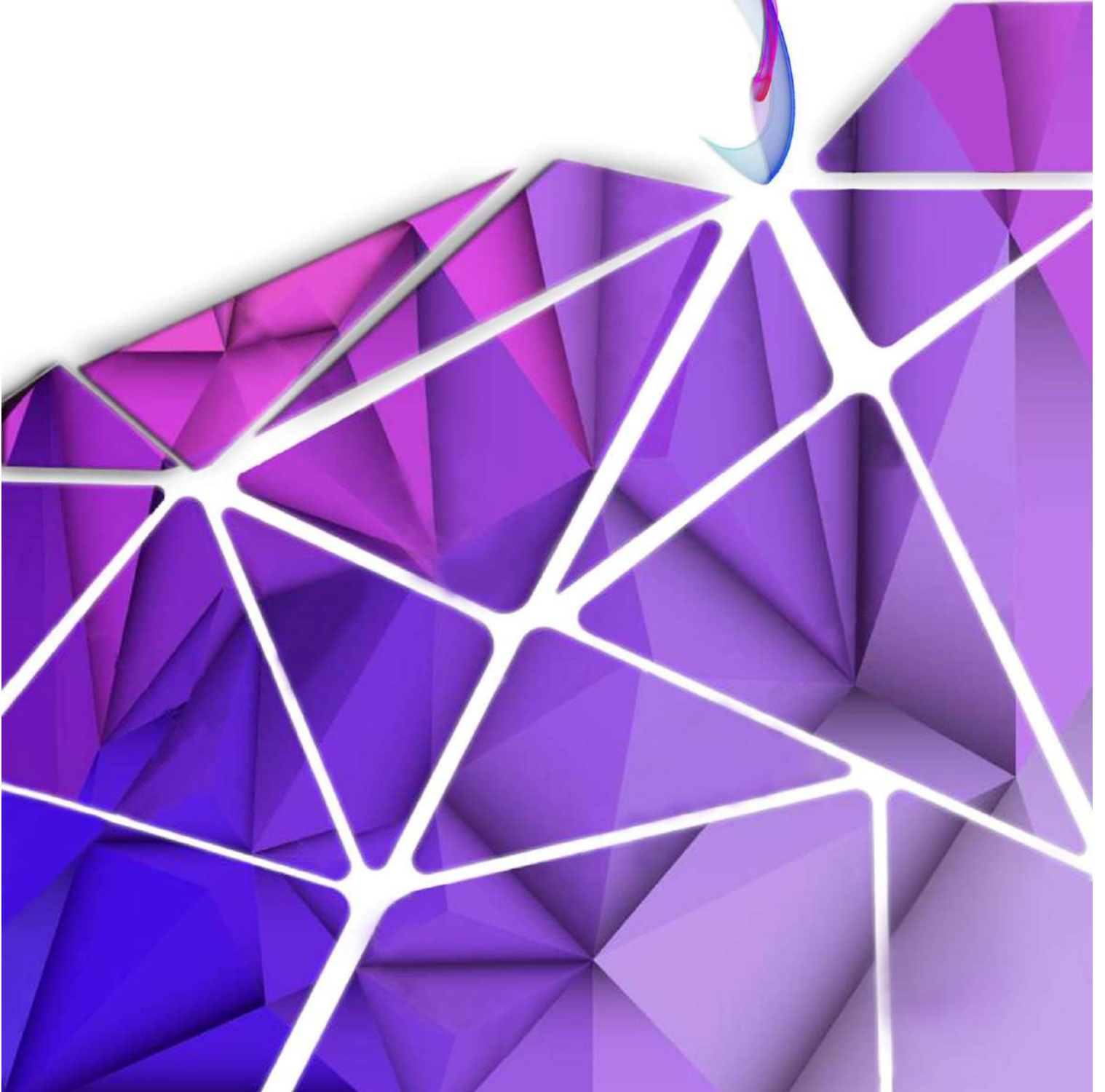


2024, Cilt 4 Sayı 2

e-ISSN 2717-9397

# İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ



## İÇİNDEKİLER

Ercan ŞENYİĞİT Hatice İNCİ	<b>Taguchi Tabanlı Gri İlişki Analizi ile Bir Tekstil Firmasında Sürdürülebilirlik Uygulaması</b>	48-53
Ali GÜLER	<b>Plastik Enjeksiyonda Kalıp İçinde Meydana Gelen Birleşme İzlerini Ortadan Kaldıracak Bölgesel Isıtma Soğutma Teknolojisinin Geliştirilmesi</b>	54-64
Ömer DEMİRCAN Ercan ŞENYİĞİT	<b>İplik Üretiminde Taguchi Tabanlı Gri İlişkisel Analizi Uygulaması</b>	65-72
Elmas DÜNDAR Feyza GÜRBÜZ	<b>Marka Değeri Yüksek Tedarik Zinciri Firmalarının COVID-19 Pandemi ve Sonrasında Aldığı Stratejik Kararların ve Yıllık Raporlarının Analiz ve Değerlendirilmesi</b>	73-91
Mehmet Altuğ AKGÜL Hakan GÜVEZ	<b>The Importance and Implementation of Chaos Engineering in Cloud Architectures and Applications</b>	92-98

## İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARINI VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

### Taguchi Tabanlı Gri İlişki Analizi ile Bir Tekstil Firmasında Sürdürülebilirlik Uygulaması

Ercan ŞENYİĞİT\*<sup>1</sup> , Hatice İNCİ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 38039, Türkiye

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, 38039, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 25.12.2023, Kabul Tarihi: 19.05.2024

#### Özet

Dokuma nevresim kumaşlarının sürdürülebilirlik performanslarının değerlendirilmesinde farklı performans göstergeleri (cevaplar) dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada 40 yıkama sonrası yırtılma dayanımı, 80 yıkama sonrası yırtılma dayanımı, 40 yıkama sonrası kopma dayanımı, 80 yıkama sonrası kopma dayanımı ve 80 yıkama sonrası aşınma devri birer cevap olarak dikkate alınmıştır. Bu cevaplar deney sonuçlarında elde edilmekte ve değerlendirilmektedir. Bu cevapların ayrı ayrı değerlendirilmesi dikkate alınan cevabı optimum olmasını sağlarken diğer cevaplar için optimum sonucu sağlamamaktadır. Bu nedenle cevaplarının eş zamanlı optimizasyonun sağlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sağlanması için Taguchi tabanlı gri ilişki analizi yönteminden çalışmada faydalanılmıştır. Çalışmada ayrıca bu cevapların farklı ağırlık değerleri dikkate alınarak duyarlılık analiz sonuçları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 3 faktör elyaf uzunluğu, ring hızı ve sarma gerilimi dikkate alınmıştır. Bu faktörlerin üçer farklı düzeyi olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada L<sub>9</sub> ortogonal dizisi kullanılmıştır. Analiz çalışmaları sonucunda sürdürülebilir optimum sonucun elyaf uzunluğu kriterinin 3. düzeyi olan 44 mm, ring hızının 2. düzeyi olan 18000 rpm ve sarma geriliminin 1. düzeyi olan 240 tex/Cn olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, Taguchi yöntemi, Gri ilişki analizi, Eş zamanlı optimizasyon, Dokuma nevresim Kumaşı.

### Sustainability Implementation in a Textile Company with Taguchi Based Gray Relationship Analysis

#### Abstract

Different performance indicators (responses) are taken into account in evaluating the sustainability performance of woven bedding fabrics. In this study, tear strength after 40 washes, tear strength after 80 washes, tensile strength after 40 washes, tensile strength after 80 washes and abrasion cycle after 80 washes are considered as responses. These answers are obtained and evaluated in the test results. While the evaluation of these answers separately provides the optimum for the answer considered, it does not provide the optimum result for the other answers. Therefore, there is a need for simultaneous optimization of the responses. In order to achieve this, Taguchi-based gray relationship analysis method was used in the study. In the study, sensitivity analysis results were also performed by considering different weight values of these answers. In the study, 3 factors fiber length, ring speed and winding tension were taken into consideration. These factors are assumed to have three different levels. L<sub>9</sub> orthogonal array was used in the study. As a result of the analysis, it was determined that the sustainable optimum result was 44 mm which is the 3rd level of fiber length criterion, 18000 rpm which is the 2nd level of ring speed and 240 tex/Cn which is the 1st level of winding tension.

**Keywords:** Sustainability, Taguchi method, Gray relationship analysis, Simultaneous optimization, Sheeting fabric.

\*Sorumlu yazar senyigit@erciyes.edu.tr, <sup>2</sup>4011130196@erciyes.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik, sıklıkla dikkate alınan ve çeşitli disiplinlerden bilim insanları için popüler olan çok disiplinli bir terimdir. Sürdürülebilirlik, dünyamızdaki tüm türlerin ve doğal kaynakların yeni kuşakların gereksinimlerini karşılayabilmesi için, bugünkü kuşağın kaynak kullanımını sınırlandırması ve toplumun ekosisteme verdikleri kayıpların en düşük düzeyde tutulmasıdır (Ercoşkun, 2007). Tekstil alanında sürdürülebilirlik etkisi önemli derecede yüksektir (Ağraş ve Çetinkaya, 2023). Giyim ve tekstil imalatı dünyadaki en kirletici sektörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Sürdürülebilirlik birçok birbiriyle ilişkili ve komplike problemleri içermektedir. Tekstil ve giyim artık insanların iklim değişikliği, kimya toplumu, su azlığı ve insan hakları konusundaki söylemlerinde de mühim bir rol oynamaktadır (Boström ve Micheletti, 2016). Kaynak kullanımının yoğun olduğu bilinen tekstil sektörü için sürdürülebilirlik çalışmalarının uygulanması ekonomik anlamda sektörün gelişmesini sağlayarak çevresel ve sosyal anlamda tedarik zinciri yönetiminin aşamalarında olumlu etki bırakacağı bir gerçektir. Kaynakların korunması amacıyla tekstil ürünlerinin kullanım süresinin uzatılması, yeni çevreyi az kirleten tekstillerin üretilmesini sağlayarak mühim çevresel yararlar ile sürdürülebilirlik sağlanır. Bunun sağlanabilmesi için de tekstil sektöründe kullanılan üretim proseslerinin en iyi hale getirilmesi gerekir ve böylece sürdürülebilirlik sağlanır (Erdem ve Doğan, 2022). Sürdürülebilir üretim proseslerinin performansının değerlendirilmesinde birden fazla cevabın birlikte dikkate alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sonuca ulaşabilmek için Taguchi tabanlı gri ilişki analizi uygulanabilecek yöntemlerden biridir. Literatür incelendiğinde doğrudan sürdürülebilir tekstil sektörü için herhangi bir Taguchi tabanlı gri ilişki analizi uygulamasına rastlanılmamıştır (Ağraş ve Çetinkaya, 2023). Bu nedenle literatürde olan bir çalışmadan kriterlerin, bu kriterlerin düzeylerinin ve cevaplarının belirlenmesinde faydalanılmıştır. Jamsaid ve arkadaşları çalışmalarında nevesim kumaşın dayanıklılık fonksiyonlarını elde etmek için en uygun işlem parametrelerini araştırmak amacıyla Taguchi tabanlı gri ilişki analizi yöntemini kullanmışlardır. Çalışmamızda Jamsaid ve arkadaşlarının dikkate aldığı aynı problem dikkate alınmıştır. Jamsaid ve arkadaşlarının çalışmasında cevapların sinyal gürültü (S/G) oranları ve cevapların eşit öneme sahip oldukları dikkate alınırken bizim çalışmamızda farklı olarak cevapların 5 farklı önem sırasına göre ağırlıkları ve sürdürülebilirlik kavramı dikkate alınmıştır.

## 2. ANALİZ METODU

Taguchi yöntemi tek cevaplı problemlerin çözümünde kullanılabilir fakat gerçek hayatta problemlerin eş zamanlı dikkate alması gereken birden fazla cevap olabilir. Bu tarz karmaşık problemlerin çözümünde Taguchi Tabanlı Gri İlişki Analizi yöntemi kullanılmaktadır (Güneş vd. 2019; Demirel vd. 2022; Karataş, 2022; Üstüntaş vd. 2022). Çalışmada Elyaf uzunluğu (X), Ring hızı (Y) ve sarma gerilimi (Z) faktörleri dikkate alınmıştır. Her bir faktörün 3 düzeyi bulunmaktadır. Bu faktörler ve seviyeleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu nedenle  $L_9(3^3)$  ortogonal dizi dikkate alınmıştır. Taguchi deneysel tasarım yönteminde 3 farklı kalite tanımı bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla, nominal en iyidir, daha küçük daha iyidir, daha büyük daha iyidir (Karataş, 2022).

Çalışmamızda dikkate aldığımız faktörlerin daha büyük daha iyidir kalite tanımına uygun olduğu kabul edilmiştir. Taguchi yöntemi ile bir cevap optimize edilebilir. Çalışmamızda olduğu gibi birden fazla cevabın eş zamanlı optimizasyonu gerektiğinde Gri İlişki Analizi yöntemi kullanılmaktadır. Gri ilişki analizi yönteminde olası farklı birimlerde cevaplar olması durumuna karşı normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Deney sonucunda elde edilen değerler 0 ile 1 arasında yer almaktadır. Gri ilişki analizi yöntemi bir çok kriterli karar verme yöntemidir. Dikkate alınan kriterler iki türlü olabilirler. Bunlar değeri artıca sağladığı fayda artan kriterler ve sağladığı fayda azalan olmak üzere sırasıyla fayda türü kriterler ve maliyet türü kriterlerdir. Gri ilişki analizi yönteminde bu iki tür kriter için iki ayrı normalizasyon formülasyonu kullanılmaktadır. Taguchi Tabanlı Gri İlişki Analizi yöntemi kullanılan denklemler için Güneş vd. 2019; Demirel vd. 2022; Karataş, 2022; Üstüntaş vd. 2022 çalışmalarına bakılabilir.

**Tablo 1.** Faktörler ve seviyeleri (Jamshaid vd. 2022)

X (mm)	Y (rpm)	Z (tex/Cn)
32 (1)	17000 (1)	240 (1)
38 (2)	18000 (2)	280 (2)
44 (3)	19000 (3)	320 (3)

## 3. ANALİZ

Jamshaid ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada dikkate alınan test standartları ve analiz edilen kumaşların yapısı şu şekildedir; kumaşın yapısı düz örgüdür, atkı ve çözgü sıklığı sırasıyla 40 ends/cm ve 55picks/cm'dir. Tüm numuneler hidrojen peroksit içerisinde ağartılmıştır. Tüm iplik testleri uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Sadece

iplik mukavemet testi Uster Tensojet üzerinde gerçekleştirilmiştir. ASTM D 2256-02'ye göre ve Zweigle üzerinde boncuklanma testi yapılmıştır ( 566 ASTM D 5647-07 boncuklanma test cihazı). Tüm numuneler 40 ve 80 yıkamadan önce ve sonra test edilmiştir. Hızlandırılmış yıkama işlemi, AATCC 61-2013 standardına uygun olarak Laundr-oMeter (Gyro wash) Tc-M-25 cihazında gerçekleştirilmiştir. Tüm kumaş numunelerinin çekme testi ASTM 5035 standart yöntemine göre TITAN TNT 0086 üzerinde şerit yöntemi ile yapılmıştır. Yırtılma mukavemeti ASTM 1424-9 (2019) standardına göre düşme sarkacı ile dijital yırtık üzerinde ölçülmüştür. Aşınma direnci testi BS EN ISO 12947-1 standart yöntemine göre 12 KPa'da Martindale M-235-4'te gerçekleştirilmiştir (Jamshaid vd. 2022).

Çalışmanın hedefi dokuma nevresim kumaşının 40 yıkama sonrası yırtılma dayanımı (C1), 80 yıkama sonrası yırtılma dayanımı (C2), 40 yıkama sonrası kopma dayanımı (C3), 80 yıkama sonrası kopma

dayanımı (C4) ve 80 yıkama sonrası aşınma devri cevaplarının en yüksek değerlerini elde etmektir. Deneysel sonucu 40 yıkama sonrası yırtılma dayanımı, 80 yıkama sonrası yırtılma dayanımı, 40 yıkama sonrası kopma dayanımı, 80 yıkama sonrası kopma dayanımı ve 80 yıkama sonrası aşınma devri cevapları elde edilmiştir. Tablo 2'de L<sub>9</sub> ortogonal dizi ile elde edilen deney sonuçları gösterilmiştir. Tablo 3'te S/G oranları gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Deney Sonuçları (Jamshaid vd. 2022)

(X,Y,Z)	C1	C2	C3	C4	C5
(32 (1),17000 (1),240 (1))	15.54	639.10	15.58	644.76	4000
(32 (1),18000 (2), 280 (2))	14.96	647.18	15.23	625.34	4500
(32 (1),19000 (3), 320 (3))	14.94	599.11	15.41	616.31	4500
(38 (2),17000 (1), 280 (2))	15.61	727.40	16.39	679.16	5000
(38 (2),18000 (2),320 (3))	16.60	749.70	16.79	685.33	9100
(38 (2),19000 (3), 240 (1))	16.37	719.49	16.14	666.74	6000
(44 (3), 17000 (1), 320 (3))	17.26	711.56	17.00	740.52	9500
(44 (3),18000 (2), 240 (1))	18.09	774.04	17.62	832.65	17500
(44 (3),19000 (3), 280 (2))	16.69	689.84	16.56	674.44	15500

**Tablo 3.** S/G Değerleri (Jamshaid vd. 2022)

(X,Y,Z)	C1	C2	C3	C4	C5
(32 (1),17000 (1),240 (1))	23.83	56.11	23.85	56.19	72.04
(32 (1),18000 (2), 280 (2))	23.50	56.22	23.65	55.92	73.06
(32 (1),19000 (3), 320 (3))	23.49	55.55	23.76	55.80	73.06
(38 (2),17000 (1), 280 (2))	23.87	57.24	24.29	56.64	73.98
(38 (2),18000 (2),320 (3))	24.40	57.50	24.50	56.72	79.18
(38 (2),19000 (3), 240 (1))	24.28	57.14	24.16	56.48	75.56
(44 (3), 17000 (1), 320 (3))	24.74	57.04	24.61	57.39	79.55
(44 (3),18000 (2), 240 (1))	25.15	57.78	24.92	58.41	84.86
(44 (3),19000 (3), 280 (2))	24.45	56.77	24.38	56.58	83.81

Tablo 4'te çalışmada dikkate alınan cevaplar için S/G tepki tablosu gösterilmiştir. Tablo 5'te ise çalışmada dikkate alınan cevaplar için ortalama değerler tepki tablosu gösterilmiştir. Tablo 6'da gri ilişki analizi

normalizasyon değerleri gösterilmiştir. Tablo 7'de Gri ilişkisel katsayı ve gri ilişkisel dereceleri gösterilmiştir. Farklı cevap ağırlıklarına göre optimum faktör düzeyleri tablo 8'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Cevaplar için S/G tepki tablosunun gösterilmesi

Seviye	C1			C2			C3			C4			C5		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	23.6	24.2	24.4	56	56.8	57	23.8	24.3	24.3	56	56.7	57	72.7	75.2	77.5
2	24.2	24.4	23.9	57.3	57.2	56.7	24.3	24.4	24.1	56.6	57	56.4	76.2	79	77
3	24.8	24.1	24.2	57.2	56.5	56.7	24.6	24.1	24.3	57.5	56.3	56.6	82.7	77.5	77.3
<b>Fark</b>	1.17	0.28	0.48	1.33	0.68	0.31	0.88	0.26	0.2	1.49	0.73	0.65	10	3.84	0.54
<b>Sıralama</b>	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

**Tablo 5.** Cevaplar için Ortalama Değerler tepki tablosunun gösterilmesi

Seviye	C1			C2			C3			C4			C5		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	15.2	16.1	16.7	629	693	711	15.4	16.3	16.5	629	688	715	4333	6167	9167
2	16.2	16.6	15.8	732	724	688	16.4	16.6	16.1	677	714	660	6700	10367	8333
3	17.4	16	16.3	725	670	687	17.1	16	16.4	749	653	681	14167	8667	7700
<b>Fark</b>	2.2	0.55	0.91	104	54.2	24.1	1.65	0.51	0.39	120	61.9	55.1	9833	4200	1467
<b>Sıralama</b>	1	3	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

**Tablo 6.** Gri ilişki normalizasyon değerleri

C1	C2	C3	C4	C5
0.190	0.229	0.146	0.132	0.000
0.006	0.275	0.000	0.042	0.037
0.000	0.000	0.075	0.000	0.037
0.213	0.733	0.485	0.291	0.074
0.527	0.861	0.653	0.319	0.378
0.454	0.688	0.381	0.233	0.148
0.737	0.643	0.741	0.574	0.407
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.556	0.519	0.556	0.269	0.852



**Tablo 7.** Gri ilişkisel katsayı ve gri ilişkisel derecenin gösterilmesi

C1	C2	C3	C4	C5	GİD	Sıralama
0.382	0.393	0.369	0.365	0.333	0.369	7
0.335	0.408	0.333	0.343	0.342	0.352	8
0.333	0.333	0.351	0.333	0.342	0.339	9
0.388	0.652	0.493	0.413	0.351	0.459	6
0.514	0.782	0.590	0.423	0.446	0.551	3
0.478	0.616	0.447	0.395	0.370	0.461	5
0.655	0.583	0.658	0.540	0.458	0.579	2
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
0.529	0.510	0.530	0.406	0.771	0.549	4

**Tablo 8.** Farklı cevap ağırlıklarına göre optimum faktör düzeylerinin gösterilmesi

	C1	C2	C3	C4	C5	X	Y	Z
1	0.80	0.05	0.05	0.05	0.05	3	2	1
2	0.05	0.80	0.05	0.05	0.05	3	2	1
3	0.05	0.05	0.80	0.05	0.05	3	2	1
4	0.05	0.05	0.05	0.80	0.05	3	2	1
5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.80	3	2	1
6	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	3	2	1

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Gelecek nesillere devredilecek olan kaynakların en doğru şekilde kullanılması ile sürdürülebilirlik sağlanmaktadır. Bunun için üretim süreçlerinin optimum şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Çalışmada, Tekstil sektöründe dokuma nevresim kumaşlarının performansına etki eden faktörler sürdürülebilir üretim süreçlerini sağlamak için incelenmiştir. Bu faktörlerin sırasıyla elyaf uzunluğu, ring hızı ve sarma gerilimi olduğu çalışmada kabul edilmiştir. Bu faktörlerin üçer düzeyi dikkate alınmıştır (Tablo-1). Taguchi tabanlı gri ilişki analizi yöntemi bu faktörlerin eş zamanlı optimizasyonunda kullanılmıştır (Tablo 2-7).  $L_9$  ortogonal dizinin en uygun dizi olduğuna karar verilmiştir. Deneyler, 5 farklı cevap olan 40 yıkama sonrası yırtılma dayanımı, 80 yıkama sonrası yırtılma dayanımı, 40 yıkama sonrası kopma dayanımı, 80 yıkama sonrası kopma dayanımı ve 80 yıkama sonrası aşınma devri cevapları kayıt altına alınmıştır. Çalışmamızda literatürden farklı olarak bu cevapların 6 farklı ağırlık düzeylerine göre duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada dikkate alınan cevapların farklı önem sırasına elde edilmesinde Taguchi Tabanlı

Gri İlişki Analizi yöntemi kullanılmıştır. Duyarlılık analizinde 6 farklı deney gerçekleştirilmiştir. Bu duyarlılık analizinde, 5 kriter sırasıyla baskın kriter haline getirilmiş son deneyde ise tüm kriterlerin eşit önemde olması durumu dikkate alınmıştır (Tablo-8). Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır:

- Sürdürülebilir dokuma nevresim kumaşı üretiminde çalışmada gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonucunda tüm ağırlık değerlerinde optimum sonucun  $X_3Y_2Z_1$  olduğu elyaf uzunluğu kriterinin 3. düzeyi olan 44 mm, ring hızının 2. düzeyi olan 18000 rpm ve sarma geriliminin 1. düzeyi olan 240 tex/Cn olduğu belirlenmiştir (Tablo-8).

- Tüm cevaplar için en fazla katkıya sahip parametrenin, en önemli kriterin elyaf uzunluğu olduğu belirlenmiştir.

- 40 yıkama sonrası yırtılma dayanımı cevabında en az katkıya sahip parametrenin, en az öneme sahip kriterin ring hızı, diğer cevaplarda ise sarma gerilimi olduğu belirlenmiştir.

- Çalışmada yapılan duyarlılık analizi sonucunda, kriter ağırlıklarının değişiminin sonuç üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir.

- Çalışma sonucunda optimum sonucun  $X_3Y_2Z_1$  olduğu ve bu sonucun kararlı bir sonuç olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç ile sürdürülebilir bir süreç sağlama hedefine ulaşılmıştır.

- Çalışma sonucunda dikkate alınan problemde elyaf uzunluğu kriterinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu yöneticilerin bu kritere odaklanmaları gerektiği belirlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, bu çalışmada dikkate alınan faktörler dışında yeni faktörler göz önünde bulundurularak problem tekrar çözülebilir, böylece dokuma nevresim kumaşlarının performanslarının değerlendirilmesinde farklı hangi performans göstergelerinin dikkate alınması gerektiği sorusuna cevap bulunmuş olur.

## KAYNAKLAR

Ağraş, S. ve Çetinkaya, F. (2023). Tekstil Sektöründe Çevresel Duyarlılık ve Sürdürülebilirlik Politikalarına Yönelik Bir İçerik Analizi. *Equinox, Journal of Economics, Business & Political Studies*, 10 (1), 26-48.

Bostrom, M. ve Micheletti, M. (2016). Introducing The Sustainability Challenge Of Textiles And Clothing". *Journal of Consumer Policy*, 39(4): 367-375.

Demirel, B., Akkurt, F., Uysal, İ. A. ve Şenyiğit E. (2022). Determination of The Best Injection Stretch Blow Molding Process Parameters in Polyethylene Terephthalate Bottle Service Performance. *Gazi University Journal of Science*, 35 (4), 1297-1316.

Ercoşkun, Ö.Y. (2007). Sürdürülebilir Kent İçin Ekolojik-Teknolojik (EKO-TEK) Tasarım: Ankara-Güdül Örneği. (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Erdem, M. B. ve Doğan, N. Ö. (2020). Tekstil Sektöründe Sürdürülebilirliğin Analizi: Kahramanmaraş'ta Faaliyet Gösteren Bir Tekstil İşletmesinde Dematel Uygulaması. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (36), 571-598.

Güneş, S., Şenyiğit, E., Karakaya E., Özceyhan, V. (2019). Optimization of heat transfer and pressure drop in a tube with loose-fit perforated twisted tapes by Taguchi method and grey relational analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136 (4), 1795-1806.

Jamshaid, H., Ahmad, N., Hussain, U. Mishra, R. (2022). Parametric optimization of durable sheeting fabric using Taguchi Grey Relational Analysis. *Journal of King Saud University - Science*, 34, 4 (2022), 102004.

Karataş, M. A. (2022). Multi-Criteria optimization of surface roughness in wire EDM of Inconel 718 by Taguchi based gray relational analysis method. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 28(4), 516-532.

Üstüntağ S., Şenyiğit E., Mezarciöz S., Türksoy H. G. (2022). Optimization of Coating Process Conditions for Denim Fabrics by Taguchi Method and Grey Relational Analysis. *Journal of Natural Fibers*, 19 (2), 685-699.



