hidrojellerin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir [26,27].

5-Fluorourasil (5-FU), meme ve kolorektal kanseri gibi farklı kanserlerin tedavisinde 1957'den beri yaygın olarak kullanılan antimetabolit etki gösteren bir antikanser ilacıdır. Pirimidin bazlarına yapısal benzerliğe sahip olan timidilat sentazın (TS) etkisini inhibe ederek DNA replikasyonunu önler [28]. Yapısı gereği 5-FU, metabolitlerini RNA ve DNA'ya dahil ederek temel biyosentetik aktiviteye müdahale eder ve nükleozid

metabolizmasını engeller. Böylece sitotoksisiteye ve hücre ölümüne yol açar [29]. Suda düşük stabilite ve zayıf bir çözünürlüğe sahiptir [30]. Karaciğer, yumurtalık, pankreas, baş, boyun, beyin, gastrointestinal sistem veya katı tümörlere karşı diğer antikanser ilaçlarıyla birlikte veya tek başına geniş bir aktivite aralığında kullanılabilir [31,32].

Ancak karaciğerdeki hızlı metabolizması nedeniyle 5-FU'nun plazma dolaşım yarı ömrü yaklaşık 15-20 dakika gibi kısa bir süredir [33]. Diğer bir dezavantajı da spesifik olmamasından kaynaklanan sistemik toksisiteye yol açması ve düşük biyoyararlanımıdır. Bu durum yüksek doz kullanımına neden olmakta ve pek çok yan etkiye sebebiyet vermektedir [34]. İlaç dağıtımındaki sorunların ve toksik yan etkilerin en aza indirilmesinde hidrojel uygulaması bir potansiyel teşkil etmektedir. Ayrıca nano ilaç dağıtımı, 5-FU'nun kan dolaşımındaki yarı ömrünü arttırabilmektedir [35].

Taşdelen vd. [36], CS/HA/HAP hidrojellerini gama ışınla sentezleyerek 5-FU içerisinde şişme, ilaç salım kinetiği ve ilaç salım davranışlarını araştırmışlardır. CS hidrojellerinde HA ve HAP katılmasıyla şişme oranlarında yüksek oranda artış olduğunu ve ilaç yükleme ve salım yeteneklerinin geliştirildiğini göstermişlerdir [36].

Amini-Fazl.vd. [37], CS/PAA/Fe3O4 manyetik nanokompozit hidrojeline 5-FU yükleyerek hazırladıkları yeni nanokompozit taşıyıcının kontrollü ilaç dağıtım etkinliğini göstermek için kolon ve rektal koşullarda in vitro ilaç dağıtım testleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, CS/PAA/Fe3O4 için kolon ve rektal koşullarda kontrollü bir salım ve ilaç dozajının yüksek stabilitesini göstermişlerdir. Geleneksel taşıyıcılara göre, hazırlanan hidrojelin manyetik özelliğinin avantajları hedefe yönelik ilaç dağıtımına uygundur. 5-FU'nun spesifik salınımı için uygun olan, CS/PAA/Fe3O4 hidrojeli kolon ve rektal 5-FU uygulaması olarak ilaç dozajını arttırmada potansiyel olarak kullanılabilir [37].

Mohammed vd. [38], ısıya duyarlı farklı CS hidrojellerini β-gliserofosfat, pluronik F127 ve HAP gibi farklı çapraz bağlayıcılarla sentezleyerek hidrojellerin 5-FU yüklemesini gerçekleştirmişlerdir. 5-FU'ya sinerjistik etki elde etmek için metotreksat eklemişlerdir. İlaçların uyumu için uyumluluk çalışması ve hidrojellerin karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, β-gliserofosfat ve %10 pluronik F127 (F4) kombinasyonu ile çapraz bağlanan CS hidrojelinin en uygun fizikokimyasal özellikleri ve salım profili göstermiştir. 4 haftadan uzun etki süresine sahiptir. Uzun süreli etki ile sık enjeksiyondan kaçınılacağından, elde edilen sistemin, antikanser ilaçlarının sürdürülebilir bir şekilde kantitatif salınımı için umut vericiliğini ortaya koymuştur [38].

Emani vd. [39], farklı konsantrasyonlarda BTC ile çapraz bağlanan CS hidrojellerinin 5-FU salım çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Hidrojeller, 3 saatlik incelemede %35 ile %50 salımla sürekli bir salım profili ortaya çıkarmıştır. BTC çapraz bağlayıcısının CS hidrojellerinin mekanik özelliklerini iyileştirdiği ve kanser terapötiklerinin sürekli salınımında potansiyel oluşturduğunu ortaya koydular. Hidrojel sistemlerin kontrollü ilaç salımındaki üstün başarısını bir kez daha göstermişlerdir [39].

İlaç salım tekniklerinde hidrojellerin koruyucu etkileri, uygun enjeksiyonları gibi avantajları kullanımını yaygınlaştırmaktadır. CS hidrojelleri de üstün özellikleri sebebiyle ilaç dağıtım sistemlerinde öne çıkmaktadır. Literatür incelendiğinde CS hidrojellerinin mekanik özelliklerinin ve ilaç salım mekanizmasının iyileştirilmesi yönünde farklı çapraz bağlayıcılar ve farklı biyopolimerle geliştirilen CS bazlı yeni hidrojellerin 5-FU ilaç emilimleri ve ilaç dağıtım sistemleri üzerine çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu amaç doğrultusunda çalışmamızda, literatüre ek olarak CS, HA ve GEL doğal biyopolimerleri kullanılarak sentezlenen CS bazlı hidrojellerin model ilaç olarak 5-FU içerisinde dinamik şişme testleri gerçekleştirilmiş ve şişme davranışları araştırılmıştır. Ayrıca CS hidrojellerinin 5-FU'daki ilaç emilimi UV-Vis spektrofotometre ile incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasallar herhangi bir işlem uygulanmadan doğrudan kullanılmıştır. Hidrojellerin sentezinde kullanılan kitosan (CS), hyaluronik asit (HA), jelatin (GEL) doğal biyopolimerleri ve glutaraldehit (GA) çapraz bağlayıcısı Sigma-Aldrich'ten satın alınmıştır. Hidrojellerin dinamik şişme testleri 5-FU içerisinde gerçekleştirilmiştir. Hidrojellerin 5-FU ilaç emilimleri UV-Vis Spektroskopisi ile analiz edilmiştir.

2.1. CS Bazlı Hidrojellerin Sentezi

0.2g CS, 0.01g HA, 0.02g GEL ve kütlece %0.4'lük GA çapraz bağlayıcısı kullanılarak CS, CS-HA, CS-GEL ve CS-HA-GEL hidrojelleri sentezlenmiştir [40].

2.2. Şişme Testleri

Hidrojellerinin karakterizasyonunun belirlenmesinin temeli hidrojellerin şişme davranışlarının değerlendirilmesidir. Çapraz bağlı ağ yapılı polimerler, uygun çözücü ortamında, yapıları içerisine giren çözücü etkisiyle şişerler. Şişme, bir miktar zaman geçtikten sonra giren ve çıkan çözücünün hızlarının eşit olduğu anda denge durumuna ulaşır. Bu en büyük şişmenin görüldüğü andır. Hidrojellerin kuru haldeki ağırlıkları dikkate alınarak kütlece yüzde şişmeleri (%S) (1) ile ve dengedeki kütlece yüzde şişmeleri (%S_{eq}) (2) ile hesaplanmaktadır [36].

$$S(\%)=\frac{(m_t - m_0)}{m_0} x\ 100 \quad (1)$$

$$S_{eq}\ (\%)=\frac{(m_\infty - m_0)}{m_0} x\ 100 \quad (2)$$

Burada m_0 kuru jelin kütlesi, m_t t süre sonundaki şişmiş hidrojelin kütlesi ve m_∞ dengede şişmiş hidrojelin kütlesidir [36].

2.3. Hidrojellere İlaç Yüklemesi

CS, CS-HA, CS-GEL ve CS-HA-GEL hidrojelleri, 100 mL distile su içerisinde 0.1g 5-FU oda sıcaklığında karıştırılarak hazırlanan çözelti içerisinde bekletilerek dinamik şişme testleri uygulanmıştır.

2.4. UV-Vis Spektrofotometre Analizi

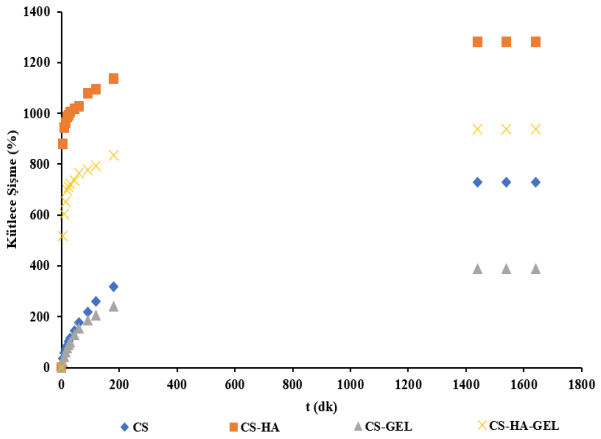
50 ppm derişimde hazırlanan 5-FU çözeltileri içerisinde CS, CS-HA, CS-GEL ve CS-HA-GEL hidrojelleri 1 gün boyunca

bekletildi. Farklı zamanlarda, çözeltiden alınan 3 ml'lik örneklerdeki 5-FU konsantrasyonları UV-Vis Spektroskopisi (PG Instruments, T60, UK) 266 nm'de ölçülmüş ve hidrojellerin ilaç tutma kapasitesi belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

5-FU içerisinde dinamik şişme testleri uygulanan CS hidrojellerinin kütlece yüzde şişmeleri (1) ile hesaplanarak Şekil 1'de verilmiştir.

Hidrojellerin kütlece şişmeleri zamanla birlikte artmış ve 1440.dakikada şişmenin denge değerine ulaşarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 1). Hidrojellerin denge halindeki kütlece şişmeleri denklem (2) ile hesaplanmıştır.



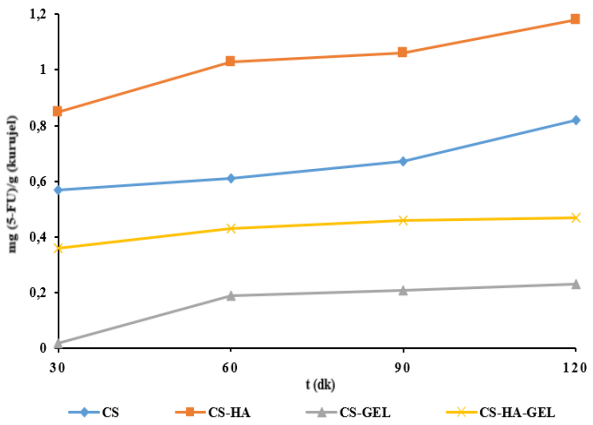
Şekil 1. *CS bazlı hidrojellerin 5-FU'da kütlece şişmelerinin zamana göre değişimi*

CS-HA, 5-FU'da en yüksek kütlece şişme yüzdesine sahiptir. CS-HA-GEL'in 5-FU'daki zamana bağlı kütlece şişmesi CS'den yüksektir. Ancak CS-HA'dan düşüktür. En düşük kütlece şişme ise CS-GEL'de görülmüştür. CS'ye HA ilave edilmesi ile sentezlenen CS/HA hidrojelleri, HA'nın hidrofilik karakteri nedeniyle kütlece şişme (%)'si artmıştır (Şekil 1).

CS'ye GEL eklendiğinde oluşan CS/GEL'in polimer zincirleri birbirleriyle fiziksel dolaşma göstererek hidrojel yapısının yoğunluğunun arttırmaktadır. Yoğunluk artışı etkisiyle kütlece şişmede düşüş gözlemlenmektedir [41].

5-FU stok çözeltisi hazırlanmış ve stok çözelti farklı konsantrasyonlara seyreltilerek standart çözeltiler elde edilmiştir. Standart çözeltiler UV-Vis spektrofotometre ile ölçülerek absorbans ve konsantrasyonların kesimiyle kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. CS hidrojellerinin 5-FU ilaç emilimleri Şekil 2'de verilmiştir.

Dengeye varılan 120 dakikada CS-HA'nın en yüksek ilaç tutma kapasitesine (1.2 mg/g kuru jel) sahip olduğu ve en düşük ilaç tutma kapasitesi (0.24 mg 5-FU/ g kuru jel) CS-GEL'de görülmektedir (Şekil 2). CS-HA'nın kütlece şişme yüzdesi daha yüksek olduğu için daha fazla ilaç molekülleri hidrojelin gözenekleri içine girmiştir. Buna bağlı olarak ilaç tutma kapasitesi artmıştır. Hidrojellerin ilaç tutma kapasiteleri değerlendirildiğinde CS'ye HA eklenmesiyle 5-FU tutma kapasitesi artmıştır. CS'ye GEL ilave edilmesiyle ise 5-FU tutma kapasitesi azalmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. *Zamana bağlı olarak CS bazlı hidrojellerin 5-FU tutma kapasitesi (mg/g kuru jel)*

4. Sonuçlar

Kanser tedavilerinde sıklıkla kullanılan kemoterapi uygulamalarının dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla hedefe yönelik ilaç salım teknolojilerinde hidrojel kullanımı her geçen gün ön plana çıkmaktadır. Doğal polimerik hidrojellerin insan vücuduyla eşsiz uyumu bilinmektedir. Literatürde pek çok doğal polimerin ilaç dağıtım uygulamalarında hidrojel sentezinde kullanıldığı görülmüştür. Özellikle CS hidrojelleri eşsiz özellikleriyle tercih edilmektedir. CS hidrojellerine farklı doğal biyopolimerler eklenerek mekanik özellikleri ve ilaç tutma kapasiteleri ve salım davranışları geliştirilebilmektedir. CS'ye hyaluronik asit (HA) ve jelatin (GEL) ilave edilmesiyle CS/HA/GEL hidrojelleri kriyojelasyon tekniği ile glutaraldehitin çapraz bağlayıcı olarak kullanılması ile sentezlenmiştir.

Bu çalışmada, CS, CS/HA, CS/GEL ve CS/HA/GEL hidrojelleri, model ilaç olan 5-FU antikanser ilacında şişme deneyleri gerçekleştirildi. UV-Vis spektrofotometre ile CS hidrojellerinin 5-FU ilaç tutma kapasiteleri belirlenmiştir. 5-FU antikanser ilacında ilaç tutma kapasitesi literatürde daha önce incelenmemiş olan CS/HA/GEL hidrojelinde, CS'ye HA eklenmesiyle 5-FU tutma kapasitesi artarken CS'ye GEL ilave edilmesiyle ise 5-FU tutma kapasitesi azalma gözlenmiştir. Sentezlenen hidrojeller, biyomedikal alanda kontrollü ilaç salım sistemlerinde umut vadetmektedir.

Yazar Katkısı

Literatür taraması – Ö.F.G; Araştırma – Ö.F.G; Deneysel performans – Ö.F.G; Yazan – Ö.F.G ve B.T.; İnceleme ve düzenleme – B.T.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

[1] Senapati, S., Mahanta, A. K., Kumar, S., & Maiti, P. (2018). Controlled drug delivery vehicles for cancer treatment and their performance. *Signal transduction and targeted therapy*, *3*, 7.

[2] Reddy L. H. (2005). Drug delivery to tumours: recent strategies. *The Journal of pharmacy and*

pharmacology, *57*(10), 1231–1242.

[3] Dalwadi, C., & Patel, G. (2018). Thermosensitive nanohydrogel of 5-fluorouracil for head and neck cancer: preparation, characterization and cytotoxicity assay. *International journal of nanomedicine*, *13*(T-NANO 2014 Abstracts), 31–33.

[4] Johnstone, R. W., Ruefli, A. A., & Lowe, S. W. (2002). Apoptosis: a link between cancer genetics and chemotherapy. *Cell*, *108*(2), 153–164.

[5] Langer R. (1990). New methods of drug delivery. Science (New York, N.Y.), *249*(4976), 1527–1533.

[6] Laftah, W.A., Hashim, S. and Ibrahim, A.N. (2011) Polymer Hydrogels: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50, 1475-1486.

[7] Slomkowski, S., Alemán, J. V., Gilbert, R. G., Hess, M., Horie, K., Jones, R. G., ... & Stepto, R. F. (2011). Terminology of polymers and polymerization processes in dispersed systems (IUPAC Recommendations 2011*). Pure and Applied* Chemistry, *83*(12), 2229-2259.

[8] Hoffman, A. S. (2012). Hydrogels for biomedical applications. Advanced drug delivery reviews, *64*, 18-23.

[9] Li, S., Jasim, A., Zhao, W., Fu, L., Ullah, M. W., Shi, Z., & Yang, G. (2018). Fabrication of pH-electroactive bacterial cellulose/polyaniline hydrogel for the development of a controlled drug release system. *Materials & Manufacturing*, *1*(28), 41-49.

[10] Li, J., & Mooney, D. J. (2016). Designing hydrogels for controlled drug delivery. *Nature Reviews Materials*, *1*(12), 1-17.

[11] Wu, Q., He, Z., Wang, X., Zhang, Q., Wei, Q., Ma, S., Ma, C., Li, J., & Wang, Q. (2019). Cascade enzymes within self-assembled hybrid nanogel mimicked neutrophil lysosomes for singlet oxygen elevated cancer therapy. *Nature communications*, *10*(1), 240.

[12] Fang, Y., Tan, J., Lim, S., & Soh, S. (2018). Rupturing cancer cells by the expansion of functionalized stimuli-responsive hydrogels. *NPG Asia Materials*, *10*(2), e465-e465.

[13] Yallapu, M. M., Jaggi, M., & Chauhan, S. C. (2011). Design and engineering of nanogels for cancer treatment. *Drug discovery today*, *16*(9-10), 457–463.

[14] Norouzi, M., Nazari, B., & Miller, D. W. (2016). Injectable hydrogel-based drug delivery systems for local cancer therapy. *Drug discovery today*, *21*(11), 1835–1849.

[15] Danhier, F., Feron, O., & Préat, V. (2010). To exploit the tumor microenvironment: Passive and active tumor targeting of nanocarriers for anti-cancer drug delivery. Journal of controlled release : *Official journal of the Controlled Release Society*, *148*(2), 135–146.

[16] Thambi, T., Phan, V. H., & Lee, D. S. (2016). Stimuli-Sensitive Injectable Hydrogels Based on Polysaccharides and Their Biomedical Applications. *Macromolecular rapid communications*, *37*(23), 1881–1896.

[17] Sun, Z., Song, C., Wang, C., Hu, Y., & Wu, J. (2020). Hydrogel-Based Controlled Drug Delivery for Cancer Treatment: A Review. *Molecular pharmaceutics*, *17*(2), 373–391.

[18] Takimoto, C. H., & Awada, A. (2008). Safety and anti-tumor activity of sorafenib (Nexavar) in combination with other anti-cancer agents: a review of clinical trials. *Cancer chemotherapy and pharmacology*, *61*(4), 535–548.

[19] Sharma, R., Raghav, R., Priyanka, K., Rishi, P., Sharma, S., Srivastava, S., & Verma, I. (2019). Exploiting chitosan and gold nanoparticles for antimycobacterial activity of in silico identified antimicrobial motif of human neutrophil peptide-1. *Scientific reports*, *9*(1), 7866.

[20] Nejadshafiee, V., Naeimi, H., Goliaei, B., Bigdeli, B., Sadighi, A., Dehghani, S., Lotfabadi, A., Hosseini, M., Nezamtaheri, M. S., Amanlou, M., Sharifzadeh, M., & Khoobi, M. (2019). Magnetic bio-metal-organic framework nanocomposites decorated with folic acid conjugated chitosan as a promising biocompatible targeted theranostic system for cancer treatment. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*, *99*, 805–815.

[21] Sun, X., Liu, C., Omer, A. M., Yang, L. Y., & Ouyang, X. K. (2019). Dual-layered pH-sensitive alginate/chitosan/kappa-carrageenan microbeads for colon-targeted release of 5-fluorouracil. *International journal of biological macromolecules*, *132*, 487–494.

[22] Smith, T., Affram, K., Bulumko, E., & Agyare, E. (2018). Evaluation of in-vitro cytotoxic effect of 5-FU loaded-chitosan nanoparticles against spheroid models. *Journal of nature and science*, *4*(10), e535.

[23] Tian, B., Hua, S., Tian, Y., & Liu, J. (2020). Chemical and physical chitosan hydrogels as prospective carriers for drug delivery: A review. *Journal of Materials Chemistry B*, *8*(44), 10050-10064.