## Plastik Enjeksiyonda Kalıp İçinde Meydana Gelen Birleşme İzlerini Ortadan Kaldıracak Bölgesel Isıtma Soğutma Teknolojisinin Geliştirilmesi

Ali GÜLER\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>MTN Kalıp, İstanbul, 34306, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 29.12.2023, Kabul Tarihi: 26.06.2024

### Özet

Plastik, hayatımızın her alanında büyük ölçüde bir kullanım alanına sahip olan, dayanıklılık ve uzun süreli kullanım vaat eden ve geri dönüşüme müsait olan işlenmiş organik ürünlerdir. Sahip olduğu özellikler bakımından hemen her alanda kullanılabilen bu ürün, şekillendirilerek, parça ya da ana materyal olarak kullanılabilir. Plastik hammadde çeşitli işlemlerin sonucunda şekillendirilebilir bir hale gelmektedir. Plastik malzemelerin şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de enjeksiyon yöntemidir. Enjeksiyon yönteminde, parçanın üretileceği granül halindeki plastik hammadde, yüksek sıcaklık ile sıvı hale getirilir ve söz konusu kalıbın içerisine enjekte edilerek kalıbın şeklini alması sağlanır. Bu aşamada plastik hammadde kalıp içerisinde akışkan haldeyken kendisine bir yol belirler. Akışkan haldeki plastik kalıbın şeklini alma işlemini tamamladığı son aşamada bir birleşme olayı gerçekleşir. Birleşme esnasında normal şartlarda (uygun kalıp proseslerinde) homojen olarak birbirine karışmayan plastik bitmiş üründe ‘birleşim izi’ olarak adlandırılan bir iz oluşturmaktadır. Bu izler ürün kalitesini doğrudan etkilediğinden, hata olarak kabul edilir ve ekonomik pazarda yer almasını engeller. Söz konusu makalede lokal ısıtma ve soğutma teknolojisine sahip kalıp tasarımı ile kalıp içi birleşme izlerinin yok edilmesine yönelik gerçekleştirilmiş MTN kalıp projesi ve ilgili çalışmalar sunulmaktadır. Seçilen plastik enjeksiyon ürün tasarımında gerçekleştirilen model analizleri sonunda birleşme izi gerçekleşen bölgeler tespit edilmiş ve bu bölgelerde kullanılmak üzere sinterleme yöntemiyle hızlı ısıtma ve soğutma yapan parçalar (lokma) imal edilmiştir. Hızlı ısıtma ve soğutma yapılan, hızlı ısıl çevrimli kalıplama (Rapid Heat Cycle Molding/RHCM) yönteminin uygulanması ile birleşme izlerinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. RHCM yönteminin uygulanmasıyla birleşme izlerinin ve ilgili kalıplama problemlerin giderilmesinin yanı sıra konvansiyonel üretime kıyasla enerji tüketiminin azaldığı, çevrim süresinin kısaldığı ve enjeksiyon basıncının azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Plastik, Enjeksiyon, Enjeksiyon yöntemi, Proses, MTN kalıp, Isıtma ve soğutma, Birleşme izleri.

## The Development of District Heating and Cooling Technology that will Remove Integration Signs Occurring in Mould in the Plastic Injection

### Abstract

Having a large area of usage from each aspect of our life, plastics are processed organic products that are appropriate for recycling and affirming durability and extended use. By giving it a form, this product can be used as a component or the main material due to the features it owns thereby making its usage available for almost all fields. The plastic raw material is made mouldable as a result of various processes. One of the common ways to make plastic materials mouldable is the method of injection. In the injection method, while plastic raw material is in the form of granular that will produce the component, it is formed as fluid with the high-temperature, and by injecting it to the mould, it is taken a shape like that mould. In this step, plastic raw material draws a road for itself while inside the mould as fluid. In the last step that it completes forming the fluid plastic mould, an integration occurs. In the process of integration, under the normal circumstances (appropriate mould process), integration sign occurs on the finished plastic product that cannot integrate homogeneously. These signs are seen as faults thereby hindering it from being on the economic market, as a result, they directly affect the quality of the product. In this article, MTN Kalıp project the district heating technology that is designed for the removal of integration signs on the material displacing from a mould is examined.

**Keywords:** Plastic, Injection, Method of injection, Process, MTN mould, Heating and cooling, Weld lines.

\*Sorumlu yazar sdalgic@mtn.com.tr

## 1. GİRİŞ

Plastik hammaddeden yapılan materyaller hayatımızın her alanından yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Plastik hammaddenin her alanda kullanılabilmesinin başlıca nedenleri; seri üretim konusunda avantaj sağlaması, dayanıklı olması ve istenildiği takdirde ısı işlemler yardımıyla kolaylıkla şekil verilebilmesidir. Özellikle Sanayi Devrimi ve sonrasında hızla gelişen fabrikalaşma süreci toplumun ihtiyaçlarını seri üretim yöntemiyle karşılamak üzere bir takım üretme faaliyetleri gelişmesini sağlamıştır. Bu durum her geçen gün geliştirilen tekniklerle hammaddelerin işlenebilmesini ve maksimum düzeyde verimlilik sağlamayı işletmelerin ilke edinmesinde en önemli etkenlerden biri olmuştur. Plastik üretimi ve şekillendirilmesi söz konusu olduğunda seri üretim ve yüksek kalitenin, en düşük maliyetle gerçekleştirilebilmesi tüm süreçlerde olduğu gibi bu süreçte de esastır. Bu anlamda maksimum verimlilikle ürünün ortaya çıkarılması sürecinde plastik hammadde seçiminin yapılması, parça ve kalıp tasarımının seçilmesi ve plastik hammadde işlemede kullanılan en yaygın yöntem olan enjeksiyonla kalıplama yöntemi oldukça önem kazanır.

Enjeksiyonla kalıplama prosesinde yüzey kusurları ve bu kusurların çözümüne yönelik çalışmalar ürün kalitesini (yüzey görünümü ve plastik parçanın mekanik dayanımı vb.) doğrudan etkilediği için önemli bir alanı kapsamaktadır. Çökme (sink marks) ve birleşme izleri (weld lines) gibi yüzey sorunlarının ortadan kaldırılması ve bu sorunların altında yatan mekanizmaların açıklanması için çok sayıda araştırmalar gerçekleştirilmiş ve yüzey sorunları açıkça tanımlanmıştır (Jadhav vd., 2023; Gim ve Turng, 2022; Fellahi vd., 1995).

Gerçekleştirilen bazı çalışmalarda konuyla ilgili olarak eriyik sıcaklığı, malzeme ve kalıp tasarımı gibi hususlara odaklanılmış ve bilgisayar simülasyon yazılımlarından faydalanılarak optimizasyon problemleri modellenmiştir (Dzulkipli ve Azuddin, 2017; Deng vd., 2008).

Birleşme izlerinin çözümüne yönelik çalışmalarda enjeksiyon hızı, eriyik sıcaklığı gibi parametreler ve hava boşaltma kanal optimizasyonu gibi hususlara odaklanılmakla birlikte yöntem olarak kalıplama prosesi sırasında ürün boşluğu yüzeyinde hızlı ısıtma ve soğutma yapılan hızlı ısı çevrimli kalıplama (rapid heat cycle moulding/RHCM) yöntemi de geliştirilmiştir (Macedo vd., 2023; Scantamburlo vd., 2022; Zhao vd., 2009; Yao vd., 2006; Yao ve Kim, 2002).

Bu yayın ile lokal ısıtma ve soğutma teknolojisine sahip kalıp tasarımı ile kalıp içi birleşme izlerinin yok edilmesine yönelik gerçekleştirilmiş MTN kalıp projesi ve ilgili çalışmalar sunulmaktadır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Plastik Üretim Süreci

Plastik üretim sürecinin ilk adımı hammaddenin seçilmesidir, hammadde seçiminin ardından üretilecek parçanın profesyonel anlamda tasarımının yapılması ikinci aşama olarak karşımıza çıkar. Bir sonraki adımda, plastiğin ısı işlem sonucunda eritilerek şekillendirileceği kalıbın tasarımının yapılmasıdır. Her iki tasarım aşamasında da başat ölçüt işlevselliştir. Son bileşen olan plastik enjeksiyon makinasının seçimi, diğer bileşenlerle uyum sağlayabilecek ve proses sürecine katkı sağlayabilecek düzeyde olmalıdır.

Süreç içerisinde yer alan dört bileşen de birbiri ile etkileşim halindedir. Üretilecek ürünün bekleneni karşılayabilmesi, planlanan değerlere ulaşılabilmesi ve tüm sürecin bu ölçütleri sağlayabilecek şekilde minimum maliyetle tamamlanabilmesi açısından bu etkileşim çok önemlidir.

#### 2.1.1. Plastik Malzemeler

Plastikler, üretim süreçlerinde metal ve seramiğe göre daha düşük yoğunluğa sahiplerdir. Ancak bu iki hammaddeye göre çok daha dayanıklıdır ve üretim süreçlerinde ekstra işleme gerek duymadan şeklini almasını istedikleri kabın formuna girebilirler. Aşınma dirençleri yüksek ve elektrik iletkenlikleri düşüktür. Üretim şekillerine bağlı olarak plastik ürünler ışığı yansıtabilmesi ve yalıtkanlıkları bakımından cam ürünlere alternatif olarak kullanılabilirler.

Plastik tanımını yaparken monomer ve polimer terimlerini beraber incelemek gerekir. Monomer, birbirine kovalent bağlarla bağlanarak daha büyük moleküller oluşturabilen küçük bir moleküldür. Polimer ise birden çok monomerin birbirine kovalent bağlarla bağlanması sonucu oluşan büyük moleküldür. Monomer moleküllerinin polimer moleküllerine dönüştürülmesi işlemine polimerizasyon denir. Plastikler, monomerlerin zincir halkaları gibi kendi aralarında birbirlerine eklenerek oluşturduğu makro moleküllerden meydana gelen sentetik malzemelerdir (Akkurt, 1991).

Hammadde olarak kullanılan plastikler; 3 ana grupta değerlendirilir. Bunlar:

- Termoplastikler
- Termosetler
- Elastomerler'dir

Termoplastikler, ısı işlem sonrasında katı halden sıvı bir hale gelebilen ve dolayısıyla şekillendirilebilen polimer yapıdaki materyallerdir. Göreceleri ısıtma ya da soğutma işlemine bağlı olarak katıdan sıvı hale, sıvıdan katı hale geçebilmektedirler. Eritme işleminin ardından, enjeksiyon işlemi, işlem yapılan kabın şeklini kolaylıkla alabilirler.

Termosetler, ihtiyaç duydukları ısıya maruz kaldıklarında eriyerek sıvı hale gelen ve şekillendirilebilen, ardından kalıcı olarak katılaştıran ve tekrar ısıtıldıklarında sıvı forma girmeyen polimer yapıları materyallerdir. Termosetler ısıya maruz kaldıklarında kimyasal değişime gösterirler.

Elastomerler kimyasal yapıları sayesinde, yüksek ısıya direnç gösterebilen ve geri dönüşümlü olan materyallerden üretilmektedir.

### 2.1.2. Plastik Enjeksiyon Prosesi

Plastik hammaddenin şekillendirilmesinde, sanayi işletmelerinde yaygın olarak kullanılan yöntem enjeksiyon işleme yöntemidir. Enjeksiyon işleminde, parçacık ya da granül halde bulunan plastik eritilerek şekil vermeye hazır hale getirilir. Eritme işlemi için işlenen plastiğin direnç gösteremeyerek eriyeceği ısı seviyesine çıkarılır. Ardından eritilen plastik, şeklini almasını istediği kalıplara doldurulur soğumaya bırakılır.

Plastik enjeksiyon yöntemi, yüksek hacimlerde karışık şekilli parçaların bir işlem periyodunda hızlı bir şekilde imal edilebilmesi, düşük maliyet, otomasyona uygunluk, son işleme gereksinim duymama, değişik yüzey, renk ve şekillerde parça imali, malzeme kaybının çok az olması, aynı makinede ve kalıpta farklı parçaların basılabilmesi, düşük toleranslarla çalışabilme imkânı gibi konularda avantaj sağlamaktadır (Pınar, 2010).

### 2.1.3. Plastik Enjeksiyon Makinası

Plastik işleme sürecinde kullanılan bu makineler işlevsel olarak süreçte görev alan 4 ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler kapatma ünitesi, kalıp, kontrol ünitesi ve enjeksiyon ünitesidir.



Şekil 1. Enjeksiyonla kalıplama makinesi

### 2.1.3.1. Kapama Ünitesi

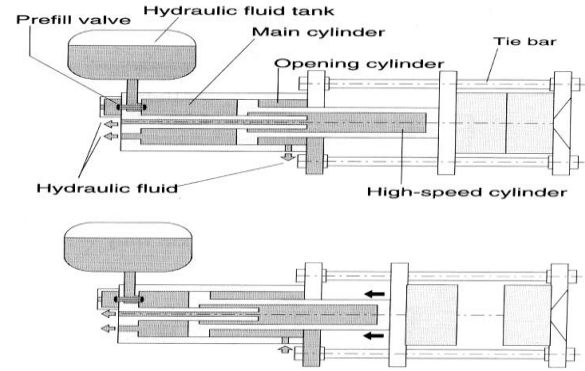
Plastik enjeksiyon makinasında kapama ünitesinin tek görevi, plastiğin şekillendiği kalıbın kapama ve açmak işlemlerini yapmak, kalıbın yüksek basınç altında kapalı tutulmasını sağlayarak çapak oluşumunu engellemektir. Plastik enjeksiyon sistemi üç farklı kapatma sistemi bulunmaktadır.

#### Hidrolik Kapama Sistemi

#### Hidro-Mekanik Kapama Sistemi

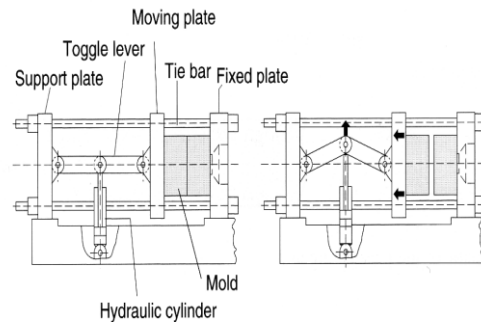
#### Mekanik Kapama

Hidrolik kapama sistemi, hidrolik kuvvet uygulaması esasına dayanmaktadır. Hidrolik piston plastik enjeksiyon makinesinin hareketli eden kısmında yer almaktadır. Hidrolik kapama sisteminde plakanın itme kuvveti basınç yardımıyla sağlanmaktadır.



Şekil 2. Hidrolik sistem kapama

Hidro-mekanik kapama sisteminde, hidrolik hareketlendirici, silindir ve kelebek sistemini aynı zamanda bağlantılarını kontrol eder. Bu kontrolle sistem içerisinde bulunan hareketli plakanın açılma ve kapanma hareketini gerçekleştirmesini sağlar. Hidro-mekanik sistemde kilitleme kuvveti, mekanik anlamda kelebek sisteminin açılması yardımıyla sağlanmaktadır.



Şekil 3. Hidro mekanik kapama sistemi

Plastik enjeksiyon kapatma ünitelerinden biri olan mekanik kapatma sistemlerinde ise tercihe göre ayarlanabilir vidalı kollar bir diğer adıyla makas ile mengene aralığı kontrol edilebilir ve sistemin tüm hareketi kinematik olarak sağlanır.

### 2.1.3.2. Plastikleştirme ve Enjeksiyon Ünitesi

Plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesi vida, huni, ocak, çek valf, yolluk memesi ve ısıtıcılar(rezistanslar) bileşenlerinden oluşmaktadır. Huni içerisinden gelen katı haldeki polimeri ocakta ısıtıcılar yardımıyla eriterek sıvı hale getirir. Erimiş halde olan polimeri vida gövdesi içerisinde toplar. Hidrolik tarafından sağlanan basınç ile vidada döne eylemi gerçekleşir. Vidanın dönmesi sonucunda vida helezonları içerisinden erimiş durumdaki polimer ileri doğru itilir.

Bu işlem esnasında vidanın üzerinde bulunan helezon açıları ve vidanın çeliği oldukça önemlidir. Erimiş polimer vidada ilerlemesi esnasında, helezon açısından ve erimiş plastiğin vida çeliğine sürtünmesinden kaynaklı bir ısınma ortaya çıkacaktır. Bu duruma dikkat edilmelidir.

Her parçada olduğu gibi vidaların da özellikleri çerçevesinde belirlenen belli bir ömürleri vardır. Ömrü dolan vida işlevini kaybetmeye başlayacağından, yeni olanıyla değiştirilmelidir. Vidada bulunan helezonlar zaman içerisinde aşınır. Bu aşınma özelliklerini kaybetmelerine neden olur. Aşınan helezonlar çalışmaya dair herhangi bir eksikliğe neden olmuyor gibi görünse de, aşınmış helezonlar vidadan kalıba aktarılan erimiş polimer kapasitesinin düşmesine neden olur.

### 2.1.3.3. Kontrol Ünitesi

Kontrol Ünitesi plastik enjeksiyon tezgahının ve sürecinin tüm değişkenlerinin ayarlandığı bileşendir. Ana parametreler;

Sıcaklıklar

Basınçlar

Hız

Zaman'dır

### 2.1.3.4. Makine Gövdesi

Plastik enjeksiyon makinasını ve diğer tüm bileşenleri barındıran iskelete verilen isimdir. Makine gövdesi, çalışma esnasında meydana gelen titreşimlere direnç gösterecek bir biçimde tasarlanmalıdır.

## 2.2. Plastik Enjeksiyon Prosesinde İmalat Hataları ve Çözümleri

Plastik enjeksiyon ürün imalatı işlemi yapılırken, çeşitli nedenlerle üretim sonrasında ortaya çıkan üründe birtakım deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Bu deformasyonların temel nedenleri, üretim esnasında parça imalatında meydana gelen hatalar, üretim süreci öncesinde hammaddenin depolanmasında meydana gelen hatalar, plastik enjeksiyon işlemi esnasında sağlanan koşullar, üretim sonunda ve paketlemede yaşanan hatalardan kaynaklanabilmektedir.

Plastik enjeksiyon işleminde oluşan hataların çözümlenebilmesi için, kaynağının net bir biçimde tespit edilebilmesi gerekmektedir. Üretimde karşılaşılan problemlerin temel nedenleri makinadan kalıptan ya da hammaddeden kaynaklanan nedenlerdir. Bu üç bileşeni etkileyen değişkenler ise, üretim sürecinde yer alan zaman, sıcaklık ve basınçtır. Gerekli düzenlemeler yapıldığı takdirde meydana gelebilecek imalat hatalarının önüne geçebilmek mümkündür.

Plastik enjeksiyon prosesinde meydana gelen imalat hatalarının isimleri tanımlanması aşağıdaki gibidir.

Yanık İzleri

Akış İzleri

Eksik Ürün

Parçanın Dişi Kalıpta Kalması

Çapaklı Ürün

Yüzeyde Çöküntü Oluşması

Çarpılma

Hızlı Akış İzi

Boşluklar

Birleşme İzleri

### 2.2.1. Birleşme İzleri

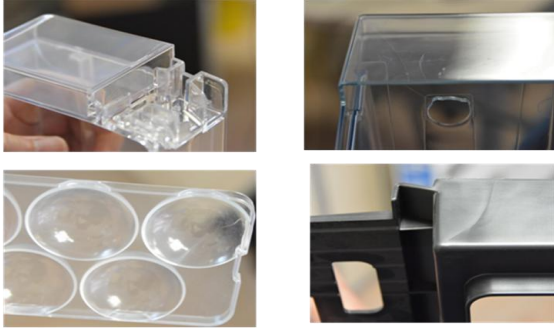
Erimiş plastik malzemenin yer aldığı kalıbın içerisinde birden fazla yolluk bulunuyorsa, yolların kesiştiği noktalarda birleşme izlerinin oluşumu söz konusu olabilir. Bu durum da imalat kaynaklı hatalar arasında yer alır. Kalıp içerisinde bulunan yolluklardan gelen erimiş malzeme tam anlamıyla birleşme gerçekleşmeden soğutulur ve dondurulursa, oluşan ürünün yüzeyinde birleşme izleri meydana gelir.

İmalat sürecinde oluşan birleşme izleri kaynaklı bir hata sadece elde edilmek istenen estetik görüntünün elde edilememesine neden olmakla kalmaz, makinada

mekanik aksaklıkların da oluşmasına neden olabilir. Bir bölgede meydana gelen birleşme izlerinin fazlalığı, o bölgede dayanıklılığında azalmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple birleşme izlerinden kaynaklanan imalat hataları, özellikle dayanıklı tüketim ürünlerinin prosesinde oldukça önemli bir unsur olarak karşımıza çıkar. Fiziksel anlamda estetik bir problem gibi görünse de, üretilecek ürünün ömrü üzerinde de doğrudan etkilidir.

Birleşme izi hatasını giderebilmenin birkaç temel yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan ilki çoklu besleme ağız uygulamalarında sıcak yolluk tasarımının yapılmasıdır. Bunun yanı sıra, kalıp ve enjeksiyonun sahip olduğu ısıyı arttırmak ve sistemli bir biçimde enjeksiyondan gelen hızı arttırmak erimiş haldeki plastik henüz soğumadan birleşmeyi sağlayabilmek gerekmektedir. Bu yöntemde akıtma hızının artırılması ürün üzerinde yanık izlerine neden olabilmektedir.

Birleşme izlerinin giderilebilmesi için hangi bileşende kaynaklandığını bilmekte fayda vardır. Birleşme izleri hammadde, kalıp ya da makine kaynaklı olabilir. Böyle bir durumda kaynağına göre alınabilecek yöntemler aşağıdaki gibidir.



**Şekil 4.** MTN Kalıp firmasında birleşim izi problemi yaşanmış bazı ürün görselleri

### 2.2.1.1. Birleşim İzi Oluşum Nedenleri

#### Makine Kaynaklı Sorunlar

- Enjeksiyon hızındaki yavaşlık
- Enjeksiyon basıncının düşük olması
- İleri enjeksiyon süresinin kısa olması

#### Kalıp Kaynaklı Sorunlar

- Kalıbın soğuk olması
- Soğutma kanallarının yetersiz olması
- Geri emiş valfindeki arızalar
- Akış yolu mesafesinin uzun olması

#### Hammadde Kaynaklı Sorunlar

- Erimiş durumdaki plastiğin olması gereken ısını kaybetmesi
- Erimiş durumdaki plastiğin fazla yoğun olması-akışkanlığının düşük olması

#### Çözümler sırası ile aşağıdaki gibidir;

- Enjeksiyon basıncında yükselme
- Ütuleme süresinin uzatılması
- Enjeksiyon hızının yükseltilmesi
- Hammadde sıcaklığının yükseltilmesi
- Kalıp sıcaklığının yükseltilmesi
- Yolluk patlama noktasının değiştirilmesi
- Yolluk çapının artırılması
- Tekstüre kalıp yüzeyinin tercih edilmesi

### 2.3. Birleşme İzlerini Gidermeye Yönelik Sistem: Hızlı Lokal Isıtma ve Soğutma Teknolojisi

Klasik enjeksiyonla kalıplama prosesinde erimiş polimerin kalıp yüzeyinde hızlı soğuması nedeniyle enjeksiyon sırasında akış direnci (viskozite) ve dolayısıyla enjeksiyon basıncı artar. Erimiş polimerin kalıp yüzeyindeki hızlı soğutulması şekillendirilmiş parçanın kalitesini etkiler ve birleşme izleri, çökmeler ve çarpıklıklar oluşmasına sebep olabilir. Enjeksiyonla kalıplamada birleşme çizgilerinin oluşumu sırasında erimiş malzemenin yeterince yüksek bir sıcaklıkta tutulması birleşme çizgisinde polimer zincirlerinin birbirine girişimini sağlamak için gereklidir. Hızlı Isıl Çevirim ile Kalıplama (Rapid Heat Cycle Molding / RHCM) Yöntemi bu gerekli ısıyı sağlamak için ve enjeksiyon çevrimi sırasında kalıp yüzeylerine farklı sıcaklıklarda sıvı pompalayarak hızlı ısıtma ve soğutma sağlayan bir yöntemdir.

Kalıp yüzeylerinin ısıtılması kalıp boşluklarının doldurulması ve basınç tutma aşamalarında da sürdürülür. Sonra kalıp soğutulmuş parça çıkarılır. Sistem kalıp yüzeylerini konvansiyonel enjeksiyonla kalıplamaya kıyasla daha yüksek sıcaklığa ısıtır. Bu sıcaklık genellikle camsı geçiş sıcaklığının üzerindedir. Böylece kalıp içerisinde akan polimerin akış yüzeyleri soğumaz, polimer molekülleri moleküler hareketliliğini korurlar ve birleşme çizgilerinde moleküller arası difüzyon gerçekleşir (Macedo vd., 2023; Scantamburlo vd., 2022).

Plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak yapılan üretimlerde bazı hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hatalardan bir tanesi de kalıp içinde meydana gelen birleşme izleridir. Birleşme izlerinin ana sebebi ısıtma ve soğutma ekipmanlarıdır. Bu sebeple ekipmanlardaki durgun akış ve durağan soğutma sıcaklıklarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

Hızlı lokal ısıtma ve soğutma (heat and cool) teknolojisinde kalıp içerisinde bulunan birleşme noktalarında ısıtma ve soğutma işlemi yapılarak üründe meydana gelen birleşme izlerinin giderilmesi mümkün olmaktadır. Uygulamanın sonucunda üründe meydana gelen, görsel ve fiziksel bazda değer kaybına neden olan kalite kayıplarını önüne geçilmesini sağlar. Bu sayede üretilen ürünlerde kayıp yaşanmaz.

Hızlı lokal ısıtma ve soğutma teknolojisinin uygulanmasıyla ve uygulama mekanizmalarının geliştirilmesi ile birlikte birleşme noktalarında yer alan izlerin ortadan kalkması mümkün olacaktır. Bu sayede ürün üzerinde oluşan hata kaynaklı estetik problemlerin oluşumunun engellenmesi mümkün olabilecektir. Heat and cool sisteminin geliştirilmesi ile birlikte; %5 ile %10 oranında enerji tasarrufu sağlama avantajı olabilecektir. Bu tasarrufun sağlanması aşağıdaki şartlara bağlıdır.

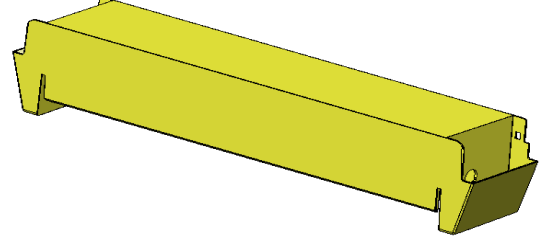
Tasarlanacak kalıbın lokal bölgesinde yer alacaktır. Plastik enjeksiyonda kullanılacak kalıp sisteminde sıralı yolluk bulunmayacaktır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Lokal Isıtma ve Soğutma Sistemine Sahip Kalıp Projesi

Plastik Enjeksiyon Sistemi Heat and Cool lokal ısıtma ve soğutma teknolojisine sahip kalıp tasarımında, kalıp içi birleşme izlerinin yok edilmesi ürün et kalınlığı ince olan parçalar, görünür parçalar ve mukavemet gerektiren makine parçalarında büyük önem taşımaktadır. Bu anlamda, proje dahilinde, kalıp tasarımı yapılırken hem ticarileşme olanağı yüksek olan hem de enjeksiyon sisteminde birleşim izlerine bağlı olarak meydana gelen imalat hatalarını en aza indirgeyebilecek tasarımlar bir araya getirilmiştir. Hedeflenen beklentiyi maksimum düzeyde karşılayabilecek tasarımın ortaya çıkartılmasıdır.

Kalıbın lokal bölgesinde ısıtma ve soğutma yaparak birleşme izinin daha ekonomik bir şekilde ortadan kaldırılmasını sağlayacak ve geliştirilecek prototip üründe sıralı yolluk sistemi bulunmamaktadır (MTN Kalıp Sanayi Limited Şirketi [MTN], 2020).



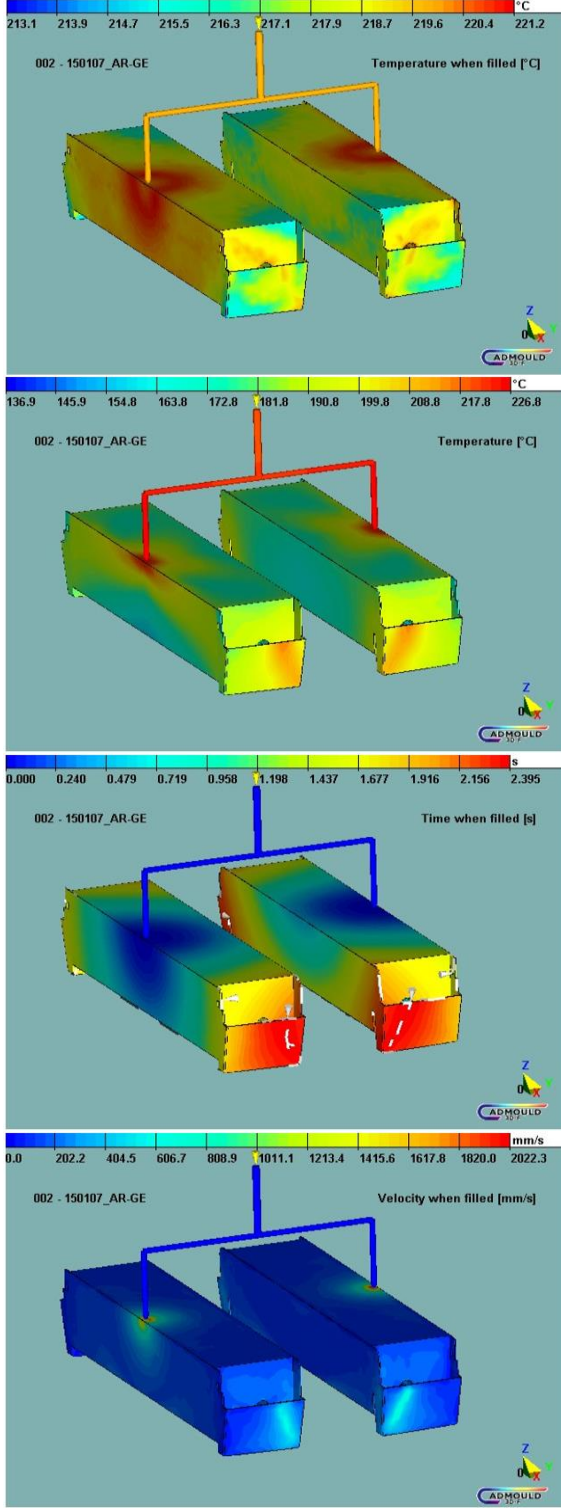
Şekil 5. Head and Cool Sisteminin kullanılacağı ürün tasarımı

#### 3.2. Anlık Isıtma ve Soğutma (Heat And Cool) Teknolojisi Proje Aşamaları

Heat and Cool kalıp tasarımı olarak kullanılacak modelin araştırma çalışmalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda ısıtma ve soğutma sistemleri dâhil ön tasarım çalışmaları yapılmıştır. Kalıbın erkek ve dişi taraflarının taslak tasarım çalışmaları yapılmıştır. Hazırlanan tasarımlar CADMOULD yazılımı kullanılarak modellenmiş, kalıp akış analizleri (mold flow analysis) ve hesaplama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 6-9'da söz konusu kalıp akış analizlerine ait sıcaklık dağılımı, dolma süreleri ve polimer akış hızlarıyla ilgili görseller yer almaktadır.

Üretimi yapılacak kalıp için en uygun yolluk dolm noktaları belirlenip, sırayla dolm analizleri sıcaklık basınç analizleri yapılarak model üzerinde iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Parçada birleşme izi yapan bölgeler tespit edilerek ısıtılacak bölgelere karar verilmiştir (MTN, 2020).

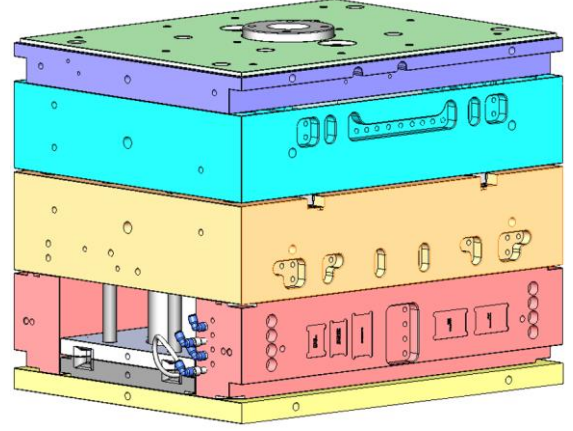




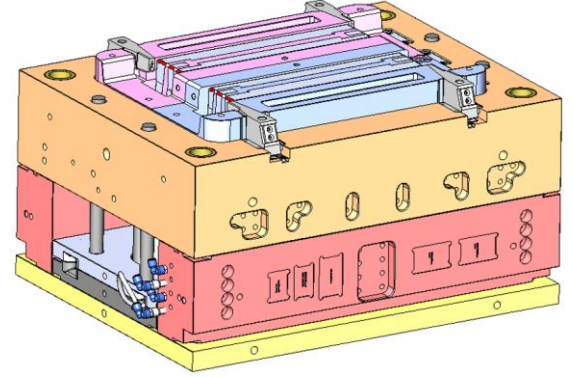
Şekil 6-7-8-9. Plastik ürün analiz çalışmaları (Modelleme1-2-3-4)

Birleşme izi olma riski olan bölgelere kalıpta ayrı lokmalar tasarlanmıştır. Sinterleme yapılarına hangi parçaların kullanılacağına karar verilmiştir. Böylece montaj deneme işlemlerinin yapılacağı tasarım ve modelleme tasarlanmıştır.

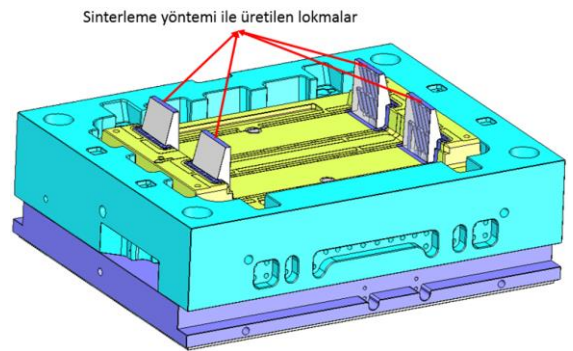
**Sinterleme** işlemi ham halde bulunan kompaktın, ısı ile işleme tabi tutularak sıkıştırılması ve parçaların birbirine bağlanarak yoğunlaşma ile dayanımın artırılmasıdır (Kuşoğlu, 2016).



Şekil 10. Heat and Cool kalıp tasarımı modelleme 5



Şekil 11. Heat and Cool Kalıp Tasarımı Sabit Taraf modelleme 6



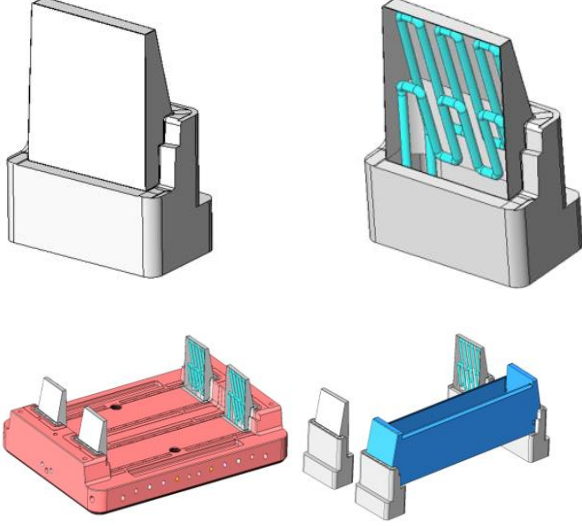
Şekil 12. Heat and Cool Kalıp Tasarımı Hareketli Taraf modelleme 7

### 3.3. Heat And Cool Teknolojisinde Birleşme İzlerinin Giderilme Yöntemi

Kalıp tasarımında çizimi yapılan lokma (Şekil 13) içerisine sık ve ürüne yakın olacak şekilde soğutma hattı oluşturulmuştur. (Şekil 14). Oluşturulan lokma sinterleme yöntemi ile oluşturmuştur.



Oluşturulan lokma ile plastiğin üründe birleşme izi oluşturduğu bölgeye gelecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 15-16). Bu lokmaya anlık ısıtma ve soğutma yapılarak (heat and cool technology) birleşim izi giderilmiştir.



Şekil 13-14-15-16. Sinterleme yöntemi ile üretilen lokmaların çelik ve üründe karşılık gelen bölgeleri modelleme 8

Lokmaya ısıtma ve soğutma işlemi enjeksiyon üretiminde kullanılan şartlandırıcı yardımı ile yapılmıştır (Şekil 17). Şebekeden alınan su şartlandırıcı yardımı ile 150 °C'deki su buharına dönüştürülerek, eriyik hammaddenin enjeksiyon işlemi başladığı anda imal edilen lokma içerisine aktarılıp plastik ürünün istenilen bölgesinin ısıtılması sağlanmıştır. Enjeksiyon işlemi bittiği andan bir sonraki enjeksiyon işlemi başlayacağı ana kadar geçen sürede de 15°C'lik soğuk su lokma içerisine aktarılıp plastik ürünün istenilen bölgesinin soğutulması sağlanmıştır.



Şekil 17. Şartlandırıcı

Heat and Cool kalıp tasarımının diğer kalıp sistemlerinden ayrılan yönleri aşağıdaki gibidir.

- Lokal ısıtma ve soğutma yapılarak enerjiden birim ürün üretim başına %5-10 arasında tasarruf sağlanacaktır.
- Birleşme izi ortadan kaldırılarak daha kaliteli ürün üretimi yapılacak ve daha yüksek maliyette satış yapılabilecektir.
- Bir modelde geliştirilen sistem yapılacak ek çalışmalarla diğer kalıp mekanizmalarına da rahatlıkla uygulanabilecektir.
- Bölgesel ısıtma yapılacağı için memeler arasındaki mesafe artırılarak meme sayısı azaltılacaktır.
- Mevcut sistemlerde %10-20 hurda meydana gelirken geliştirilecek sistemde hurda oluşmayacağı öngörülmektedir.
- Nihai ürünlerde birleşme yerlerindeki mukavemet kayıpları ortadan kaldırılacaktır. Özellikle beyaz eşya sektöründeki gibi hem görsel kalitesi hem de mukavemet değeri yüksek ürünlerin istenildiği sektörlerde avantaj sağlayacaktır (MTN, 2020).



Şekil 18. Yapılan çalışmalar sonucu üretilen parça

### 3.4. Isıtma ve Soğutma (Heat And Cool) Kalıp Tasarımı Verileri

**Tablo 1.** ARGE Sonuçları

Teknik Özellik	Proje Çıktısı	Normal üretilen kalıplar
Birleşme izleri	Yok	Var
Nihai plastik ürünlerin mukavemeti	Yüksek	Düşük
Sıralı yolluk	Yok (Geometriye göre bazı ürünlerde gerekebilir. )	Var
Enerji tüketimi	90-95 birim / adet	100 birim / adet
Çevrim süresi	50-55 sn.	55-60 sn.
Lokal ısıtma ve soğutma	Var	Yok
Nihai ürünlerde birleşme noktalarındaki efekt bozukluğu (renk tonu farklılığı)	Yok	Var
Basınç değeri	Min. 80 - Max. 90	Min. 90 - Max. 100
	İki meme arası mesafe %20 arttırılacaktır.	
Meme sayısı (Plastik malzemeye göre değişmektedir.)	Dolayısıyla daha az meme kullanılacaktır. 4 memeli bir sistem 3 memeye düşürülecektir. iki meme arası mesafe 10 birim olacaktır.	

**Tablo 2.** Rakip Kıyaslaması

Teknik Özellik	Proje Çıktısı	Induction Method
Isıtma yöntemi	Lokal ısıtma ve soğutma yapılacaktır.	Yüzey lazer teknolojisi ile ısıtılmaktadır.
Enerji maliyeti	Diğer sistemlere göre daha düşüktür.	Kalıbın tamamı ısıtıldığından daha yüksektir.

**Tablo 3.** Proje hedefleri

Başarı Ölçütü	Başarı Ölçütü
Kalıp içi birleşme izlerinin ortadan kaldırılması	Kalıp içi birleşme izlerinin ortadan kaldırılması
Prototip kalıpta sıralı yolluk kullanılmasının ortadan kaldırılması	Prototip kalıpta sıralı yolluk kullanılmasının ortadan kaldırılması
Enerji tüketim değeri (benzer sistemlere göre)	% 5 daha düşük birim ürün başına
Plastik malzemenin kristal yapısı	Isıtma ve soğutma sonucunda deformasyon olmaması
Çevrim süresi	Benzer kalıba göre % 10 daha düşük (hedef 50 sn)

Tablo 1’de AR-GE sonuçlarında yapılan analiz, test ve çalışmalarla ilgili veriler yer almaktadır. Çalışmada hazırlanan kalıp modeli için hem hızlı ısıtma-soğutma yöntemi ile kalıp hazırlanmış, bu kalıp ile elde edilen sonuçlar konvansiyonel (klasik) yöntemle üretilen aynı kalıp tasarımına ait sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırma sonucunda enerji tüketiminde % 5-10 daha az enerji tüketimi tespit edilmiştir. Gerçekleşen çevrim süresi % 10 civarında daha düşüktür. 50 sn gibi bir çevrim süresine ulaşılması hedeflenmiştir. Kalıp yüzeyinde küçük lokal bölgelerde hızlı ısıtma-soğutma yapıldığından daha etkin ve az enerji ile ısıtma ve soğutma gerçekleştirildiğinden sarfedilen toplam enerji değeri azalmaktadır.

Denemeler sonucunda elde edilen ürünlerin birleşme çizgi bölgeleri gözle incelenmiştir. Hızlı ısıtma-soğutma sistemi ile üretilen ürünlerde birleşme çizgilerinin olduğu bölgelerde renk/ton farklılığı gözlenmemiş, homojen bir yüzey izlenmiştir.

Kaynaklarda da belirtildiği üzere hızlı ısıtma – soğutma sistemi ile aynı kalıp için daha düşük enjeksiyon basıncı ölçülmüştür. Konvansiyonel üretim için 90-100 bar basınç değerine ulaşılırken, uygulanan sistemle enjeksiyon basıncı 80-90 bar olarak gerçekleşmiştir.

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Ülkemizde son yıllarda kalıpcılık endüstrisinde beklenen seviyeye henüz ulaşamamıştır. Bu nedenle şu an kalıp ihtiyacı olan endüstri alanlarında kullanılmak gerekli olan materyal ithal edilmektedir. Birleşmiş Milletler istatistik rakamlarına göre; ülkemiz, 2012 yılında 166 milyon dolar kalıp ihraç etmesine rağmen 326 milyon dolar kalıp ithal etmiştir. Dolayısıyla ileri teknolojiye sahip kalıplar konusunda ülkemiz dışa bağımlıdır denilebilir.

Rekabette avantaj sağlayacak olan yeni teknoloji Heat and Cool kalıp tasarımının yenilikçi yönü; kalıp içerisinde lokal ısıtma ve soğutma sisteminin geliştirilerek plastik parçanın birleşmesinde meydana gelen izlerin yok edilmesidir. Ayrıca bazı kalıplarda sıralı yolluk kullanılmasına gerek kalmamasıdır.

Söz konusu tasarımın başarıya ulaşması ile birlikte, plastik enjeksiyon sistemi kalıp birleşim izlerinden kaynaklanan imalat hatalarının önüne geçilecek ve hatalı ürün üretimi son bulacaktır. Bu sayede, firmaların her yıl hatalı üretim nedeniyle yaşadığı kayıplar en aza indirgenebilecektir kalıp teknolojisinin yurtiçi ve yurtdışı alanlarda pazarlanabilir olması ve rakiplerine nazaran hem alternatif hem de ekonomik bir makine olması ülkemiz ekonomisine de büyük katkılar sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR

Akkurt, S., Plastik Malzeme Bilgisi, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Birsen Yayınevi, 1991, İstanbul.

Deng, Y.-M., Zheng, D., Sun, B.-S. ve Zhong, H.-D. (2008), “Injection Molding Optimization for Minimizing the Defects of Weld Lines”, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 47: 943-952.

Dzulkipli, A.A. ve Azuddin, M. (2017), Study of the Effects of Injection Molding Parameter on Weld Line Formation, *Procedia Engineering* 184, 663-672.

Fellahi, S., Meddad, A., Fisa, B. ve Favis B.D. (1995), Weldlines in Injection-Molded Parts:A Review, *Advances in Polymer Technology*, Vol. 14, NO. 3, 169-195.

Gim, J. ve Turng, L.-S. (2022), A review of current advancements in high surface quality injection molding: Measurement, influencing factors, prediction, and control, *Polymer Testing*,115,107718.

Jadhav, G., Gaval, V., Solanke, S., Divekar, M., Darade, N., Satpute, A. ve Goutham, G.P. (2023), Weld-lines and its strength evaluation in injection molded parts: A review, *Polymer Engineering and science*, Volume 63, Issue 11, 3523-3536.

Kuşoğlu, İ.M. (2011), Demir Esaslı Metal Tozlarından Geleneksel ve Mikrodalga Sinterleme Yöntemlerle Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin Karşılaştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Kurumsal Akademik Açık Arşiv*.

Macedo, C., Brito, A. M., Faria, L., Simões, C. L., Laranjeira, J. ve Simoes, R. (2023), The potential of RHCM technology in injection molding using a simple convention heating and cooling system, *Results in Engineering*, 19, 101349.

MTN Kalıp Sanayi Limited Şirketi (2020), Plastik Enjeksiyonda Kalıp İçinde Meydana Gelen Birleşme İzlerini Ortadan Kaldıracak Bölgesel Isıtma Soğutma Teknolojisinin Geliştirilmesi, Firma İçi Proje Dokümanı.

Pınar, E. (2010), Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle İmalatta Hataların Tespiti Ve Proses Şartlarının Optimizasyon Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Scantamburlo, A., Zanini, F., Lucchetta, G. ve Sorgato, M. (2022), Improving the weld lines mechanical properties by combining alternate dynamic packing and rapid heat cycle moulding, *Composites: Part A* 163, 107239.

Yao D. ve Kim B. (2002), Development of rapid heating and cooling systems for injection molding applications, *Polym Eng Sci*, 42(12), 2471-81.

Yao D., Nagarajan P., Li L. ve Yi, A. (2006), Strategy for Rapid Thermal Cycling of Molds in Thermoplastic Processing, *J Manuf Sci Eng*,128(4), 837-43.

Zhao, G.Q., Wang, G.L., Li, H.P. ve Guan, Y.J. (2009), Research and application of rapid heating cycle molding technology, *J Plast Eng*, 16(1),190-5.

## EK 1: ÇEVİRİLER

### Şekil -2

Hydraulic fluid	→ Hidrolik yağ
Hydraulic fluid tank	→ Hidrolik yağ tankı
Prefill valve	→ Ön dolum valfi
Main cylinder	→ Ana silindir
Opening cylinder	→ Açma silindiri
Tie bar	→ Kolon
High speed cylinder	→ Yüksek hızlı silindir

### Şekil - 3

Moving Plate	→ Hareketli plaka
Fixed Plate	→ Sabit plaka
Toggle lever makası	→ Enjeksiyon makinesi
Support plate	→ Destek plakası
Tie bar	→ Kolon
Mold	→ Kalıp
Hydraulic cylinder	→ Hidrolik silindir

### Şekil-6-7-8-9

Temperature when filled	→ Dolum sıcaklığı
Temperature	→ Sıcaklık
Time when filled	→ Dolum zamanı
Velocity when filled	→ Dolum hızı

\*Heat and Cool → Isıtma ve Soğutma olarak çevriliyor. Ancak yapılan çalışmanın adı bu şekilde geçiyor. Hızlı bir şekilde ısıtma ve ani soğutma işleminin yapılmasını vurguluyor.

## İplik Üretiminde Taguchi Tabanlı Gri İlişkisel Analizi Uygulaması

Ömer DEMİRCAN<sup>1</sup> , Ercan ŞENYİĞİT\*<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, 38039, Türkiye

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 38039, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 29.12.2023, Kabul Tarihi: 19.05.2024

### Özet

İplik mukavemeti ve uzaması üretimde gözetilen en önemli iplik özelliklerindedir. İpliğin üretim sırasında maruz bırakıldığı gerilimlere karşı kopmaması için mukavemetinin fazla olması gerekmektedir. Buna ilaveten, iplik uzamasının yüksek olması mukavemeti düşük olsa dahi ipliğin uygulanan kuvvete karşı direncinin fazla olmasını sağlamaktadır. Teknolojik gelişmelerin de desteğiyle çok büyük hızlara ulaşan dokuma makinelerinin çalışması sırasında oluşacak duruşlar verimliliği düşürecek ve kumaş kalitesini olumsuz etkileyecektir. Bu sebeple mukavemet ve uzamanın yüksek olduğu iplikler üretilmesi hedeflenir. Bu çalışmanın amacı, iplik kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri kullanılarak ipliğe dair bazı bileşenlerin optimizasyonunu sağlamak, iplik üretimi ve daha sonraki süreçlerde yapılacak koleksiyon geliştirme çalışmalarına tavsiye niteliğinde üretim önerisinde bulunmak olacaktır. Uygulama çalışması ring iplik üreten entegre bir denim üretim tesisinde gerçek veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uster tensojet makine ve teknik testleri kullanılarak yapılan iplik testleri 2023 yılı içerisinde üretilmiş ilgili iplik komponentine sahip tek iplik tipinin tüm üretimlerinin ortalaması alınarak girdi olarak kullanılmıştır. Çalışmada iplik kompozisyonu, iplik Ne'si, elastanlık durumu faktörleri dikkate alınmıştır. Kompozisyon ve Ne'de 4 düzey gözlenirken, elastan iplikte ise var ya da yok olmak üzere 2 düzey incelenmiştir. Çalışmada uzama ve mukavemet cevapları elde edilmiştir. Her iki cevabın da fayda kriteri olduğu ve büyük iyidir yaklaşımı ile analiz edilmesine karar verilmiştir. Her iki cevabın ağırlığının eşit olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada, %60-40 penye-viskon, 12 Ne, elastanlı bir ipliğin değerlendirilen tüm diğer iplik varyasyonlarına göre daha iyi mukavemet ve daha iyi uzama değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Taguchi Yöntemi, Gri ilişkisel analiz, Çok amaçlı optimizasyon, Ring iplik.

## The Taguchi Based Grey Relational Analysis In Yarn Production

### Abstract

Yarn strength and elongation are the most important properties considered in yarn production. For the yarn not to break against the tensions to which it is exposed during production, its strength must be high. Furthermore, the elevated elongation of the yarn ensures that the resistance against applied force remains high, even in cases where the strength is low. Stoppages occurring during the operation of weaving machines, which achieve exceptionally high speeds due to technological advancements, can diminish efficiency and have adverse effects on fabric quality. Hence, it is aimed to produce yarns with high strength and elongation. The objective of this study is to optimize certain aspects of yarn by utilizing yarn-breaking strength and breaking elongation values and to offer production recommendations for yarn manufacturing as well as subsequent collection development studies in the form of advice. The applied research was conducted using data at an integrated denim production facility that manufactures ring yarn. Yarn tests were performed using Uster Tensojet machines, and technical tests were utilized, taking the average of all productions of the specific yarn type with the corresponding yarn component produced in 2023. The study considers yarn composition, yarn Ne, and elastane(including or not) status as factors. While four levels were observed in composition and Ne, elastic yarn was examined at two levels, presence or absence. Elongation and strength responses were obtained. It was decided to analyze both responses as benefit criteria, adopting the approach that larger values are better. It was assumed that the weights of both responses were equal. It was determined that a 60-40 comb-viscose, 12 Ne, elastic yarn had better strength and better elongation values than all other yarn variations evaluated.

**Keywords:** Taguchi method, Grey Relational Analysis, Multi-objective optimization, Ring spun yarn.

\*Sorumlu yazar senyigit@erciyes.edu.tr, <sup>1</sup>omerdemircan@yandex.com.tr

## 1. GİRİŞ

İplik mukavemeti ve uzaması en önemli iplik özelliklerindedir. Çünkü ipliğe, iplik üretimi, kumaş üretimi ve terbiye işlemleri sırasında gerilimler uygulanır. İpliğin maruz bırakıldığı bu gerilimlere karşı kopmaması için mukavemetinin fazla olması gerekmektedir. Buna ilaveten, iplik uzamasının yüksek olması mukavemeti düşük olsa dahi ipliğin uygulanan kuvvete karşı direncinin fazla olmasını sağlamaktadır.

Teknolojinin de gelişmesiyle çok büyük hızlara ulaşan dokuma makinelerinin çalışması sırasında oluşacak duruşlar verimliliği düşürecek ve kumaş kalitesini olumsuz etkileyecektir. Bu sebeple iplik üreticilerinin mukavemeti ve uzaması yüksek ürünler üretmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, iplik kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri kullanılarak ipliğe dair bazı bileşenlerin optimizasyonunu sağlamak, iplik üretimi ve daha sonraki süreçlerde yapılacak koleksiyon geliştirme çalışmalarına tavsiye niteliğinde bir üretim önerisinde bulunmak olacaktır.

İplik kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerlerini temel alarak, çalışmamız iplikle ilgili bu bileşenlerin optimizasyonunu amaçlamaktadır. Bu optimizasyon çabası, hem iplik hem de kumaş tasarım süreçlerine çift yönlü katkı sağlamayı hedeflemektedir. Özellikle, Taguchi deney tasarımı tabanlı olarak gerçekleştirilen deneyler, daha kötü sonuçlar verecek tasarım kombinasyonlarını ayıklamayı hedeflemektedir. Bu şekilde, maliyet açısından avantaj elde edilmesi beklenmektedir. Gri ilişkisel analiz yaklaşımı ise parametre optimizasyonunu sağlayarak optimal deney kombinasyonuna ulaşma aracı olarak kullanılmıştır. Diğer bir katkı ise, gelecekte planlanan ürün tasarım çalışmalarına ışık tutarak tekstil sektöründe literatüre yeni bir bakış açısı kazandırmak olacaktır.

Çalışmanın giriş bölümünün başında verilen bu kısa bilgilendirmeler literatür çalışması ile devam edecektir. İkinci bölümde tekstilde iplik performans ölçütleri olan mukavemet ve uzama kavramlarına değinilirken, çalışmada yapılacak optimizasyonun başlıca yöntemlerinden olan taguchi deney tasarımı yöntemi ve gri ilişkisel analizin anlatımlarına ve uygulama adımlarına yer verilecektir. Çalışmanın son bölümü olan üçüncü bölümde bulgular tartışılacak ve değerlendirilmeler sunulacaktır.

### 1.1. Literatür

Literatür çalışması yaparken problemi üç farklı şekilde ele almak doğru olacaktır. Uygulanacak yöntemler birçok alanda kullanımı olabilecek yaklaşımlar olduğu için öncelikle sektörden bağımsız olarak yöntem bazında yapılmış çalışmalara değinilecektir. Daha sonra tekstil özelinde sektörel bazda taguchi veya gri ilişkisel analiz kullanarak yapılmış diğer çalışmalar ve akabinde de tekstil sektöründe iplik mukavemet ve uzamalarıyla ilgili yapılan benzer çalışmalara değinilecektir. Değinilen araştırma çalışmaları bu 3 faktör açısından kendi içinde kronolojik olarak sıralanacaktır.

Kopac ve Krajnık (2007) çalışmasında, yan freze parametrelerinin en iyi kombinasyona getirilmesi için Gri ilişki analizine dayalı Taguchi metodu kullanılmıştır. L18 ortogonal dizilim ile altı faktör ve bazı faktörler için iki seviyeli bazıları için üç seviyeli olan karma bir faktör-seviye matrisi ile yaptıkları çalışmalarında çoklu parametre optimizasyonu yapmışlardır.