[24] Miranda, D. G., Malmonge, S. M., Campos, D. M., Attik, N. G., Grosgogeat, B., & Gritsch, K. (2016). A chitosan-hyaluronic acid hydrogel scaffold for periodontal tissue engineering. *Journal of biomedical materials research. Part B, Applied biomaterials*, 104(8), 1691–1702.

[25] Collins, M. N., & Birkinshaw, C. (2013). Hyaluronic acid based scaffolds for tissue engineering: a review. *Carbohydrate polymers*, 92(2), 1262–1279.

[26] Lu, Z., Gao, J., He, Q., Wu, J., Liang, D., Yang, H., & Chen, R. (2017). Enhanced Antibacterial and Wound Healing Activities Of Microporous Chitosan-Ag/ZnO Composite Dressing. *Carbohydrate polymers*, 156, 460–469.

[27] Qiao, C., Ma, X., Zhang, J., & Yao, J. (2017). Molecular Interactions In Gelatin/Chitosan Composite Films. *Food chemistry*, 235, 45–50.

[28] Longley, D. B., Harkin, D. P., & Johnston, P. G. (2003). 5-fluorouracil: mechanisms of action and clinical strategies. *Nature reviews. Cancer*, *3*(5), 330–338.

[29] Arias J. L. (2008). Novel strategies to improve the anticancer action of 5-fluorouracil by using drug delivery systems. *Molecules* (Basel, Switzerland), *13*(10), 2340–2369.

[30] Feng, Y., Gao, Y., Wang, D., Xu, Z., Sun, W., & Ren, P. (2018). Autophagy Inhibitor (LY294002) and 5-fluorouracil (5-FU) Combination-Based Nanoliposome for Enhanced Efficacy Against Esophageal Squamous Cell Carcinoma. *Nanoscale research letters*, *13*(1), 325.

[31] Salerno, A., Domingo, C., & Saurina, J. (2017). PCL foamed scaffolds loaded with 5-fluorouracil anti-cancer drug prepared by an eco-friendly route. Materials science & engineering. C, *Materials for biological applications*, *75*, 1191–1197.

[32] Tummala, S., Satish Kumar, M. N., & Prakash, A. (2015). Formulation and characterization of 5-Fluorouracil enteric coated nanoparticles for sustained and localized release in treating colorectal cancer. Saudi pharmaceutical journal: SPJ: *the official publication of the Saudi Pharmaceutical*

Society, *23*(3), 308–314.

[33] Handali, S., Moghimipour, E., Kouchak, M., Ramezani, Z., Amini, M., Angali, K. A., Saremy, S., Dorkoosh, F. A., & Rezaei, M. (2019). New folate receptor targeted nano liposomes for delivery of 5-fluorouracil to cancer cells: Strong implication for enhanced potency and safety. *Life sciences*, *227*, 39–50.

[34] Sun, L., Chen, Y., Zhou, Y., Guo, D., Fan, Y., Guo, F., Zheng, Y., & Chen, W. (2017). Preparation of 5-fluorouracil-loaded chitosan nanoparticles and study of the sustained release in vitro and in vivo. *Asian journal of pharmaceutical sciences*, 12(5), 418–423.

[35] Sun, X., Liu, C., Omer, A. M., Lu, W., Zhang, S., Jiang, X., Wu, H., Yu, D., & Ouyang, X. K. (2019). pH-sensitive ZnO/carboxymethyl cellulose/chitosan bio-nanocomposite beads for colon-specific release of 5-fluorouracil. *International journal of biological macromolecules*, *128*, 468–479.

[36] Taşdelen, B., Erdoğan, S., & Bekar, B. (2018). Radiation synthesis and characterization of chitosan/hyraluronic acid/hydroxyapatite hydrogels: Drug uptake and drug delivery systems. Materials Today: Proceedings, *5*(8), 15990-15997.

[37] Amini-Fazl, M. S., Mohammadi, R., & Kheiri, K. (2019). 5-Fluorouracil loaded chitosan/polyacrylic acid/Fe_3O_4 magnetic nanocomposite hydrogel as a potential anticancer drug delivery system. *International journal of biological macromolecules*, *132*, 506–513.

[38] Mohammed, A. M., Osman, S. K., Saleh, K. I., & Samy, A. M. (2020). In Vitro Release of 5-Fluorouracil and Methotrexate from Different Thermosensitive Chitosan Hydrogel Systems. *AAPS PharmSciTech*, *21*(4), 131.

[39] Emani, S., Vangala, A., Buonocore, F., Yarandi, N., & Calabrese, G. (2023). Chitosan Hydrogels Cross-Linked with Trimesic Acid for the Delivery of 5-Fluorouracil in Cancer Therapy. *Pharmaceutics*, *15*(4), 1084.

[40] Güder, Ö.F., Taşdelen, B., Akyol, U. (2023). Doğal Polimer Bazlı Hidrojellerin Sentezi ve Karakterizasyonu. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(2), 110-118.

[41] Lv, B., Bu, X., Da, Y., Duan, P., Wang, H., Ren, J., & Ma, J. (2020). Gelatin/PAM double network hydrogels with super-compressibility. *Polymer*, *210*, 123021

European Journal of
Engineering and Applied Sciences

ISSN: 2651-3412 (Print) & 2667-8454 (Online)
Journal homepage: http://dergipark.gov.tr/EJEAS
Published by Çorlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University

European J. Eng. App. Sci. 7(1), 27-34, 2024

Research Article

Examination of Surface Hardness and Roughness of AISI 1050 Steel Material in Milling Based on Surface Processing Conditions

Beyza AVCI[1], Özdemir Berk VARAL[1], Ibrahim Savas DALMIS[2,*], Serdar Osman YILMAZ[2]

[1] DOMEKS Makine A. Ş., Tasarım Merkezi, Türkiye
[2] Makine Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye
[1]beyza@domeksmakine.com, [1]berk@domeksmakine.com, [2]idalmis@nku.edu.tr, [2]oyilmaz@nku.edu.tr

Received: 22.12.2023 *Accepted: 20.03.2024* *DOI: 10.55581/ejeas.1408250*

Abstract: It is known that material hardness and surface conditions have a significant impact on the operating life of machine elements working with each other. In this study, Surface roughness values obtained depending on processing conditions and hardness changes on the machined surfaces during milling of AISI 1050 steel were examined. In experimental studies, ideal machining conditions were determined by taking into account surface roughness values and hardness changes using the Taguchi L18 experimental design method. In all experiments, it was observed that the lowest surface hardness was achieved under dry conditions when 6500 1/min speed, 4000 mm/min feed rate, and 0.4 mm cutting depth values were applied. When the speed increased from 5500 1/min to 6000 1/min and the feed rate increased from 4500 mm/min to 5000 mm/min, improvements in surface quality were observed in both machining conditions. In conclusion; In experiments where coolant was applied at high cutting speeds, it was determined that surface hardness and surface roughness values were higher than in dry machining conditions.

Keywords: *Surface Hardness, Surface Roughness, Taguchi method.*

AISI 1050 Çelik Malzemenin Frezelemesinde Yüzey İşleme Koşullarına Bağlı Olarak Yüzey Sertliği ve Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi

Özet: Birbiri ile çalışan makine elemanlarının çalışma ömürlerinde malzeme sertliği ve yüzey durumlarının önemli etkisi olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada; AISI 1050 çeliğinin frezelenmesi esnasında işleme koşullarına bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve işlenmiş yüzeylerdeki sertlik değişimleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda Taguchi L18 deney tasarımı yöntemiyle yüzey pürüzlülük değerleri ve oluşan sertlik değişimleri göz önüne alınarak ideal işleme şartları tespit edilmiştir. Tüm deneylerde en düşük yüzey sertliği kuru şartlarda 6500 1/dak devir, 4000 mm/dak ilerleme hızı 0,4 mm kesme derinliği değerleri uygulandığında ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Devir sayısı 5500 1/dak'dan 6000 1/dak'a çıktığında ve ilerleme hızı 4500 mm/dak'dan 5000 mm/dak'a çıkartıldığında iki işleme şartında da yüzey kalitesinde iyileşmeler görülmüştür. Sonuç olarak; yüksek kesme hızlarında, soğutma sıvısının uygulandığı deneylerde yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kuru işleme şartlarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Yüzey Sertliği, Yüzey Pürüzlülüğü, Taguchi yöntemi.*

1. Introduction

The discourse centers on the pivotal role of steel in the manufacturing industry, emphasizing its widespread utilization owing to its malleability, production efficiency, and

* Corresponding author
E-mail adress: idalmis@nku.edu.tr

mechanical attributes [1]. It delineates the intricate manufacturing stages, beginning with material design, progressing through production methods, and culminating in quality control. Central to these phases are machining applications, pivotal within the manufacturing domain [2].

The industry's primary objectives encompass rapid, quality-driven, and cost-effective part production, prompting the development of innovative manufacturing methodologies [3-4]. Milling, among the prominently evolved processes, significantly influences surfaces in machining and is intrinsically linked to cutting parameters. Misjudged cutting parameters yield tool wear and suboptimal surface quality, leading to financial setbacks and compromised output integrity [5-6].

Surface quality emerges as a determinant of functional properties and product caliber, impacting tribological traits, wear resistance, and aesthetic appeal. While favorable surface quality enhances material attributes, it also escalates production expenses [7]. The milling process, affected by multifarious factors -such as cutting speed, depth, feed amount, and tool geometry- highlights the significance of measuring and characterizing surface properties for process optimization [8]. Various research endeavors have delved into these optimizations.

Studies by Gürbüz et L. (2021), Baday et al. (2020), Yılmaz & Güllü (2020), Yıldız (2018) and Yağmur et al. (2017) investigate distinct facets of machining processes, emphasizing surface roughness correlations with cutting parameters, heat treatments, tool coatings, and material types. These investigations employ diverse methodologies, ranging from regression analysis to experimental design methods, to discern optimal machining conditions and surface quality enhancements [9-13].

Furthermore, Yağmur et al. (2017), Sarikaya et al. (2015), Sarikaya & Güllü (2015), Kara & Budak (2015) and Yılmaz et al. (2014) engaged in multifaceted analyses encompassing drillability, milling, turning, and milling-turning hybrid processes. Their endeavors employed methodologies like Taguchi analysis, grey relational analysis, and multi-objective optimization to optimize parameters influencing tool wear, surface finish, material removal rates, and cutting forces [14-17].

These collective studies contribute significantly to the comprehension of machining operations, surface quality enhancements, and optimization methodologies within the manufacturing sector. Nonetheless, a focused synthesis or comparative analysis of these diverse investigations could yield a more comprehensive understanding and potentially pave the way for further advancements in machining processes and surface quality improvements. As a result of the literature research, it has been seen that various optimization studies have been carried out in many types of machining related to AISI 1050 Steel and different steel materials. However, in these studies, it was observed that material surface hardness, depending on the processing conditions in the milling process, was not discussed in many literature. Unlike other studies, in this study, different speeds, feed rates, and depths of cut were used in two different milling conditions: wet and dry. As a result of the experiments, the microhardness of the machining surfaces was measured and their effects on the surface condition were examined.

2. Materials and Methods

This study focuses on determining the effect of machining parameters on surface roughness and surface hardness in the milled surfaces of AISI 1050 steel using Taguchi's orthogonal array DoE (L18) technique optimizing the cutting parameters. Four factors and two, three levels with 18 experimental runs were conducted and the details are shown in Tables 4 and 5.

2.1. Test Pieces

AISI 1050 material with dimensions of 40x40x40 mm was used as the workpiece material in the experiments (Figure 1). The chemical and mechanical properties of this material are given in Table 1. and Table 2. respectively.

Figure 1. *Test pieces*

Table 1 Chemical composition of AISI 1050 Steel [18]

Fe	C	Si	Mn	P_{max}	S_{max}
Balance	0,42-0,50	0,15-0,35	0,50-0,80	0,045	0,045

Table 2 Mechanical properties of AISI 1050 steel [19]

Yield S(MPa)	Tensile S(MPa)	Elasticity M(GPa)	Elongation (min. %)	Hardness (HRC)
580	690	205	10	13(190HV)

2.2. Milling machine, tool, and coolant

In the experiments, a SPINNER brand VC 1150 3-axis CNC machining center with 35/25 kW engine power and a maximum spindle speed of 18,000 rpm was used.

WNT 5405912200 end mill with 12 mm diameter and 4 flutes was used as the cutting tool. The material of the end mills used was Tungsten Carbide coating Ti1200. The end mill had two edges of 35° and two edges of 38°. The cutting tool was used with AD40 ER32 A=100 tool holder. The cutting tool and the cutting tool holder are shown in Figure 2. In experimental studies, a 10 mm radial depth of cut was used.

Two different processes were carried out in the experiments, some of the experiments using coolant and the other as dry processing (without coolant). CNC machining coolant comprises special chemical additives formulated for compound concentration. The coolant mixture ratios used in

the machine for processes using coolant are given in Table 3.

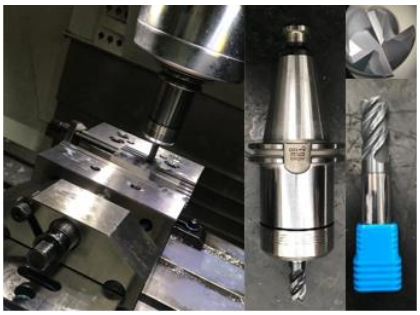


Figure 2. *Cutting tools and tool holders used in experiments*

Table 3 The concentration of coolant

Additives	Concentration (L)
Mobil cut 100-new	%5 (10)
Eurocide te-sd	%1,5 (3)
Eurolub tess-san antifoam s	%1,5 (3)
Eurocide te-b	%1,5 (3)
Water	%90,5 (181)
Capacity of cooling system	%100 (200)

2.3. Experimental Parameters

The experiments were carried out in two different ways. These are using coolant and are dry-cut. Machining parameters are given in Table 4. The cutting parameters used in the experiments were determined as a result of preliminary tests, taking into account the cutting tool catalog values [20].

Table 4 Machining parameters and their levels

Parameters	Symbol	Level		
		1	2	3
Coolant	**A**	1 (Dry)	2 (Wet)	-
Speed (1/min)	**B**	5500	6000	6500
Feed rate, (mm/min)	**C**	4000	4500	5000
Depth of cut (mm)	**D**	0,2	0,4	0,6

Taguchi L18 (2^1 3^3) orthogonal array (OA) was used in this study. In the experimental design, two different cooling methods, three different speeds (5500; 6000, and 6500 m/min), three different feed rates (4000; 4500, and 5000 mm/min), and three different cutting depths (0.2, 0.4, and 0.6) were used for 18 cuttings. According to the surface roughness and machined surface hardness values obtained after the experiments, S/N ratios were calculated using the "smallest is best equation".

$$S/_N = -10\ \log \frac{1}{n}\Sigma_{i=1}^{n} y_i^2 \qquad (1)$$

2.4. Measuring Devices and Methods

The surface roughness values (Ra) obtained in the experiments were measured with the Mitutoyo SJ-210 surface roughness measuring device according to DIN EN ISO 16610-21. Surface roughness measurements were used in statistical analysis by taking the average of 5 different measurements taken on the samples (Figure 3). The surface hardness of the processed and untreated test samples was measured as $HV_{0.1}$ with the MICROBUL 1000-DN microhardness device (Figure 3). Surface hardness was also used in statistical analysis by taking the average of 5 different measurements taken from the sample surfaces.

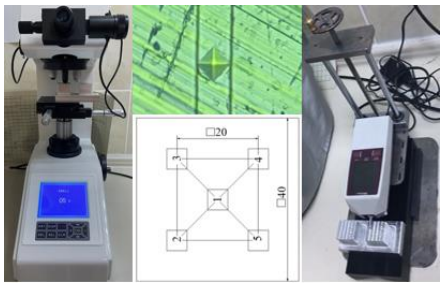


Figure 3. *Measurement locations, microhardness testing machine and surface roughness tester*

3. Results and Discussion

According to the experimental plan, the first 9 experiments were carried out using a coolant and at different cutting speeds, feed rates, and depth of cut values. The next experiments 9 to 18 were carried out under dry conditions. In the experiments carried out under coolant and dry conditions, a new cutting tool was used for each cutting speed.

3.1. Surface Roughness and Surface Hardness Results

The surface roughness and machined surface hardness results were obtained as a result of the experiments presented in Table 5.

3.2. Determination of the optimum cutting condition

Utilizing the S/N (Signal-to-Noise) ratio analysis, the optimal cutting performance in milling operations was ascertained. This analysis facilitated the determination of delta statistics and subsequent ranking based on the obtained results. Table 6 presents the mean outcomes, revealing that the depth of cut holds the foremost rank (rank 1) and exerts the most pronounced influence on surface roughness. This is followed by the speed parameter, the feed rate, and finally, the cooling factor, in terms of their impact on surface roughness.

Similarly, Table 7 delineates the mean results, showcasing that the speed parameter attains the highest rank (rank 1) and exhibits the most substantial effect on surface hardness. Subsequently, the cooling factor follows in influence, succeeded by the feed rate, and lastly, the depth of cut, regarding their impact on surface hardness.

This S/N ratio analysis, encapsulated in Tables 6 and 7, underscores the varying degrees of influence exerted by different cutting parameters on both surface roughness and surface hardness in milling operations. The rankings highlight the relative significance of these parameters in shaping the desired cutting performance outcomes.

The effects of cutting factors on Ra and Hv as a result of the experiments are shown in Figure .4. The factors used in the graphs are the first two factors that are most effective on Ra and HV. These factors were determined as a result of variance analysis.

Figure 5 and Figure 6 shows the main effect plot for the means of the S/N ratios of the surface roughness Ra and surface hardness $HV_{0.1}$. According to Figure 5, the first level of the cooling (A1), the third level of the speed (B3), the second level of the feed rate (C2), and the first level of the cutting depth (D1) results in the minimum values of the Ra.

According to Figure 6, the first level of the cooling (A1), the third level of the speed (B3), the first level of the feed rate (C1), and the second level of the cutting depth (D2) results in the minimum values of the $HV_{0.1}$.

The mean analysis (Table 6 and Table 7) suggests that the levels of the variables (A1, B3, C2, D1) (A1, B3, C1, D2) are the optimum levels for the minimum Ra and $HV_{0.1}$ respectively. This situation also be seen from the main effects plot for the S/N ratio in Figure 5 and Figure 6.