Kuo vd. (2008) tarafından yapılan araştırma, çoklu yanıt simulasyon problemlerini çözmek için Gri ilişkisel analize dayalı Taguchi metodu önerilmiştir. Prosese etki eden beş faktör ve üç seviye belirlenmiştir. Sonuçlar, Gri ilişkisel analiz prosedürünün çoklu performans simulasyon problemlerini çözmede oldukça basit ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Güneş vd. (2019) boru üretimi için gereken tasarım parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesi için yaptıkları çalışmada, ilk olarak her bir tasarım parametresini bağımsız olarak optimize etmiş ve daha sonra tüm parametreleri taguchi ve gri ilişkisel analiz metodu ile optimize etmişlerdir. Tasarım terimi olarak Nusselt sayısı ve Reynolds sayısı en çok önem arz eden parametreler olurken , en az öneme sahip faktörlerin büküm oranı ve genişlik oranı olduğu görülmüştür.

Demirel vd. (2022) yaptıkları çalışmalarında pet şişe üretiminde kullanılan malzeme ve işlemlere ait parametrelerin taguchi, gri ilişkisel analiz ve ECHIP optimizasyon programı ile optimizasyonundan elde ettikleri sonuçlar ile üretim sürecinde önem arz eden parametreleri netleştirmişlerdir.

Karataş (2022) CNC tel erozyon makinesinde Inconel 718 (IN718) süper alaşımının işlenmesi sonucu oluşan malzemeye dair ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), kuadratik ortalama pürüzlülük (Rq) ve maksimum pürüzlülük (Rz) değerleri üzerindeki işleme parametrelerinin araştırmasını yapmıştır. Çalışmanın amacı, en düşük Ra, Rq ve Rz değerlerini elde etmek

için kesim parametrelerinin optimum değerlerini belirlemek olmuştur. Gri ilişkisel analiz ve taguchi metotları ile analiz edilen parametre bileşenleri için en yüksek etkiye sahip parametrenin voltaj olduğu belirlenmiştir.

Tekstil sektöründe kullanılan boyamaların çoğu kimyasal (indirgenme-yükseltgenme) reaksiyon temelli işlemlerdir. Bu kimyasalların atık sudan uzaklaştırılmaları için özel arıtma sistemleri kurulması gerekmektedir. Engin vd. (2008) tekstil sektöründe boyama ve terbiye işlemlerinden kaynaklanan bu atık suyun kanalizasyona deşarjı öncesi, doğaya salınmaması gereken renk verici maddelerin uzaklaştırılmasıyla ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Faktörler HTAB konsantrasyonu (A), HTAB akış hızı (B), atık su akış hızı(C) ve zeolit yatak hacmi miktarı(D) olarak belirlenmiştir. (HTAB: hexadecyltrimethylammonium bromide, C<sub>19</sub>H<sub>42</sub>BrN). Yapılan mühendislik değerlendirme süreci sonrası 1 ve 2 nolu faktörler için 4 seviye, 3 ve 4 nolu faktörler için 2 seviye göz önünde bulundurulması gerektiğine karar verilmiştir. Bu nedenle karma L16(4<sup>2</sup> x 2<sup>2</sup>) ortogonal dağılım ile yapılacak deneyler belirlenmiştir. Faktörler değerlendirilirken “larger is better” formasyonu kullanılmış ve çıktı sonuçları için kullanılan zeolit miktarı değerlendirilmiştir. Minitab programıyla optimize edilmeye çalışılan problemin en önemli çıktısının HTAB konsantrasyonu olduğu görülmüştür. HTAB akış hızının proses parametresi olarak çok etkili bir bileşen olmadığı yorumu yapılmıştır. Önem sırasının A>D>C>B şeklinde olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Kuo ve Tu (2009) tarafından yürütülen çalışmada, kumaş kalenderleme sürecindeki parametreler ile bir dizi deney yapılmıştır. Deneylerde kalender basıncı, kalenderleme hızı, kalenderleme sıcaklığı gibi girdi değişkenleri ile yansıma, su buharı geçirgenliği ve kalenderlenmiş kumaşlarda görülen renk farkı gibi çıktı değişkenleri üzerine odaklanılmıştır. Taguchi tabanlı gri ilişkisel analiz metodu ile çoklu kalite karakteristiklerinin optimizasyonu tahmin edilmiş ve en uygun parametre kombinasyonları belirlenmiştir.

Montoya vd. (2014) normal ve reaktif boyaların tekstil maddelerinden uzaklaştırılması için bitkisel atıkların kullanımı üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada L16 ortogonal dizilim ile deneyler belirlenmiş ve emici karbon yapılı malzemeler için optimal koşullar netleştirilmiştir.

Kaplama yöntemi, denim kumaşlara estetik ve fonksiyonel özellikler kazandırmak için yaygın olarak kullanılır. Üstüntağ vd. (2020) yaptıkları çalışmada

kaplama işleminin kumaşların çeşitli mekanik ve konfor özelliklerini olumsuz etkilediğine değinerek pamuk-elastan karışımı denim kumaşların yırtılma mukavemeti ve sertlik özelliklerinin bir arada optimizasyonuna yönelik kaplama prosesi parametrelerinin optimum seviyelerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Atkı sıklığı, kurutma sıcaklığı, kaplama sıvısının viskozitesi, püskürtme basıncı ve akış hızı gibi parametreler taguchi ve gri ilişkisel analiz yöntemleri ile optimize edilmiş ve en önemli iki parametrenin atkı sıklığı ve akış hızı olduğu saptanmıştır.

Reaktif boyaların, elyafa daha iyi penetre olması için sıvı amonyak ile aktarılması işlemi yapılmaktadır. Selülozik elyaflar tekstilde kullanılan en önemli doğal elyaf maddeleridir. Ramie gibi (ısrıgangiller ailesine dahil edilen güneydoğu Asya’da yetişen lifli bir bitkidir.) doğal elyaf türleri üzerinde bu boyama yöntemi her ne kadar penetrasyonu kolaylaştırırsa da boyanın fikse olma oranı %29,45’te kalmaktadır. Cai vd. (2020) ramie bitkisi elyafında bu fikse oranını optimize etmek için L16 ortogonal dizilimli deneyler serisi ile çalışmalar yapmıştır. Faktörler fiksator miktarı, zaman, sıcaklık ve su miktarı iken 4 seviye üzerinden değerlendirilmiştir. Üzerinde değerlendirme yapılan çıktı ise fikse oranıdır. Boyanın fikse oranı ise bir ağırtıcı ile ağırtıldıktan sonra Datacolor markasına ait bir renk okuyucu ile yapılmaktadır. Taguchi deney tasarımı yaklaşımı ile araştırmacılar fiksator miktarının deneyi en çok etkileyen faktör olduğu sonucuna varmışlardır. %5 oranında fiksator, 40 dakika, 100 °C ve %350 oranındaki su miktarıyla optimum sonuç alınabileceği gözlenmiştir. Fikse oranının %52,82’ye bu parametreler ile çıkacağı sonucuna varılmıştır.

Sektörde mali kısıtlardan bir tanesi de tekstil makinelerinin çok pahalı olması ve tamirlerinin de yine çok maliyetli olmasıdır. Chitra vd. (2021) plazma kaplama makinelerinin eskiyen silindirlerinin getirdiği maliyetleri azaltma amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Plazma kaplama makineleri bezin karşılıklı pres halinde olan iki silindir arasından geçirilirken cilama mantığı ile kimyasal kaplanması işlemi yapan makinelerdir. Bu makinelerin silindirlerinin yenilenmesinin oldukça maliyetli olduğu ifade edilen çalışmada aynı zamanda eskiyen silindirlerle üretilen ürünlerin de bozuk üretimler olduğu belirtilmiştir. Faktörler kaplama yapılacak maddenin üfürüldüğü nozzle’un uzaklığı ve kaplama kalınlığı olarak belirlenmiştir. Silindir eskime hızı ise çıktı olarak değerlendirilmiştir. Uzaklık için 2 seviye, kaplama kalınlığı için 3 seviye belirlenmiştir. Silindir yüzeyinin eskime kontrolü ise iğne diski üzerinde değerlendirilerek yapılmıştır. Optimal nozzle



uzaklığı 4 inç ve kaplama kalınlığı 100 mikrometre olarak belirlenmiştir. Bir sonraki çalışma olarak matematiksel model ile çözüm hedeflenmiştir.

Günümüzde tekstilin geldiği nokta itibarıyla iplik üretimi tek bileşenden gerçekleşmemektedir. İki veya daha fazla farklı bileşenden oluşarak her bileşenin olumlu yönlerini, oluşturulan yeni ipliğe yansıtması sonucu genel eğilim bu yöne kaymıştır.

Özdil ve Özçelik (2006) %100 pamuk ve %50-50 pamuk-pes karışımı farklı örgüdeki tekstil materyalinin yırtılma mukavemetlerini inceleyen bir araştırma yapmışlardır. Sonuçlar içerik açısından değerlendirildiğinde %50-50 pamuk pes olan tüm kumaşların %100 pamuk olan kumaşlara göre çok daha yüksek yırtılma mukavemeti değerleri verdikleri görülmüştür.

Can (2009), yaptığı çalışmada terbiye işlemlerinin iplik mukavemetlerine olumlu ya da olumsuz etkilerini incelemiştir. Kompak ve ring ipliklerin farklı farklı sonuçlarının değerlendirildiği çalışmada yakma ve yıkama işlemlerinde her iki iplik tipinin mukavemet ve uzama değerlerinin azaldığı gözlenirken, merserizasyon işleminin her iki işlem için pozitif anlamda değerlere katkıda bulunduğu görülmüştür. Burada iplikte kullanılan malzeme %100 pamuk olmuştur. Bir sonraki çalışmada farklı komponentler ile bu analizin yapılacağı bildirilmiştir.

Vuruşkan vd.(2011) kor (merkezde elastan içeren) iplikler üretmek üzere tasarlanmış bir iplik makinasında denemeler yaparak sonuçları kıyaslamışlardır. Sistemde bazı üretim parametreleri değiştirilerek pamuk ve pamuk/viskon(50-50) kaplı elastanlı iplikler üreterek denenen yeni ipliğin mukavemeti ve uzama değerlerinin değişimi raporlanmıştır. Sonuç olarak ipliğin incelmesinin mukavemet ve uzama değerlerini pozitif anlamda etkilediği gözlemlenmiş, elastanın 44 dtex'ten 78dtex'e yükseltilmesinin mukavemet değerini düşürdüğü, ancak uzama değerini artırdığı gözlenmiştir. Çalışmada ipliğin mukavemeti ve uzaması ile iplik numarası, büküm katsayısı, elastan çekimi, elastan numarası gibi parametrelerle anlamlı matematiksel modeller kurulabileceği kanıtlanmıştır.

Hasani vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada open-end iplik üretiminde iplik numarası(Ne), rotor hızı, rotor çapı, açıcı hızı ve navel tipi gibi beş faktöre karşılık üç seviye için L27 ortogonal dizilime sahip bir deney planı üzerinde çalışılmıştır. Gri ilişkisel analiz optimizasyonu sonucu iplik 16 Ne, rotor hızının 48.000 rpm, rotor çapının 66 mm, açıcı hızının 8400 rpm, navel

tipinin oluksuz olduğu parametre kombinasyonunun optimum sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

İplikler farklı çaplarda olduğundan ayırt edilebilmeleri için uzunluk ve ağırlıklarından yararlanılır. (Milli Eğitim Bakanlığı, 2011) Birim ağırlıktaki iplik uzunluğu veya birim uzunluktaki iplik ağırlığı "iplik numarası" olarak tanımlanır. "Ne" terimi İngiliz sisteminde kullanılan 1 libre iplikteki 840 yardanın (768 mt.) adedidir. Örnek ile açıklamak gerekirse; 453.6 gr (1 libre) ağırlığındaki iplik 15.360 m (20x768 m) geliyorsa bu iplik 20 Ne'dir. Bu açıklamadan anlaşılacağı gibi iplik Ne'si arttıkça iplik kalınlığı azalacaktır.

Bir ipliğin kalite düzeyini belirleyebilmek için numara varyasyonu veya büküm gibi seçilmiş bir ya da iki özelliğin ölçümü yeterli değildir. İpliklerin sonraki işlemlerdeki davranışları hakkında tahminler yapmak için geliştirilen yöntemler, sadece laboratuvar testlerine dayalı çeşitli özelliklerin karşılaştırılmasıyla elde edilebilir. Bir ipliğin karakterize edilmesinde en temel özelliklerden ikisi kopma mukavemeti ve uzamasıdır. (Can, 2009)

İpliğin eğrilmesinden sonraki işlemler sırasında karşılaşılabilecek etkilere dayanması ve hasar görmemesi için, ipliğin belirli bir minimum mukavemete ve uzama değerine sahip olması gerekmektedir. İplik üretiminden sonra halat sarımı, boyama, haşıllama ve dokuma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Dokuma sonrasında ise oluşan ham bezlere bazı özellikler kazandırmak amacıyla terbiye işlemleri uygulanmaktadır. Tüm bu işlemler süresince üretimde ilerleyen iplik ve kumaşa gerilimler uygulanmaktadır. Gerekli gerilme mukavemeti ve uzama uygulanan işlemlerin çeşidine bağlıdır. Örneğin modern bir dokuma makinesinde ipliğe uygulanan kuvvete dayanmak için iplikler, sadece yüksek çekme kuvvetlerine maruz kalmaz, aynı zamanda limitler içinde değişen uzama değerini de gerektirir.

Çalışmada Uster Tensojet cihazından elde edilen değerler kullanılacaktır. Değerler "SI" birim sistemine göreler. Mukavemet değeri N/tex birimiyle değerlendirilmektedir. Uzama değeri ise % olarak ifade edilecektir. Uzama değerleri kopma mukavemetine ulaşıldığı anda numunede görülen uzamadır. Denklem 1 ile formüle edilir.

$$E: ((L2 - L1) * 100) / L1 \quad (1)$$

E: Uzama oranı (%)

L2: Kopma anındaki boy

L1: İlk ölçüm boyu

N:Newton

Tex: 1000 mt. ipliğin gram karşılığı

## 2.1. Taguchi Deney Tasarımı ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri

Deney tasarımı teknikleri, 1900'lerin ikinci çeyreğinin başında A. Ronald Fischer tarafından tarımsal üretimdeki hasat verimini artırmak amacıyla geliştirildi. Fischer'in yürüttüğü bu çalışma, istenen sonuçları elde etmek için mevcut tüm değişkenlerin tüm deneylerde tam olarak kullanılmasını gerektiriyordu (Altaş, 2021). Ancak, bu yaklaşım endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmeyordu çünkü tüm deney koşullarını dikkate almak zor ve maliyetli olabilirdi. Bu nedenle, değişkenliği azaltmak için kısmi faktöriyel deney tasarımı yaklaşımı daha yaygın olarak benimsenmiştir. Bu yaklaşımın öncüsü ise Dr. Genichi Taguchi olmuştur (Ata, 2017).

Taguchi yaklaşımı ile deney girdilerini oluşturan faktörler arasındaki etkileşimler kabul edilebilecek düzeyde göz ardı edilerek deneylerin çıktısını belirleme sürecinde deney adedi azaltılabilmektedir. Taguchi deney tasarımı yaklaşımı, birçok faktörün tek bir çıktı üzerindeki etkilerini aynı anda ve ekonomik bir şekilde değerlendirmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. (Senthilkumar, Tamizharasan, & Veeramani, 2014)En uygun faktör kombinasyonunu belirlemek Taguchi deney tasarımı yöntemiyle kolayca mümkündür. Bu yöntemde, deney sayısını azaltmak için Jacques Hadamard tarafından geliştirilen yapılandırılmış çizelgeler diğer adıyla ortogonal diziler kullanılır (Ata, 2017). Ortogonal serilerin kullanılması, deney maliyetini, emek ve zaman bakımından azaltır. Bu serilerde, tüm girdi faktörleri eşit sayıda denemede yer alır, bu da normal bir dağılım elde edilmesine olanak tanır (Yavuz, 2017).

Taguchi deney tasarımı, sonuçları Sinyal/Gürültü (S/N) oranı olarak ölçer; S/N oranı deney sonuçlarının ortalamasını ve değişkenliğini dikkate alır. S, gerçek değeri temsil ederken N, sonuca etkisi olan ancak deneyde kontrol edilmeyen değişkenleri ifade eder. Gürültü faktörleri, çevresel etkileri içerir. Taguchi'nin önerdiği S/N oranlarından bazıları "larger is better", "the-nominal-the-best" ve "smaller is better" şeklinde

kullanılmaktadır. (Kuram, 2015). Çalışmada "larger is better" yaklaşımı ile değerlendirmeler yapılacaktır. Denklem 2 bu yaklaşıma aittir.

$$\frac{S}{N} = -10 \left( \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

n: Deney sayısı

yi: Ölçülen deneydeki gerçek değer

Gri ilişkisel analizin temelini oluşturan gri sistem teorisi Judong Deng tarafından geliştirilmiştir. Gri ilişkisel analiz yöntemi, tasarım ve değerlendirilmesi yapılan parametreler ve sistemler arasındaki benzerlikler ve farklılıklar arasındaki değişimlerin derecesini ölçmektedir (Liu, Forrest, & Yang, 2011)

Çalışmada kullanılacak gri ilişkisel analiz yöntemi aşamaları aşağıdaki gibi olacaktır.

**Adım1.** Karar matrisinin deney sonuçlarının elde edilmesi

**Adım2.** Sonuçların normalize edilmesi

**Adım3.** Normalize edilmiş değerler ile referans değerler arasındaki farkın hesaplanması

**Adım4.** Kriter ağırlıklarına göre gri ilişkisel değerlerin hesaplanması

**Adım5.** Gri ilişkisel sıralamanın belirlenmesi

Çalışmada 3 faktör üzerinden ilerletilmiştir. Faktörler sırasıyla iplik kompozisyonu, iplik Ne si, elastan bulundurma durumu olarak belirlenmiştir. Bu faktörlerden ilk ikisi için dört seviye, üçüncü faktör için ise iki seviye mevcuttur. Mevcut parametreler Tablo1'de gösterilmiştir.

Karma modelin Minitab 17 programında önerilen çizelgesi L16 ortogonal dizilim olmuştur.

Uster tensojet makine ve teknik testleri kullanılarak yapılan iplik testleri 2023 yılı içerisinde üretilmiş ilgili iplik komponentine sahip tek iplik tipinin tüm üretimlerinin ortalaması alınarak veri olarak kullanılmıştır. (Ör: TTA090SA ipliği testte kullanılmışsa bu ipliğin 2023 yılında yapılmış tüm testleri derlenerek uzama ve mukavemet değerlerinin ortalaması alınmıştır. Böylelikle spot sapmalardan kaçınılmaya çalışılmıştır.)

**Tablo1.** Faktörler ve seviyeler

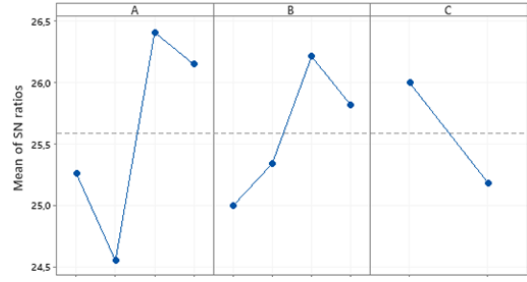
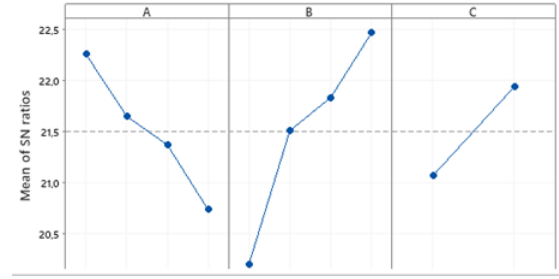
Seviyeler				
Fakt.	1	2	3	4
Kom.	%100 Co	%100 Organ.	%60 Pe.-%40 Ten.	%60 Pe.-%40 Vis.
Ne	8,5	9	10	12
Elast.	Var		Yok	

Tablo 2’de L16 ortogonal dağılım sonucu elde edilmiş dizilim ve bu dizilim ile eşleşen iplik tiplerinin uzama ve mukavemet değerleri görülmektedir. Bu değerler uygulama yapılan firmanın ERP yazılımından MS-Sql veri tabanları kullanılarak derlenmiştir.

**Tablo 2.** İplik çeşitleri ve test sonuçları

Deney	Dizilim	İplik Kodu	Uz.	Muk.
1	1-1-1	TWA085ND	9,06	18,53
2	1-2-1	TTA090SA	14,11	18,2
3	1-3-2	TTA100SV	14,34	18,28
4	1-4-2	TTA120SR	15,42	18,24
5	2-1-1	OWA085NG	8,63	18,48
6	2-2-1	OWA090SA	13,52	15,21
7	2-3-2	OTA100SA	13,51	16,84
8	2-4-2	OTA120SA	13,56	17,14
9	3-1-2	UYT085SG	11,81	17,49
10	3-2-2	UYT090SC	11,97	23,6
11	3-3-1	UYT100SL	10,97	23,54
12	3-4-1	UYT120SD	12,11	19,66
13	4-1-2	UYT085SF	11,87	16,64
14	4-2-2	UYT090SK	8,77	17,88
15	4-3-1	UYT100SD	10,95	24,09
16	4-4-1	UYT120SC	12,31	23,65

Uzama ve mukavemet değerleri test sonuçlarının yüksek olması ipliğin istenilen kalitede olduğu anlamına gelmektedir. Bu sebeple “larger is better” yaklaşımı iki kriter için de uygun olacaktır. Minitab17 paket programı deney tasarımı modülü ile yapılan analizde sinyal gürültü oranları şekil 1 ve şekil 2’de görüleceği gibi 3-3-1 ve 1-3-2 nolu parametre kombinasyonlarına sahip deneyler

**Şekil 1.** Mukavemet çıktısına göre Taguchi Analizi çıktısı**Şekil 2.** Uzama çıktısına göre Taguchi Analizi çıktısı

Taguchi deney tasarımı için mukavemet çıktısı için 3-3-1 faktör seviyeleri uygunken, uzama çıktısına göre ise 1-4-2 faktör seviyeleri uygundur.

Tablo 2’de verilen değerlere ilişkin gri ilişkisel analiz çıktıları Tablo 3’te gösterilmiştir. “Larger is better” yaklaşımıyla hesaplanan değerler, bu çalışmada eşit öneme sahip oldukları düşünülerek değerlendirmeye alınmıştır. “Larger is better” yaklaşımı için normalizasyon denklem 3 ile ifade edilebilmektedir.

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (3)$$

Tablo 3 incelendiğinde 16 nolu deney olan kombinasyonunun (%60 penye-% 40 viskon, 12 Ne, Elastanlı) gri ilişkisel analize göre optimum parametreler olduğu görülmektedir (%60 penye-% 40 viskon, 12 Ne, Elastanlı).

15 ve 4 nolu deneyler de bu analize göre optimuma çok yakın olmakla birlikte daha düşük performans gösteren parametrelere sahip deneyler olmuşlardır.

**Tablo 3.** Gri ilişkisel analiz, ortalama değerleri ve deney sıralamaları

Deney No	Normalizasyon		Eşit Ağırlıklandırılmış		GRA	Sıra
	Uzama	Mukavemet	Uzama	Mukavemet		
1	0,063328424	0,373873874	0,348026653	0,444	0,396013326	14
2	0,807069219	0,336711712	0,721572795	0,42981607	0,575694432	7
3	0,840942563	0,345720721	0,758659218	0,433170732	0,595914975	6
4	1	0,341216216	1	0,43148688	0,71574344	3
5	0	0,368243243	0,333333333	0,441791045	0,387562189	15
6	0,72017673	0	0,641170916	0,333333333	0,487252125	11
7	0,718703976	0,183558559	0,6399623	0,379811805	0,509887052	9
8	0,726067747	0,217342342	0,64605138	0,389815628	0,517933504	8
9	0,468335788	0,256756757	0,484653819	0,402173913	0,443413866	12
10	0,491899853	0,94481982	0,495982469	0,900608519	0,698295494	4
11	0,344624448	0,938063063	0,43275972	0,889779559	0,661269639	5
12	0,512518409	0,501126126	0,506338553	0,500563698	0,503451126	10
13	0,477172312	0,161036036	0,488840893	0,373423045	0,431131969	13
14	0,020618557	0,300675676	0,337979094	0,416901408	0,377440251	16
15	0,34167894	1	0,43165925	1	0,715829625	2
16	0,54197349	0,95045045	0,521906226	0,909836066	0,715871146	1

### 3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Tekstil sektörü, müşteri deneyim ve ihtiyaçları değiştikçe bunlardan derinden etkilenen bir yapıdadır. Müşteri ihtiyaçlarındaki değişiklikler tasarım aşamasından itibaren üretimin bütün süreçlerinde üreticileri yormaktadır. Ürün geliştirme çalışmalarını derinleştirmek, daha fazla deneme yapmak, prototipleri çeşitlendirmek ve opsiyonlar sunmak gibi zorluklarla karşılaşan ürün geliştirme departmanları bu yarışta şirketlerin belki de kaderlerini belirleyecek kilit operasyonlardandır diyebiliriz.

Ar-Ge ve yeni ürün tasarım maliyetleri şirketlerin en önemli gider kalemlerinden biri haline gelirken ancak bu süreçleri müşteri istekleri doğrultusunda gerçekleştirebilen firmalar ayakta kalabilmektedir.

Bu çalışmada Taguchi deney tasarımı yöntemi ve gri ilişkisel analiz yaklaşımı ile bir firmanın üretimde kullandığı ve aynı zamanda kendi ürettiği ipliklerin mukavemet ve uzama performansları değerlendirilmiştir. Değerlendirme yapılırken iplik bileşenlerinden olan elyaf karışım oranları göz önünde bulundurulmuş, buna ilaveten iplik Ne si ve elastan kullanım bilgisi de dâhil edilerek genel olarak üretimde seyreden akışım mukavemet ve uzama kriterleri için değerlendirilmesi yapılmıştır. Gri ilişkisel analiz yöntemine göre %60 penye - %40 viskon, 12 Ne, elastanlı bir ipliğin değerlendirilen tüm diğer iplik varyasyonlarına göre daha iyi mukavemet ve daha iyi uzama değerleri sunabildiği görülmüştür.

Taguchi yaklaşımı ile ise mukavemet çıktısına göre en iyi kombinasyonun %60 penye - %40 tencel, 10 Ne, elastanlı bir iplik olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar ile yapılabilecek önerilerden biri ürün geliştirme ve Ar-Ge departmanları özelinde yeni ürün geliştirirken ilgili analizler sonucu elde edilen kombinasyonlarda ürün çalışmalarını arttırmak olacaktır. Ürünlerde ve koleksiyon setlerinde bu şekilde bir yönelime gidilmesi zaman içerisinde işletme içindeki genel üretimin de bu ürün gruplarına göre değişim göstereceği için kısa zamanda elde edilebilecek çıktılarının haricinde daha uzun bir periyotta gözlemlenebilecek bir verimlilik söz konusu olacaktır.

### KAYNAKLAR

- Altaş, E. (2021). Şekil hafızalı NiTi alaşımının kriyojenik işlem uygulanmış takımlarla işlenebilirliği. *Doktora Tezi*, 79-91.
- Ata, İ. (2017). Güneş enerjisi destekli hava ısıtıcısı performansının deneysel incelenmesi ve gri ilişkisel analiz yöntemi ile optimizasyonu. *Doktora Tezi, Gazi*, 120-123.
- Cai, Y., Liang, Y., Navik, R., Zhu, W., Zhang, C., Perves, M., & Wang, Q. (2020). Improved reactive dye fixation on ramie fiber in liquid ammonia and optimization of fixation parameters using the Taguchi approach. *Dyes and Pigments, Volume 183*.

- Can, Y. (2009). Bazı terbiye işlemlerinin kompakt ve ring ipliklerin mukavemet ve uzama özelliklerine etkisinin incelenmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, s. 56-60.
- Chitra, V., Ramachandran, S., & Anandaraj, V. (2021). Determination of specific wear rate of steel coated with tungsten carbide using Taguchi technique for textile applications. *Materials today: Proceedings*, s. 4558-4561.
- Demirel, B., Akkurt, F., Usal, İ., & Şenyiğit, E. (2022). Determination of The Best Injection Stretch Blow Molding Process Parameters in Polyethylene Terephthalate Bottle Service Performance. *Gazi University Journal of Science*, 35(4), s. 1297-1316.
- Engin, A., Özdemir, Ö., Turan, M., & Turan, A. (2008). Color removal from textile dyebath effluents in a zeolite fixed bed reactor: Determination of optimum process conditions using Taguchi method. *Journal of Hazardous Materials*, s. 348-353.
- Güneş, S., Şenyiğit, E., Karakaya, E., & Özceylan, V. (2019). Optimization of heat transfer and pressure drop in a tube with loose-fit perforated twisted tapes by Taguchi method and grey relational analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol.136, no.4., s. 1795-1816.
- Hasani, H., Tabatabaei, S., & Amiri, G. (2012, June 1). Grey Relational Analysis to Determine the Optimum Process Parameters for Open-End Spinning Yarns. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, s. 81-86.
- Karataş, M. A. (2022). Multi-Criteria optimization of surface roughness in wire EDM of Inconel 718 by Taguchi based gray relational analysis method. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 28(4), s. 516-532.
- Kopac, J., & Krajnik, P. (2007, August 1). Robust design of flank milling parameters based on grey-Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, s. 400-403.
- Kuo, J., & Tu, H.-M. (2009, June). Gray Relational Analysis Approach for the Optimization of Process Setting in Textile Calendaring. *Textile Research Journal*, s. 981-992.
- Kuo, Y., Yang, T., & Huang, G.-W. (2008, June). The use of a grey-based Taguchi method for optimizing multi-response simulation problems. *Engineering Optimization*, s. 517-528.
- Kuram, E. (2015). *Yumuşak ve sert malzemelerin mikro frezelenmesinde işleme şartlarının optimizasyonu*. Kocaeli: Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Liu, S., Forrest, J., & Yang, Y. (2011). A brief introduction to grey systems theory. *Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services*, (s. 89-104). Nanjing, China.
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). *Sentetik ve Yarı Mamül Kontrolleri*. Ankara.
- Özdil, N., & Özçelik, G. (2006). Kumaşlarda yırtılma mukavemeti test yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16(3), s. 174-179.
- Ramirez-Montoya, L., Hernández-Montoya, V., & Montes-Moran, M. (2014). Optimizing the preparation of carbonaceous adsorbents for the selective removal of textile dyes by using Taguchi methodology. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, s. 9-20.
- Senthilkumar, N., Tamizharasan, T., & Veeramani, A. (2014). Experimental investigation and performance analysis of cemented carbide inserts of different geometries using Taguchi based grey relational analysis. *Measurement*, 520-536.
- Üstüntağ, S., Şenyiğit, E., Mezarıcıoğlu, S., & Türksöy, H. (2022). Optimization of Coating Process Conditions for Denim Fabrics by Taguchi Method and Grey Relational Analysis. *Journal of Natural Fibers Volume 19*, s. 685-699.
- Vuruşkan, D., Babaarslan, O., & İlhan, İ. (2011). Elastan içerikli seçilmiş ipliklerde bazı üretim parametrelerinin iplik mukavemeti ve uzaması üzerindeki etkisi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, s. 22-29.
- Yavuz, M. (2017). Delme işlemlerinde takım geometrisinin etkilerinin deneysel ve teorik olarak araştırılması. *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s. 67-72.

## İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

### Marka Değeri Yüksek Tedarik Zinciri Firmalarının COVID-19 Pandemi ve Sonrasında Aldığı Stratejik Kararların ve Yıllık Raporlarının Analiz ve Değerlendirilmesi

Elmas DÜNDAR<sup>1</sup> , Feyza GÜRBÜZ\*<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kayseri, 38039, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 02.01.2024, Kabul Tarihi: 23.08.2024

#### Özet

Sürdürülebilirlik raporlaması üzerine yapılan araştırmalar ve önemi giderek artmasına rağmen, geçmiş trendler hakkında çok az şey bilinmekte ve araştırma alanlarının gelecekte nasıl evrileceği konusunda belirsizlikler bulunmaktadır. Sürdürülebilirlik raporlamasıyla ilgili araştırma trendini tanımak ve anlamak, gelecekteki araştırmacıların hem okuyuculuk hem de atıf açısından yüksek ilgi ve etkiye sahip araştırmalar planlamalarına ve yürütmelerine olanak tanır. Bu çalışmada çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) ve sürdürülebilirlik raporlaması üzerine geniş bir literatür incelenmiştir. Çalışma, Python yazılımını kullanarak makine öğrenmesi yaparak sürdürülebilirlik raporlarının pandemi sürecindeki tedarik zincirleri şirketlerinin analizini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada ayrıca geçmiş ESG araştırma trendlerini ve sürdürülebilirlik raporlarını ortaya çıkarmak ve bu çalışma alanlarının içeriğinin gelecekte nasıl evrileceğini tahmin etmek için Bert Modeli kullanılmıştır. Eğitilmiş Model kullanılarak Zero Shot Learning sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Burada 20 şirketin 2019 ve sonrası yıllarındaki 42 sürdürülebilirlik raporlarının metin ön işleme yapıldıktan sonra makine öğrenmesini Python ve Anaconda ve Google Colab gibi yazılım araçları ile analizler gerçekleştirilmiştir. 2019 ve sonrası yıllarındaki sürdürülebilirlik raporlarının seçilmesinin nedeni Covid ve pandemi etkisinin incelenmesidir. Makine öğrenme tekniğinin sonuçları, ESG ve sürdürülebilirlik raporlarının, kurumsal sosyal sorumluluk (CSR) ve sürdürülebilirlik raporlamasının şimdi faydalara ve çevresel etkilere odaklandığı için daha güçlü bir sosyal odağa sahip olduğunu, faydalara ve kurumsal sosyal sorumluluk ödülleri odaklanmakta, ESG sonuçlarını açıklamaktadır. Araştırma, gelecekteki araştırmacılara araştırma odaklarını planlama ve tasarlama konusunda ışık tutmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** COVID-19, Tedarik Zinciri, Sürdürülebilirlik, Metin Madenciliği.

### Analysis and Evaluation of Supply Chain Companies with High Brand Value and Annual Reports of Strategic Decisions Made During and After the COVID-19 Pandemic

#### Abstract

Research on sustainability reporting is becoming increasingly important. Despite the growing literature on sustainability reporting, there is still limited knowledge about past trends and uncertainties about how research areas will evolve in the future. Recognizing and understanding the research trend in sustainability reporting enables future researchers to plan and conduct studies that are likely to attract high interest and citations from both readers and references. This study examines a broad literature on environmental, social, and governance (ESG) and sustainability reporting. The study has conducted an analysis of sustainability reports of supply chain companies during the Covid pandemic using Deep Learning with Python software. Uniquely, this study also employed the Bert Model to uncover past ESG research trends and predict how the content of these study areas will evolve in the future. Using a trained model, a Zero Shot Learning classification

\*Sorumlu yazar feyza@erciyes.edu.tr, <sup>1</sup>elmasdundar@hotmail.com

algorithm has been employed. In this context, text preprocessing was performed on 42 sustainability reports from 20 companies for the years 2019 and beyond, followed by analyses using machine learning with software tools like Python, Anaconda, and Google Colab. The selection of sustainability reports from 2019 onwards was driven by the aim to examine the impact of COVID and the pandemic. The results of the machine learning technique reveal that ESG and sustainability reports now possess a stronger social focus due to their shift towards benefits and environmental impacts, concentrating on benefits and corporate social responsibility (CSR) awards, and elucidating ESG outcomes. This research sheds light for future researchers on planning and designing their research focuses.

**Keywords:** COVID-19, Supply Chain Management, Sustainability, Text Analysis.

## 1. GİRİŞ

COVID-19, bulaşıcı bir hastalık olup, ilk olarak Çin'in Vuhan bölgesinde 2019 Aralık ayında tespit edilmiştir. Bu hastalık, solunum semptomları (ateş, öksürük, nefes darlığı) gösteren bireylerde yapılan analizler sonucu, 13 Ocak 2020'de tanımlanmıştır (İşsever et al., 2020). Pandemi sosyal medyada dahil olmak üzere küresel olarak ciddi sosyal ve ekonomik bozulmalara sebep olmuştur. Büyük buhran olarak adlandırılan pandemideki en büyük küresel durgunlukların sebepleri de evden çalışma, katı sosyal mesafe ve seyahat kısıtlamalarının getirilmesiydi (Williamson et al., 2020). Pandemi sürecinde de küresel tedarik zinciri yönetimindeki malzeme sıkıntısı (belirli ürünlerde öngörülemeyen talepler) ve fiyat dalgalanmaları gibi sorunlar yaşamıştır.

Günümüzde de hala devam eden pandemi sürecinde seyahat ve üretim kısıtlamaları ile hala mücadele verilmektedir. Mevcut salgının hızı ve ekonomik etkilerinin nasıl olduğu ile ilgili yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada pandeminin tedarik zincirini nasıl etkilediği metin madenciliği çalışmasıyla belirlenmiştir. Bu nedenle belirli firmaların yıllık ve sürdürülebilirlik raporlarından oluşturulan veri seti ile analizler oluşturulmuştur.

Bu nedenle, bu makale aşağıdaki araştırma sorularını analiz etmektedir:

- Tedarik zincirlerinin koronavirüs pandemisinden etkilenme biçimleri nelerdir?
- Tedarik zinciri Yönetimi için pandeminin etkileri nelerdir?
- Risk, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik (RRS) oluşturuyor mu?

Tedarik zinciri yönetimi, bir şirketin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında kritik bir rol oynamaktadır. Gittikçe daha fazla işletme, sürdürülebilirlik raporları yayımlayarak çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) faktörlerini göz önünde bulundurmaktadır. Bu raporlar,

çeşitli paydaşlar için şirketin sürdürülebilirlik çabalarını değerlendirmenin bir yoludur. Ancak, bu raporların etkinliği, içerdikleri verilerin doğru bir şekilde analiz edilip yorumlanabilmesine bağlıdır. Bu çalışma, tedarik zincirinde sürdürülebilirlik raporlarının metin madenciliği kullanılarak nasıl analiz edilebileceğini tartışmaktadır.

### 1.1. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik Zinciri Yönetimi Profesyonelleri Birliği (CSCMP, 2011) tarafından yapılan tanımlamaya göre, bir organizasyonun iç ve dış paydaşları arasında talep ile arzın entegre edilmesi, kaynakların edinimi, satın alma, dönüşüm ve tüm lojistik operasyonlarının yönetimi süreçlerini kapsayan, tedarikçilerden araçlara, üçüncü parti hizmet sağlayıcılardan müşterilere kadar zincir içindeki tüm aktörlerin koordinasyonunu içeren bir yönetim disiplini.

Küreselleşen dünyada rekabet, küresel tedarik zincirleri arasında şekillenmektedir. Sinha & Van de Ven (2005) tarafından belirtilen bu durum, tedarik zincirlerinin piyasa değişikliklerine, tüketici beklentilerinin evrimine, uluslararası politikalara ve iş yapış şekillerindeki dönüşümlere hızla adapte olmasını gerektirir. Chopra & Meindl (2007) bu bağlamda, tedarik zincirlerinin artan karmaşıklığına işaret etmektedir. Globalleşme ve serbestleşmenin etkisiyle sınırların azalması, tedarik zincirlerinin daha uzun ve kompleks hale gelmesine yol açmaktadır. Şirketler, artık belirli yetkinliklere odaklanmakta ve anahtar becerilerinin dışındaki işleri dış kaynak kullanımı yoluyla gerçekleştirmektedirler. Bu durum, tedarik zincirlerinin yönetiminin daha da karmaşık bir hal almasına sebep olmaktadır. Bu bağlamda Linton et al. (2007), tedarik zincirlerinin yönetimi konusunda uzmanlaşmak isteyen firmaların, hammaddelerin ilk işlenmesinden nihai müşteriye ulaştırılmasına kadar olan süreci ve bu süreçteki bilgi, malzeme ve sermaye akışını göz önünde bulundurarak sürdürülebilirlik kavramını geniş bir perspektifle ele alması gerektiğini vurgulamaktadır. Günümüzde, bir



ürünün değerinin yaklaşık yarısı tedarikçiler tarafından yaratılmaktadır. TZY, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarını dikkate alarak, tedarik zinciri boyunca malzeme, bilgi ve sermaye akışını ve zincirdeki şirketler arası iş birliğini yönetir.

Seuring & Müller (2008), sürdürülebilir tedarik zincirlerinde çevresel ve sosyal kriterlerin, rekabet gücünü ekonomik sürdürülebilirlik kriterleriyle birleştirerek müşteri beklentilerine cevap verme yoluyla güçlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu kapsamda, işletmeler tedarikçiler ve perakendecilerle çevre dostu hammadde kullanımı ve atık azaltma gibi konularda iş birliği yapmaktadır (Nidumolu et al., 2009). Tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik hedeflerinin belirlenmesi ve uygulanması, kamuoyu ve paydaşlar tarafından odak kuruluşlara yönelik yoğun baskı altında gerçekleşmektedir (Halldorsson et al., 2007). Bu baskı yasal düzenlemeler, müşteri talepleri, paydaş talepleri, çevresel lobiler, itibar kaybı korkusu ve rekabet gücünü kaybetme korkusundan kaynaklanmaktadır. Literatürde, STZ konusunda en kapsamlı teorik değerlendirmeler (Seuring & Müller, 2008) tarafından yapılmıştır.

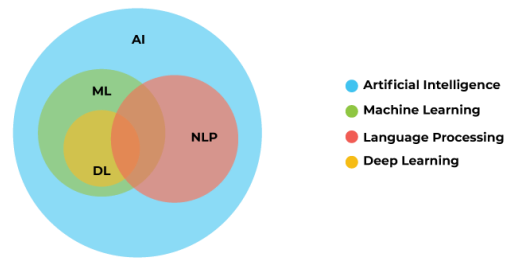
Sosyal sürdürülebilirlik açısından, mal ve hizmetlerin toplumun beklenti ve ihtiyaçlarına uygun olarak üretilmesi gerekmektedir. Ekonomik sürdürülebilirlik, TZY'nin faaliyetlerini optimize ederek karları maksimize etme hedefiyle birlikte, kaynakların minimal kullanımı ve az atık üretimiyle çevresel sürdürülebilirliği sağlamayı da içermelidir (Zhou et al., 2000).

## 1.2. Yapay Zeka (AI)

İnsan beyni, bilgileri işlemek ve depolamak ve önceki deneyimlerden nasıl davranılacağını öğrenmek için evrimleşmiş evrendeki en karmaşık makinelerden biridir. (Deshpande ve Kumar, 2018). Yapay Zeka (AI), insan beynini taklit etmek için geliştirilmiş bir teknolojidir. AI ile daha büyük hacimli veriler eskisinden daha fazla işlenebilir ve böylece kalıp bulma ve karar vermede insan beynini tamamlayabilir (Deshpande ve Kumar, 2018). AI kendi içerisinde Şekil 1'de görüldüğü gibi alt dallara ayrılabilir. Doğal Dil İşleme (NLP), yapılandırılmamış, doğal dil tabanlı verileri işlemek için kullanılan teknikler ve algoritmalar için ortak bir addir (Sarkar, 2019). 1954'teki tanıtımından bu yana teknik istatistiksel ve dilsel teknikleri birleştirerek hem dilbilgisel hem de anlamsal olarak doğru olacak şekilde gelişmiştir (Sarkar, 2019). Makine Öğrenimi (ML), büyük miktarda yapılandırılmamış veriyi işlemek için NLP için de kullanılan bir daldır. NLP görevleri için, mevcut verilere ve sorun ifadelerine bağlı olarak hem denetlenen hem de

denetlenmeyen Makine Öğrenimi (ML) algoritmaları uygulanabilir (Thanaki, 2017).

Şekil 1'de Yapay Zeka (AI) alanının, Makine Öğrenimi (ML) ve Doğal Dil İşleme (NLP) gibi alt disiplinleri içerdiğini göstermektedir. Makine Öğrenimi, Derin Öğrenme (DL) gibi daha spesifik yöntemleri de kapsamaktadır. Bu üç alanın kesişiminde yer alan, hem NLP hem de DL tekniklerini kullanan uygulamalar, hem dil işleme kabiliyetlerini hem de derin öğrenme modellerinin karmaşık örüntü tanıma gücünü birleştiren sistemleri temsil etmektedir. Şekil 1 de, Yapay Zeka'nın geniş kapsamını ve alt dalları arasındaki ilişkiyi görsel olarak ifade etmektedir.



Şekil 1. Yapay zeka alt dalları

### 1.2.1. Machine Learning (ML)

Mevcut veri miktarı arttıkça, ML, büyük, yapılandırılmamış verilerden içgörüler elde etmek için bir araç olarak tanıtılmıştır. ML, gözlemlenen maddenin davranışını tahmin etmek için verilerdeki kalıpların kullanıldığı tahmine dayalı analitik olarak görülebilir (Chmiela et al., 2017). ML iki kategoriye ayrılabilir; denetimli ve denetimsiz öğrenme. Denetimli öğrenmede, ML algoritmasının eğitildiği girdi verileri, istenen çıktı ile eşleşecek şekilde etiketlenir (Muller ve Guido, 2016). Algoritma, girdi ve çıktının nasıl ilişkili olduğuna dair kalıpları bulacak ve hangi çıktı etiketinin yeni, görünmeyen, girdi olarak kategorize edilmesi gerektiğine dair tahminler üretecektir. Denetimsiz öğrenme, çıktının bilinen bir kategorizasyonuna sahip değildir, yani verilen girdi, çıktı sonucunun önceden belirlenmiş bir çıktıya sahip değildir. Denetimsiz öğrenme bilinmediğinden, yöntemin denetlenen öğrenmeye kıyasla değerlendirilmesi daha zordur (Seuring & Müller, 2008). Verilen verilerden öğrenme yeteneği ile ML bilgisayarların insan gibi davranmasını amaçlayan yapay zekanın bir alt özelliği olarak görülebilir. Yapay zekanın bir diğer alt alanı, bilgisayarın bir insan gibi metni okumasını ve anlamasını amaçlayan Doğal Dil İşleme'dir (Moroney, 2020).

### 1.2.1.1. Sürdürülebilirlik Raporları Üzerine Metin

#### Analizi

Dijitalleşme nedeniyle verilerin artan erişimiyle büyük miktarda veriyi işleme ihtiyacı giderek daha fazla talep edilmektedir. Sürdürülebilirlik raporlaması, şirketlerin iklim etkileri ve sürdürülebilirlik çabaları üzerinde nasıl çalıştıklarını gösterebilecek büyük miktarda veri içermektedir. Raporlamanın giderek daha fazla talep edilmesiyle, içeriğini işlemenin daha erişilebilir bir yolu gerekmektedir. Sürdürülebilirlik raporlamasına ilişkin ML ve metinsel analiz, bu talebi çözümenin olası bir yoludur. Araştırma alanı hala nispeten yenidir ve sürdürülebilirlik raporları üzerinde ML uygulanmasına ilişkin önceki çalışmalar sınırlıdır.

Sürdürülebilirlik raporları, bir şirketin veya kuruluşun çevresel, sosyal ve ekonomik performansını değerlendiren belgelerdir. Bu raporlar, bir organizasyonun sürdürülebilirlik stratejisini, hedeflerini, politikalarını ve etkinliklerini ortaya koymak için kullanılır. Metin analizi, bu raporların içeriğini anlamak ve değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir.

#### 1.2.1.2. Metin Analizi Nedir?

Metin analizi, doğal dil işleme ve makine öğrenimi tekniklerini kullanarak yazılı metinleri anlama, çözümleme ve anlamsal içeriği çıkarma sürecidir. Metin analizi, metinlerdeki önemli bilgileri keşfetmek, eğilimleri belirlemek ve anlamlı sonuçlar çıkarmak için istatistiksel ve dilbilimsel yöntemleri birleştirir.

Sürdürülebilirlik raporları üzerinde metin analizi uygulamak için aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

**Veri toplama:** İlgili sürdürülebilirlik raporlarını toplayın ve metin analizi için kullanılabilir bir veri kümesi oluşturun.

**Veri temizliği:** Metin analizi için veri kümesini temizleyin. Örneğin, gereksiz semboller, sayılar veya boşluklar gibi gürültüyü kaldırın.

**Metin ön işleme:** Metni ön işleme adımlarıyla hazırlayın. Bu adımlar, metni küçük harflere dönüştürme, noktalama işaretlerini kaldırma, stop kelimeleri çıkarma gibi işlemleri içerir.

**Metin sınıflandırması:** Metin analizi algoritmasını kullanarak raporu sınıflandırın veya etiketleyin. Örneğin, raporun çevresel, sosyal veya ekonomik boyutlarını belirlemek için duyarlılık analizi veya kavramsal analiz yapabilirsiniz.

**İçerik analizi:** Metin içeriğini analiz edin ve önemli kavramları, anahtar kelimeleri, trendleri veya eğilimleri belirleyin. Bunu yapmak için kelime frekansı, kelime dağılımı, coğrafi konumlar veya duygu analizi gibi teknikleri kullanabilirsiniz.

**Sonuç çıkarımı:** Metin analizi sonuçlarını değerlendirin ve sürdürülebilirlik performansı, stratejik hedefler veya riskler gibi konularla ilgili önemli bilgileri çıkarın. Bu bilgiler, karar verme süreçlerinde veya sürdürülebilirlik stratejilerinin iyileştirilmesinde kullanılabilir.

Metin analizi, sürdürülebilirlik raporları üzerinde birçok avantaj sağlayabilir.

**Bilgi keşfi:** Metin analizi, büyük miktarda metin verisini hızlı bir şekilde işleyerek önemli bilgileri keşfetmeye yardımcı olur. Bu sayede sürdürülebilirlikle ilgili trendleri, zayıflıkları veya iyileştirme fırsatlarını tespit etmek kolaylaşır.

**Hızlı ve verimli analiz:** Metin analizi algoritmaları, manuel olarak yapılması zaman alacak olan metinleri otomatik olarak işleyebilir. Bu da daha hızlı ve verimli bir analiz süreci sağlar.

**Duygu analizi:** Metin analizi duygu analizi tekniklerini kullanarak, metinlerdeki duygu ve tutumları belirleyebilir. Bu sayede sürdürülebilirlik performansına yönelik olumlu veya olumsuz tepkileri anlayabilirsiniz.

**Veri tabanlı karar verme:** Metin analizi sonuçları, veri tabanlı karar verme süreçlerinde kullanılabilir. Sürdürülebilirlik raporlarının analizi, şirketin sürdürülebilirlik stratejilerinin geliştirilmesi veya iyileştirilmesi için daha bilinçli kararlar almanıza yardımcı olur.

Metin analizi, sürdürülebilirlik raporları üzerindeki bilgiyi anlamak ve kullanmak için güçlü bir araçtır. Ancak, doğru sonuçlar elde etmek için veri kalitesi, yöntemlerin doğruluğu ve yorumlama becerisi gibi faktörleri dikkate almak önemlidir.

### 1.2.1.3. Tedarik Zincirinde Sürdürülebilirlik Raporlarında Makine Öğrenmesi

#### 1.2.1.3.1. Metin Madenciliği ve Uygulamaları

Metin madenciliği alanı, büyük veri setleri içerisinde değerli bilgilerin çıkarılmasına imkan tanıyan bir metodolojidir ve bu süreç doğal dil işleme, istatistik ve makine öğrenimi tekniklerinin entegrasyonunu içerir. Sürdürülebilirlik raporlarının analizinde metin madenciliği yöntemleri uygulanmıştır:

**Tematik Analiz:** Anahtar kelimeler ve ifadelerin frekansını analiz ederek raporların odaklandığı ana temaları belirlenmiştir.

**Duygu Analizi:** Şirketin sürdürülebilirlik çabalarına ilişkin genel duyarlılığı ölçülmüştür.

**Trend Analizi:** Zaman içinde sürdürülebilirlikle ilgili değişiklikleri izlenmiştir.

Uygulama adımları şu şekildedir.

**Veri Toplama:** İlgilendiğiniz sektör veya şirketlerin sürdürülebilirlik raporlarını toplanmıştır.

**Veri Temizleme:** Metni işlemeye uygun hale getirin, yani gereksiz karakterleri, sayıları ve işaretleri kaldırmıştır.

**Ön İşleme:** Metni ayrıştırın, yani kelimelere veya ifadelerle ayrıştırıldı.

**Analiz:** Tematik analiz, duygu analizi vb. için uygun algoritmaları seçin ve uygulandı.

**Sonuçların Değerlendirilmesi:** Elde edilen verileri analiz edin ve anlamlı sonuçlar çıkarıldı.

Günümüzde sürdürülebilirlik, herkesi etkileyen büyük bir konudur. Örneğin, insanlar bir şeyler satın aldıklarında veya yatırım yaptıklarında, kaynak şirketlerin sürdürülebilirlik açısından performansını düşünürler. Koronavirüs salgını, insanların sürdürülebilirlik sorunları konusundaki farkındalıklarını artırmıştır. Şirketlerin faaliyetlerinin çevre ve toplum üzerinde büyük etkisi olduğu için şirketlerin eylemlerine daha fazla kamu ilgisi vardır. Bu bağlamda, yaklaşık 20 yıl önce şirketler, paydaşlarına ve halka yönelik olarak, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ilişkin amaçlarını ve başarı derecelerini sıralayan yıllık raporlarını finansal raporlarının yanı sıra sunmaya başladılar (Junior et al., 2014). Birçok şirket artık sürdürülebilir kalkınma stratejileri ve uygulamalarını anlamak için önemli bir kaynak haline gelen paydaşları ve kamuyu hedefleyen yıllık raporlar üretmektedir (Calabrese et al., 2017).

Ancak, sürdürülebilirlik raporları yayınlayan şirketlerin sayısının artmasına rağmen, bu raporlar genellikle jargonlarla dolu onlarca veya yüzlerce sayfa içerir, bu da içeriklerini anlamayı ve sürdürülebilirlik trendlerini ve uygulamalarını tanımayı zorlaştırır (Hinds, 1999). Ayrıca, (Carlile & Rebentisch, 2003) tarafından belirtildiği gibi, yüksek uzmanlık gerektiren bilgi kendi terminolojisini geliştirir.

COVID-19 salgını, tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik raporlarının önemini daha da vurgulamıştır. İşte bu önemi anlatan bazı nedenler:

**Krizlerin Etkisi:** COVID-19 gibi beklenmeyen krizler, tedarik zincirlerini büyük ölçüde etkileyebilir. Bu tür krizler, malzeme temini, üretim, lojistik ve dağıtım gibi tüm tedarik zinciri süreçlerini aksatabilir. Sürdürülebilirlik raporları, kriz durumlarına nasıl hazırlandığınızı ve tedarik zincirinizin ne kadar esnek olduğunu anlamak için bir kaynak sağlayabilir.

**Risk Yönetimi:** Sürdürülebilirlik raporları, tedarik zincirlerindeki çevresel, sosyal ve yönetim risklerini değerlendirmeye yardımcı olabilir. Bu raporlar, sürdürülebilirlikle ilgili riskleri tanımlamak ve bu risklere karşı nasıl korunacağınızı anlamak için bir başlangıç noktası sağlar. COVID-19 gibi krizler, tedarik zinciri risklerini öngörme ve yönetme ihtiyacını vurgulamıştır.