Table 5 Experimental surface roughness and hardness results with calculated S/N ratio

Test No:	A	B	C	D	Surface roughness (µm)	Predicted Ra (µm)	S/N ratio (dB)	Surface hardness ($HV_{0.1}$)	Predicted ($HV_{0.1}$)	S/N ratio (dB)
1	1	5500	4000	0,2	**0,86140**	0,93592	1,29590	**181,700**	204,550	-45,1871
2	1	5500	4500	0,4	**1,08000**	0,96039	-0,66848	**188,300**	190,657	-45,4970
3	1	5500	5000	0,6	**1,04680**	1,08874	-0,39727	**250,300**	219,139	-47,9692
4	1	6000	4000	0,2	**0,81580**	0,80829	1,76833	**158,067**	173,958	-43,9768
5	1	6000	4500	0,4	**0,84800**	0,83276	1,43208	**165,200**	160,065	-44,3602
6	1	6000	5000	0,6	**0,92175**	0,96111	0,70774	**166,150**	188,547	-44,4100
7	1	6500	4000	0,4	**0,94175**	0,94204	0,52129	**158,933**	148,250	-44,0243
8	1	6500	4500	0,6	**0,82025**	0,85865	1,72108	**169,200**	164,786	-44,5680
9	1	6500	5000	0,2	**0,70325**	0,65111	3,05781	**191,125**	179,022	-45,6263
10	2	5500	4000	0,6	**1,32525**	1,30135	-2,44596	**235,200**	236,218	-47,4287
11	2	5500	4500	0,2	**0,81980**	0,88207	1,72584	**237,833**	238,508	-47,5255
12	2	5500	5000	0,4	**1,15350**	1,11828	-1,24035	**232,300**	236,561	-47,3210
13	2	6000	4000	0,4	**1,03120**	1,09771	-0,26686	**218,000**	190,735	-46,7691
14	2	6000	4500	0,6	**1,00020**	1,01431	-0,00174	**193,300**	207,271	-45,7246
15	2	6000	5000	0,2	**0,90400**	0,80678	0,87663	**241,367**	221,507	-47,6535
16	2	6500	4000	0,6	**1,23350**	1,12360	-1,82278	**197,267**	195,456	-45,9011
17	2	6500	4500	0,2	**0,68425**	0,70432	3,29570	**205,200**	197,746	-46,2435
18	2	6500	5000	0,4	**0,83725**	0,94053	1,54290	**159,333**	195,799	-44,0461

T_{Ra} (Ra arithmetic mean)= 0,946 µm, T_{HV} (HV microhardness arithmetic mean)= 197,154 $HV_{0.1}$

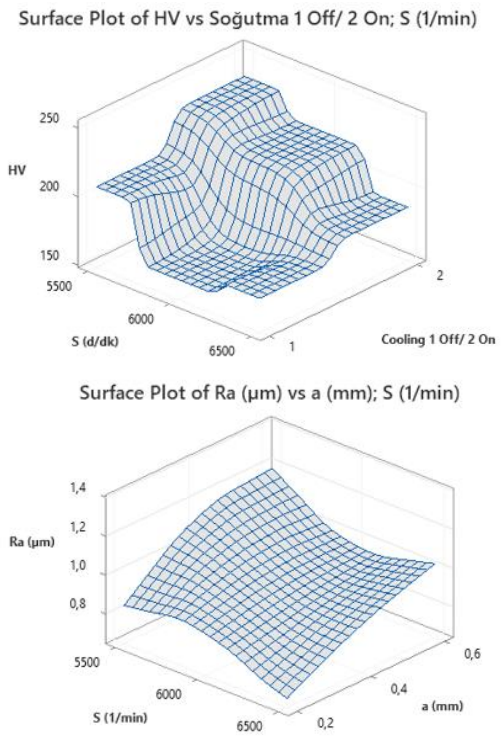


Figure 4. *Effect of cutting factors on Ra and HV*

Table 6 Response table for means and significance for surface roughness- Smaller is better

Level	A	B	C	D
1	**0,8932**	1,0478	1,0348	**0,7981**
2	0,9988	0,9202	**0,8754**	0,9819
3		**0,87**	0,9278	1,058
Delta	0,1056	0,1777	0,1594	0,2599
Rank	**4**	**2**	**3**	**1**

Control factor optimal levels are shown in bold.

Figure 5. *S/N ratios response graph for Ra*

Table 7 Response table for means and significance for surface hardness- Smaller is better.

Level	A	B	C	D
1	**181**	220,9	**191,5**	202,5
2	213,3	190,3	193,2	**187**
3		**180,2**	206,8	201,9
Delta	32,3	40,8	15,2	15,5
Rank	**2**	**1**	**4**	**3**

Control factor optimal levels are shown in bold.

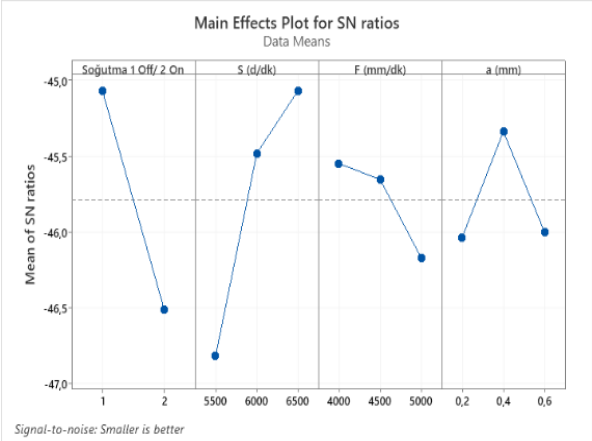


Figure 6. *S/N ratios response graph for each control factor*

3.3. Analysis of Variance (ANOVA)

The primary objective of employing Analysis of Variance (ANOVA) in this investigation was to discern the significant impact of milling parameters on the performance attributes exhibited by machined surfaces. This study employed ANOVA to scrutinize how cooling, spindle speed, feed rate, and depth of cut influence both surface roughness and surface hardness. The analysis was conducted at a 5% significance level and a 95% confidence interval. In ANOVA, the significance of control factors is determined by assessing the F-values associated with each control factor. The obtained ANOVA outcomes for surface roughness and surface hardness are outlined in Tables 8 and 9, respectively. Consequently, through the evaluation of percent additive rates, the depth of cut (a) was identified as the most impactful factor contributing to surface roughness (41.60%), while spindle speed emerged as the predominant factor influencing surface hardness (31.47%).

In summary, this study employed ANOVA as a statistical tool to discern the significant influences of various milling parameters on both surface roughness and surface hardness. The outcomes, delineated in Tables 8 and 9, underscored the substantial impact of the depth of cut and spindle speed on these respective performance characteristics, highlighting their predominant roles in shaping the machined surfaces' attributes.

Table 8 Analysis of Variance (Ra)

Source	DF	Contribution	Adj SS	Adj MS	P-Value
Cooling 1 Off/ 2 On	1	9,74%	0,05013	0,050134	0,024
S (1/min)	2	19,57%	0,10079	0,050397	0,012
F (mm/min)	2	15,38%	0,07922	0,039609	0,023
a (mm)	2	41,60%	0,21424	0,107119	0,001
Error	10	13,70%	0,07056	0,007056	
Total	17	100,00%			

Table 9 Analysis of Variance (Hv_{100})

Source	DF	Contribution	Adj SS	Adj MS	P-Value
Cooling 1 Off/ 2 On	1	27,37%	4698,8	4698,8	0,014
S (1/min)	2	31,47%	5401,8	2700,9	0,030
F (mm/min)	2	4,89%	839,0	419,5	0,480
a (mm)	2	5,40%	927,2	463,6	0,447
Error	10	30,88%	5300,5	530,1	
Total	17	100,00%			

3.4. Regression analysis

Regression analysis serves as a pivotal tool in modeling and analyzing diverse variables, particularly in exploring the relationships between a dependent variable and one or more independent variables. In the context of this study, regression analysis was employed to derive equations for estimating surface roughness. These estimations were formulated within a linear model framework. The calculated linear equations pertaining to surface roughness and surface hardness are presented in Tables 10 and 11, respectively.

This study harnessed regression analysis to establish predictive equations, specifically focusing on surface roughness estimation. These equations, formulated within a linear model structure, are encapsulated in Tables 10 and 11, providing a quantitative basis for estimating both surface roughness and surface hardness.

Table 10 Regression Equation for Ra

Cooling 1 Off/ 2 On		
1	Ra (µm)=2,182 - 0,000178 S (1/min) - 0,000107 F (mm/min) + 0,650 a (mm)	(2)
2	Ra (µm)= 2,287 - 0,000178 S (1/min) - 0,000107 F (mm/min) + 0,650 a (mm)	(3)

Table 11 Regression Equation for Hv_{100}

Cooling 1 Off/ 2 On		
1	HV= 358 - 0,0408 S (1/min) + 0,0152 F (mm/min) - 1,6 a (mm)	(4)
2	HV= 390 - 0,0408 S (1/min) + 0,0152 F (mm/min) - 1,6 a (mm)	(5)

3.5. Fitted plots assessment

Figure 7 illustrates the fitted plots comparing the predicted values against the actual values for the responses Ra and HV0.1. These plots depict the deviation between the actual and predicted values. Notably, the proximity of the residuals to the diagonal line indicates the significance of the model. This

proximity suggests that the model adequately represents the data, affirming its statistical significance.

Furthermore, the Pearson correlation coefficients computed between the predicted and actual values for the responses Ra and HV0.1 were determined to be 0.87 and 0.70, respectively, with a p-value of 0.00. These coefficients signify a strong linear relationship between the predicted and actual values for both response variables. The high correlation coefficients, especially the value of 0.87 for Ra, denote a substantial association between the predicted and observed values, underscoring the reliability of the model in capturing and explaining the variability within the data. [21].

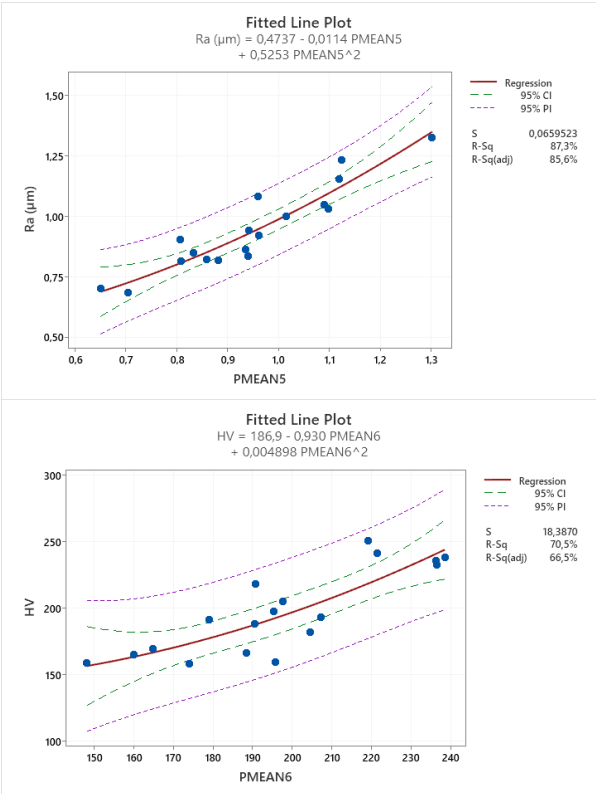


***Figure** 7. Comparison of predicted values and experimental results for output parameters of Ra and $Hv_{0.1}$*

3.6. Estimation of surface roughness and surface hardness

In the Taguchi optimization technique, at least one verification experiment is required to verify the optimized condition [22]. Optimal results were obtained using the Taguchi approach. The estimated optimum surface roughness values (Rap) and surface hardness (RHv) were calculated using Equation (6) and Equation (7) respectively. The comparison of predicted values and experimental results for output parameters are given in Figure 7.

$$Rap = T_{Ra} + (A1 - T_{Ra}) + (B3 - T_{Ra}) + (C2 - T_{Ra}) + (D2 - T_{Ra}) \quad (6)$$

$$R_{Hv} = T_{Hv} + (A1 - T_{Hv}) + (B3 - T_{Hv}) + (C1 - T_{Hv}) + (D2 - T_{Hv}) \quad (7)$$

The average response values of surface roughness and hardness control factor of machined surfaces are presented in Table 6 and Table 7, respectively. In these equations; The arithmetic mean values of the optimum experimental conditions A1B3C2D1 for Ra and A1B3C1D2 for $HV_{0.1}$ are taken from these tables, respectively. T_{Ra} and T_{HV} were calculated using the data in Table 5. The estimated optimum values of R_{ap}= 0,599 and R_{Hv} = 148,238 were calculated using the relevant equations.

3.7. Confirmation run

Once the optimal levels for all control factors were determined, the subsequent crucial phase involved prediction and execution of a confirmation run. The amalgamation of these identified optimal levels across all factors is expected to yield the most favorable outcome in terms of SR magnitude, aiming for minimized Ra (surface roughness) and HV (surface hardness). However, to solidify this deduction, it's imperative to bolster these findings through the conduction of confirmation runs. The confirmation runs serve as a vital step to validate the anticipated outcomes based on the optimal factor levels. These runs aim to substantiate that the combination of optimal levels across all factors indeed produces the most desirable magnitude of SR, characterized by the attainment of the smallest Ra (reflective of superior surface roughness) and HV (indicative of the desired surface hardness). This validation through confirmation runs adds a crucial layer of assurance to the determined optimal levels and their anticipated impact on SR attributes.

The mean predictions were made in Minitab software, and the results are shown in Table 6 and Table 7. The optimal levels for the controllable factors for Ra were cutting condition at dry (A1), the speed at 6500 1/min (B3), feed rate at 4500 mm/min (C2), and depth-of-cut 0,2 mm (D1). The optimal levels for the controllable factors for HV were cutting condition at dry (A1), speed at 6500 1/min (B3), feed rate at 4000 mm/min (C1), and depth-of-cut 0,4 mm (D2).

Three samples were cut under the optimal parameter set up in the study for confirmation run. Table 12 shows the results of the confirmation run. All confirmation samples produced a closely similar result with the estimated optimum surface roughness (Rap= 0.599 µm) and surface hardness (RHv= 148,238) values. Therefore, the confirmation run indicated that the selection of the optimal levels for all the parameters produced the minimum surface roughness and minimum surface hardness [23].

Table 12 The prediction and results of the confirmation test

	Average surface roughness (µm) (A1B3C2D1)	Average Surface hardness (Hv_{100}) (A1B3C1D2)
Prediction	0,6235	152,96
Confirmation 1	0,742	168,5
Confirmation 2	0,78	157,75
Confirmation 3	0,648	155,25

4. Conclusion

This study addresses the investigation of how surface hardness and surface roughness of AISI 1050 steel material are affected

by varying surface processing conditions during milling operations. The study explores how different milling parameters or techniques influence the surface properties of the steel material, specifically its hardness and roughness.

The following results were obtained:

- When the spindle speed increased from 6000 1/min to 6500 1/min and the feed rate increased from 4500 mm/min to 5000 mm/min, improvements in surface quality were observed in dry and wet machining conditions.
- It was determined that the effect of depth of cut on surface roughness was higher than other factors, and in the second place, the spindle speed was more effective than the other two factors.
- It has been observed that using coolant increases the surface roughness.
- In all experiments, the lowest surface roughness (Ra=0,68425) was obtained under dry machining conditions when 6500 1/min cutting speed, 4500 mm/min feed rate, and 0.2 mm cutting depth were applied.
- When all experiments were examined, the highest surface roughness (Ra= 1,32525) was observed under wet machining conditions when 5500 1/min cutting speed, 4000 mm/min feed rate, and 0.6 mm cutting depth were applied.
- When all experiments were examined, it was observed that the hardness of the samples processed under wet processing conditions was higher than that of the samples processed under dry conditions (Table 5).
- When the feed rate increased, the surface hardness increased in wet machining, while the surface hardness decreased in dry machining.
- In all experiments, the highest surface hardness ($HV_{0.1}$= 250,300) was observed under dry conditions when 5500 1/min cutting speed, 5000 mm/min feed rate, and 0.6 mm cutting depth values were applied.
- In all experiments, the lowest surface hardness ($HV_{0.1}$= 158,067) was observed under dry conditions when 6000 1/min cutting speed, 4000 mm/min feed rate, and 0.2 mm cutting depth values were applied.

Author Contribution

Data curation – İbrahim Savaş Dalmış (ISD); Formal analysis –ISD; Investigation - Serdar Osman Yılmaz (SOY); Experimental performance – Özdemir Berk Varal (OBV); Data collection - Beyza Avcı (BA); Processing – ISD and BA; Literature review - BA; Writing – ISD and BA; Review and editing – SOY and ISD.

Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Acknowledgement

This study was supported by DOMEKS Makine A.S. Design Center.

References

[1] Karagöz, Ş. (2007). “Su Verilmiş ve Temperlenmiş Çelikler Üzerine Mikroyapısal İncelemeler”, 731–733, Kocaeli.

[2] Buldum, B. B. (2013). “AZ91 Magnezyum Alaşımının İşlenebilirliğinin İncelenmesi”. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

[3] Dilipak, H., Yılmaz, V. (2012). AISI 1050 Çeliğinin Karbür Takımlarla Frezelenmesinde Oluşan Titreşimlerin İncelenmesi ve İstatistiksel Analizi. *Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Der.* 27 (2), 285-294.

[4] Yılmaz, V. (2009). Frezeleme Uygulamalarında İşleme Parametrelerinin Sebep Olduğu Titreşimlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[5] Güvercin, S., Yıldız, A. (2018). Optimization of Cutting Parameters Using the Response Surface Method. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(1), 113-121.

[6] Uğur, L., (2019). 7075 Alüminyum malzemesinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün yanıt yüzey yöntemi ile iyileştirilmesi. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Journal of Science and Technology*, 12(1), 326-335.

[7] Erkan, Ö., Yücel, E.(2018). Parmak frezelenen AA 7075 malzemenin yüzey pürüzlülüğünün kesme parametreleri ve takım geometrisi ile olan ilişkisinin optimizasyonu. *International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2018)*, November 22-23, 2018 Ankara, Turkey.

[8] Yılmaz, V., Dilipak, H., Sarıkaya, M., Yılmaz, C. Y., Özdemir, M., (2014). Frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının modellenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30 (4), 220-226.

[9] Gürbüz, H., Baday, Ş., Ersöz, E., 2021. Kriyojenik İşlem Uygulanmış Kesici Takımlarla AISI 1050 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerinin Regresyon Analizi. *5th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference,* 15-16 Ocak 2021, Mardin, Turkey.

[10] Baday, Ş., Başak, H., Sönmez, F. (2020). Investigation and optimization of surface roughness with experimental design methods by turning of AISI-1050 after spheroidization heat treatment, *SN Applied Sciences*, 2:2104.

[11] Yılmaz, B., Güllü, A. (2020), AISI 1050 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerine etkilerinin araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi,* 26(4), 628-633.

[12] Yıldız, M., (2018). AISI 4140 Islah Çeliğinin TiAlN Kaplı Frezelerle İşlenmesi Sırasında Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü ve Titreşimin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce.

[13] Yağmur, S., Çakıroğlu, R., Acır A., Şeker, U. (2017), AISI 1050 çeliğinin delinmesinde itme kuvvetinin taguchi metodu

ile optimizasyonu, *GU J Sci*, Part C, 5(2): 241-246.

[14] Sarıkaya, M., Yılmaz, V. & Dilipak, H. (2015). Modeling and multi-response optimization of milling characteristics based on Taguchi and gray relational analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 230(6), 1049–1065.

[15] Sarıkaya, M. & Güllü, A. (2015). Multi-response optimization of minimum quantity lubrication parameters using Taguchi-based grey relational analysis in turning of difficult-to-cut alloy Haynes 25. *Journal of Cleaner Production*, 91, 347–357.

[16] Kara, M. E., Budak, E. (2015). Optimization of turn-milling processes, *Procedia CIRP*, 33, 477- 484.

[17] Yılmaz, V., Dilipak, H., Sarıkaya, M., Yılmaz, C. Y., Özdemir, M., (2014). Frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının modellenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30 (4), 220-226.

[18] Kalite Metalurji URL:http://kalitemetalurji.com.tr/urunlerimiz/imalat-celikleri/1050-imalat-celigi/ (Erişim Tarihi: 27.11.2023)

[19] MatWeb: Online Materials Information Resource. https://www.matweb.com.

[20] https://cdn.planseegroup.com/is/content/planseemedia/gd_kp_kt-hk-01-21-00021-kp-vhm-frs_str_asc_pim

[21] Shafiq, F., Pervez, M. N., Jilani, M. M., Sarwar, Z., Hasani, H. & Cai, Y. (2018). Structural relationships and optimization of resin-finishing parameters using the Taguchi approach. *Cellulose*, 25, 6175-6190.

[22] Samtaş, G., & Korucu, S. (2019). Temperlenmiş alüminyum 5754 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin Taguchi metodu kullanılarak optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 45-60.

[23] M Maaroff Bahurdin, B. T. H. T., & N Ismail, Y. K. (2013). Optimization of Surface Roughness of Spheroidal Graphite Cast Iron in Face Milling Operation Using Taguchi Method.

European Journal of
Engineering and Applied Sciences

ISSN: 2651-3412 (Print) & 2667-8454 (Online)
Journal homepage: http://dergipark.gov.tr/EJEAS
Published by Çorlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University

European J. Eng. App. Sci. 7(1), 35-43, 2024

Research Article

Investigation of the Contribution of First Row Rock Anchors to the Retaining System by Variation of Anchor Bond Length

Faruk SEFİ[1], Emine Gamze ABANOZOĞLU[2,*], Müge BALKAYA[3], Musaffa Ayşen LAV[4]

[1,2,3,4] **Faculty of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, İstanbul Technical University, İstanbul, Türkiye, 34469**
[1]sefi@itu.edu.tr, [2]egabanozoglu@itu.edu.tr, [3]balkayamu@itu.edu.tr, [4]lavay@itu.edu.tr

Geliş: 24.05.2024 *Kabul: 08.07.2024* *DOI: 10.55581/ejeas.1485894*

Abstract: In deep foundation excavations, inclined, prestressed soil/rock anchors are commonly used as lateral support elements. During the construction of multi-row anchored excavation systems, sometimes it may not be possible to manufacture anchors in the first row. This situation is often encountered in the production of rock anchors. The presence of discontinuities, karstic voids, and/or historical water channels in the rock environment where these anchors will be manufactured, hinders the injection of the anchor bond length. Additionally, the presence of hard rock units or igneous intrusions in the rock environment prevents the anchor hole from being drilled to the desired length. The application of anchors that could not be drilled to the desired length or those that could not achieve the desired quality of bond zone injection is canceled and usually left as an empty hole. In this study, the usability of canceled rock anchors in the first row, as at least anchors with a short bond length has been investigated. A rock anchor designed to support a 5.0-meter excavation pit to be created in a weathered rock environment, with a prestressing load of 500 kN and a bond length of 6.0 meters, was analyzed using Plaxis 3D software for situations with shorter bond lengths. Accordingly, the function of the related rock anchor can also be fulfilled by an anchor with a bond length of 4.0 meters. When the bond length is 4.0 meters, the entire anchor bond length operates at full efficiency. In anchors with bond lengths smaller than 4.0 meters, the prestressing load of 500 kN causes pull-out failure. However, for example, an anchor with a bond length of 2.0 meters continued to contribute to the overall stability of the retaining system under the effect of a prestressing load of 250 kN.