**Şeffaflık ve Sorumluluk:** COVID-19 salgını sırasında, tüketiciler ve paydaşlar şirketlerden daha fazla şeffaflık ve sorumluluk beklemişlerdir. Sürdürülebilirlik raporları, şirketlerin tedarik zincirlerindeki faaliyetlerini ve uygulamalarını açıklamalarına yardımcı olur. Bu, tüketicilere ve paydaşlara şirketlerin sürdürülebilirlik taahhütlerine ne kadar sadık olduklarını gösterme fırsatı sunar.

**Kriz Sonrası Dünya:** COVID-19 salgınının sona ermesi, iş dünyasında ve tedarik zincirlerinde kalıcı değişikliklere yol açabilir. Sürdürülebilirlik, gelecekte iş yapma şekillerini ve tedarik zinciri stratejilerini etkileyebilir. Sürdürülebilirlik raporları, şirketlerin kriz sonrası döneme daha güçlü ve sürdürülebilir bir şekilde girmelerine yardımcı olabilir.

**Uzun Vadeli Değer:** COVID-19 gibi krizler, kısa vadeli kâr hedeflerinin yerine uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerine odaklanmanın önemini vurgulamıştır. Sürdürülebilirlik raporları, şirketlerin bu uzun vadeli değeri nasıl oluşturduklarını ve koruduklarını gösterir.

Sonuç olarak, COVID-19 salgını, tedarik zincirlerinde sürdürülebilirlik raporlarının önemini artırmıştır. Bu raporlar, kriz durumlarına hazırlık, risk yönetimi, şeffaflık, sorumluluk ve uzun vadeli değer yaratma açısından kritik bir rol oynamaktadır. Tedarik zinciri sürdürülebilirlik raporları, şirketlerin daha dirençli ve etik bir şekilde iş yapmalarına yardımcı olabilir.

Son 20 yıl boyunca birçok araştırmacı, şirket sürdürülebilirlik raporlarını analiz etme çabasında

bulunmuştur. Örneğin, sürdürülebilirlik trendlerini, ana mesajları ve odak alanlarını analiz etmeye çalışmışlardır, çünkü raporlar arasında geniş bir farklılık bulunmaktadır.

Literatürde; araştırma konumuza katkı sağlayacağı düşünülen birtakım çalışmalar incelenmiş ve bazı temel çalışmalar aşağıda özetlenmiştir;

Tedarik zincirinde risk tahmini ve belirsizlik üzerine öne çıkan birkaç çalışma tartışılmaktadır. Bir acil durum veya pandemi sırasında yürütülmüştür.

Son zamanlarda, araştırmacılar COVID-19 sorunlarının üstesinden gelmek için bazı önemli model tabanlı çalışmalar başlattılar. COVID-19'un yayılması üzerine kavramsal bir model Çin'in Wuhan Şehri dikkate alınarak formüle edilmiş.

(Salem & Haouari, 2017) çalışmasında, beklenen talepteki belirsizliklere dayalı bir tedarik zinciri ağı tasarlamak için üç aşamalı bir stokastik optimizasyon modeli geliştirdi.

(Kumar & Chandra, 2010) çalışmasında, salgının etkisini analiz etmek için bir sistem dinamik modeli önermiştir. Bir bilgisayar üretim şirketi için grip salgınındaki zorluklar ve satış kaybı için lojistik stratejik bir planlama önerilerinde bulunmuştur.

(Oral et al., 2021) çalışmasında, lojistik sektöründe yapay zeka kullanımının işletmelerin verimliliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, lojistik sektöründe kullanılan yapay zeka ve makine öğrenimi uygulamalarını geniş bir perspektifle incelemeyi hedeflemiş, yapay zeka ve makine öğrenimi kavramlarını açıklamış ve lojistikte bu teknolojilerin kullanımına ilişkin uygulamaları ele almıştır.

(Norrman et al., 2020) çalışmasında, Ericsson'un klasik örneğini yeniden gözden geçirerek ve vaka açıklamasını ve SCRM için organizasyon yapısı, süreçleri ve araçlarının analizini güncelleyerek tedarik zinciri risk yönetimi (SCRM) uygulamalarındaki güncel gelişmeleri araştırmıştır.

(Nakiboğlu, 2020), yaşanan üretim kesintilerinin tedarik zinciri problemlerine yol açtığını ve bu durumun küresel ekonomi ve tedarik zincirleri üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Çalışma, COVID-19 salgınının tedarik zincirlerini nasıl ve neden etkilediğini detaylandırmış ve tedarik zincirlerinin gelecekteki kırılganlıklarını azaltmak için yeniden yapılandırılması gereken alanları tartışmıştır. Bu çalışmalar, konumuzla ilgili literatürde önemli bir yere sahip olup, konuya sağladıkları katkılar dikkate değerdir.

(Weng et al., 2020) çalışmasında, tedarik zinciri satışlarını doğru bir şekilde tahmin edebilen bir model tasarlamayı amaçlamıştır. Büyük veri ve yapay zekanın hızla gelişmesiyle, uzun vadeli mal satışlarını doğru bir şekilde tahmin etmek için büyük veri analizi ve algoritma teknolojilerini kullanmak, tedarik zinciri için veri tabanı ve işletmelerin tedarik zinciri çözümleri oluşturmayı hedeflemiştir.

(Kinra et al., 2020) çalışmasında, metinsel büyük veri analitiğine dayalı bir ülke lojistik performans değerlendirme yaklaşımının geliştirilmesi potansiyelini araştırmıştır.

(Tay & Loh, 2022) çalışmasında, tedarik zincirlerinde iyileştirmeleri yönlendirmek için yapılandırılmış bir Yalın Altı Sigma'nın Tanımla-Ölç-Analiz Et-Kontrol Et (DMAIC) problem çözme yaklaşımına dayanan kavramsal bir çerçeve sunmaktadır. Kavramsal çerçeve ayrıca, daha büyük tedarik zinciri performansı elde etmek için Yalın Altı Sigma perspektifi entegre edilecek büyük veri için sistematik bir yaklaşım sağlar.

(Aleta et al., 2020) çalışmasında, pandemi talepleri için acil ve hızlı kararlar almak zorunda kalınmıştır. Bu aşamayı yürütmek için planlar ve çerçeveler etrafında lojistik ve tedarik zinciri yönetiminde (LSCM) bazı noktalara değinilmesi gerekliliğini açıklamıştır.

(Williamson et al., 2020) çalışmasında, acil durum programlarını artırmak, pandemi hazırlığını geliştirmek ve bir salgın/pandemik durumunda çeşitli hazırlık planlarını geliştirdi LSCM'ye söz konusu olduğunda, bu tür planlarla ilgili bazı dikkat çekici noktalar şu şekilde sıralanmıştır: Temel malların kaynak tanımlaması, Satın alınan mallar için sözleşmelerin yönetimi ve stokların geliştirilmesi, Kişisel koruyucular da dahil olmak üzere tıbbi ekipmanın periyodik analizi ve güncellenmesi, kitler (PPK'ler), Stoklama depo yerlerinin belirlenmesi ve kapasitelerinin değerlendirilmesi, temel mallardan dağıtım için optimize edilmiş ulaşım ağı sistemlerinin planlanması ve tasarımı, Mevcut sağlık bakım kapasitelerini genişletmek için yerlerin belirlenmesi, Doğrudan ve dolaylı ekonomik kaynakların yeterli mevcudiyetini sağlamak gibi bulgular elde etmiştir.

(Büyüktaktın et al., 2018) çalışmasında, bir karma tamsayı programlama (MIP) modelini, Ebola Virüsü hastalıklarını kontrol etmek için lojistik konuları göz önünde bulundurarak çalışmıştır.

Benzer şekilde, (Weng et al., 2020) çalışmasında, Domuz gripinin yayılmasını kontrol etmek için bir karışık

tamsayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) modelini özetledi.

Küresel bir salgının panoramasından (Zlojutro et al., 2019) çalışmasında stokastik bir model geliştirerek çerçeveyi desteklemek virtüsün yayılmasına neden olan hava yolculuğu yoluyla çok mallı ağ akışı ve yolcu hareketi dikkate alarak, sınır kontrol stratejileri oluşturulmuş. İhtiyaç duyulan seyahatleri engelleyerek olgunlaşmamış bir aşamada salgın kontrol kaynaklarının planlı bir şekilde tahsisi tavrı oluşturuldu. Daha önce, araştırmacılar Tedarik zinciri ağındaki çok sayıdaki belirsizlikleri fethetmek için simülasyonlar ve optimizasyon modelleri oluşturmuştur. Örneğin, (Dubey et al., 2018) çalışmasında, çevikliğe ve dayanıklılığa dayalı afet öncesi ve afet sonrası performans için Tedarik zinciri modelini kavramsallaştırmıştır.

(Ivanov & Dolgui, 2020) çalışmasında, pandemi öncesi ve sonrasını (Oliveres-Aguila & ElMaraghy, 2020) tarafından, değerlendirmek için dinamik bir model önerdi. Farklı senaryolarda tedarik zincirinin hizmet seviyesi kısmi ve tam kesintileri göz önünde bulundurmıştır.

(Ivanov & Dolgui, 2020) çalışmasında, bir lojistik hizmet sağlayıcısı gelişen teknolojilerde, tedarik zinciri teslim süresi ile sözleşme maliyetleri arasındaki dengeyi inceleyen akıllı bir dinamik model sistemi kurdu. Olay odaklı dinamik bir yaklaşım uygulamayı amaçlamıştır.

(Fragapane et al., 2023) çalışmasında, analitik bir esnek üretim sistemi modeli geliştirdi. Modeli geliştirmek için otonom mobil robotlar kullanarak yükleme veya boşaltma işlemi sırasını inceleyerek sistemin üretkenliğini ve esnekliğini gözden geçirdi. Lojistik zorlukların ve satışların stratejik planlaması güçlü, orta ve hafif senaryolar etkisini inceledi.

(Prager et al., 2011) çalışmasında, bir ayrık olay simülasyonu geliştirdi kalabalık, personel seviyeleri ve yüzde gibi çeşitli faktörleri göz önünde bulundurarak model Sağlık kuruluşlarına giren bulaşıcı bireylerin tesis konumları ile ilgili çeşitli çözümler önermiştir. Çözümler araştırmalarında sağlanan P-medyan ve P-merkezi gibi modeller, çeşitli sezgisel ve dinamik programlama yaklaşımları oluşturuldu.

(Hutton et al., 2007) çalışmasında, Yeterli sanitasyon tesisleri ve kanun ve düzeni sağlamanın yanı sıra, kontrolün başarısı bunun gibi önlemler, temel mallardan sorunsuz akışı sağlayan eşit derecede verimli LSCM operasyonları gerektirir. Çeşitli metin madenciliği

yöntemlerini kullanarak sürdürülebilirlik raporlarını analiz eden ilgili çalışmaların özeti verilmiştir.

Shahi et al. (2012), şirketlerin çevresel raporlarını 10 sürdürülebilirlik kriterine dayalı olarak değerlendirmek için bir veri madenciliği yaklaşımı kullanmış. Raporların iş yapısına bağlı olarak farklılık gösterdiğini göstermiş. Metin madenciliği ve çoklu ayrımcı analiz kullanarak, Modapothala et al. (2009), şirketler tarafından yapılan açıklamaların endüstri sektörleri arasında farklılık gösterdiğini bulmuş. Ayrıca çevresel değişkenin raporlardaki daha büyük bir önemli katkı faktörü olduğunu belirtmiştir. Modapothala & Issac (2009), sürdürülebilirlik raporlarının zorlu manuel puanlama sürecini otomatize etmek için makine öğrenme ve metin kategorizasyonu kullanarak akıllı bir yazılım sistemi geliştirmiştir.

(Te Liew et al., 2014), tarafından yürütülen çalışmada, bir şirketin sürdürülebilirlikle ilgili terimlerin kullanım sıklığını metin madenciliği yöntemleri kullanarak analiz edilmiş ve işletmenin sürdürülebilirlik pratikleri ile ilgili sektörel sorunlar belirlenmiştir. (Landrum et al., 2018), sürdürülebilirlik raporlarının şirketlerin dünya görüşünü yansıttığını ve bu raporların bir şirketin sürdürülebilirlik anlayışını anlamak için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, en yaygın dünya görüşünün sürdürülebilirlik ile ilgili iş durumu olduğunu tespit etmişlerdir. (Amini et al., 2018), Leximancer adlı içerik analizi aracını kullanarak sürdürülebilirlik raporlarının kavramsal ve tematik yapısını nicel bir ölçümle değerlendirmeye çalışmış ve işletmeler arasında iş, çalışanlar ve enerji/çevre gibi üç ana tema üzerindeki göreceli vurgularda önemli farklılıklar gözlemlemişlerdir. (X. Wang et al., 2020), denizcilik endüstrisinin sürdürülebilirlik çabalarının farklı motivasyonlarını ve kapsamlılık düzeylerini belirten birleşik bir çerçeve önermişlerdir. Özellikle sürdürülebilirlik raporlarının metin içeriğini 17 sürdürülebilir kalkınma hedefine (SDG) dayalı olarak kategorilendirilmiş. Önceki çalışmalar şirketlerin çeşitli sürdürülebilirlik çabalarını anlamamıza katkıda bulunmuş olsa da bazı eksiklikler bulunmaktadır. İlk olarak, kelime frekansına dayalı metin analizi gibi metin madenciliği, cümlenin anlamsal bağlamını dikkate almaz. Kelimeleri kullanım bağlamlarından ayrı, ayrı olarak ele alır (Brookes & McEnery, 2019). Konu modelleme, önceki çalışmalarda sürdürülebilirlik raporlarının içeriğini analiz etmek için en yaygın kullanılan NLP yöntemidir. Bu istatistiksel analiz, belgelerin büyük bir kümesinde önemli konuları otomatik olarak bulmak için kelimenin orijinal metin içindeki frekansını ve eşleşme desenlerini kullanır

(Benites-Lazaro et al., 2018). Konu modelleme yapmak için genellikle Python (Ozgun et al., 2017) ve R gibi açık kaynaklı programlama dilleri kullanılır, ancak metin madenciliği yazılımları (Sotiriadou et al., 2014), WordStat (Davi et al., 2005), LIWC (Tausczik et al., 2010) ve DICTION (Short & Palmer, 2008) gibi yaygın bir şekilde kullanılır. İkincisi, belirli bir metin içindeki kelimelerin frekansını sayan istatistiksel bir analiz, önceden belirlenmiş bir tema yapısına göre içeriğin nicel ölçümlerini yapamaz. Bu teknik sınırlamalar nedeniyle (X. Wang et al., 2020), her paragrafı bir SDG ile eşleştirmek için manuel sınıflandırma kullandı. Ancak aynı anda yüz binlerce raporu analiz ederken, manuel sınıflandırmadan ziyade otomatik sınıflandırma tekniği gereklidir. Manuel sınıflandırma aynı zamanda araştırmacıların öznel görüşlerinin yansıtılabileceği için dikkatli olunmalıdır. (Székely & Vom Brocke, 2017), araştırmacıların öznel görüşlerine dayalı olarak konuların etiketlenmesinin tamamen farklı sonuçlar yaratabileceğini belirtti. Sosyal medya verilerini 17 SDG'ye göre otomatik olarak sınıflandıran çalışmalar olsa da, bazı sınırlamalar hala mevcuttur. (Reyes-Menendez et al. 2018), önce Python kullanarak Twitter verileri üzerinde duygu analizi yaptı ve ardından bunları kalitatif analiz yazılımı NVivo Pro 12 ile 17 SDG'ye göre Zero shot learning modeli kullanılmıştır.

## 2. ANALİZ METODU

Şirket sürdürülebilirlik raporlarından anahtar ilgili bilgileri çıkarmakta yaşanan bu zorluklar, rapor içeriğini etkili bir şekilde ölçen ve değerlendiren metriklerin gerekliliğini vurgulamıştır.

Bu çalışmada, daha önceki çalışmalarda yaygın olarak kullanılan kelime frekansına dayalı yöntemlerin sınırlamalarını ortaya koyarak ve bu sınırlamaları aşan yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Özellikle metin bağlamını içermeyen kelime frekansına dayalı yöntemin kullanımını önlemek için, cümlenin en küçük birim olarak ele alındığı ve cümleler arasındaki benzerliği hesaplayan bir cümle benzerliği yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, sürdürülebilirlik raporlarının içeriğini daha doğru bir şekilde analiz etmek için önceden eğitilmiş bir dil modeli kullanılmıştır.

Ayrıca, cümle benzerliği yöntemi aracılığıyla, önceden belirlenmiş tematik yapıya göre içeriği nicel bir ölçüm yapılmıştır. Diğer bir deyişle, SDG çerçevesini kullanarak raporlardaki cümlelerin her birinin SDG'den hangisine ne kadar benzediği ölçülmüş ve raporda her bir hedef hakkında ne kadar bilgi içerdiğini ölçülerek şirketlerin sürdürülebilirlik desenleri çeşitli dönemler

boyunca belirlenebilmektedir. Karşılaştırma yapmak için, şirketlerin işlerini SDG'lerle uyumlu hale getirmeleri için sağlanan SDG yi temsil eden cümleler kullanılmıştır. Rehber, her bir hedef için işin rolünü, temel iş temalarını, temel iş eylemlerini ve çözümleri ve temel iş göstergelerini içerir. Bu çalışmada geniş sürdürülebilirlik sorunlarını ele alan SDG çerçevesi kullanılsa da, çalışmanın amacına bağlı olarak farklı çerçeveler benimsenebilir.

Ayrıca, raporlardaki bilgi dengesini incelemek için duygu analizi kullanılmıştır. Pozitif ve negatif bilgi dengesi arasındaki trend, pozitif bilgi seçici raporlama eğilimini belirlemek için önemli bir gösterge olabilir.

### 2.1. Veri Toplama

2019'den 2021'e kadar ankette ilk 25'te yer alan küresel sürdürülebilirlik lideri şirketlerin sürdürülebilirlik raporlarını toplanmıştır. Bu çalışmada ele alınan şirketler, 2019'dan 2021'e kadar en iyi 25 şirketi ve sıralamalarını içeren Şekil 2'de, ilk sütunda numaralandırılarak gösterilmiştir.

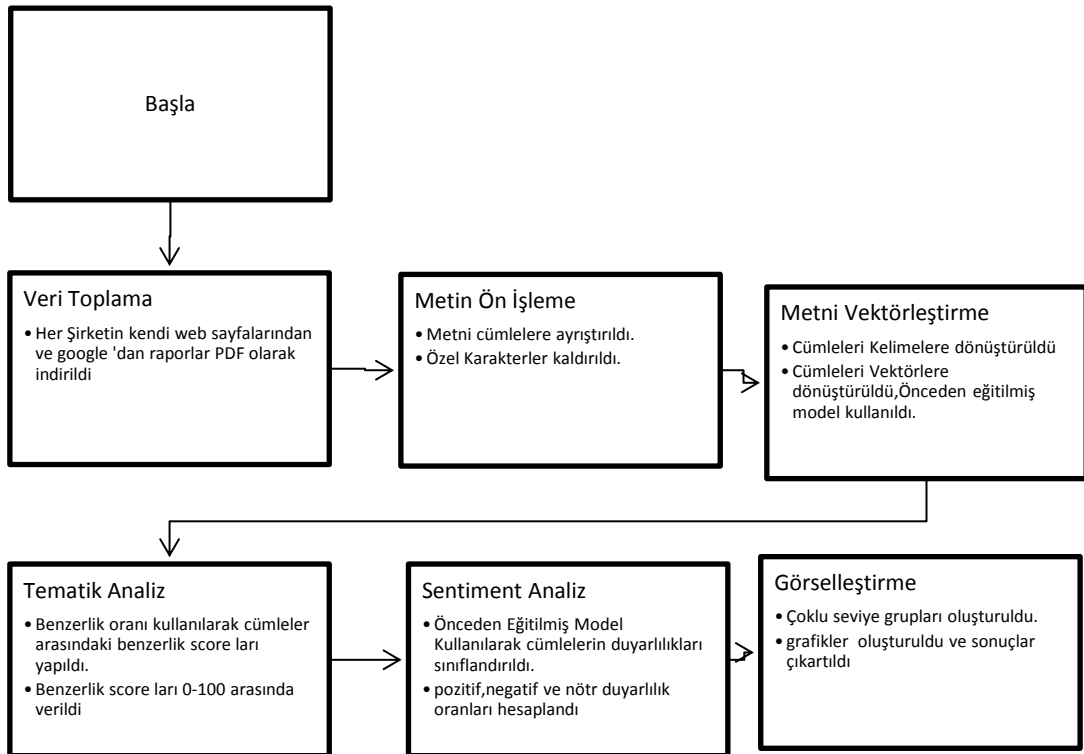
<https://brandirectory.com/rankings/logistics/> internet sitesindeki en iyi lojistik markalarının sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu sıralamaya göre markaların kendilerine ait 2021,2020,2019 yıllarına ait sürdürülebilirlik raporları PDF dosyalarında indirilmiştir. 25 şirketin sürdürülebilirlik raporları, kendi web siteleri veya Google araması aracılığıyla PDF dosyaları halinde indirilmiştir. 20 şirketin sürdürülebilirlik raporlarına ulaşım sağlanabilmiştir. Ayrıca bir firmada sürdürülebilirlik raporunu Almanca dilinde vermiştir. Elde edilen 42 rapor PDF dosyası halinde toplanmıştır. 2019 ve sonrası yılları seçmemizin nedeni pandeminin etkisini raporlarda daha etkili görebilmektir. Bu makalede incelenen şirketlerin listesi Şekil 2 'de ve sürdürülebilirlik raporlarının analiz aşamaları Şekil 3 'te özetlenmiştir.

## Brand Finance Logistics 25 (USD m).

Top 25 most valuable logistics brands

2021 Rank	2020 Rank	Brand	Country	2021 Brand Value	Brand Value Change	2020 Brand Value	2021 Brand Rating	2020 Brand Rating
1	1	UPS	United States	\$30,056	+1.9%	\$29,482	AA+	AAA-
2	2	FedEx	United States	\$23,539	+2.4%	\$22,990	AA	AA+
3	3	Uber	United States	\$20,478	+33.9%	\$15,298	AA-	AA+
4	4	JR	Japan	\$11,697	-3.2%	\$12,079	AA-	AA
5	5	DHL	Germany	\$9,513	-5.7%	\$10,092	AA-	AA
6	7	BNSF	United States	\$7,635	+2.0%	\$7,487	AA-	A+
7	6	Union Pacific	United States	\$7,536	-13.7%	\$8,738	AA+	AA+
8	12	SF Express	China	\$7,035	+54.4%	\$4,555	AA+	AA
9	8	China Post	China	\$5,454	-24.5%	\$7,224	A	A+
10	9	McLane	United States	\$4,411	-24.6%	\$5,888	A+	A+
11	14	La Poste	France	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
12	10	Canadian National Railway	Canada	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
13	17	Maersk	Denmark	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
14	11	CSX	United States	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
15	-	New USPS	United States	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
16	16	DB	United Kingdom	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
17	13	Deutsche Post	Germany	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
18	15	Worltek Southern	United States	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
19	21	Japan Post	Japan	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
20	19	MTR	China	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
21	18	Russian Railways	Russia	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
22	20	Kuehne + Nagel	Switzerland	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
23	22	DSV	Denmark	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
24	25	Yunda Express	China	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒
25	23	CP	Canada	🔒	🔒	🔒	🔒	🔒

Şekil 2. 2021'den 2020'ye kadar kurumsal sürdürülebilirlik lideri sıralamalarının özeti



Şekil 3. Analiz akış şeması

### 2.2. Metin Ön İşleme

Metin ön işleme, Doğal Dil İşleme'de (NLP) önemli bir adımdır çünkü metin madenciliğinin son performansını etkileyebilir (Camacho-Collados & Pilehvar, 2017). Buna göre PDF dosyalarından elde edilen metin verileri

iki adımda ön işleme tabi tutuldu: (1) metnin cümlelere bölünmesi ve (2) klavyelerde bulunmayan özel karakterlerin elenmesi. Metin, Python'daki en popüler NLP kütüphanelerinden biri olan NLTK'deki (Bird, 2006) 'sent\_tokenize' modülü kullanılarak cümlelere bölündü. Belirteç, İngilizce için önceden eğitilmiş bir

algoritma kullanarak metni bir cümle listesine böler. Daha sonra klavye üzerinde bulunan sayısal, alfabeve dair ve özel karakterler dışındaki diğer tüm karakterlerin boşluk ile değiştirilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Vektörleştirme işlemi için, 42 adet sürdürülebilirlik raporundan toplamda 30.751 cümle ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri kapsamında 12.741 temsili cümle toplanmıştır. Tablo 3 ve Tablo 4, metnin işlenmesi öncesine ait ilk ve son beş cümleyi sergilemektedir. İşlem sonrası elde edilen cümlelerin bir kısmı bu ön işleme tabi tutulmuştur.

### 2.3. Tematik Analiz

'Tematik analiz' terimi farklı bağlamlarda farklı anlamlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda tekrarlanan temaları ve kalıpları belirleme sürecine atıfta bulunarak 'içerik analizi' ile birbirinin yerine kullanılır (Clarke & Braun, 2017). Bu çalışmada sürdürülebilirlik raporlarının içeriğini önceden tanımlanmış tema yapısına göre niceliksel olarak ölçmek için bu terimi kullandık. Analiz, bir şirketin sürdürülebilirlik raporlarındaki cümleler ile her bir Sürdürülebilir Kalkınma Hedefindeki temsili cümleler arasındaki benzerliklerin, şirketin ana kaygısını ve vurgusunu yansıttığı varsayımıyla gerçekleştirildi. Belirli bir cümle, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'nden birindeki temsili cümlelere ne kadar benzerse, şirketlerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'ne verdiği önem de o kadar artar ve dolayısıyla Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi şirketler için o kadar önemli olur.

#### 2.3.1. Yöntem Seçimi

Daha önce de belirtildiği gibi, kelime sıklığına dayalı konu modelleme yönteminin bir sınırlılığı, raporların önceden tanımlanmış tema yapısına göre analiz edilememesidir. Verileri manuel olarak sınıflandıran veya metin analiz yazılımı kullanan çalışmalar olmasına rağmen, bu çalışmada içeriği önceden tanımlanmış bir tema yapısına göre niceliksel olarak analiz eden ve aynı zamanda metin analizi yapabilen iki yöntemin (anahtar kelime eşleştirme yöntemi ve cümle benzerliği yöntemi) performansını karşılaştırdık. Python programlama dili ile çalışma yapılmıştır. Anahtar kelime eşleştirme yöntemi Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'nin her birini temsil eden anahtar kelimeleri çıkarır. Daha sonra rapordaki cümlelerde temsili kelimelerin ne sıklıkla yer aldığının oranını hesaplıyor. Cümle benzerliği yöntemi, NLP'nin önceden eğitilmiş modelini kullanarak cümleleri kelimelere bölmeden cümleler arasındaki benzerliği ölçer.

#### 2.3.3. Cümle Benzerliği Ölçümü

Sürdürülebilirlik raporlarının kavramsal ve tematik kalıplarını ortaya çıkarmak için, bir rapordaki her cümle ile Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi'ni temsil eden cümleler arasındaki benzerliği hesaplamak gerekiyordu. Belge benzerliği ölçümü için kosinüs benzerliği yaygın olarak kullanılmaktadır çünkü bu metriğin kelimelerin yeniden düzenlenmesi, yazım hataları ve dizelerdeki diğer farklılıkların ele alınmasında güçlü olduğu kanıtlanmıştır (Tata & Patel, 2007). Kosinüs benzerliği, vektör yönelimini vektör büyüklüğünden bağımsız olarak dikkate alır. Bir cümleyi bir vektöre dönüştürmek, yüksek boyutlu bir seyrek matris üretme eğiliminde olduğundan, bu tür seyrek matrisler için vektörün boyutuna dayalı benzerlik ölçümlerinin kullanılması, doğruluğun düşük olmasına neden olur. Bu nedenle, belge boyutundan bağımsız olarak benzerlik derecesi ölçülürken kosinüs benzerliği avantajlıdır. Bu çalışmada da kosinüs benzerliği kullanılmıştır, çünkü SBERT modeliyle iki cümle yerleştirilmesi arasındaki benzerliğin karşılaştırılmasında Manhattan ve Öklid uzaklıkları sonuçlarıyla anlamlı bir fark yoktur (Reimers & Gurevych, 2019).