Keywords: *Retaining wall, Rock anchor, Anchor bond length, Efficiency, Plaxis 3D, Overall slope stability.*

İlk Kademe Kaya Ankrajlarının İksa Sistemine Katkısının Ankraj Kök Boyu Değişimi İle İncelenmesi

Öz. Derin temel çukuru kazılarında, yatay destek elemanı olarak eğimli, öngermeli zemin/kaya ankrajları yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok sıra ankrajlı iksa sistemlerinin inşaası sırasında, bazen ilk kademede bulunan ankrajların imalatı mümkün olmamaktadır. Bu durum genellikle, kaya ankrajlarının üretiminde karşılaşılır. Bu ankrajların imal edileceği kaya ortamında, ayrışma süreksizliklerinin, karstik boşlukların ve/veya tarihi su kanallarının olması, ankrajın kök enjeksiyonunun yapılmasına engel olmaktadır. Ayrıca, kaya ortamındaki sert birimlerin veya magmatik sokulumların varlığı ankraj delgisinin istenilen uzunlukta yapılmasına mani olmaktadır. İstenilen uzunlukta delinememiş veya istenilen kalitede kök enjeksiyonuna sahip olamayacağı düşünülen ankrajların uygulaması iptal edilmektedir ve genellikle boş bir delgi çukuru olarak bırakılmaktadır. Bu çalışmada, ilk kademede bulunan iptal edilmiş kaya ankrajlarının en azından kısa köklü ankrajlar olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Ayrışmış kaya ortamında oluşturulacak 5.0 metre'lik bir kazı çukurunu desteklemek üzere tasarlanmış, 500 kN öngerme yüküne ve 6.0 metre kök uzunluğuna sahip bir kaya ankrajının, daha kısa kök uzunluklarına sahip olduğu durumlar Plaxis 3D yazılımı ile analiz edilmiştir. Buna göre, ilgili kaya ankrajının işlevi, 4.0 metre kök uzunluğuna sahip ankraj tarafından da karşılanabilmektedir. Kök uzunluğunun 4.0 metre olduğu durumda ankraj kökünün tamamı tam verimle çalışmaktadır. 4.0 metreden daha kısa kök boyuna sahip ankrajlarda, 500 kN'luk öngerme yükü sıyrılma

*Corresponding author
E-mail address: egabanozoglu@itu.edu.tr

yenilmesine sebep olmaktadır. Fakat, örneğin, 2.0 metre kök uzunluğuna sahip bir ankraj, 250 kN'luk öngerme yükü ile iksa sisteminin toptan göçme güvenlik katsayısını arttırarak, iksa sistemine katkı vermeyi sürdürmüştür.

Anahtar kelimeler: *İksa perdesi, Kaya ankrajı, Ankraj kök boyu, Verim, Plaxis 3D, Toptan göçme.*

1. Introduction

Inclined ground/rock anchors are one of the lateral support elements used for the safe continuation of deep excavations. Ground/rock anchors operate on the principle of transferring the prestressing load (T_w) applied to them to the supporting ground behind the sliding surface. These horizontal support elements are designed to minimize the movement of vertical support walls located at the excavation boundary. A ground/rock anchor consists primarily of three main parts: 1) the anchor prestressing zone where the prestressing load is applied to the cables in the anchor; 2) the anchor unbonded zone, which is the part without injection where the anchor load is transferred to the back of the anchor with steel cables; 3) the anchor bond zone, where the anchor cables are bonded with cement injection, producing frictional resistance with the surrounding ground [1].

Ground/rock anchors provide their resistance from the anchor bond zone. The bond body, consisting of cement grout and steel cables, generates frictional stress (p_b) by friction with the surrounding ground. The development of this stress is as follows from the initial application of T_w load on the anchor: In the initial moments of the applied T_w load, this load is resisted by the upper bond zone, increasing the p_b value in this region. With an increase in the applied T_w load, the stress in the upper bond zone reaches its maximum value (peak), then yielding and dropping to a residual value. After this point, the resistance of the anchor bond zone gradually shifts downward (Figure 1). As indicated, the stress distribution in the anchor bond zone is at residual in some regions and peak in others [1].

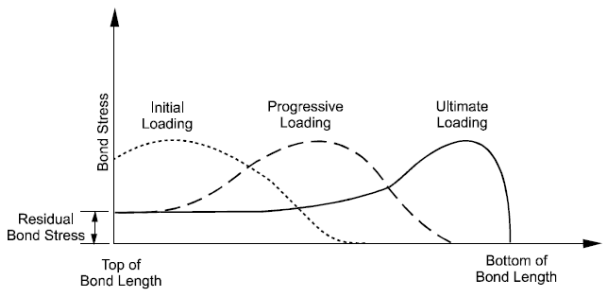


Figure 1. *Mobilization of bond stress for ground/rock anchors [1]*

The widely used standard for the design of ground/rock anchors worldwide is FHWA-IF-99-015 (1999). According to this standard, the bond length (L_b) of anchors to be installed in rock media should be a minimum of 3.0 meters and a maximum of 10.0 meters. Since the recommended minimum L_b value is limited to 3.0 meters, the production of anchors with a shorter bond length is not common. Therefore, there is a lack of sufficient studies on anchors with short bond length in the literature.

As the L_b of the ground/rock anchors increases, the load carrying capacity does not show a linear increase. When the L_b value of the anchor is long, the stress distribution along the bond zone remains at residual over a wide region, as shown in Figure 1. Consequently, as the L_b value increases, the efficiency of the anchor decreases (Figure 2) [2,3]. This phenomenon is also observed in the p_b value between the anchor and the soil [4].

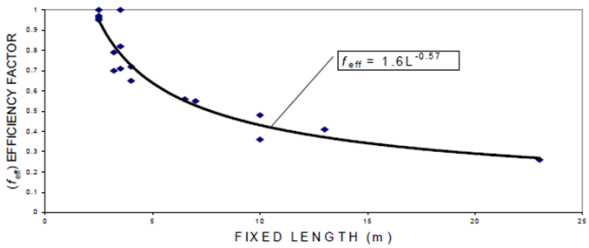


Figure 2. *The relationship between the load carrying efficiency of ground/rock anchors and the bond length (L_b) [2]*

In excavations for deep foundation pits, some of the ground/rock anchors, which serve as horizontal support elements, may not be manufactured in the dimensions specified in the project. This situation may arise due to encountering hard rock formations during anchor drilling, inability to form the anchor pit at the desired depth, or failure to achieve the desired performance of grouting in weak rock formations. As a result of such unforeseen circumstances, many anchors in excavation stages are canceled. The cancellation of anchors necessitates the revision of the excavation support project, adding additional time and cost to the project. The canceled anchors are usually left behind as abandoned boreholes (Figure 3) [5]. In this study, the load-bearing capacity and behavior of ground/rock anchors in shallow zones were investigated. The effects of using anchors with shorter L_b values under the existing anchor design load (T_{des}) on the excavation system were analyzed using Plaxis 3D software. Thus, the feasibility of using anchors with shorter L_b values in necessary cases has been examined.

Figure 3. *The canceled first row of anchors [5]*

2. Materials and Methods

2.1. Materials

In this study, five models were generated in Plaxis 3D software to investigate the effects of L_b on the behavior of the first row of anchors. Since the focus of the study is on the behavior of anchors in rock media, the soil type defined in the models simulates a moderately weathered greywacke unit. The soil parameters defined in the models are the values used by Yıldız and Berilgen (2020) for a moderately weathered greywacke unit. The rock unit, defined with the Mohr-Coulomb material model, had a dry unit weight ($\gamma_d=\gamma_{unsat}$) of 24 kN/m³, an internal friction angle ($\emptyset$) of 32°, a dilation angle (ψ) of 0°, a cohesion value (c) of 68 kPa, and an elastic modulus ($E=E_{ref}$) of 90 MPa [6]. It was assumed that there was no water effect in the soil, and analyses were conducted under dry and drained conditions (Table 1).

Table 1 Material properties of the rock

Parameter	Symbol	Value	Unit
Soil type		Moderately weathered greywacke	
Material model		Mohr-Coulomb	
Drainage condition		Drained	
Unsat. unit weight	γ_{unsat}	24	kN/m³
Saturated unit weight	γ_{sat}	25	kN/m³
Modulus of elasticity	E_{ref}	90000	kPa
Poisson's ratio	v	0,2	
Initial stress ratio	K_0	0,47	
Cohesion	c	68	kPa
Internal friction angle	$\emptyset$	32	°
Dilation angle	ψ	0	°
Strength reduction fac.	R_{inter}	1	

A reinforced concrete diaphragm wall has been chosen as the retaining wall, and this element has been modeled as a plate element in Plaxis 3D. The height (h) of the wall is 7.0 meters, the thickness (d) is 1.0 meter, and the depth (l) is 3.0 meters. Interface elements have been assigned on the surfaces where the wall contacts the soil on both sides. A negative interface is defined on the surface facing the excavation pit, and a positive interface is defined on the surface facing the anchor (Table 2).

Table 2 Properties of the diaphragm wall

Parameter	Symbol	Value	Unit
Element type		Plate	
Material type		Elastic	
Unit weight	γ	24	kN/m³
Mod. of elasticity	E	30	GPa
Poisson's ratio	v	0,15	
Section type		Rectangular prism	
Height	h	7	m
Thickness	d	1	m
Depth	l	3	m

The anchor bond zone was modeled as an embedded beam element in Plaxis 3D software. The anchor bond's unit weight (γ) is defined as 24 kN/m³, elastic modulus (E) is 30 GPa, and diameter (D) is 0.127 meters (Table 3). The unbonded zone of the anchor is modeled as a node-to-node element in Plaxis 3D software. The axial stiffness (EA) of the anchor's unbonded zone is defined as 320×10^3 kN (Table 4).

Table 3 Material properties of the anchor bond zone

Parameter	Symbol	Value	Unit
Element type		Embedded beam	
Material type		Elastic	
Unit weight	γ	24	kN/m³
Modulus of elasticity	E	30000	MPa
Section type		Circular	
Diameter	D	0,127	m
Axial surface resistance		Linear	
$T_{skin, start, max}$		280	kN/m
$T_{skin, end, max}$		0	kN/m
Tip resistance	F_{max}	0	kN

Table 4 Material properties of the anchor unbonded zone

Parameter	Symbol	Value	Unit
Element type		Node-to-node	
Material type		Elastic	
Axial stiffness	EA	320000	kN

2.2. Method

The model created in Plaxis 3D software was simulated to have a final excavation depth (H) of 5.0 meters to reflect near-surface (shallow) anchors. Upon reaching the final excavation level, all lateral loads will be resisted by the retaining wall and a single rock anchor. The retaining wall was dimensioned to accommodate all lateral loads as a cantilever. The additional contributions of the rock anchor to the existing stable condition were examined. In the first stage of the study, the pre-dimensioning of the retaining wall and anchor components was designed according to the criteria specified in the FHWA-IF-99-015 (1999) standard. According to this standard: The L_b of rock anchors should be in the range of 3.0-10.0 meters; the unbonded length of the anchor (L_{unb}) should be a minimum of 4.5 meters and should be offset from the sliding surface by a minimum of 1.5 meters or a distance equivalent to 1/5 of the wall height (h); The embedded length of the retaining wall should be selected to withstand lateral loads as a cantilever element until the anchors are mobilized. Pre-dimensioning calculations were made based on the active soil pressure condition. The potential inclination angle (α) of the sliding surface was calculated as 61° using Equation (1) suggested by Rankine (1857) to determine the sliding surface in the active state [7].

$$\alpha = 45 + \frac{\emptyset'}{2} \tag{1}$$

Here: $\emptyset'$, the effective internal friction angle, was used as 32° in the model (Table 1). A surcharge load (p_v) of 25 kPa was applied to the top surface of the model. This load can be considered as a light external load or as an additional overburden load of 1.0 meter. The coefficient of active earth pressure (K_a) was determined as 0.307 using Equation (2) [7].

$$K_a = tan^2\left(45 - \frac{\emptyset'}{2}\right) \quad (2)$$

At the final excavation level, the active earth pressure (p_{soil}) acting on the retaining wall was determined using Equation (3), which provides the uniform stress distribution envelope suggested by Terzaghi and Peck (1967) and Peck (1969) for sands [8,9].

$$p_{soil} = 0.65 \times K_a \times \gamma \times H \quad (3)$$

Here, K_a represents the coefficient of active earth pressure, γ indicates the unit weight of the soil, and H denotes the excavation depth. Accordingly, the value of p_{soil} acting on the retaining wall was determined as 23.9 kPa for the values K_a = 0.307, γ = 24 kN/m³, and H = 5.0 meters. The lateral surcharge pressure (p_{sur}) created by the vertical surcharge load (p_v) of 25 kPa on the retaining wall was calculated as 7.7 kPa using Equation (4).

$$p_{sur} = p_v \times K_a \quad (4)$$

The total lateral pressure (p_{sum}) acting on the retaining wall is calculated as 31.6 kPa using Equation (5).

$$p_{sum} = p_{soil} + p_{sur} \quad (5)$$

In the Plaxis 3D model, the depth (l) of the soil was created as 3.0 meters. Therefore, the horizontal distance (S_h) that the anchor is responsible for carrying is equal to this value. The total lateral force acting on the surface by the excavation depth (H) of 5.0 meters and the horizontal distance (S_h) of 3.0 meters is determined using Equation (6) and this value is employed in determining the anchor load.

$$T = p_{sum} \times H \times S_h \quad (6)$$

Accordingly, the anchor load (T) was determined to be 474.0 kN for the values of p_{sum} = 31.6 kPa, H = 5.0 meters, and S_h = 3.0 meters. Since the anchor is inclined at a given angle (i), Equation (7), which gives the component of the anchor load (T) along the direction of the anchor, defines the anchor design load (T_{des}) value.

$$T_{des} = \frac{T}{\cos\ (i)} \quad (7)$$

For an anchor with i = 15° and T = 474.0 kN, the T_{des} value was determined to be 490.7 kN. The anchor will resist this load with the frictional resistance between the outer surface of the bond zone and the soil. The L_b of the anchor is determined to provide this resistance. The p_b value between the weathered sandstones and the anchor bond zone is recommended to be in the range of 700-800 kPa according to FHWA-IF-99-015 (1999). The L_b of the anchor is determined as the value that satisfies Equation (8).

$$T_{des} \times FS = \pi \times D \times L_b \times p_b \quad (8)$$

Here, T_{des} represents the anchor design load, FS is the factor of safety, D is the diameter of the anchor bond, L_b is the bond length of the anchor, and p_b is the frictional stress between the anchor bond and the soil. Accordingly, the L_b of the anchor was determined to be 5.3 meters for the values of T_{des} = 490.7 kN, FS = 3, D = 0.127 m, and p_b = 700 kPa.

Based on the calculations provided above, in the main model (M1) in Plaxis 3D, an anchor prestressing load (T_w) of 500 kN was selected to be compatible with the T_{des} load, with the L_b as 6.0 meters, and the L_{unb} as 5.0 meters (Figure 4). In models M2 and M3, the L_b was reduced to 5.0 and 4.0 meters, respectively. In model M4, the L_b was reduced to 3.0 meters, and the T_w was reduced to 400 kN. In model M5, L_b was reduced to 2.0 meters, and the T_w was reduced to 250 kN (Table 5). In this way, the effects of the changes in the L_b were examined.

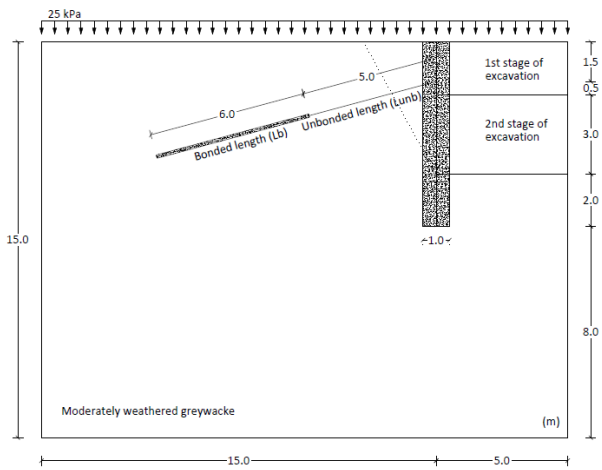
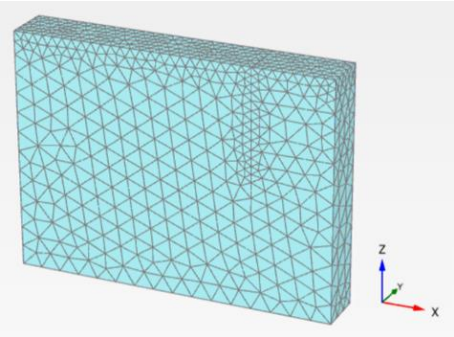


Figure 4. *Main model (M1) geometry*

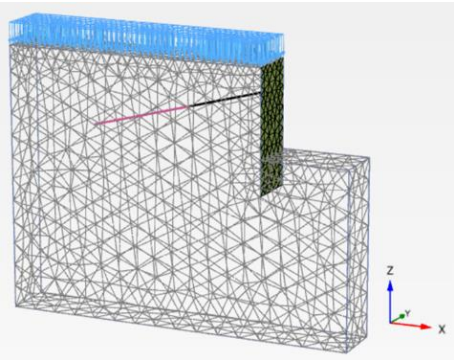
Table 5 Properties of the anchors

Model name		M1	M2	M3	M4	M5
Anchor bond length	L_b (m)	6	5	4	3	2
Anchor unbonded length	L_{unb} (m)	5	5	5	5	5
Anchor prestress. load	T_w (kN)	500	500	500	400	250

The model created in Plaxis 3D was meshed with a medium element distribution. The mesh for the initial state of the M1 main model is shown in Figure 5a, while the mesh for the final excavation level is given in Figure 5b.



(a)



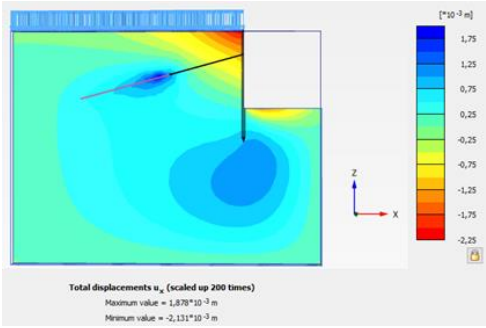
(b)

Figure 5. *Finite element mesh of the Plaxis 3D model. (a) Initial state, (b) Final excavation level*

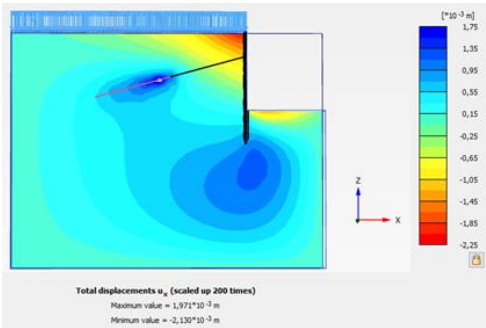
3. Model Analysis Results

3.1. Displacements around the anchor bond zone (x-dir.)

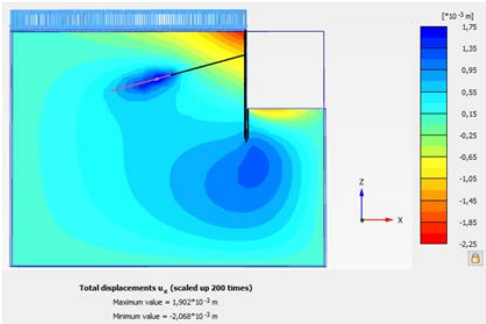
In the M1 model consisting of a rock anchor with L_b = 6.0 meters and $T_w \approx T_{des}$ = 500.0 kN, as determined by the FHWA-IF-99-015 standard, it was found that the displacements (in x-direction) around the anchor bond zone concentrate in the first 4.0 meters of the bond zone, with the maximum displacement value in this zone being 1.88 mm (Figure 6a). Accordingly, the friction resistance developed between the soil and the outer surface of the bond body has evolved in the first 4.0 meters of the bond. The behavior that mobilizes the frictional resistance is provided by the relative displacement between the soil and the anchor bond zone. At the point where this displacement becomes excessive, the frictional resistance will be overcome. Therefore, it is understood that friction is not mobilized in the last 2.0 meters of the M1 model. Hence, in the second model (M2), the L_b of the anchor was reduced to 5.0 meters. Even in this case, it was found that approximately the first 4.0 meters of the anchor bond zone are mobilized, with the maximum displacement in this area being 1.97 mm (Figure 6b). In the M3 model, the L_b of the anchor was 4.0 meters. In this case, displacement development was achieved throughout the anchor bond zone, and the maximum displacement value was determined to be 1.90 mm. With the applied T_w of 500.0 kN in this model, it was observed that the entire anchor bond zone was mobilized, reflecting full efficiency (Figure 6c). In the M4 model, an attempt was made to reduce L_b of the anchor to 3.0 meters. However, the applied T_w of 500.0 kN resulted in anchor pullout failure. Therefore, the T_w value was reduced in this model. As a result, the anchor worked stably under a T_w of 400.0 kN. In this model as well, full-efficiency displacement development continued in the anchor bond zone, with the maximum displacement in the bond zone being determined as 1.72 mm (Figure 6d). In the M5 model, the L_b of the anchor was 2.0 meters. The T_w that stabilized this length was 250 kN. In this model too, the L_b worked at full efficiency, and the maximum displacement around bond was obtained to be 1.77 mm (Figure 6e).



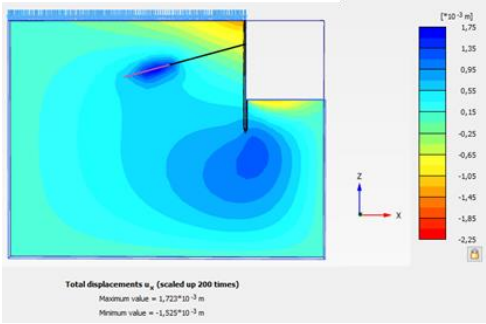
(a)



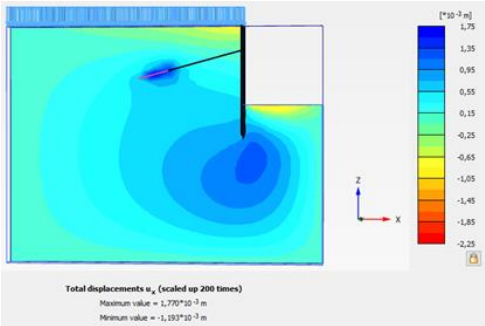
(b)



(c)



(d)

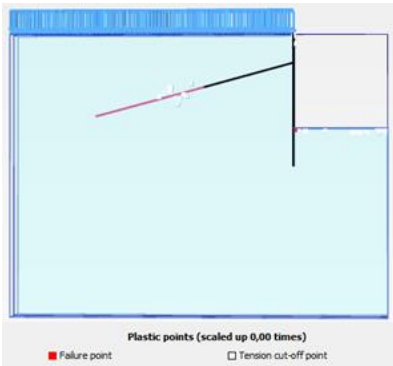


(e)

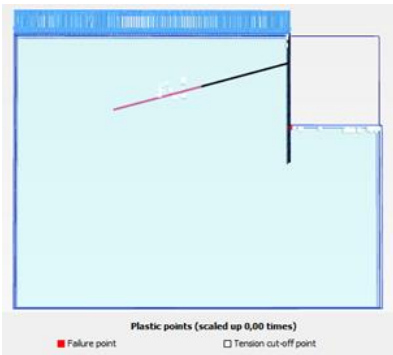
Figure 6. *Displacements around the anchor bond zone in Plaxis 3D models (in the x-direction).*
(a) M1 model, (b) M2 model, (c) M3 model, (d) M4 model, (e) M5 model

3.2. Plastic points around the anchor bond zone

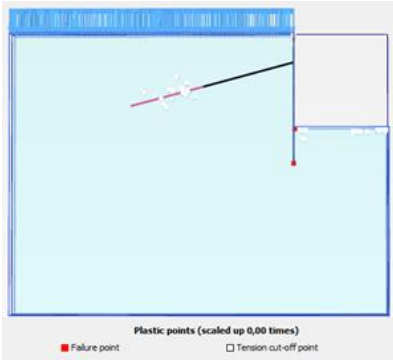
In the models, plastic points formed around the anchor bond zone were identified as "tension cut-off plastic points" indicating points of failure due to tensile stresses. In regions along the bond zone where displacement accumulations have occurred, as in Figure 6, plastic points have become concentrated. In models M1 and M2, plastic points did not develop up to the lower end of the bond and clustered in the upper regions (Figure 7a, b). However, in models M3, M4, and M5, plastic points spread throughout the entire anchor bond zone (Figure 7c, d, e).



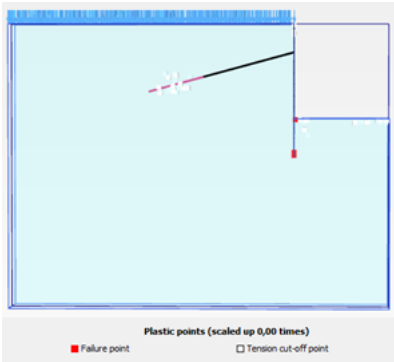
(a)



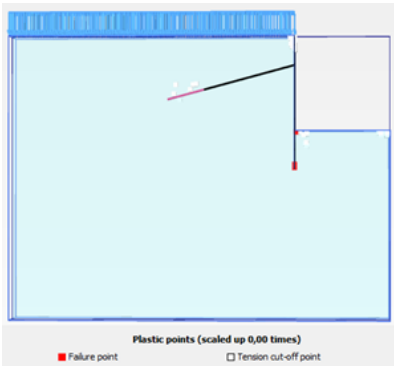
(b)



(c)



(d)

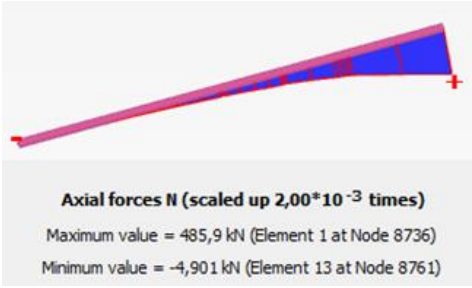


(e)

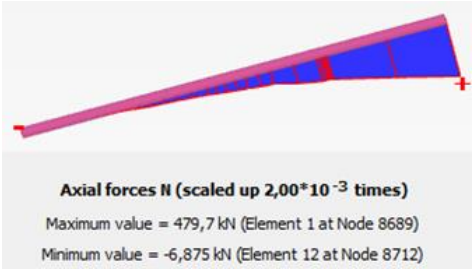
Figure 7. *Plastic points around the anchor bond zone in Plaxis 3D models.*
(a) M1 model, (b) M2 model, (c) M3 model, (d) M4 model, (e) M5 model

3.3. Axial forces along the bond zone

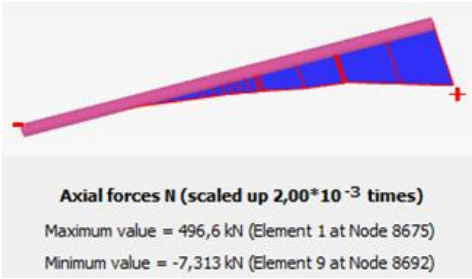
In the models, axial load *(N)* values corresponding to the T_w load applied to the anchor were determined along the anchor bond. Due to the effect of displacement changes on the axial load occurring in the bond zone, a difference between these two values can be observed [10]. In the M1 model, in response to the T_w of 500.0 kN applied to the anchor, a maximum axial load (N_{max}) of 485.9 kN has developed at the anchor bond zone. The proximity of these two values ($T_w \approx N_{max}$) indicates the accuracy of the assumed frictional stress (p_b) value between the soil and the bond body, chosen as 700 kPa in the preliminary calculation (Figure 8a). The ratio of the N_{max} value developed at the anchor bond zone to the T_w value was obtained as 0.95-0.97 (close to 1.00) in the M1, M2, M3, and M4 models, and as 0.78 in the M5 model (Figure 8) (Table 6).



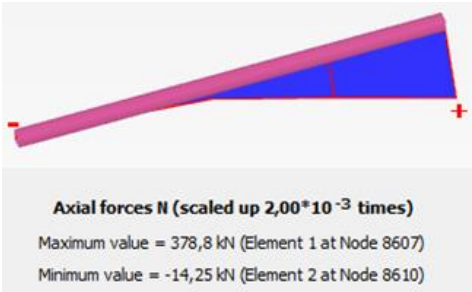
(a)



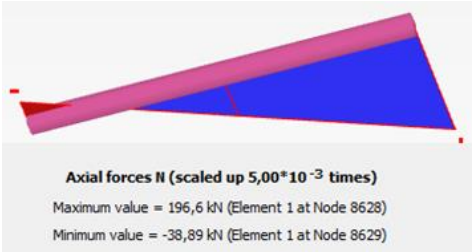
(b)



(c)



(d)



(e)

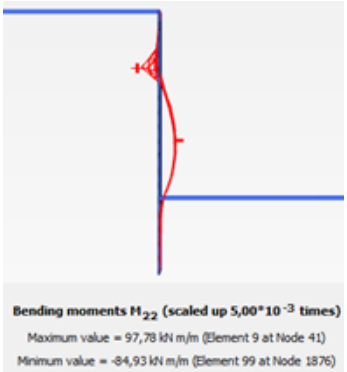
Figure 8. *Axial forces along the anchor bond zone in Plaxis 3D models.*
(a) M1 model, (b) M2 model, (c) M3 model, (d) M4 model, (e) M5 model

Table 6 Anchor axial forces obtained in the models

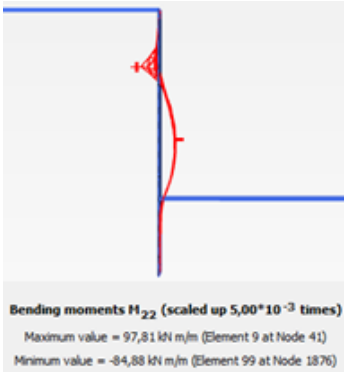
Model name		M1	M2	M3	M4	M5
Anchor prestress. load	T_w (kN)	500,0	500,0	500,0	400,0	250,0
Max axial load	N_{max} (kN)	485,9	479,7	496,6	378,8	196,6
	N_{max} / T_w	0,97	0,96	0,99	0,95	0,79

3.4. Moments generated in the retaining wall

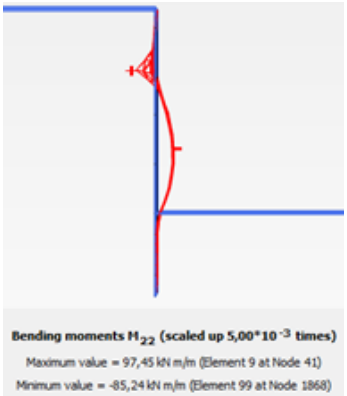
In the models, it was determined that the positive moment generated in the retaining wall decreases with the decrease in the T_w value, while it was not affected by the change in the L_b value. The maximum positive moment in the models occurred in the region where the anchor is located, while the maximum negative moment occurred in the region between the anchor and the final excavation level. For the applied T_w value of 500 kN in the M1, M2, and M3 models, the maximum positive moment generated in the retaining wall was determined to be 97.5-97.8 kN.m/m, while the maximum negative moment was 84.9-85.2 kN.m/m (Figure 9a, b, c). For the M4 model, with an applied T_w value of 400 kN, the maximum positive moment generated in the retaining wall was 71.6 kN.m/m, while the maximum negative moment was 79.8 kN.m/m (Figure 9d). The highest absolute moment among the models was obtained for the M5 model, which had the shortest L_b and the lowest T_w values. Accordingly, for the applied T_w value of 250 kN in the M5 model, the maximum positive moment generated in the retaining wall was determined to be 31.8 kN.m/m, while the maximum negative moment was 154.1 kN.m/m (Figure 9e) (Table 7).



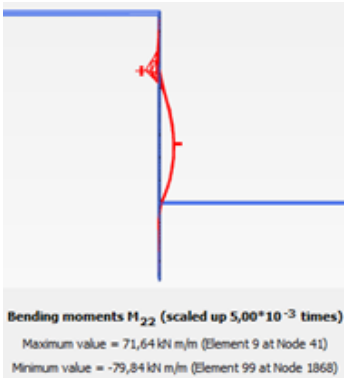
(a)



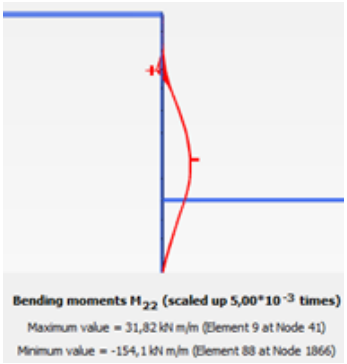
(b)



(c)



(d)



(e)

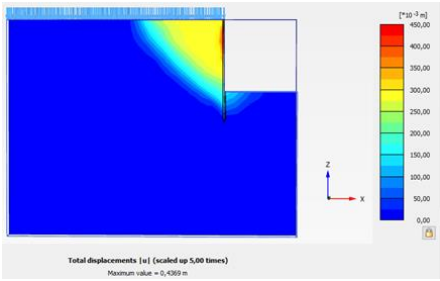
Figure 9. *Moment distribution in the retaining wall in Plaxis 3D models.*
(a) M1 model, (b) M2 model, (c) M3 model, (d) M4 model, (e) M5 model

Table 7 Moments generated in the retaining wall

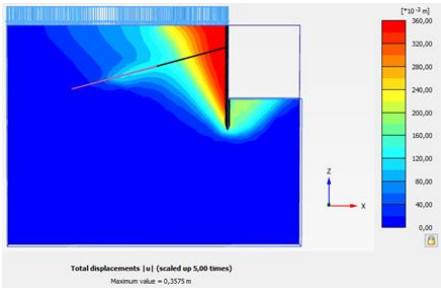
Model name		M1	M2	M3	M4	M5
Positive moment	*M+ (kN.m/m)*	97,8	97,8	97,5	71,6	31,8
Negative moment	*M- (kN.m/m)*	84,9	84,9	85,2	79,8	154,1

3.5. Factor of safety against overall stability

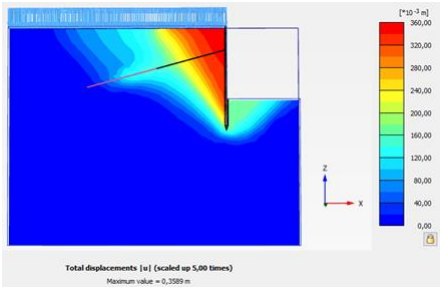
In deep excavations, a minimum *FS* of 1.20-1.30 is targeted against overall stability [1]. Since the first stage excavation will be cantilevered, the *FS* against overall stability at this level of excavation is expected to be high. Owing to the fact that there may be a problem during the installation of the first stage anchors, it is recommended to design the second excavation stage in such a way that the retaining wall can be cantilevered as well. Therefore, in the model studies, the *FS* against overall stability was initially determined for the case where there were no anchors in the retaining wall. Accordingly, the *FS* against overall stability at the final excavation level for the excavation without anchors was determined to be 2.75 (Figure 10a). This value reached 3.71 for the M1 model, the main model with anchors (Figure 10b). Generally, *FS* against overall stability decreased with the decrease in the T_w and the L_b values. The *FS* against overall stability values for M2, M3, M4, and M5 were determined to be 3.64, 3.51, 3.36, and 3.18, respectively (Figure 10c, d, e, f) (Table 8).



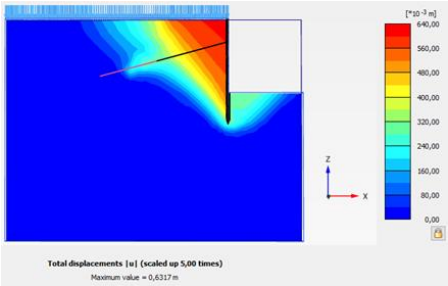
(a)



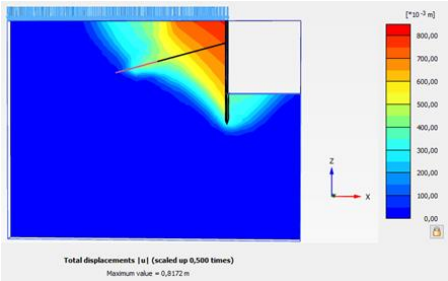
(b)



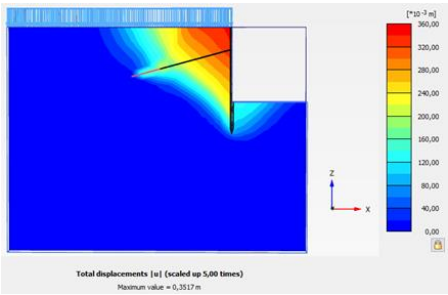
(c)



(d)



(e)



(f)

Figure 10. *Overall stability analysis in Plaxis 3D models.*
(a) Model without anchor, (b) M1 model, (c) M2 model, (d) M3 model, (e) M4 model, (f) M5 model

Table 8 *FS* against overall stability

Model name	Without anchor	M1	M2	M3	M4	M5
Factor of safety, *FS*	2,75	3,71	3,64	3,51	3,36	3,18

4. Results

In construction site practices, due to the reliance on the cantilever capacity of the retaining wall during the first excavation phases, due importance is not given to the first row of anchors. As a result of the difficulties encountered during the installation of these anchors, they are often disregarded and canceled. In this study, based on the results of the finite element analyses performed by Plaxis 3D for fractured rock formations, it was determined that an anchor with L_b = 4.0-meter can provide a contribution similar to that of an anchor with L_b = 6.0-meter in the excavation system. In both cases, the anchors were able to support a T_w value of 500 kN, and achieve a *FS* against overall stability of 3.50-3.71 for the excavation system. It was observed that the first 4.0 meters of the anchor with L_b = 6.0-meter mobilized, and plastic zones developed in this section. In the model studies, although an anchor with L_b = 2.0-meter was unable to carry the desired T_w value, it still contributed to the excavation system by increasing the *FS* against overall stability to 3.18 with a lower T_w value. As a result of this study, instead of canceling anchors that cannot be manufactured in the specified dimensions in the project, it is recommended to produce these anchors with the achievable L_b, and incorporate them into the excavation system.

Conflict of Interest Statement

The authors declare no conflict of interest regarding the investigation, authorship, and/or publication of this article.

Acknowledgement

This work was supported by Research Fund of the Istanbul Technical University. Project Number: MGA-2024-45704.

References

[1] FHWA-IF-99-015 (1999). Geotechnical engineering circular no.4: ground anchors and anchored systems. *U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration*. Washington DC.

[2] Barley, A.D. (1995). Anchors in theory and practice. *International Symposium on Anchors in Theory and Practice*. -Saltzburg, October 1995.

[3] Woods, R.I., & Barkhordari, K. (1997). The influence of bond stress distribution on ground anchor design. *ICE Conference and Anchored Structures*. London, March 1997.

[4] Ostermayer, H. (1974). Construction carrying behaviour and creep characteristics of ground anchors. *ICE Conference on Diaphragm Walls and Anchorages*. London.

[5] Sefi, F. (2014). Yarı-top-down inşaat yönteminin çok sıra ankrajlı iksa üzerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[6] Yıldız, Ö., & Berilgen, M.M. (2020). Artificial neural network model to predict anchored pile-wall displacements on İstanbul greywackes. *Teknik Dergi*, 584, 10147-10166.

[7] Rankine, W.J.M. (1857). On the Stability of Loose Earth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 147:9–27, 1776-1886.

[8] Terzaghi, K., & Peck, R.G. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

[9] Peck, R.B. (1969). Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, State of Art Report. *Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 225-290. Mexico City, Mexico.