#### 2.3.4. Metin Vektörleştirilmesi

Niceliksel analizin gerçekleştirilebilmesi için insanların kullandığı doğal dilin, makinenin okuyabileceği sayısal özelliklere dönüştürülmesi gerekir. Cümleleri vektörlere dönüştürmek için önceden eğitilmiş 'MiniLM katman 6 sürüm 2' modelini kullandık. Nihai modelin doğruluğunu artırmak için önceden eğitilmiş bir modelin kullanılması, NLP sisteminin önemli bir parçası haline geldi (Turian et al., 2010). MiniLM (W. Wang et al., 2020) modeli, BERT'in damıtılmış versiyonlarından biridir (Devlin et al., 2018). Birçok model arasından genel bilgisayar ortamlarında kullanılacak hızlı ve yüksek performanslı bir model seçtik (Mokoatle et al., 2023). Modeli içe aktarmak için Python'daki 'sentence transformer' kütüphanesini kullandık (Reimers & Gurevych, 2019).

## 3. ANALİZ

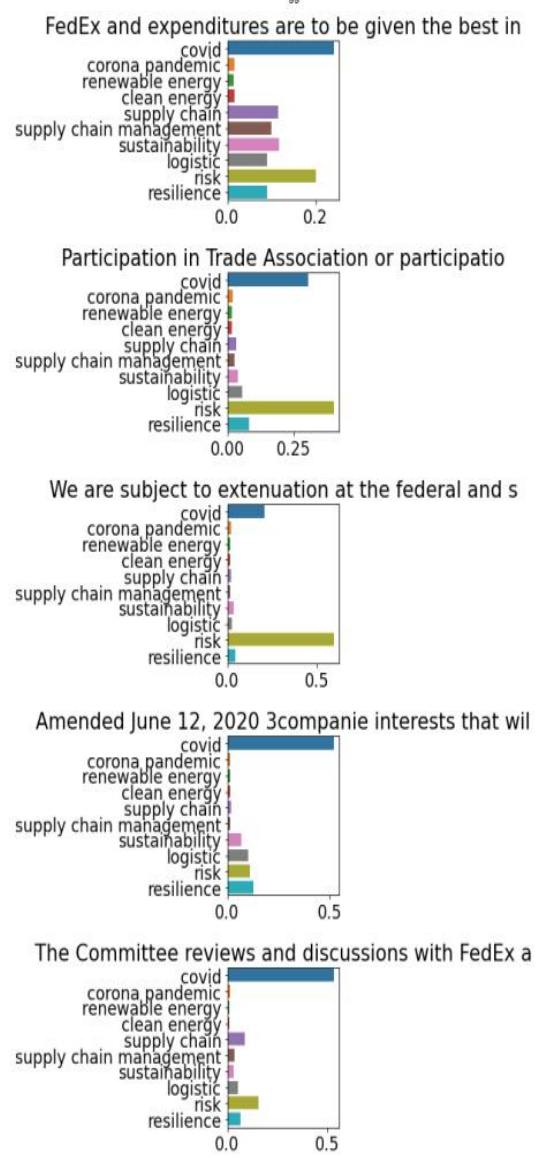
Yirmi şirketin sürdürülebilirlik raporları, web siteleri veya Google araması aracılığıyla PDF dosyaları halinde indirilmiştir. Toplam 60 rapor, 20 şirketten elde edilerek toplanmıştır. Bu makalede incelenen şirketlerin listesi Şekil 2 'de ve sürdürülebilirlik raporları Tablo 1 de özetlenmiştir. PDF dosyaları genellikle yalnızca metni değil aynı zamanda tabloları ve görüntüleri de içerir. Bu çalışma yalnızca metinsel verileri analiz etmeyi amaçladığından metin bloklarını Python'daki PDF işleme kütüphanelerinden biri olan PyMuPDF (McKie)



kullanarak çıkardık. Birçok kütüphane arasından PyMuPDF'yi seçtik çünkü bu kütüphane belgenin şifresini çözmeyi ve 'text', 'block', 'words', 'html' ve 'JSON' gibi farklı metin çıkarma formatlarını destekliyor. Ayrıca, 10'dan az kelime içeren metin blokları, başlıkları ve cümlelerin parçası olmayan bir grup tek kelimeyi hariç tutmak için kaldırılmıştır. Tablo 1'de dosya adı ve elde edilen cümleler verilmiştir.

**Tablo 1.** Pdf dosyalarından elde edilen cümleler

Sıra	doc_id	fname	sentence
0	2	2020-CSX-Annual-Report.pdf	A leading supplier of rail-based freight transportation, CSX is powered to deliver comprehensive service solutions.
1	2	2020-CSX-Annual-Report.pdf	A leading supplier of rail-based freight transportation, CSX is powered to deliver comprehensive service solutions.
2	2	2020-CSX-Annual-Report.pdf	508 miles Distance CSX moves one ton of freight on a single gallon of fuel CDP A-List ranking in eighth year on the global environmental leadership listing 10 consecutive years on Dow Jones Sustainability North America listing, with across-the-board improvement in ESG scores Newsweek Magazine "America's Most Responsible Companies" list Ranked as America's top railroad for corporate responsibility and second among all U.S. travel, transport and logistics companies Wall Street Journal "100 Most Sustainably Run Companies" list Highest ranked transportation company among reputable publicly traded companies on publication's listing
3	2	2020-CSX-Annual-Report.pdf	508 miles Distance CSX moves one ton of freight on a single gallon of fuel CDP A-List ranking in eighth year on the global environmental leadership listing 10 consecutive years on Dow Jones Sustainability North America listing, with across-the-board improvement in ESG scores Newsweek Magazine "America's Most Responsible Companies" list Ranked as America's top railroad for corporate responsibility and second



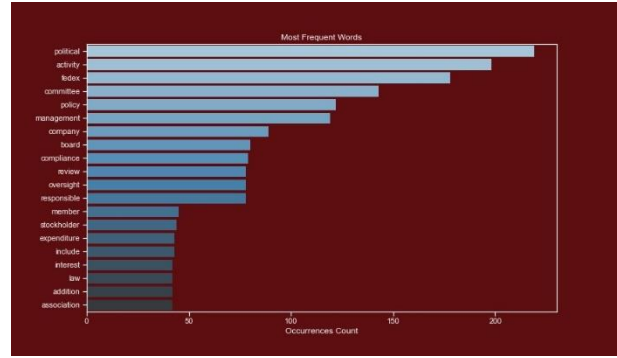
**Şekil 4.** Araştırılan şirketlerin ilgili alanlarla olan score değerleri

Şekil 4'te covid, logistic, risk gibi etiketler oluşturularak tüm raporlardaki sınıflandırma oluşturularak label ve score değerleri elde edilmiştir ve buradan covid ve risk cümlelerin fazlalığı göze çarpmıştır. Burada amaç bir zero shot learning sayesinde "facebook/bart-large-mnli" eğitilmiş modeli kullanılmıştır. Yukarıdaki şekilde raporlarının bazılarının "covid, corona pandemic, clean energy, supply chain, supply chain management, sustainability, risk, resilience" sınıflandırması yapılmıştır. Şekil 5 de ise genel olarak bir excel dosyası oluşturulmuştur.

	text	score	text_en	label
89	Amended June 12, 2020 3company interests that ...	3	Amended June 12, 2020 3company interests that...	covid
43	In addition, management is responsible for mon...	2	In addition, management is concerned for monit...	risk
69	The Committee reviews and discusses with FedEx...	-1	The Committee reviews and discussions with Fed...	covid
90	Compliance and Oversight Management is respons...	0	Compliance and Oversight Management is relevan...	covid
80	The Nominating & Governance Committee of the F...	-1	The Nominating & Government Committee of the F...	covid
66	Compliance and Oversight Management is respons...	0	Compliance and Oversight Management is relevan...	covid
81	The Committee reviews and discusses with FedEx...	-1	The Committee reviews and discussions with Fed...	covid
9	In addition, FedEx does not make corporate con...	0	In addition, FedEx does not make corporate con...	risk
95	Amended June 12, 2020 3company interests that ...	3	Amended June 12, 2020 3company interests that...	covid
70	The Committee also periodically reviews and di...	1	The Committee also periodically reviewed and d...	covid
41	Amended June 12, 2020 3company interests that ...	3	Amended June 12, 2020 3company interests that...	covid
58	The Committee also periodically reviews and di...	1	The Committee also periodically reviewed and d...	covid
27	Participation in Trade Associations \nOur p...	2	Participation in Trade Association or particip...	risk
17	The FedExPAC keeps \nemployees aware of import...	3	The FedExPAC keeps employees aware of importan...	covid
39	The Committee reviews and discusses with FedEx...	-1	The Committee reviews and discussions with Fed...	covid
50	The Nominating & Governance Committee of the F...	-1	The Nominating & Government Committee of the F...	covid
15	In addition, employees may \nnot make or commi...	0	In addition, employees May not make or commit L...	risk
74	The Nominating & Governance Committee of the F...	-1	The Nominating & Government Committee of the F...	covid
57	The Committee reviews and discusses with FedEx...	-1	The Committee reviews and discussions with Fed...	covid
59	Amended June 12, 2020 3company interests that ...	3	Amended June 12, 2020 3company interests that...	covid
54	Compliance and Oversight Management is respons...	0	Compliance and Oversight Management is relevan...	covid
0	FedEx Corporation \nPolicy on Political Contr...	0	FedEx Corporation Policy on Policy Controls Co...	covid
42	Compliance and Oversight Management is respons...	0	Compliance and Oversight Management is relevan...	covid
	text	score	text_en	label
13	Employees are free to support the \npolitical ...	3	Employees are free to support the political pr...	covid
22	Requests for the FedExPAC to make a political ...	0	Recommendations for the FedExPAC to make a pol...	covid
2	Through our participation and that of our \nem...	-2	Through ur participation and that of employees...	logistic
82	The Committee also periodically reviews and di...	1	The Committee also periodically reviewed and d...	covid
24	The FedExPAC contributes into the campaigns of...	1	The FedExPAC contributions to the camps of can...	risk
96	Compliance and Oversight Management is respons...	0	Compliance and Oversight Management is relevan...	covid
38	The Nominating & Governance Committee of the F...	-1	The Nominating & Government Committee of the F...	covid
1	We are subject to extensive regulation at the ...	0	We are subject to extenuation at the federal a...	risk
68	The Nominating & Governance Committee of the F...	-1	The Nominating & Government Committee of the F...	covid
5	Political contributions of all types are subje...	0	Political agreements of all years are subject ...	risk
34	The Committee also periodically reviews and di...	1	The Committee also periodically reviewed and d...	covid
52	The Committee also periodically reviews and di...	1	The Committee also periodically reviewed and d...	covid
19	decisions about membership \nin the FedExPAC h...	0	Decisions aout membership in the FedExPAC have...	risk
4	FedEx's political \ncontributions and expendit...	3	FedEx and expenditures are to be given the bes...	covid
7	In addition, while some U.S. states allow corp...	-1	In addition, with some U.S. states allow corpo...	risk
77	Amended June 12, 2020 3company interests that ...	3	Amended June 12, 2020 3company interests that...	covid
28	Participation as a member of these associatio...	0	Participation as a member of those contributi...	risk
72	Compliance and Oversight Management is respons...	0	Compliance and Oversight Management is relevan...	covid
64	The Committee also periodically reviews and di...	1	The Committee also periodically reviewed and d...	covid
87	The Committee reviews and discusses with FedEx...	-1	The Committee reviews and discussions with Fed...	covid
25	Other contribution considerations include prio...	2	Other coordination consultations include prior...	covid
93	The Committee reviews and discusses with FedEx...	-1	The Committee reviews and discussions with Fed...	covid
88	The Committee also periodically reviews and di...	1	The Committee also periodically reviewed and d...	covid

Şekil 5. Elde edilen verilerin Covid-Risk scorelarının sonuçları

Burada cümlelerin ingilizce dilindeki score ve label durumlarına ilişkin bir tablo oluşturulmuştur.



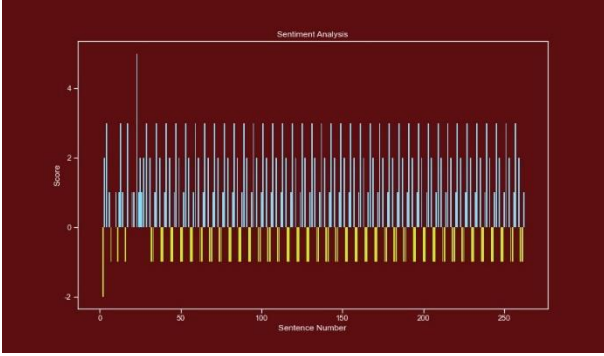
Şekil 6. Elde edilen verilerde en çok kullanılan kelimeler

Şekil 6'da geçen kelimelerin grafiği elde edilmiştir. Şekil 6'da şirketlerin yönetimi ve politika kelimelerin daha çok bahsedildiği görülmektedir. Şekil 6 sonucuna göre şirket politikasının tedarik zincirinde sürdürülebilirlik için önemli olduğu ve TÜSİAD (Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği) 7 adımda Tedarik Zinciri Sürdürülebilirliğin 2.adımı olan politikayı oluştur adımı öngörülmektedir. TÜSİAD raporuna göre tedarik zincirinin sürdürülebilir bir şekilde yeniden yapılandırılmasına yönelik verilen taahhütlerin, organizasyonun çeşitli departmanlarının hedef ve stratejilerine bütünsel bir entegrasyon süreci gerektirir. Bu süreçte, hedeflere ulaşımı sağlayacak politikaların hazırlanması, kapsamlı ve bütüncül bir yaklaşımın benimsenmesini zorunlu kılar. Bu yaklaşım, tedarik zinciri stratejilerinin, organizasyonel hedeflerle uyumlu bir şekilde, tüm departmanlar arası koordinasyon ve işbirliğini temel alarak geliştirilmesini içermelidir (Kantarıcı et al., 2017).

Unnamed: 0	doc_id	fname	sentence	label	score
0	0	2 2020-CSX-Annual-Report.pdf	A leading supplier of rail-based freight trans...	Positive	1.00
1	1	2 2020-CSX-Annual-Report.pdf	A leading supplier of rail-based freight trans...	Positive	1.00
2	2	2 2020-CSX-Annual-Report.pdf	508 miles Distance CSX moves one ton of freig...	Positive	0.99
3	3	2 2020-CSX-Annual-Report.pdf	508 miles Distance CSX moves one ton of freig...	Positive	0.99
4	4	2 2020-CSX-Annual-Report.pdf	650+ CSX employee volunteerism hours contrib...	Positive	0.96
...	...	...	...	...	...
30787	30787	42 yunda.pdf	OUTPERFORM: Our analysts expect the stock s ...	NaN	0.00
30788	30788	42 yunda.pdf	Copyright of this report belongs to CICC.	NaN	0.05
30789	30789	42 yunda.pdf	Any form of unauthorized distribution, repro...	NaN	0.00
30790	30790	42 yunda.pdf	China International Capital Corporation Limite...	NaN	0.91
30791	30791	42 yunda.pdf	China Tel: (+86-10) 6505 1166 Fax: (+86-10) 65...	NaN	0.03

Şekil 7. Sentiment Analizi sonuçlarının bir kısmı

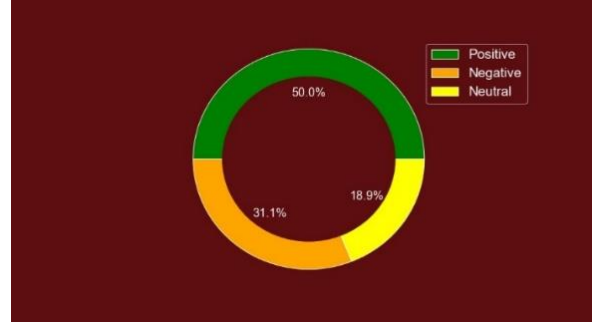
Şekil 7'de sentiment analizi sonucunda oluşturulan positive-negative-nötr sonuçlarının excel hali görülmektedir.



Şekil 8. Sentiment Analizi sonuçlarının grafiksel sonuçları

Duygu analizi, metnin duygularının ve öznelliğinin hesaplamalı olarak işlenmesidir (Medhat et al., 2014). Bu makine öğrenimi tekniği hâlâ devam eden bir araştırma alanıdır ancak internette gelen metin verilerinin artan miktarı nedeniyle hem araştırma hem de iş dünyasında popülerdir (Hoang et al., 2019). Bu çalışmada duygu analizinin amacı, şirketlerin olumlu bilgileri seçici olarak raporlama eğilimlerini tespit etmek amacıyla raporlardaki olumlu ve olumsuz bilgi dengesini incelemektir. Bu amaçla, Bölüm 3.2'deki metin ön işlemeden sonra elde edilen aynı cümleleri ve 'DistilBERT bazlı kaplanmamış ince ayarlı SST-2' modelini kullandık. İçeriğin olumlu-olumsuz duyarlılık oranını hesaplanmıştır. Stanford Sentiment Treebank veri kümesiyle ince ayarlı bir model olan DistilBERT, BERT'in dil anlama yeteneklerinin %97'sini koruyan daha hızlı ve daha hafif bir versiyonudur (Büyüköz et al., 2020). Bu modeli Python'a aktarmak için bir kez daha 'cümle dönüştürücü' kütüphanesinden (Reimers & Gurevych, 2019) yararlandık. Şekil 8'de gösterildiği gibi model, raporlardaki her cümle için, 0 ile 1 arasında değişen duyarlılık puanlarını döndürdüğü belirlenmiştir.

Şekil 8'de duyarlılık puanını, 0,5 veya daha fazlaysa olumlu duyarlılığa, 0,5'ten küçükse olumsuz duyarlılığa böldük. Şekil 9 'da elde edilen sentiment analizinin orantısız olarak gösterimi verilmiştir. Şekil 7'de her şirketin 2020 sürdürülebilirlik raporundan farklı puanlarla elde ettiğimiz olumlu ve olumsuz cümle örneklerini gösteriyor. Puan 1'e ne kadar yakınsa o kadar pozitif, 0'a ne kadar yakınsa puan o kadar negatif olur.



Şekil 9. Sentiment Analizi sonuçlarının orantısız gösterimi

Her rapor için, duyarlılık analizi uygulanmasını takiben, iki farklı duyarlılık kategorisinde yüzdelik oranlar belirlenmiştir. Ardından, şirketlerin olumlu bilgileri seçici bir şekilde raporlama eğilimlerini ve modellerini anlamak amacıyla, her raporun olumlu ve olumsuz duyarlılık oranları görselleştirilmiştir.

Tablo 2. Verilerin ilgili alandaki değerleri

<b>Supply_Chain_Management</b>	<b>0.806436</b>
<b>Air_Quality</b>	0.805854
<b>Employee_Health_And_Safety</b>	0.781488
<b>GHG_Emissions</b>	0.761370
<b>Physical_Impacts_Of_Climate_Change</b>	0.750250
<b>Waste_And_Hazardous_Materials_Management</b>	0.738983
<b>Employee_Engagement_Inclusion_And_Diversity</b>	0.727814
<b>Business_Ethics</b>	0.722463
<b>Labor_Practices</b>	0.698494
<b>Energy_Management</b>	0.678551
<b>Ecological_Impacts</b>	0.663670
<b>Critical_Incident_Risk_Management</b>	0.618708
<b>Director_Removal</b>	0.607947
<b>Water_And_Wastewater_Management</b>	0.559111
<b>Product_Design_And_Lifecycle_Management</b>	0.541709
<b>Human_Rights_And_Community_Relations</b>	0.497631
<b>Systemic_Risk_Management</b>	0.481352
<b>Management_Of_Legal_And_Regulatory_Framework</b>	0.451537
<b>Customer_Privacy</b>	0.446366
<b>Business_Model_Resilience</b>	0.440229
<b>Data_Security</b>	0.436677
<b>Product_Quality_And_Safety</b>	0.436662
<b>Customer_Welfare</b>	0.403825
<b>Access_And_Affordability</b>	0.344018
<b>Competitive_Behavior</b>	0.296936
<b>Selling_Practices_And_Product_Labeling</b>	0.231262
<b>Supply_Chain_Management</b>	0.806436

Tablo 2 'de Sürdürülebilirlik raporlarını daha geniş bir çerçevede analiz etmek için Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi, insan ihtiyaçlarına ilişkin farklı bakış açılarını yansıtan kategoriler oluşturulmuştur.

Tablo 2 'de verilen etiketlere göre bahsedilen konuların içerik olarak score ları elde edilmiştir.

**Tablo 3.** Verilerin istenilen etiketlere göre değerleri

Labels	Scores
'covid'	0.5216185450553894
'resilience'	0.1274854987859726
'risk'	0.11184591054916382
'logistic'	0.09995050728321075
'supply chain'	0.06773427873849869
'renewable energy',	0.01843235082924366
'corona pandemic'	0.01518977526575327
'supply chain management'	0.012544488534331322
'clean energy'	0.011949175968766212

Tablo 3'te verilen etiket ve score sonuçlarının çıktıkları görülmektedir. Bu sonuçlara göre covid in etkisinin sürdürülebilirlik raporlarında önem arz ettiği görülmektedir. Renewable energy ve clean energy sürdürülebilirlik etkisinin düşüğe olsa raporlara etkisi görülmektedir.

Tablo 4'te ESG faktörleri incelenmiştir.

ESG, çevresel (Environmental), sosyal (Social) ve yönetim (Governance) faktörlerini ifade eden bir kısaltmadır. Bu terim, özellikle yatırım ve finans dünyasında, şirketlerin ve yatırımların sürdürülebilirlik ve etik uygulamaları açısından değerlendirilmesi için kullanılır. ESG faktörleri şunları içerir:

**Çevresel (Environmental):** Bu faktör, şirketin çevresel ayak izini ve sürdürülebilirlik uygulamalarını değerlendirir. Bu, sera gazı emisyonları, atık yönetimi, su kullanımı, yenilenebilir enerji kullanımı ve doğal kaynakların korunması gibi konuları içerir.

**Sosyal (Social):** Bu, şirketin çalışanları, tedarikçileri, müşterileri ve topluluklarıyla olan ilişkilerini değerlendirir. Çalışan hakları, eşitlik, ayrımcılıkla mücadele, toplulukla etkileşim ve tüketici sağlığı ve güvenliği gibi konular bu kategoride ele alınır.

**Yönetişim (Governance):** Bu faktör, şirketin iç yönetim yapı ve uygulamalarına odaklanır. Şeffaflık, hesap verebilirlik, üst düzey yönetimin yapılandırılması, risk yönetimi ve paydaşların katılımı gibi konular bu bölümde incelenir.

**Tablo 4.** ESG faktör değerleri

sequence	labels	sco
1867	figure 34: yunda recorded rapid decline in complaint ratio figure 35: average complaint ratio in 1-3q19 source: state post bureau, wind info, cicc research source: state post bureau, wind info, cicc research yunda has a flat operating model that has the company operating the transfer centers while the franchisees take charge of parcel collection and last-mile delivery.	training and education 0.0 3
1137	please read carefully the important disclosures at the end of this report yunda plans to work on strengthening its express delivery services by investing in and optimizing its service networks.	philanthropy 0.0 1
2410	in addition to express delivery, yunda has also established a presence in the warehousing business, international business, and cloud convenience stores.	transparency 0.0
443	9 figure 7: tmall singles day gmv.	natural resources 0.0
253	in 2018, yunda's delivery volume was 6.99bn parcels with a market share of 13.8%, ranking it no.2in china.	board accountability 0.0 5
1267	however, if the firm cannot continue expanding its market share, we believe its earnings will miss expectations.	pollution 0.0 4

Tablo 5'te ise ESG sınıflandırma yöntemiyle genel score durumları ve en çok bahsedilen konu görülmektedir. "Natural resources" score'nın yüksek olduğu ve yatırımlarının o yönde gelişeceği görülmektedir. ESG, çevresel (Environmental), sosyal (Social) ve yönetim (Governance) faktörlerini ifade eden bir kısaltmadır. Bu terim, özellikle yatırım ve finans dünyasında, şirketlerin ve yatırımların sürdürülebilirlik ve etik uygulamaları açısından değerlendirilmesi için kullanılır.

**Tablo 5.** ESG faktörlerindeki ilgili en yüksek değer

	sequence	labels	scores	ESG
1810	yundas investment land and plants is less than at yto and zto, but the firm is catching up.	natural resources	0.954167	E

**Tablo 6.** Sınıflandırma algoritma sonuçları

	SVM	Navie Bayes
F1_score	0.2144423558897 243	0.19672342621259 029
Accuracy	38.542 %	30.208 %
Confusion Matrix	[[0, 0, 28] [0, 0, 31] [0, 0, 37]]	

Tablo 6'da, Support Vector Machine (SVM) ve Naive Bayes algoritmaları kullanılarak elde edilen confusion matrisi, F1 skoru ve doğruluk oranlarının incelendiği görülmektedir.

### 3.1. Zero-shot learning (ZSL)

Zero-shot learning (ZSL), sıfır deneme veya sıfır öğrenme olarak da adlandırılır ve makine öğrenme alanında önemli bir kavramdır. ZSL, bir modelin daha önce hiç görmediği sınıfları veya nesnelere tanıma yeteneğini ifade eder. Geleneksel sınıflandırma problemlerinde, bir model, eğitim verilerinde bulunan sınıfları tanımak için kullanılır. Ancak ZSL, yeni ve bilinmeyen sınıfları tanımak için tasarlanmıştır.

ZSL, birçok uygulama alanında faydalıdır, özellikle nesne tanıma, doğal dil işleme ve öneri sistemleri gibi. ZSL, daha geniş bir sınıf yelpazesini tanımak için kullanılabilir ve yeni sınıfların eğitim verilerine eklenmesi gerekmeyen bu sınıfları tanıma yeteneği sunar.

ZSL'nin başlıca özellikleri şunlardır:

**Sıfır Sınıf:** ZSL, modelin eğitim verilerinde bulunmayan sınıfları tanımasını gerektirir. Bu, modelin daha önce hiç görmediği sınıfları tanıma yeteneği sağlar.

**Öznitelikler:** ZSL, sınıfları tanımak için sınıfın özellikleri veya niteliklerini kullanır. Bu özellikler, sınıfları açıklamak veya tanımlamak için kullanılır.

**Görsel ve Metinsel ZSL:** Görsel ZSL, nesnelerin veya resimlerin tanınması için kullanılırken, metinsel ZSL, doğal dil işleme alanında metin tabanlı nesnelerin tanınması için kullanılır.

**Eşlemeler:** ZSL, sınıfların eğitim verilerinde bulunan sınıflarla eşlenmesi gerektiği bir eşleme işlemi içerir. Bu eşlemeler, sınıfların özniteliklerini kullanarak gerçekleştirilir.

**Sıfır Görme ve Sıfır Çekme:** ZSL, sıfır görme (zero-shot learning) ve sıfır çekme (zero-shot retrieval) olmak üzere iki farklı görevi içerebilir. Sıfır görme, yeni sınıfların tanınmasını içerirken, sıfır çekme, yeni sınıfların mevcut veriler içinden çekilmesini içerebilir.

Zero-shot learning, karmaşık ve çeşitli uygulamalarda kullanılan bir teknik olup, daha geniş bir sınıf yelpazesini tanıma yeteneği sağlar. Bu nedenle, özellikle yeni ve bilinmeyen sınıfları tanıma ihtiyacı duyulan durumlarda önemlidir.

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Metin madenciliği, tedarik zinciri içinde sürdürülebilirlik raporlarını anlamada güçlü bir araç olabilir. Bu yaklaşım, şirketlerin kendi sürdürülebilirlik hedeflerini değerlendirmelerine, aynı zamanda tedarikçiler ve diğer paydaşlarla daha etkin bir şekilde iletişim kurmalarına olanak tanır.