[10] Çınar, A. (2010). Trakya formasyonunda yapılan öngermeli ankrajlı derin kazıların sonlu elemanlar ile modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

European Journal of
Engineering and Applied Sciences

ISSN: 2651-3412 (Print) & 2667-8454 (Online)
Journal homepage: http://dergipark.gov.tr/EJEAS
Published by Çorlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University

European J. Eng. App. Sci. 7(1), 44-53, 2024

Araştırma Makalesi

Müşteri İlişkileri Yönetiminde Büyük Veri ve Robotik Süreç Otomasyonu ile Süreç İyileştirme

Hazal Gül Kaya[1, *], Aysun SAĞBAŞ[2]

[1,2] Endüstri Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59830
[1]hazalgkaya@gmail.com, [2]asagbas@nku.edu.tr

Geliş: 12.03.2024 *Kabul: 28.06.2024* *DOI: 10.55581/ejeas. 1451187*

Öz: Dijitalleşen dünyada teknolojinin hızla değişmesi ve gelişmesi nedeniyle, işletmelerin değişime ayak uydurması ve yeni teknolojilere hızlı bir şekilde entegre olması mutlak bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda, robotik süreç otomasyonu (RSO) ve büyük veri analitiği gibi teknolojiler, işletmeler için fırsat niteliğindedir. RSO, tekrar eden ve kurallı iş süreçlerini otomatikleştiren yazılım robotlarıyla çalışırken, büyük veri analitiği, büyük ölçekli verilerin analiz edilerek karar süreçlerinde kullanılabilecek değerli bilgilere dönüştürülmesini sağlamaktadır. Bu teknolojilerin entegrasyonu, işletmelere veri yönetiminde etkinlik, optimize edilebilir süreçler, hataların minimize edilmesi, bilgiye dayalı karar alma ve insan kaynağının etkin kullanılması fırsatlarını sunmaktadır. Bu çalışmada, bir telekomünikasyon işletmesinde, müşteri şikayetleri çerçevesinde elde edilen verilerin SQL ile analiz edilmesi ve servis bazlı hata adedinin hesaplanarak, ilgili ekibe elektronik posta aracılığı ile iletilmesi konusunda RSO teknolojisi kullanılmış ve hata oranının beklenen değerin üzerinde olması durumunda, bir uyarı sistemi oluşturulmuştur. Sonuç olarak bu çalışmada, büyük veri ve robotik süreç otomasyonunun entegrasyonu ile iş süreçlerinde verimlilik artışı, hızlı hata tespiti, potansiyel hataların oluşmadan önlenmesi, zaman tasarrufu, müşteri memnuniyeti ve insan kaynağının değer yaratacak işlere yönlendirilmesi gibi faydalar sağlanabileceği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Büyük veri, Müşteri ilişkileri yönetimi, Robotik süreç otomasyonu*

Process Improvement with Big Data and Robotic Process Automation in Customer Relationship Management

Abstract: *As technology continues to change and evolve in the digital world, it has become crucial for businesses to adapt to change and integrate with new technologies. In this context, technologies such as Robotic Process Automation (RPA) and big data analytics offer tremendous opportunities for businesses. RPA uses software robots to automate repetitive and rule-based business processes, while big data analytics transforms large scale data into valuable insights that can be used in decision-making processes. Companies benefit from these technologies by integrating various tools into their business functions and operations, achieving effective data management, optimized processes, minimized errors, data-driven decision-making, and efficient utilization of human resources. In this study, RPA technology was developed to analyze customer complaint data by acquiring the existing SQL database from the mobile application of a telecommunications company. The service-based error count was calculated by this SQL-based RPA technology, and relevant teams were informed via email. Additionally, an alert system was established in case the error rate exceeded the expected value. Ultimately, the integration of big data and robotic process automation demonstrated benefits such as increased efficiency in business processes, rapid error detection, prevention of potential errors, time savings, enhanced customer satisfaction, and directing human resources towards value-creating tasks.*

Keywords:*. Big data, Customer relationship management, Robotic process automation*

∗Sorumlu yazar
E-mail: hazalgkaya@gmail.com (H.G.Kaya)

1. Giriş

Günümüzde işletmeler, rekabet avantajı elde edebilmek, süreçlerini daha verimli hale getirebilmek ve tüm bunları yaparken maliyetlerini minimize edebilmek için yeni iş modelleri ve farklı metodlar aramaktadır. Teknolojideki gelişimin hızı, işletmelerin yeni teknolojilere ve yeni trendlere ayak uydurmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda robotik süreç otomasyonu ve büyük veri analitiği gibi teknolojiler işletmeler için büyük önem arz etmektedir. Büyük veri ve RSO teknolojilerinin entegrasyonu, işletmelere veri yönetiminde etkinlik, optimize edilebilir süreçler, hataların minimize edilmesi, bilgiye dayalı karar alma ve insan kaynağının etkin kullanılması fırsatlarını sunmaktadır. RSO için kullanılan yazılım robotları, fatura oluşturma, e-posta okuma ve gönderme, veri okuma ve raporlama, PDF belgelerindeki bilgileri işleme vb. gibi bilgisayar tabanlı birçok işlemi hızlı bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. RSO, temel olarak bilgi girişi, veri kopyalama, veri ayrıştırma, uygulamaları açma, dokümanları tarama, formları doldurma gibi büyük hacimli, tekrar eden ve belirli kurallara bağlı işleri üstlenerek çalışanların zaman ve enerjilerini katma değerli ve bilgi birikimine dayanan işlere yönlendirmesi için ortaya çıkmış bir teknolojidir. Büyük veri analitiği ise, işletmelerin faaliyetlerinin getirisi olan büyük miktardaki verileri karar süreçlerinde kullanılmak üzere analiz ederek, işletmelere rekabette avantajlı konumda olma fırsatını getirmektedir. Büyük veri, RSO teknolojisi ile entegre edildiğinde, işletmeler verileri daha etkin bir şekilde kullanabilmekte, süreçlerdeki verimsizlikleri tespit ederek, karar alma süreçlerini iyileştirebilmekte ve iş süreçlerinin daha verimli, daha hızlı ve sıfır hata ile oluşturulmasına katkı sağlamaktadır [1]. Bu çalışmada, büyük veri analitiği ve RSO teknolojileri uygulanarak bir telekomünikasyon firmasında uygulama yapılmıştır. Bu kapsamda, hangi servislerden kaç adet hata alındığının raporlanması konusunda, mesai saatleri süresince, saatte bir kez kontrol edilerek manuel olarak yürütülen süreç, otomatize edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma büyük veri ve RSO'nun bir araya gelerek iş süreçlerinde verimlilik artışı, hızlı hata tespiti, zaman tasarrufu ve insan kaynağının değer yaratacak işlere yönlendirilmesi gibi faydalar sağlayabileceğini göstermektedir. RSO teknolojisinin, yakın zamanda kullanılmaya başlanan yeni bir teknoloji olması nedeniyle, yapılan çalışmanın RSO ve büyük veri entegrasyonunun uygulamada devreye alınması kapsamında literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sharma ve arkadaşları [2] çalışmalarında, içerik alma ve yürütmeye yönelik, robotik uygulama bileşeni kullanılarak süreç otomasyonunun etkinleştirilmesi yöntemini kullanarak kullanıcıların iş yüklerini azaltmak için robotik süreç otomasyonunun gerekli olduğunu ve sürecin robotlara öğretilmesinin önemli kazanımlar sağlayacağını belirtmişlerdir. Robotik süreç otomasyonunda, robotlara iş yapabilme yetkisinin ve izinlerinin verildiği faaliyetlerde, robotların tıpkı insanlar gibi kullanıldığını aktarmışlar ve robotik süreç otomasyonu ile dosya okuma, taşıma, kopyalama, e-posta okuma, gönderme vb. gibi bilgisayar tabanlı işlerde süreçlerin otomatikleştirilmesine imkân sağlanabileceğini savunmuşlardır. Willcocks ve arkadaşları [3], farklı kaynaklardan gelen bilgilerin manuel olarak toplanıp işlenmesi ve işlem esnasında farklı ekranlar arasında karşılaştırma yapılması gereken işlerin otomatize edilmesi için Blue Prism'in robotik işletim modeli (ROM) ve Kurumsal RSO yetkinlik modelini kullanarak robotik süreç otomasyonlarının, insanlardan daha hızlı bir şekilde, tekrarlayan işleri hatasız ve insan gücü gerektirmeden yapabileceğini, insanların daha çok sorgulama, müşteriyle etkileşim vb. gibi duygusal zekâ gerektiren katma değerli işleri yapabilmesi adına alan yarattığını öne sürmüşlerdir. Bataller ve arkadaşları [4] araştırmalarında, tıklama, yazma, kopyalama gibi birçok işlemi gerektiren, kullanıcıları web formu yanıtlarına e-posta göndermek gibi manuel ve zaman alıcı görevlerle uğraştıran işler için kullanıcı deneyimini değerlendirmek adına, yüksek hızlı kamera ve robotik kol içeren bir sistem kullanmışlardır. Robotik süreç otomasyonunun tekrarlayan ve işçilik ile yapılan yoğun faaliyetlerde otomatikleştirmeyi sağladığını belirtmişlerdir. Robotik süreç otomasyonunda bir bilgisayar ya da robot, bilgisayar tabanlı bir işi gerçekleştirmek için insanın manuel olarak yaptığı hareketleri taklit edebileceği fikrini savunmuşlardır. Boillet [5] robotik süreç otomasyonu ve yapay zekâ teknolojisinin etkin bir biçimde kullanılırsa kaliteyi artıracağını, hataları minimize edeceğini ve güveni artıracağını ifade etmiştir. Uğurlu [6] robotik süreç otomasyonu teknolojisi ile robotların verileri girmesiyle beraber farklı olan iş alanlarında birlikte çalışmayı gerektiren işler için harcanan efor azaltılırken, yapılacak işe dair tüm süreçler 7 gün 24 saat aralıksız işletilebilir düşüncesini savunan bir araştırma yapmıştır. Damar [7] yaptığı çalışmada robotik süreç otomasyonları daha az hata ile daha hızlı iş yapabilme olanağı tanırken, robotların çalışmış oldukları yazılımların ara yüzlerindeki herhangi bir değişimde iş sürecinin güncellenmesinin zorluğuna değinmiştir. Çalışkan ve Kıran [8]'ın robotik süreç otomasyonları teknolojisinin kullanımı ile ilgili yaptıkları değerlendirme anketine göre; katılımcıların tamamı robotik süreç otomasyonları teknolojisinin kullanılmasının doğru bir karar olduğunu ifade etmiştir. Kullanıcıların %61,9'unun bu teknoloji ile beklenen faydanın sağlandığını, %23,8'inin beklenen faydanın sağlanmadığını belirtmiştir. Erdoğan [9] robotik süreç otomasyonunun hacmi yüksek, tekrarlanan işlerin otomatikleştirilmesi için robotik yazılımlar kullanılan otomasyon teknolojisi olduğunu söylemiştir. Birçok sektörde uygulanabilir ve fayda sağlayabilir olduğunu belirterek, robotlar insan müdahalesi olmadan otomatik çalışacakları için test süreçlerinin önemli olduğunu ve bu süreçlerin insanların kontrolünde yapılması gerektiğini ifade etmiştir. Çağdaş [10] yaptığı araştırmada, robotik süreç otomasyonunda otomatize edilecek süreç için temelde dört kriterin önemini vurgulamıştır. Bu kriterleri; sürecin net ve açıkça tanımlanmış kuralları olması, süreçte tekrarlanan faaliyetlerin mevcudiyeti, girdi ve çıktıların var olması, işin hacminin yüksek olması olarak tanımlamıştır. Yetiz ve arkadaşları [11]'nın çalışmalarında robotik süreç otomasyonu teknolojisinin sistemlere entegre edilmesiyle, maliyetten tasarruf edilebileceği, insan kaynağına duyulan ihtiyaç azaldığından insan kaynağının daha çok katma değer yaratabilecekleri faaliyetlerde kullanılabileceği ve bu sayede verimin

artırılabileceği belirtilmiştir. Ribeiro vd. [12] tarafından yapılan çalışmada; yapay sinir ağı algoritmaları, metin madenciliği teknikleri ve doğal dil işleme teknikleri gibi yapay zekâ algoritmalarının organizasyonel süreçlerin iyileştirilmesine katkıda bulunabilecek RSO araçları hakkında bir çalışma sunmuşlardır. Fatura oluşturma sorunlarının ortadan kaldırılması adına Kajrolkar vd. [13] robotik süreç otomasyonu teknolojileri ile dört bölümden oluşan (e-posta otomasyonu, veri çıkarma, veri tabanıyla karşılaştırma ve fatura oluşturma) fatura işlemeyi otomatize edecek bir uygulamanın süreçlerini belirtmişler ve fatura oluşturma sorunlarının ortadan kaldırılması, hatanın minimize edilmesi, verimliliğin ve işlem hızının artırılmasıyla sürecin otomatikleştirilmesini hedeflemişlerdir. Shidaganti vd. [14]çalışmalarında, robotik süreç otomasyonlarının işletmelerdeki etkilerini değerlendirmek için yapay zekâ metodolojisinden faydalanmışlardır. Vajgel vd. [15] Brezilya'daki bir elektrik şirketinde, proaktif bildirim verme amacıyla, robotik süreç otomasyonu mimarisi tasarlamışlardır. Proje geliştirilirken kullanılan yöntem, veri yönetimi, tahmine dayalı modelde mesaj gönderme ve arama yapmak için belirli bileşenlerden oluşmaktadır. Model, iki eyaletteki bütün abonelere karşı test edilmiş ve elektrik kesintisi kaynaklı şikâyette bulunma ihtimali yüksek olan abonelerin, üç senelik şikayetlerinin tarihsel temeli ele almıştır. Sonuçta, geliştirilen robotun şikâyette bulunma ihtimali en fazla olan abonelere proaktif bildirimler vererek muhtemel problemleri öngörebildiği görülmüştür. Özdem ve Bora [16] hacmi yüksek ve kurallı işlerde, yazılımsal robotlarla hatanın minimize edildiği, sürekli çalışarak, zaman ve maliyet açısından da verimi artıracak bir teknoloji olan robotik süreç otomasyonları ele alınmıştır. Yapay zekâ, makine öğrenmesi, veri analizi, yazılımsal ve donanımsal gelişmelerle beraber robotik süreç otomasyonu teknolojisinin yarattığı ve yaratabileceği avantajlar ifade edilmiş ve Türkiye'de robotik süreç otomasyonun geldiği noktayı ve hangi sektörlerde ne oranda tercih edildiği hususlarına dair çalışma yapılmış ve öneriler sunulmuştur. Varshini vd. [17] çalışmalarında, işletmenin hisse senedi, web sitelerinin denetimi ve verilerin toplanması süreçlerindeki otomasyon ile, günlük faaliyetlerini daha kısa sürede gerçekleştirmek amacıyla robot kullanmıştır. Makine öğrenmesi yöntemi kullanılarak yatırımcıların hisse senedi piyasasının gidişatını ayırt edebilmesi ve net bir analizden sonra hisse alıp satma konusunda karar verebilmelerine olanak sağlanmıştır. Doğuç [18] robotik süreç otomasyonları üzerine yapmış olduğu çalışmada, banka ve teknoloji işletmelerinin, robotik süreç otomasyonları teknolojisini diğer sektörlere göre daha hızlı entegre edilebildiklerini ifade etmiştir. Patil vd. [19] çalışmalarında, bir sigorta talebini "dolandırıcılık" veya "meşru" olarak sınıflandırmak için, sistemi daha akıllı hale getiren makine öğrenmesi (ML) tekniği ile entegre olarak çalışan ve görevi otomatikleştiren Robotik Süreç Otomasyonunu etkin bir şekilde kullanmışlar ve araç sahtekarlığı tespitini gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Uygulanan yöntemin, Linear Discriminant Analysis'in (LDA) gibi diğer tekniklere kıyasla % 90 doğrulukla belirgin sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir.

2. Metodoloji

Büyük veri analizi ve robotik süreç otomasyonu, işletmelerin veri tabanlı karar alma süreçlerini iyileştirmek ve iş süreçlerini otomatikleştirmek için önemli araçlardır. Bu bağlamda, farklı RPA platformları farklı yaklaşımlar sunmaktadır. UiPath ve Blue Prism gibi önde gelen RPA çözümleri, büyük veri analizi için genellikle dış kaynaklara bağımlıdır ve geniş bir veri analitiği ekosistemi sunarlar. Microsoft Power Automate ise, Microsoft'un bulut altyapısını kullanarak büyük veri analizi ve robotik süreç otomasyonunu entegre eder. Pega ve Automation Anywhere gibi platformlar, hem büyük veri analizi hem de robotik süreç otomasyonunu kapsayan entegre bir çözüm sunarlar. Global Bilgi RPA ve Voodoo RPA gibi daha özelleştirilmiş çözümler ise, büyük veri analizi ve RPA entegrasyonunda yenilikçi yaklaşımlar sunarak farklı ihtiyaçlara cevap verebilirler. Her bir platformun avantajları ve dezavantajları vardır. UiPath ve Blue Prism gibi genel amaçlı çözümler, genellikle geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından tercih edilirken, daha özelleştirilmiş çözümler olan Global Bilgi RPA ve Voodoo RPA, belirli ihtiyaçlara yönelik daha spesifik çözümler sunabilirler.

2.1. Büyük Veri Analitiği

Büyük veri, özellikle internet ve sosyal medya ağları üzerinden ortaya çıkan verilerin analiz edilmesiyle anlamlı bilgiler elde edilebilmesi ve işlenebilir şekle getirilmesi sürecidir. Bilişim ve teknolojik altyapının gelişimi ile ortaya çıkan algılayıcılar ve sistemler tarafından oluşturulan, büyük hacimli ve hızlı bir akım şiddeti olan, çeşidi bol ve hızla gelen veriyi; toplama, saklama, temizleme, görselleştirme, analiz etme ve anlamlandırma işlemlerinin gerçekleştirilmesi büyük veri analitiği olarak adlandırılmaktadır [20,21]. Geleneksel veri işleme araçları ile analizi yapılamayan ve yönetilemeyecek kadar büyük miktardaki ve farklı hacimlerdeki heterojen veri setleri olarak da tarif edilen büyük veride, veri kaynakları ve veri çeşitliliğindeki artışla birlikte 7V, 10V ve hatta 42V'ye kadar karakteristiklerin sayısının arttığı bilinmektedir (Volume: Hacim, Velocity: Hız, Variety: Çeşitlilik, Verification: Doğrulama, Value: Değer, Veracity: Gerçeklik, Volatility: Oynaklık, Validity: Geçerlilik, Vulnerability: Hassaslık, Visualization: Görselleştirme). Büyük verilerin analiz edilebilmesi için ilk olarak büyük veri bileşenleri iyi bilinmelidir [22]. Büyük veri bileşenleri Şekil 1'de görselleştirilmiştir.

Şekil. 1. *Büyük Veri Bileşenleri [23]*

Dijitalleşen dünyada büyük veriler gün geçtikçe yayılmakta, çeşitlenmekte ve hacim kazanmaktadır. Büyük verinin, teknoloji optimizasyonu ile bilim, toplum ve işletmeler üzerinde yarattığı faydalar oldukça fazladır. İşletmelerde büyük veri analizi ile sağlanan içgörüler sayesinde bilinçli ve bilgiye dayalı karar verme kabiliyeti arttırılabilmektedir. Büyük veri analitiği ile iş süreçlerindeki verimsizlikler tespit edilip iyileştirme önlemleri alınarak operasyonel verimlilik arttırılabilir. Doğru ve derinlemesine analiz edilen verilerin kullanımıyla, işletmelerin pazarda rakiplerinden ayrışması ve müşterilere daha iyi hizmet sunması sağlanabilir. Bunlara ek olarak, büyük veri, bilgi güvenliğinin arttırılmasına, risklerin gerçek zamanlı tespitine ve müşterileri daha iyi anlayarak potansiyel müşteri segmentinin belirlenmesine yardımcı olarak, işletmelere önemli faydalar sağlamaktadır [24-25-26]. Büyük verinin sunduğu faydaların yanında farklı seviyelerde zorlukları da söz konusudur. Büyük veri; makine öğrenimi, büyük verinin yönetimi ve büyük verinin temizlenmesi vb. gibi zorlayıcı konularına ilaveten, işletmelerde sistem kapasite dengesizliği yaratarak farklı performans gerekliliklerine ihtiyaç gösterebilmektedir. Veri kaynakları hatalı veya eksik bilgiler içerebilir. Hatalı veya eksik bilgilerin tespit edilmesi, düzeltilmesi ve düzenlenmesi gibi işlemler zaman ve efor gerektirmekte ve zorlayıcı olabilmektedir. Büyük veri ortamında sistem kapasitesi dengesizliği oluştuğunda, verilere erişim yavaşlayabilir ve uygulamaların performansı üzerinde olumsuz bir etkisi olabilir [27,28]. İşletmeler, değerli bilgiler elde edebilmek ve rekabette avantajlı konumda olabilmek için verileri doğru yorumlamalı ve iyi analiz edilmelidir. Fakat büyük verinin karmaşık yapısı ve gerçek zamanlı analizi için yüksek performans gereksinimleri ortaya çıkabilmektedir Dünya geneline bakıldığında taşımacılık, lojistik, kargo, e-ticaret, işletme, perakende satış, kamu hizmetleri, telekomünikasyon, sağlık hizmetleri, bankacılık, eğitim, sosyal medya gibi pek çok sektör büyük veriye kaynak olmaktadır [29]. Veriler sadece dijital değil, görüntü, ses, metin, konum vb. gibi çok çeşitli ve farklı boyutlarda da olabilmektedir. Bu noktada asıl önemli olan veri kümelerinden anlamlı ve değerli bilgiyi alabilmektir [30,31]. Dolayısıyla büyük hacimlerdeki verileri incelemek, anlamlandırmak ve değerli bilgiler elde etmek için geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan çeşitli teknikler mevcuttur [32]. Genellikle büyük veri analizi yöntemleri; A/B Testi, veri füzyonu, veri entegrasyonu, veri madenciliği, makine öğrenmesi, doğal dil işleme (NLP) ve istatistik olmak üzere altı başlıkta incelenebilir [33].

2.1.1. Büyük Veri Analizinde Kullanılan Teknikler

Günümüzde, istatistik ve bilgisayar bilimlerindeki gelişmelere paralel olarak veri analizinde farklı birçok teknik kullanılmaktadır. Ayrıca, farklı platformlardan elde edilen birçok veri kombinasyonunu analiz etmek için yeni teknikler geliştirilmekte, mevcut olanların da geliştirilmesi devam etmektedir. Büyük miktardaki verinin analiz edilmesinde yaygın olarak kullanılan teknikler; yapay sinir ağları, tahmini analiz yöntemleri, istatistikler ve doğal dil işleme olarak sınıflandırılabilir [34-35]. Aşağıda açıklanan büyük veri işleme yöntemleri; veri madenciliği, sinir ağları, makine öğrenmesi, sinyal işleme ve görselleştirme, optimizasyon yöntemlerinin temelini oluşturan; uygulamalı matematik, istatistik, bilgisayar bilimleri ve ekonomi gibi farklı disiplinlerden yararlanmaktadır.

Kümeleme Analizi

Kümeleme analizi, nesneleri daha küçük gruplar halinde çeşitli alt gruplara ayırarak, nesneleri sınıflandıran istatistiksel bir yöntemdir [36]. Hedefe yönelik pazarlama için tüketicilerin kendi benzerliklerine göre gruplara ayrılması örnek olarak verilebilir.

Sınıflandırma

Sınıflandırma tekniği bir dizi kategorilere ayırmak için kullanılır ve yeni veri noktalarına sahip, daha önceden kategorize edilmiş veri noktalarını içeren bir eğitim setine dayanmaktadır [37]. Özel müşteri segment (iş kolu) davranışının tahmini, müşterilerin satın alma kararları, abone kayıp ve tüketim oranı sınıflandırmaya örnek olarakverilebilir.

Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, optimizasyon için kullanılan bir teknik olup, bu doğal evrim sürecinden veya en güçlünün hayatta kalmasından esinlenmiştir. Bu teknikte, olası çözümler birleştirilebilir ve mutasyon geçirebilir "kromozomlar" olarak kodlanmıştır [38]. Genellikle doğrusal olmayan (nonlinear) problemlerin çözümü için çok uygundur. Genetik algoritmalara örnek olarak, üretimde iş planlaması iyileştirilmesi ve yatırım portföyünün performansının optimize edilmesi erilebilir.

Sinir Ağları

Verilerdeki desenleri bulmak için biyolojik sinir ağlarının yapısından ve çalışmasından esinlenerek geliştirilmiştir. Sinir ağları tekniği doğrusal olmayan desenleri bulmakta oldukça başarılıdır ve örüntü tanıma ve optimizasyon için kullanılabilmektedir [39]. Belirli bir şirketten ayrılma riskiyle karşı karşıya olan değerli müşterilerin ve sahte sigorta taleplerinin belirlenmesi örnek olarak verilebilir.

Makine Öğrenmesi

Yapay zekâ olarak da adlandırılan makine öğrenmesi; algoritmaların tasarımı ve geliştirilmesi ile ilgili bilgisayar biliminin bir alt bilim dalıdır. Makine öğrenme araştırmalarının en önemli odak noktası otomatik olarak karmaşık desenleri tanımak ve verilere dayalı stratejik kararlar almaktır. Makine öğrenmesine örnek olarak, doğal dil işleme verilebilir.

Doğal Dil İşleme

Doğal Dil İşleme (NLP), bilgisayar bilimi ve dil biliminin bir alt bilim dalından gelen tekniklerin bir kümesi olup, doğal dil analizinde bilgisayar algoritmalarını kullanmaktadır. Müşterilerin marka kampanyasına tepkilerini belirlemek için sosyal medya duygu analizinin kullanılması örnek olarak verilebilir.

Veri Füzyonu (Kaynaştırma-Birleştirme) ve Veri Entegrasyonu

Veri füzyonu, birçok kaynaktan gelen verilerin entegrasyonunu ve analizini yapan bir dizi tekniktir. Sinyal işleme teknikleri veri füzyonunun bazı türleri için kullanılabilmektedir. Bir pazarlama kampanyasının müşteri duyarlığı ve satın alma davranışı üzerindeki etkisini belirlemek için sosyal medyadan alınan verilerin, doğal dil

işleme yöntemiyle analiz edilen gerçek zamanlı satış verileriyle birleştirilmesi örnek olarak verilebilir.

Ağ Analizi

Ağ analizi, bir grafik ya da ağda ayrık düğümler arasındaki ilişkileri karakterize etmek için kullanılan teknikler kümesidir. Bilgi nasıl transfer edilir veya kimin kim üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu ağ analizi tekniği ile bulmak mümkündür.

Veri Madenciliği

Veri madenciliği, veritabanı yönetimi ile istatistik ve makine öğrenme (machine learning) yöntemlerini birleştirilerek büyük veri setlerinden desenleri ayıklamak için kullanılan bir tekniktir. Bu teknikler, ilişkili öğrenme, kümeleme analizi, sınıflandırma ve regresyon olarak belirtilebilir [41]. Müşterilerin satın alma davranışlarını modellemek için pazar sepeti analizinin kullanılması, insan kaynaklarının veri madenciliğini kullanarak en iyi çalışanlarının karakterlerini belirlemesi ya da müşteri verisi kullanarak bir teklife olası verilebilecek cevapların belirlenmesi örnek olarak verilebilir.

Optimizasyon

Optimizasyon, eldeki sınırlı kaynakların en etkin şekilde kullanılması anlamına gelmektedir. Optimizasyona örnek olarak; maliyet, hız ya da güvenilirliği verilebilir. Optimizasyon uygulama örnekleri; zaman planlama, dağıtım ve zemin düzenleme ve stratejik kararlar olarak; ürün yelpazesi stratejisi, bağlantılı yatırım analizleri ve Ar-Ge portföy stratejisini içermektedir. Genetik algoritmalar da optimizasyon tekniğine örnek olarak verilebilir.

Örüntü Tanıma

Örüntü tanıma, belirli bir algoritmaya göre verilen giriş değeri için çeşitli çıktı değeri atayan makine öğrenmesi teknikleri kümesidir. Sınıflandırma teknikleri örüntü tanımaya örnek olarak verilebilir.

Öngörü Modellemesi

Öngörü modellemesi, bir matematiksel model oluşturmada ya da tahmin sonuçları arasından en iyi tahmin modelini seçmede kullanılan tekniklerin kümesidir [19-39]. Müşteri ilişkileri yönetiminde, müşteride olacak abone kaybı için tahmin modellerinin kullanılması ya da bir müşteriye başka bir ürünün çapraz olarak satılması örnek olarak verilebilir.

Simülasyon

Karmaşık sistemlerin davranışlarının modellenmesi için genellikle öngörü, tahmin ve senaryo planlama teknikleri kullanılır. Örneğin, Monte Carlo simülasyonları, tekrarlanan rastgele örneklemeye dayanan bir algoritma sınıfıdır.

A / B Testi

Bölme (split) veya bucket testi olarak da bilinen bu test genellikle web sitesi tasarımında, e-posta pazarlamada, pazarlama kampanyalarında ve dijital pazarlama süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. A/B testinde temel amaç, karşılaştırma yapılan etkenler (yazılı içerikler, görsel içerikler, satış sayıları, karşılama sayıları, butonlar vs.) arasında en iyi performansı gösteren etkeni bulmaya yöneliktir [17].

Mekânsal Analiz

Mekânsal analiz, insan davranış kalıplarını ve mekânsal ifadesini, matematik ve geometri bakımından, yani konumsal analiz açısından açıklamaya çalışan bir coğrafi analiz türüdür. Mekânsal analiz uygulamalarına örnek olarak mekânsal regresyonlar (bir ürünün yer ile ilişkili tüketici istekliliği) veya simülasyonlar (bir imalat tedarik zinciri ağının, farklı yerlerdeki sitelerle performansı.

Zaman Serileri Analizi

Zaman serileri, ardışık eşit zaman aralığındaki veri noktalarının dizilerini analiz etmek ve veriden anlamlı sonuçlar elde etmek için istatistik ve sinyal işleme teknikleri kullanılır [42]. Zaman serisine örnek olarak bir borsa endeksinin saatlik borsa değeri ya da her gün belli koşullar altında tanısı konulan hasta sayısı, tahmini satış rakamları ya da bulaşıcı bir hastalık için tanısı konulacak insan sayısının tahmin edilmesi örnek olarak verilebilir.

Görselleştirme (Visualization), Büyük Veri ve Görselleştirme

Verideki karmaşık ilişkileri keşfetmemize ve anlamamıza yardımcı olan görselleştirme, büyük veri analizlerini iletmek, anlamak ve geliştirmek için resimler, diyagramlar ya da animasyonlar oluşturmak amacıyla kullanan bir tekniktir. Veri görselleştirme metodları kullanılarak büyük miktardaki veriyi resim, diyagram ve renklere dönüştürmek mümkündür.

2.1.2. Büyük Veri Kullanım Alanları

Büyük verinin işletmeler tarafından pek çok kullanım alanı vardır. Bu alanlar; gelecekteki satın almalar için daha iyi ve daha fazla kişiselleştirilmiş önerilerde bulunmak veya indirimler sunmak, arızaların, engellerin ve kusurların temel nedenlerini neredeyse gerçek zamanlı olarak belirlemek ve hatta olası arızaları gerçekleşmeden önce tahmin edip düzeltmek, kalite iyileştirme ve ürün yeniliği için çevrimiçi tüketici incelemelerinin veya çağrı merkezi verilerinin analizi yoluyla tüketicilerin ürün veya hizmetlerle ilgili deneyimlerini anlamak, kriz zamanında hızlı tepkiler geliştirmek ve anormallikleri tespit etmek şeklinde özetlenmiş ve Tablo 1.'de detaylı olarak verilmiştir [17-19].

2.2. Büyük Veri ve RSO Evrimi

RSO teknolojisinin geliştirilmesi için en önemli teknolojilerden biri makine öğrenmesidir. Yapay zekâ teknolojisini bilgisayarlar ve insan dilleri arasındaki etkileşimlerle birleştiren makine öğrenmesi teknolojisindeki gelişmeler sonucunda, doğal dil işleme (NLP) teknolojisi ortaya çıkmıştır. Bu gelişme, RSO teknolojisinin yaratılmasında, ileriye doğru büyük bir adım oluşturmuştur. RSO sistemlerini verimli kılan bir diğer teknoloji olan bilgisayarla görme teknolojisi ile, RSO sistemlerinin en önemli özelliklerinden olan görüntü ve PDF gibi belgelerden bilgi çıkarılmasını sağlamıştır. Yapay zekâ ve RSO'nun bir kombinasyonu olan akıllı otomasyon, sadece tekrarlayan, yapılandırılmış süreçleri otomatikleştirmekle kalmamakta, aynı zamanda yapılandırılmamış verileri de işleyebilmekte ve analize dayalı doğru tahminler sağlayabilmektedir [11]. Bu da insan unsuruna gereksinimin yüksek olduğu alanlarda dijital dönüşüme yönelerek, rutin süreçlerin dijitalleşmesini ve

otomatize edilmesini ve böylece kurumların sektörde rekabet avantajı elde etmesini sağlayabilmektedir.

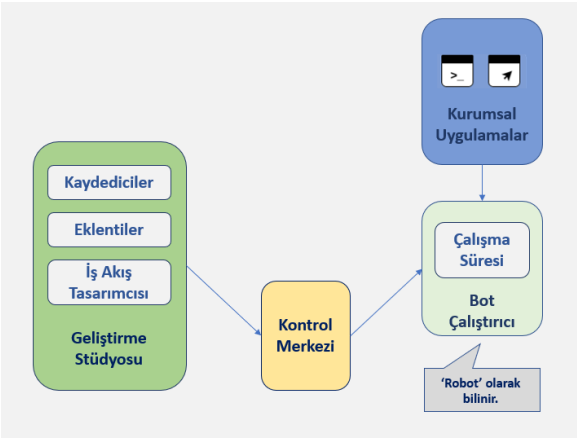
Tablo 1. Büyük Veri Kullanım Alanları [39]

Alan	Kullanım
Pazarlama	• Kişiselleştirilmiş ürün ve hizmet sunma • Müşteri memnuniyeti • Müşteri kaybının önlenmesi • Mobil pazarlama uygulamaları • Pazarlama bilgi sistemleri • Pazarlama stratejileri geliştirme • Pazar bölümlendirme • Sosyal medya uygulamaları • Marka iş birlikleri
Üretim/Hizmet	• E-ticaret uygulamaları • Gerçek zamanlı teklifler • Stok yönetimi • Süreç optimizasyonu • Ürün talep tahmini • Ürün ve iş geliştirme • Maliyetleri düşürme • Verimliliği artırma
Finans/Bankacılık	• Yatırım kararları alma • Karmaşık borsa hareketlerinin analizi • Küresel finansal kararlar alma • Hisse senedi alış ve satışı • Hile-suistimali önleme • Saldırı tespiti • Risk analizleri • Yeni kredi başvurularını değerlendirme • Mevcut müşteriler için kredi puan analizi • Yatırımcı analizi

RSO sistemlerini efektif kılan teknolojilerden bir diğeri bilgisayarla görme (computer vision), 1960'ların sonunda ortaya çıkmış olup, yaklaşık 30 yıllık süreçte beklenen ilerleme kaydedilememiş olsa da 1989 yılında Yann Andre Le Cun tarafından önerilen LeNet modeli ile popüler hale gelmiştir. LeNet modeliyle görüntü, pdf vb. belgelerden veri çekilmesi sağlanmıştır [40]. 1990 yıllarında, RSO teknolojisinin ilk adımlarından biri olan ekran kazıma yazılımı ortaya çıkmıştır [8]. Ekran kazıma teknolojisi, robotik süreç otomasyonlarının daha yoğun olduğu programlardan, sitelerden ve belgelerden veri çıkarmak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Gelişim için atılan adımlarla beraber 2000'lerin başında ilk robotik süreç otomasyonu yazılımı geliştirilmiştir [11]. Geliştirilen yazılım her ne kadar tekrar eden işleri otomatize etmede başarı yakalamış olsa da becerileri henüz sınırlı olduğundan 2015'e kadar pek duyulmamıştır. Yapay zekâ ile entegre olan robotik süreç otomasyonlarının keşfedilmesiyle RSO teknolojisi popüler hale gelmiştir. Bugüne bakıldığında işletmelerin birçoğunun RSO teknolojileri kullandığını görmek mümkündür. Bu teknolojiyle tekrar eden, kurallı işlerde yazılım robotları kullanılarak insan kaynağını katma değer yaratabilecek faaliyetlere yönlendirebildiklerinden, pek çok konuda kazanılan verimlilik iş geliştirme için avantaj sağlamaktadır [41].

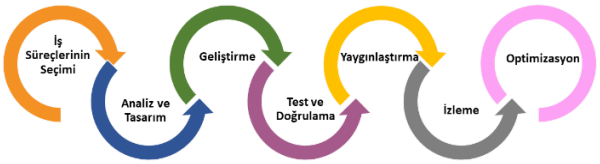
2.3. Robotik Süreç Otomasyonu

Teknolojinin hızla ilerlemesiyle şirketler, müşterilerine daha hızlı, daha kaliteli, hatanın minimize edildiği ve verimliliği artıran hizmetler sunabilmek adına entegre sistemlere geçiş yapmaya başlamışlardır. Dijital teknolojilerin gelişimine bağlı olarak, RSO günümüzde yükseliş gösteren teknolojilerden biridir. Robotik Süreç Otomasyonu teriminin ilk kez Blue Prism'in Pazarlama Direktörü Patrick Geary tarafından 2012 yılında kullanıldığı ifade edilmiş olsa da RSO'nın patenti Cyrille Bataller ve Adrien Jacquot'a aittir [42]. RSO teknolojileri esasında hacmi büyük, kurallı ve tekrar eden işlerin otomatikleştirilerek insan kaynağının zaman ve eforunun katma değerli işlerde kullanılabilmesi ihtiyacından doğmuştur. Bu sistemlerin yapay zekâ ile desteklenmesi, bilgisayarların insana özgü bilişsel davranışları öğrenebilmesi ve faaliyete geçirebilmesi RSO kavramını daha da güçlendirmiştir [43]. Bu bağlamda RSO, yapay zekâ ve süreçlerin otomasyonuna göre veriye erişmek, veriyi işlemek, farklı yazılım sistemleri ve çeşitli ekranlarla iletişimi sağlamak amacıyla kullanılabilmektedir. RSO, bilgisayarlar tabanlı işlerde, insan hareketlerinin taklit edilebildiği bir yazılım olup; yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak 2020'li yıllarda yaygınlaşmış bir otomasyondur [44-45]. Yazılım robotları temelde ana cihaza bağlı çalışan bir yapay zekâ sistemi olmasının yanısıra, farklı teknolojilerin yeteneklerini bir araya getirerek otomasyon olanağı sunan, gelişmeye devam eden bir teknolojidir. RSO, finans, sigorta, sağlık, lojistik, perakende, müşteri hizmetleri gibi birçok sektörde ve iş alanlarında uygulanabilmekte, fatura işleme, veri girişi, envanter yönetimi, müşteri başvurularının değerlendirilmesi vb. gibi süreçler, RSO ile otomatikleştirilebilir [40-46]. RSO, iş süreçlerinin otomasyonunda kullanılmakta, kurallara dayalı otomasyon sağlamakta ve farklı sistemler arasında veri transferi yapabilmekte, iş süreçlerini izleyebilmekte ve raporlar oluşturabilmektedir [47]. Mevcut bilgi teknolojileri sistemlerine kıyasla daha az maliyetle daha kısa sürelerde entegre edilebilmekte, uygun olan proseslerde operasyonel maliyeti sürece bağlı olarak %20-%75 oranlarında azaltabilmekte ve işlerin ve süreçlerin standardize edilebilirliğini sağlamaktadır. Daha çevik ve verimli bir yapıya olanak sağlaması nedeniyle, müşteri ilişkilerinde memnuniyet seviyesi artmakta, hatalar ve riskler minimize edilebilmektedir. RSO, durmaksızın çalışabilir, hacmi büyük olan işlerde maliyet ve iş gücünden katkı sağlar ve denetimi kolaylaştırır. İşletmelerin mevcutta kullandıkları sistemin altyapısının yetersiz olması durumunda gelişmiş teknolojilerin uygulanması süreçlerde çeşitli sıkıntılara yol açabilir. Robotik süreç otomasyonunda, veriye erişme, veriyi işleme, veriyi yönetme, kullanıcılara nasıl sunulacağı vb. konularda mimarilere ihtiyaç duyulmaktadır [48-49]. RSO mimarisi farklı bileşenler, araçlar ve platformların birlikte çalışmasıyla, iş akış otomasyonunu sağlayan teknolojiler bütünüdür. RSO mimarisi ve bileşenleri Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. *RSO Mimarisi ve Bileşenleri [7]*

Temelinde RSO; yazılım robotları kullanılarak insan davranışlarının taklit edilmesi ve veri girişi, belge işleme, kural tabanlı karar alma gibi dijital sistemlerle etkileşim kurulması sürecini içermektedir. RSO yaşam döngüsü, iş süreçlerinin otomasyonunda baştan sona tüm süreçleri ifade etmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. *RSO Yaşam Döngüsü*

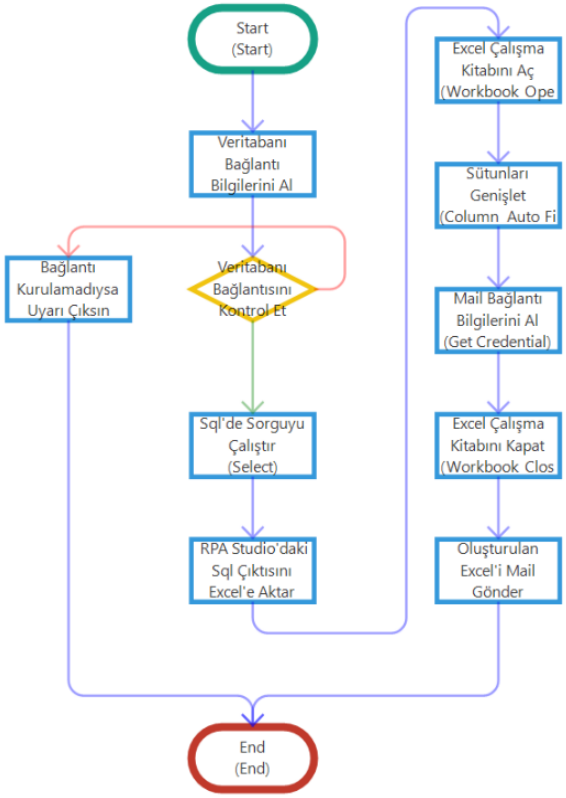
3. Büyük Veri ve RSO Entegrasyonu ile Süreç İyileştirme

Günümüzde teknolojik gelişmelerin hızla ilerlemesi, üretim ve hizmet işletmelerinde büyük değişimlere yol açmaktadır. İşletmelerin faaliyetlerini daha verimli hale getirmek ve rekabet avantajı elde etmek için bu değişimlere uyum sağlamaları büyük önem arz etmektedir [50,51]. Telekomünikasyon şirketleri, yüksek hızlı veri iletişimi, nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ, büyük veri analitiği gibi yeni teknolojileri benimseyerek, daha etkili hizmetler sunabilir, iş süreçlerini otomatikleştirebilir ve daha verimli bir altyapı oluşturabilirler [43-46]. RSO, büyük veri analitiği, müşteri ilişkileri yönetimi ve diğer dijital teknolojilerle entegre edildiğinde, telekomünikasyon sektöründe daha akıllı, veri odaklı ve yenilikçi hizmetler sunabilmektedir. Bu sayede şirketler, verileri etkin bir şekilde analiz edebilir, müşteri tercihlerini anlayarak kişiselleştirilmiş hizmetler sunabilir ve operasyonel süreçlerini optimize edebilirler [48]. RSO, pdf formatlı dosyalardan metin, resim ve tablo çıkarabilme ve tabloları excel formatında işleme yeteneği; yönetim panelinden aktif robot senaryolarını izleme, optik karakter tanıma teknolojisi; yüksek işlem kapasitesiyle kurumsal uygulamalarda kullanabilmektedir. Telekomünikasyon sektöründe bazı RSO uygulamaları Tablo 2. de verilmiştir.

Tablo 2 Telekomünikasyon Sektöründe Bazı RSO Uygulamaları [48]

Alan	Örnek Uygulamalar
Müşteri Hizmetleri	• Müşteri taleplerinin otomatik yönlendirilmesi • Sorun tespiti ve sorun giderme süreçlerinin otomatikleştirilmesi • Sıkça sorulan sorulara otomatik yanıtlar sağlanması
Fatura İşlemleri	• Fatura oluşturma ve gönderme süreçlerinin otomatikleştirilmesi • Ödeme tahsilatının otomatik olarak gerçekleştirilmesi • Müşteri hesaplarının otomatik güncellenmesi
Sözleşme Yönetimi	• Sözleşme hazırlama ve onay süreçlerinin otomatikleştirilmesi • Belge yönetimi ve arşivleme süreçlerinin otomatikleştirilmesi
Veri Yönetimi	• Veri toplama ve giriş işlemlerinin otomatikleştirilmesi • Veri doğrulama ve temizleme süreçlerinin otomatikleştirilmesi • Veri analizi için güvenilir veri sağlanması
Ağ Yönetimi	• Ağ izleme ve performans analizi süreçlerinin otomatikleştirilmesi • Ağ konfigürasyonunun otomatik olarak yönetilmesi • Ağ güncellemelerinin otomatik olarak gerçekleştirilmesi

Bu çalışma, bir telekomünikasyon şirketinde, müşteri şikayetlerinin minimize edilmesi sürecinde, manuel olarak yapılan hata analizi ve raporlama sürecini iyileştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bir saatlik süre içerisinde hata adedi verisi saptanmış ve hata raporlama sürecinin iyileştirilmesi, RSO ve büyük veri entegrasyonu ile sürecin otomatize edilmesi hedeflenmiştir. Önerilen RSO robotunun iş akışı Şekil 4.'de verilmiştir.



Şekil 4. *RSO Robotu İş Akışı*

Önerilen senaryoda RSO robotu, bir dizi otomasyon adımını gerçekleştirmektedir. Ayrıca işgücü ile yürütülen sürece alternatif senaryoda; müşterilerin uygulama içerisindeki ekran hareketleri, işlemleri, işlem sırasında aldıkları hatalar gibi bilgiler SQL veri tabanında oluşturulan bir tabloya aktarılmıştır. SQL verilerinin robot tarafından aktarıldığı Excel dosyası için SQL sorgusu hazırlanmıştır. Bu sorgu çalıştırıldığında son 1 saatte hangi işlemlerin hata aldığı tespit edilmektedir. Bu çalışma ile, tüm müşteriler için mesai saatleri içinde saatte bir kez olmak üzere (günde dokuz kez) servis bazında alınan hata adedinin manuel olarak yapılan raporlama süreci, otomatize edilmiştir. Geliştirilen RSO sistemi çalıştırıldığında; insan gücüyle manuel olarak 240 saniyede tamamlanan raporlama sürecinin RSO robotu tarafından yalnızca 25 saniyede tamamlanabildiği gözlemlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda insan gücüyle günlük 36 dakika alan iş sürecinin, RSO robotu ile, 3,75 dakikada gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu durum yaklaşık olarak günlük 32,25 dakika zaman tasarrufu sağlamaktadır. Zaman tasarrufunun yanı sıra elde edilen süreç başına işgücü tasarrufu (Zaman tasarrufu/İş süresi) yaklaşık olarak %89,58 olarak hesaplamıştır. Öte yandan manuel olarak günde dokuz defa yapılan bu işin senede yaklaşık olarak 200 gün boyunca yapıldığı düşünülünce, RSO iyileştirmesi ile elde edilen günlük 32,25 dakikalık kazanç, yıllık bazda 11,9 günlük iş gücüne karşılık gelmektedir. Bu RSO otomasyonu ile elde edilen yıllık iş gücü tasarrufunun üretkenliğe etkisi, (RSO ile senelik kazanılan zaman/toplam senelik çalışma) hesaplandığında %6,0'lık üretkenlik kazanım potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. RSO uygulanması sonucu süreç iyileştirme oranları Tablo 3.'de gösterilmiştir.

Tablo 3 RSO Uygulamasının Süreç İyileştirme Oranı

	İşlem Süresi (saat/yıl)	**Çalışma Zamanı (saat/yıl)**
Manuel Sistem	120	1800
RSO	12,5	1692,5*
Elde Edilen Tasarruf (Yıllık) (%)	89,58%	6,00%

**RSO'nun üretkenliğe etkisi saat bazında hesaplanarak yazılmıştır.*

Elde edilen bulgular çerçevesinde, RSO teknolojisinin işletmelerin süreçlerini daha verimli şekilde yönetebilmesine, zamandan ve insan gücünden tasarruf edilebilmesine, çalışanların daha stratejik ve katma değerli işlere odaklanabilmesine imkân sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, RSO uygulanması sonucunda; işlerin ve süreçlerin standardize edilebilmesinin, daha çevik ve verimli bir yapı oluşturulmasının da mümkün olabileceği görülmüştür. Bu sayede müşteriye mevcut duruma göre, daha hızlı cevap verilebileceğinden, müşteri memnuniyet seviyesinin artması kaçınılmaz olacaktır. Ayrıca, insan kaynaklı hataların ve risklerin de minimize edilebilmesinin mümkün olacağı öngörülmektedir.

4. Sonuç

Teknolojideki gelişimin hızla ilerlemesi, işletmelerin yeni teknolojilere ve yeni iş modellerine entegrasyonunda büyük önem arz etmektedir. Dünyada yapay zekâ, makine öğrenmesi, veri analizi teknolojilerinin gelişmesiyle, RSO teknolojisi ve büyük veri analitiği gibi teknolojiler işletmeler için daha ilgi çekici olmaya başlamıştır. Bu çalışmada, bir telekomünikasyon şirketinde uygulama yapılmış, RSO ve büyük veri analitiği entegrasyonu kullanılarak, müşteri ilişkileri yönetimi sürecinde, işgücü ile gerçekleştirilen bir sürecin otomatikleştirilerek, insan kaynağının daha stratejik görevlere yönlendirilmesi, hatanın minimize edilmesi ve zamandan tasarruf edilmesi için yazılımsal bir robot geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada, RSO ve büyük veri entegrasyonunun işletmelere sunduğu faydalar gösterilmiştir. Tekrar eden büyük hacimli ve kural tabanlı işlerin, hataya yer bırakmadan, robotlar aracılığıyla sürekli gerçekleştirilmesi sağlanmış, zaman ve maliyet açısından verimli bir süreç otomasyonu uygulanmıştır. Geliştirilen sistemin uygulanması durumunda, işletmelerin, yüksek hacimli ve tekrarlanan işleri otomatize ederek, mevcut insan gücünü rutin işlerden ziyade, daha katma değerli işlere yönlendirmeleri öngörülmüştür. Bu kapsamda, istihdam oranında düşüş sağlanabileceği ve işgücü tasarrufu yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, rutin işlerin robotlara yüklenmesi sonucunda, robotların bakımı, eğitimi, geliştirilmesi, güncellenmesi gibi yeni iş bölümlerine ve yeni mesleklere ihtiyaç duyulabileceği düşünülmektedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak, gelecekte, RSO teknolojisinde de kredi tahmini yapan ve sonuçları değerlendirebilen, öz geçmiş okuyan ve değerlendirebilen, e-posta yönlendirmesi yapabilen süreç otomasyonu sağlayan robotların uygulamada devreye alınması muhtemeldir.

Yazar Katkısı

Bu araştırmada A.S, araştırmanın tasarımı ve uygulanması, veri analizi ve deneysel performansın değerlendirilmesi, makalenin incelenmesi ve oluşturulması konularında katkı

sağlamıştır H. G. K, bilimsel araştırma, literatür taraması, veri toplama ve analiz etme ve çalışmanın uygulanması aşamalarında görev yapmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

[1] Ketkar, Y., & Gawade, S. (2021). Effectiveness of robotic process automation for data mining using UiPath. Proceedings. International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems, ICAIS 2021, 864-867.

[2] Sharma, S., Dixit, S. D., Patel, V., Kalmalı, Z. & Agrawal, P. (2015). US10354225B2 Raporu [Patent No. US10354225B2]. GooglePatents.

[3] Willcocks, L., Lacity, M. & Craig, A. (2016). Robotic Process Automation: Strategic Transformation Lever for Global Business Services.

[4] Bataller, C., Jacquot, A. & Torres, S. R. (2017). EP3215900B1 Raporu. https://patents.google.com.

[5] Boillet, J. (2017). Welcome to the machines. AI Journal, 5, 1-20.

[6] Uğurlu, E. (2019). Fintech Robotik Süreç Otomasyonu Uygulamaları. Erişim adresi: http://fintechtime.com.tr

[7] Damar, H. (2024). Robotik Süreç Otomasyonu (RPA) Nedir? https://hakandamar.com, Erişim Tarihi; 27.02.2024.

[8] Çalışkan, L. S. & Kiran, S. (2020). İş Süreçlerinin Otomasyonunda RSO'nun Faydaları. Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi, 6(1), 1-13.

[9] Erdoğan, S. (2021). Robotik Süreç Nasıl Yapılır? Keytorc.

[10] Çağdaş, F. K. (2023). Robotik Süreç Otomasyonu Nedir? En İyi 7 RSO Çözümü. World EF. Erişim tarihi: 14.04.2023. https://worldef.net/e-ticaret.

[11] Yetiz, F., Turan, Y. & Conpolat, İ. (2021). Bankacılık sektöründe robotik süreç otomasyonu ve verimlilik ilişkisi: bir banka örneği. Verimlilik Dergisi/Journal of Productivity, 8(1), 65-80.

[12] Ribeiro, J., Lima, R., Eckhardt, T. & Paiva, S. (2021). Robotic process automation and artificial intelligence in industry 4.0 – a literature review. Procedia Computer Science, 185, 51-58.

[13] Kajrolkar, A., Paralikar, P., Pawar, S. & Bhagat, N. (2021). Customer order processing using robotic process automation. IEEE International Conference on Communication Information and Computing Technology (ICCICT), Mumbai, India, 25-27.

[14] Shidaganti, G., Salil, S., Anand, P. & Jadhav, V. (2021). Robotic process automation with AI and OCR to improve business process: review. In Proceedings of the Second International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC-2021), Bengaluru.

[15] Vajgel, B., Correa, P. L. P., Tossoli De Sousa, T., Encinas Quille, R. V., Bedoya, J. A. R., Almeida, G. M. de, Filgueiras, L. V. L., Demuner, V. R. S. & Mollica, D. (2021). Development of intelligent robotic process automation: a utility case study in Brazil. IEEE Access, 9, 71222-71235.

[16] Özdem, H. & Bora, M. P. (2022). Türkiye'de Robotik Süreç Otomasyonu. Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi, 3(1), 1-9.

[17] Varshini, S., Kalpana, M. & Abishek.B, E. (2021). Stock data analysis with UIpath automation. 2021 5th International Conference on Computer, Communication, and Signal Processing (ICCCSP - 2021), Chennai, India.

[18] Doğuç, Ö. (2021). Applications of robotic process automation in finance and accounting. Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,8,32-39.

[19] Patil, N., Kamanavalli, S., Hiregoudar, S., Jadhav, S., Kanakraddi, S. & Hiremath, N. D. (2021). Vehicle Insurance Fraud Detection System Using Robotic Process Automation and Machine Learning. 2021 International Conference on Intelligent Technologies, CONIT 2021, 1-5. https://ieeexplore.ieee.org/document/9498507

[20] Akdoğan, N. & Akdoğan, M. U. (2018). Büyük Veri-Bilişim Teknolojisindeki Gelişmelerin Muhasebe Uygulamalarına ve Muhasebe Mesleğine Etkisi. Muhasebe ve Denetime Bakış, 18(55), 1-14.

[21] Avunduk, H.,& Kızgın, M. (2020). Büyük Veri ve Sürekli Denetimde Veri Analizi. Journal of Business in the Digital Age, 3(1), 76-83.

[22] Aktan, E. (2018). Büyük Veri: Uygulama Alanları, Analitiği ve Güvenlik Boyutu. Bilgi Yönetimi, 1(1), 1-22.

[23] Laney, D. (2001). 3D data management: Controlling data volume, velocity and variety. META group research note, 6(70), 1.

[24] Baliyan, R., Bhatia, P. K. & Jalal, A. S. (2014). Big Data Analytics in Healthcare: Promise and Potential.

[25] Mayer-Schönberger, V. & Cukier, K. (2011). Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think.

[26] Kumar, K. & Mishra, R. B. (2014). Big Data Analytics: A Literature Review Paper.

[27] Zaharia, M., Chowdhury, M., Das, T., Dave, A., Ma, J., McCauley, M. & Stoica, I. (2016). Scaling Spark in the Real World: Performance and Usability. Proceedings of the VLDB Endowment, 8(12), 1840-1851.

[28] Batista, G. E. A. P. A., Prati, R. C. & Monard, M. C. (2009). Data Cleaning: Problems and Current Approaches. Journal of Artificial Intelligence Research, 31, 1-63.

[29] Karabay, B. & Ulaş, M. (2017). Büyük Veri İşlemede Yaygın Kullanılan Araçların Karşılaştırılması. In 8th International Advanced Technologies Symposium, 1-18.

[30] Brown, C. & Smith, L. (2019). Personalized Content Recommendations and Marketing Strategies: A Study of Entertainment Industry Data. Journal of Marketing Research, 36(4), 215-231.

[31] Johnson, S. (2021). Consumer Preferences and Content Performance Analysis: Insights from Digital Media Platforms. Journal of Media Studies, 45(2), 87-104.

[32] Atalay, M. & Çelik, E. (2017). Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Uygulamaları - Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in big data Analysis. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9(22), 155-172.

[33] GTech. (2021). Big Data: Büyük Veri Analizi Nasıl Yapılır?.https://www.gtech.com.tr/big-data-buyuk-veri-analizi-nasil-yapilir/ (erişim tarihi: 10.06.2023)

[34] Çelik, S. (2018). Büyük Veri ve İstatistikteki Uygulamaları. Yayınlanmamış doktora tezi, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, BURSA.

[35] Ohlhorst, F. J. (2014). Big data analytics: turning big data into big money (2nd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

[36] Yıldız, A. (2022). Büyük Veri'nin V'leri ve Veri Analitiği. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 51(Özel Sayı 1), Denizli, Türkiye, 361-378.

[37] Oguntimilehin, A.& Ademola, E. O. (2014). A Review of Big Data Management, Benefits and Challenges. Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, 5(6), 33-437.

[38] Jeble, S. & Patil, Y. (2016). Role of big data and predictive analytics. International Journal of Automation and Logistics, 2(4), 307-331.

[39] Şahinaslan, E. (2023). İş Süreci Optimizasyonu: Yöntem, Teknoloji, Riskler ve Fırsatlar. Journal of Academic Projection (JAP), 8(2), 570-604.

[40] Çivak, H. (2022). Robotik süreç otomasyonu: bir uygulama örneği. Karabük Üniversitesi. Fen Bilimleri Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

[41] VoodooRPA. (2023). Robotik Süreç Otomasyonu (RPA) Ürünleri ve Karşılaştırılması. https://www.voodoorpa.com.tr/ (Erişim tarihi: 24 Mayıs 2023).

[42] Yılmaz, B. & Özdemirci, F. (2022). Elektronik Belge Yönetim Sistemlerinde RSO'nun Kullanılabilirliği. Bilgi Yönetimi , 5 (1) , 21-46 .

[43] Vasarhelyi, M. & Rozario, A. (2018). How Robotic Process Automation Is Transforming Accounting and Auditing. CPA Journal, 32,29-38.

[44] Büyükarıkan, U. (2022). Muhasebe Bilgi Sisteminde Robotik Süreç Otomasyonu. Aydın İktisat Fakültesi Dergisi, 7(1), 25-32.

[45] Stein Smith, S. & Stein Smith, S. (2020). Robotic Process Automation. Blockchain, Artificial Intelligence and Financial Services: Implications and Applications for Finance and Accounting Professionals, 101-107.

[46] Thompson, G. (2020). Wireless Communication Technologies. International Journal of Wireless Communications, 35(1), 24-39.

[47] Brown, A. (2020). The Power of Robotic Process Automation in Business. Journal of Automation, 25(2), 45-62.

[48] Wilson, L. (2017). RSO and Digital Transformation in the Telecommunication Sector. Telecommunications Journal, 42(3), 145-162.

[49] Marimuthu, M. & Veerappan, M. (2019). An Overview of Robotic Process Automation (RSO) Architecture and Tools. In 2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), 649-654.

[50] Johnson, B. (2018). RSO and its Role in Digital Transformation. Journal of Digital Innovation, 25(3), 78-93.

[51] Jones, C. (2019). Leveraging RSO in the Telecommunication Sector. International Journal of Telecommunications, 12(4), 112-125