Bununla birlikte, bu makalenin birkaç sınırlaması vardır. Gelecekteki araştırmalarda, hedef şirketleri büyük ölçüde genişletmek veya belirli bir sektöre ait birkaç şirketi yoğun bir şekilde incelemek gerekir. Bu çalışmada, COVID-19 salgınının sürdürülebilirlik raporlarının içeriğini nasıl değiştirdiğini incelemek için 2019 ve sonrası sürdürülebilirlik raporlarını inceliyoruz. Sürdürülebilirlik raporlarıyla ilgili olarak, bu çalışma yalnızca belirli bir sektördeki şirketler arasındaki değişiklikleri değil, aynı zamanda COVID-19 salgınının sektörler üzerindeki etkisini de analiz etmektedir. Ek olarak, haber makaleleri (Einea et al., 2019) veya sosyal medya verileri (Billal et al., 2017) gibi farklı türdeki veri kaynaklarının bileşik kullanımı, bulgularımızı

doğrulamak için gelecekteki bir başka araştırma konusudur.

Ayrıca, duygu analizlerinde, duygu puanını 0,5 veya daha fazla ise olumlu duyarlılık, 0,5'ten küçükse olumsuz duyarlılık olarak ayırdık. Olumlu duygu ve olumsuz duyguyu dereceye göre daha da alt bölümlere ayırırsak, örneğin son derece olumlu, çok olumlu, olumlu, nötr, olumsuz, çok olumsuz ve son derece olumsuz (Wood et al., 2014), daha ilginç sonuçlar görebiliriz. Son duygu analizi çalışmaları, duyguların belirli yönler için ifade edildiğini varsayarak yöntemlerini genişlettiğinden (Liu & Chen, 2015), bu nedenle, belirli temalara göre cümlelerin duygularını belirlemek için görünüşe dayalı duygu analizini benimseyebiliriz.

Bu sadece bir örnek çalışmadır ve uygulamalar farklı sektörler ve şirketler için değişkenlik gösterebilir. Ancak, tedarik zincirinde sürdürülebilirlik raporlarının metin madenciliği ile analizi, ESG faktörlerini daha iyi anlamamıza ve bu konuda daha bilinçli kararlar almamıza yardımcı olabilir.

ESG değerlendirmeleri, yatırımcıların, şirketlerin sadece mali performanslarına değil, aynı zamanda toplum ve çevre üzerindeki etkilerine de odaklanmalarını sağlar. Birçok yatırımcı ve analist, ESG performansının, bir şirketin uzun vadeli başarısı ve risk profili üzerinde önemli bir etkisi olduğuna inanmaktadır. Bu nedenle, ESG kriterleri, yatırım kararlarında giderek daha önemli bir role sahip olmaktadır.

#### 4.1.Araştırmanın Amacı

Dünyadaki sıralamada lojistikte en iyi olan 20 firmanın yıllık ve sürdürülebilirlik raporlarının analizlerini gerçekleştirerek Türkiye'deki lojistik firmalarında örnek teşkil etmesini sağlayarak, geliştirilmelerine olanak sağlamak.

#### 4.2.Araştırmanın Önemi

Bu araştırma ile Covid-19 pandemisi ve sürecindeki büyük tedarik zinciri markalarının kararlarındaki etkisinin ortaya koyulması hedeflenmektedir. Tedarik zinciri yönetiminin, başarılı bir şekilde yürütmenin firmalara olan etkisini ve analizlerini ortaya çıkarmak amaçlanmaktadır. Ayrıca ortaya koyacağımız başarılı analiz sonuçları ile de Türkiye'deki tedarik zinciri firmalarına yol gösterici bir çalışma olacaktır.

COVID-19 pandemisinin ölümlere ve uzun süreli sağlık etkilerine neden olmaya devam etmesi, ardından 21. yüzyılın en uzun süreli krizinin takip etmesi ve küresel olarak tedarik zincirlerini bozması nedeniyle ciddi bir

pandemi olduğu vurgulanmaktadır. Bu çalışma, COVID-19 pandemisi sonrasında tedarik zincirlerinin stratejik ve sürdürülebilirlik rapor verilerine dayanarak, veri madenciliği yöntemiyle elde edilen sonuçların diğer tedarik zinciri firmalarına da yol göstermesine yardımcı olması istenmektedir.

#### 4.3. Araştırmanın Sınırlılıkları

Daha önce de belirtildiği gibi, yıllık faaliyet raporları PDF dosyaları şeklindedir. Bu dosyalar, cihazlar ve işletim sistemleri arasında mükemmel uyumlulukları sayesinde kağıt tabanlı belgeler için ideal bir dijital alternatif olarak kabul edilirler. Bu nedenle, dijital iş belgelerinin alışverişinde yoğun olarak kullanılmaktadırlar. PDF'lerin temel avantajı, taşınabilir, platform bağımsız ve insan tarafından okunabilir olmalarıdır. Ancak, bu format yapılandırılmamış olduğundan, daha fazla analiz için erişimi zorlaştırır (örneğin, veri çıkarma).

PDF'lerden veri ve bilgi çıkarmak için yapılan işleme 'scraping' denir. PDF scraping, uzun yıllardır araştırılmaktadır; örneğin, Bergmark, Phempoonpanich, & Zhao (2001) ACM Dijital Kütüphanesini analiz ederek kütüphane belgelerinden referans linkleri çıkarmayı denemiştir. Daha yakın bir zamanda Lu & Unpingco (2021), COVID-19 aşılama formlarını önceden doldurmak için hastaların verilerini çıkarmak üzere PDF dosyalarını scrape etmişlerdir. Bu örnekler, PDF scraping'in hedef belgeye bağlı olduğunu ve verileri yeterli bir şekilde çıkarmak için belgenin bazı yapısal özelliklerini anlamının gerekliliğini göstermektedir

#### KAYNAKLAR

Aleta, A., Martin-Corral, D., Pastore y Piontti, A., Ajelli, M., Litvinova, M., Chinazzi, M., . . . Merler, S. J. N. H. B. (2020). Modelling the impact of testing, contact tracing and household quarantine on second waves of COVID-19. 4(9), 964-971.

Amini, M., Bienstock, C. C., Narcum, J. A. J. B. S., & Environment, t. (2018). Status of corporate sustainability: A content analysis of Fortune 500 companies. 27(8), 1450-1461.

Benites-Lazaro, L. L., Giatti, L., Giarolla, A. J. E. r., & science, s. (2018). Topic modeling method for analyzing social actor discourses on climate change, energy and food security. 45, 318-330.

Billal, B., Fonseca, A., Sadat, F., & Lounis, H. (2017). Semi-supervised learning and social media text analysis



- towards multi-labeling categorization. 2017 IEEE international conference on big data (Big Data).
- Bird, S. (2006). NLTK: the natural language toolkit. Proceedings of the COLING/ACL 2006 Interactive Presentation Sessions.
- Brookes, G., & McEnery, T. J. D. S. (2019). The utility of topic modelling for discourse studies: A critical evaluation. 21(1), 3-21.
- Büyüköz, B., Hürriyetoğlu, A., & Özgür, A. (2020). Analyzing ELMo and DistilBERT on socio-political news classification. Proceedings of the Workshop on Automated Extraction of Socio-political Events from News 2020.
- Büyüktaktın, İ. E., des-Bordes, E., & Kıbış, E. Y. J. E. J. o. O. R. (2018). A new epidemics–logistics model: Insights into controlling the Ebola virus disease in West Africa. 265(3), 1046-1063.
- Calabrese, A., Costa, R., Ghiron, N. L., & Menichini, T. J. E. J. o. S. D. (2017). To be, or not to be, that is the Question. Is Sustainability Report Reliable? , 6(3), 519-519.
- Camacho-Collados, J., & Pilehvar, M. T. J. a. p. a. (2017). On the role of text preprocessing in neural network architectures: An evaluation study on text categorization and sentiment analysis.
- Carlile, P. R., & Rebentisch, E. S. J. M. s. (2003). Into the black box: The knowledge transformation cycle. 49(9), 1180-1195.
- Chmiela, S., Tkatchenko, A., Sauceda, H. E., Poltavsky, I., Schütt, K. T., & Müller, K.-R. J. S. a. (2017). Machine learning of accurate energy-conserving molecular force fields. 3(5), e1603015.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). Supply chain management. Strategy, planning & operation. Springer.
- Clarke, V., & Braun, V. J. T. j. o. p. p. (2017). Thematic analysis. 12(3), 297-298.
- Davi, A., Houghton, D., Nasr, N., Shah, G., Skaletsky, M., & Spack, R. J. T. A. S. (2005). A review of two text-mining packages: SAS TextMining and WordStat. 89-103.
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. J. a. p. a. (2018). Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding.
- Dubey, R., Altay, N., Gunasekaran, A., Blome, C., Papadopoulos, T., Childe, S. J. J. I. J. o. O., & Management, P. (2018). Supply chain agility, adaptability and alignment: empirical evidence from the Indian auto components industry. 38(1), 129-148.
- Einea, O., Elnagar, A., & Al Debsi, R. J. D. i. b. (2019). Sanad: Single-label arabic news articles dataset for automatic text categorization. 25, 104076.
- Fragapane, G., Eleftheriadis, R., Powell, D., & Antony, J. J. C. i. I. (2023). A global survey on the current state of practice in Zero Defect Manufacturing and its impact on production performance. 148, 103879.
- Halldorsson, A., Kotzab, H., Mikkola, J. H., & Skjøtt-Larsen, T. J. S. c. m. A. i. j. (2007). Complementary theories to supply chain management. 12(4), 284-296.
- Hinds, P. J. J. J. o. e. p. a. (1999). The curse of expertise: The effects of expertise and debiasing methods on prediction of novice performance. 5(2), 205.
- Hoang, M., Bihorac, O. A., & Rouces, J. (2019). Aspect-Based Sentiment Analysis using BERT. Nordic Conference of Computational Linguistics.
- Hutton, D. W., Tan, D., So, S. K., & Brandeau, M. L. J. A. o. i. m. (2007). Cost-effectiveness of screening and vaccinating Asian and Pacific Islander adults for hepatitis B. 147(7), 460-469.
- İşsever, H., İşsever, T., & Öztan, G. (2020). COVID-19 Epidemiyolojisi [Epidemiology of COVID-19]. Sağlık Bilimlerinde İleri Araştırmalar Dergisi, 3(S1), 1-13. <https://dergipark.org.tr/pub/sabiad/issue/54344/73809>
- Ivanov, D., & Dolgui, A. J. I. j. o. p. r. (2020). Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated by COVID-19 outbreak. 58(10), 2904-2915.
- Junior, R. M., Best, P. J., & Cotter, J. J. J. o. b. e. (2014). Sustainability reporting and assurance: A historical analysis on a world-wide phenomenon. 120, 1-11.
- Kang, H., & Kim, J. (2022). Analyzing and Visualizing Text Information in Corporate Sustainability Reports Using Natural Language Processing Methods. Applied Sciences-Basel, 12(11), Article 5614. <https://doi.org/10.3390/app12115614>





- Kantarci, Ö., Özalp, M., Sezginsoy, C., Özaşkinlı, O., & Cavlak, C. J. T. Y. (2017). Dijitalleşen dünyada ekonominin itici gücü: E-ticaret.
- Kinra, A., Hald, K. S., Mukkamala, R. R., & Vatrapu, R. (2020). An unstructured big data approach for country logistics performance assessment in global supply chains. *International Journal of Operations & Production Management*, 40(4), 439-458. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-07-2019-0544>
- Kumar, S., & Chandra, C. J. T. J. (2010). Supply chain disruption by avian flu pandemic for US companies: a case study. 49(4), 61-73.
- Landrum, N. E., Ohsowski, B. J. B. S., & Environment, t. (2018). Identifying worldviews on corporate sustainability: A content analysis of corporate sustainability reports. 27(1), 128-151.
- Linton, J. D., Klassen, R., & Jayaraman, V. J. J. o. o. m. (2007). Sustainable supply chains: An introduction. 25(6), 1075-1082.
- Liu, S. M., & Chen, J.-H. J. E. S. w. A. (2015). A multi-label classification based approach for sentiment classification. 42(3), 1083-1093.
- Lu, H.-m., & Unpingco, J. (2021). How PDFrw and fillable forms improves throughput at a Covid-19 Vaccine Clinic. Proc. of the 20th Python in Science Conference (SCIPY 2021).
- McKie, J. PyMuPDF-the Python bindings for MuPDF (2021). In.
- Medhat, W., Hassan, A., & Korashy, H. J. A. S. e. j. (2014). Sentiment analysis algorithms and applications: A survey. 5(4), 1093-1113.
- Modapothala, J. R., & Issac, B. (2009). Evaluation of corporate environmental reports using data mining approach. 2009 International Conference on Computer Engineering and Technology.
- Modapothala, J. R., Issac, B., & Jayamani, E. (2009, Dec 04-12). Appraising the Corporate Sustainability Reports - Text Mining and Multi-Discriminatory Analysis. [Innovations in computing sciences and software engineering]. International Joint Conferences on Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering (CISSE), Bridgeport, CT.
- Mokoatle, M., Marivate, V., Mapiye, D., Bornman, R., & Hayes, V. M. J. B. b. (2023). A review and comparative study of cancer detection using machine learning: SBERT and SimCSE application. 24(1), 112.
- Moroney, L. (2020). Ai and machine learning for coders. O'Reilly Media.
- Nakiboğlu, G. (2020). COVID-19 Küresel Tedarik Zincirlerinde Yaşananlar ve Dönüşüm [Global Supply Chains and Transformation in the COVID-19 Era]. *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(2), 1-16. <https://dergipark.org.tr/pub/cagsbd/issue/58680/818244>
- Nidumolu, R., Prahalad, C. K., & Rangaswami, M. R. J. H. b. r. (2009). Why sustainability is now the key driver of innovation. 87(9), 56-64.
- Norrman, A., Wieland, A. J. I. J. o. P. D., & Management, L. (2020). The development of supply chain risk management over time: revisiting Ericsson. 50(6), 641-666.
- Olivares-Aguila, J., & ElMaraghy, H. J. J. o. M. S. (2020). Co-development of product and supplier platform. 54, 372-385.
- Oral, O., Aylak, B. L., & Yazici, K. (2021). Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Lojistik Sektöründe Kullanımı [Using Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Logistics]. *El-Cezeri*, 8(1), 74-93. <https://doi.org/10.31202/ecjse.776314>
- Ozgur, C., Colliau, T., Rogers, G., & Hughes, Z. J. J. o. d. S. (2017). MatLab vs. Python vs. R. 15(3), 355-371.
- Prager, F., Beeler Asay, G. R., Lee, B., & von Winterfeldt, D. J. R. A. A. I. J. (2011). Exploring reductions in London underground passenger journeys following the July 2005 bombings. 31(5), 773-786.
- Reimers, N., & Gurevych, I. J. a. p. a. (2019). Sentencebert: Sentence embeddings using siamese bert-networks.
- Reyes-Menendez, A., Saura, J. R., Alvarez-Alonso, C. J. I. j. o. e. r., & health, p. (2018). Understanding# WorldEnvironmentDay user opinions in Twitter: A topic-based sentiment analysis approach. 15(11), 2537.
- Salem, R. W., & Haouari, M. J. I. J. o. P. R. (2017). A simulation-optimisation approach for supply chain network design under supply and demand uncertainties. 55(7), 1845-1861.

- Sarkar, D. (2019). *Text analytics with Python: a practitioner's guide to natural language processing*. Springer.
- Seuring, S., & Müller, M. J. J. o. c. p. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. 16(15), 1699-1710.
- Shahi, A. M., Issac, B., & Modapothala, J. R. (2012). Intelligent Corporate Sustainability report scoring solution using machine learning approach to text categorization. 2012 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology (STUDENT),
- Short, J. C., & Palmer, T. B. J. O. r. m. (2008). The application of DICTION to content analysis research in strategic management. 11(4), 727-752.
- Sinha, K. K., & Van de Ven, A. H. J. O. s. (2005). Designing work within and between organizations. 16(4), 389-408.
- Sotiriadou, P., Brouwers, J., & Le, T.-A. J. A. o. l. r. (2014). Choosing a qualitative data analysis tool: A comparison of NVivo and Leximancer. 17(2), 218-234.
- Székely, N., & Vom Brocke, J. J. P. o. (2017). What can we learn from corporate sustainability reporting? Deriving propositions for research and practice from over 9,500 corporate sustainability reports published between 1999 and 2015 using topic modelling technique. 12(4), e0174807.
- Tata, S., & Patel, J. M. J. A. S. R. (2007). Estimating the selectivity of tf-idf based cosine similarity predicates. 36(2), 7-12.
- Tausczik, Y. R., Pennebaker, J. W. J. J. o. l., & psychology, s. (2010). The psychological meaning of words: LIWC and computerized text analysis methods. 29(1), 24-54.
- Tay, H. L., & Loh, H. S. (2022). Digital transformations and supply chain management: a Lean Six Sigma perspective. *Journal of Asia Business Studies*, 16(2), 340-353. <https://doi.org/10.1108/jabs-10-2020-0415>
- Te Liew, W., Adhitya, A., & Srinivasan, R. J. C. i. I. (2014). Sustainability trends in the process industries: A text mining-based analysis. 65(3), 393-400.
- Thanaki, J. (2017). *Python natural language processing*. Packt Publishing Ltd.
- Turian, J., Ratinov, L., & Bengio, Y. (2010). Word representations: a simple and general method for semi-supervised learning Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Uppsala, Sweden.
- Wang, W., Wei, F., Dong, L., Bao, H., Yang, N., & Zhou, M. J. A. i. N. I. P. S. (2020). Minilm: Deep self-attention distillation for task-agnostic compression of pre-trained transformers. 33, 5776-5788.
- Wang, X., Yuen, K. F., Wong, Y. D., Li, K. X. J. T. R. P. D. T., & Environment. (2020). How can the maritime industry meet Sustainable Development Goals? An analysis of sustainability reports from the social entrepreneurship perspective. 78, 102173.
- Weng, T., Liu, W., Xiao, J. J. I. M., & Systems, D. (2020). Supply chain sales forecasting based on lightGBM and LSTM combination model. 120(2), 265-279.
- Williamson, B. N., Feldmann, F., Schwarz, B., Meade-White, K., Porter, D. P., Schulz, J., . . . Pérez-Pérez, L. J. N. (2020). Clinical benefit of remdesivir in rhesus macaques infected with SARS-CoV-2. 585(7824), 273-276.
- Wood, L. C., Reiners, T., & Srivastava, H. S. (2014). Sentiment analysis in supply chain management. In *Encyclopedia of Business Analytics and Optimization* (pp. 2147-2158). IGI Global.
- Zhou, Z., Cheng, S., Hua, B. J. C., & Engineering, C. (2000). Supply chain optimization of continuous process industries with sustainability considerations. 24(2-7), 1151-1158.
- Zlojutro, A., Rey, D., & Gardner, L. J. S. r. (2019). A decision-support framework to optimize border control for global outbreak mitigation. 9(1), 2216.

<https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/7254-7-adimda-surdurulebilir-tedarik-zinciri>

## The Implementation of Chaos Engineering in Cloud Architecture and Applications

Mehmet Altuğ AKGÜL\*<sup>1</sup> , Hakan GÜVEZ<sup>2</sup> 

Research Article, Received Date: 02.04.2024, Accepted Date: 23.08.2024

### Abstract

The emergence of microservice architecture and the concept of Chaos Engineering, which was researched to understand how the system will behave in case of possible interruptions and service problems that may occur when software services trying to do the same job in different locations talk to each other, play an important role in determining the robustness of systems exposed to intense network traffic. In this article, the concept of Chaos Engineering, which has emerged in recent years and has started to be used especially in checking the reliability of distributed systems, is mentioned. As a result, it is emphasized that Chaos Engineering can play an important role in increasing the reliability of distributed systems running on the cloud.

**Keywords:** Cloud, Chaos engineering, Distributed systems, Microservices, Infrastructure.

### 1. INTRODUCTION

This article includes a research on while monolithic applications were common, all business logic ran in a single service and a single database, and there were actually huge applications controlled from a single place. However, especially with the increase in network speeds and traffic density of cloud systems, monolithic applications no longer respond to demand. It has become impossible for huge software teams to work on a single monolithic application. For this reason, an approach called microservices emerged where each service does only one job or has a minimum number of job responsibilities. Moreover, it was a very suitable architectural approach for distributed systems.

Chaos Engineering is a discipline that emphasizes on intentional injection of faults into software systems to minimize downtime while increasing resiliency. The main motivation for this approach is to overcome uncertainties prevalent in distributed systems e.g. cloud infrastructure (Kennedy et al., 2019).

Implementing chaos engineering in cloud environments is critical due to the inherent complexity and dynamics of cloud infrastructure. As companies increasingly rely on cloud services for their critical operations, the need for resilience and reliability becomes increasingly important. Chaos engineering provides a proactive approach to identifying and mitigating potential failures by intentionally introducing disruptions into the system. This approach helps uncover vulnerabilities that may not be apparent during normal operation, ensuring that the system can withstand unexpected challenges. By regularly testing the system's ability to handle failures, companies can build more robust and resilient cloud architectures. Additionally, the insights gained from chaos engineering experiments enable teams to implement improvements and develop better incident response strategies, ultimately improving overall service availability and user satisfaction. Discussing how to implement chaos engineering in the cloud is critical to fostering a culture of continuous improvement and operational excellence given the ever-evolving technology landscape.

\*1Corresponding author mehmetaltugakgul@gmail.com,

<sup>2</sup>guvezhakan@gmail.com

A rapid microservices transformation has begun all over the world. Software teams have worked quickly to transform legacy monolithic applications into microservices architecture, and with the help of frameworks, many projects are no longer monolithic but serve in a microservices architectural approach and cloud native.

In addition to the advantages of having everything run on microservices responsible for a single job, the disadvantages include the difficulty in service management and the difficulty of these services communicating with each other. It becomes impossible to understand how the system will react, especially in the event of an unexpected error or service stop. Data integrity and high accessibility are two very important factors, especially in services with high transaction density, such as fintech. The possibility of losing millions of dollars even in the event of a 5-minute system crash requires these systems to operate flawlessly. Therefore, all disaster scenarios need to be created, tested and appropriate measures taken. Regardless of how distributed or complex the system is, the sources of systemic errors are generally clear and these errors must be found in advance and the fragility of the system must be determined through relevant tests.

## 2. EMERGENCE OF CHAOS ENGINEERING

Chaos engineering is the discipline of experimenting on a distributed system to build confidence in a system's ability to withstand unexpected failures. This method is used to increase the flexibility of complex systems by deliberately adding errors and measuring the results. Chaos engineering identifies and remedies potential system weaknesses and vulnerabilities in the design, architecture and operational applications of the system by simulating controlled malfunctions. There are many ways of adding failure to the system, including closing a service, adding delays or errors (for example, a service cancellation attack), terminating operations or tasks, or simulating a change in the environment or configuration settings. This makes it easier to measure performance and reliability measurements such as system operating time, error rates, and recovery times. This helps us better understand how the system responds to deliberate error occurrences and increases the resilience of systems by using the information obtained. Therefore, it is difficult to ensure the reliability of local applications in the cloud and requires more research. Chaos engineering simulates real-world conditions and malfunction scenarios to assess system durability and reliability. Failure injection causes errors in test systems, while chaos engineering advocates

deliberately injecting errors directly into production systems. This allows teams to identify weaknesses and increase overall system resilience (Ahmad et al., 2024).

Netflix moved its traditional architecture systems to the cloud environment in the 2010s, and this migration process took an average of 7 years. During this long process, there were no tools to detect systemic errors and to test the consequences of these errors in the cloud environment. The Chaos Monkey tool was a tool that emerged from this deficiency. People who work professionally in the field of testing are familiar with the testing method called "monkey test". The purpose here was based on the idea that a monkey left in the system room would randomly damage the relevant system components, network cables, servers and other parts. In such a situation, an attempt was made to measure how systemic outages would affect the main system. In this way, precautions could be taken to reduce the fragility of the system against unexpected outages, and these outages occurred randomly on an unexpected day and time. Real-life problems often arise unexpectedly.

Following these developments, the Chaos Engineering concept and the Chaos Engineer position as a position in professional business life began to become widespread and used more. Industry giants such as Facebook, Google, LinkedIn and Amazon started working on Chaos Engineering and creating employment.

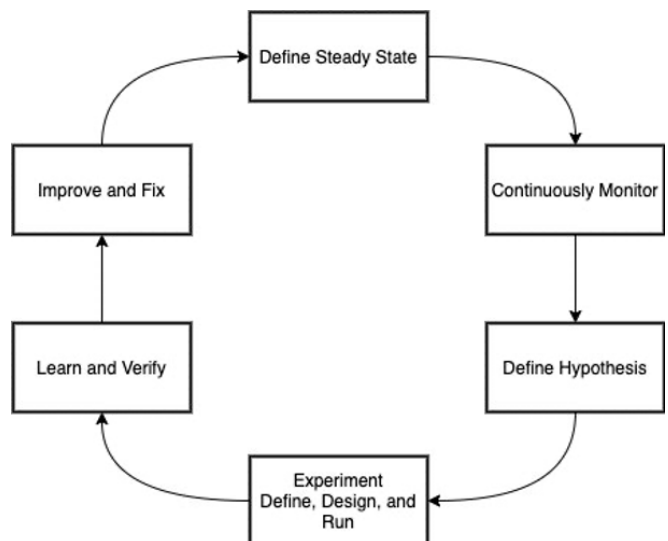


Figure 1. Cycle of chaos engineering experiments

### 3. APPLICATIONS OF CHAOS ENGINEERING

Chaos engineering, as in many projects, starts from the planning phase, and this planning generally consists of considering the errors that may occur in the system and the preliminary preparation process. These errors can cover a wide range from very common errors to the rarest problems.

After the planning phase, the Exploding phase comes into play and a small-scale error is created in the system. In other words, the necessary information can be obtained at the point where the system crashes and becomes unresponsive. If information cannot be obtained, this blasting scale is enlarged and scaled. If the problem is solved, a different trial can be started; if the problem is not solved, the system can be scaled until this problem is solved.

In fact, deliberately detonating the system adopts the approach of making the system immune to possible problems, just like our body's immune system. The more familiar the system is with such situations, the weaker the effect it will have (IBM., n.d.).

The probability of error is much higher, especially in distributed systems. Because the system consists of the combination of different subsystems working remotely from each other. Here, many problems such as network problems, packet transfers, delays, bandwidth, and dissimilarity of devices in the system are the problems that come with distributed systems. At this point, there may be different misconceptions that all system designers get caught up in. Peter Deutsch collected these misconceptions in a list of 8 items (Wikic2., n.d.).

1. **The network is reliable.**
2. **Latency is zero.**
3. **Bandwidth is infinite.**
4. **The network is secure.**
5. **Topology doesn't change.**
6. **There is one administrator.**
7. **Transport cost is zero.**
8. **The network is homogeneous.**

In fact, all the items in this list summarize the problems we encounter in modern distributed systems. In general, system architects accept most things under normal conditions when designing systems, but generally all problems arise after these mistakes. With cloud use, system management in general is provided through cloud providers that we call hyperscaler, and shared responsibility models are generally clearly stated in user agreements, and the responsibilities of the infrastructure owner and the customer are different. For this reason, although there are not many infrastructure, maintenance and operational problems in modern cloud architectures, problems that may occur after user error are much more serious. Especially chaos engineering on the cloud is very different from on-premise systems.

Various platforms and technologies facilitate chaos engineering experiments on cloud systems. Gremlin and Litmus are notable examples of error addition and the ability to evaluate the flexibility of systems. The techniques used by Netflix engineers to test the system's resistance to unforeseen failures led to the emergence of the chaos engineering field. To identify weaknesses and increase system resilience, use concepts such as error addition and edited trial (Rahul, 2024).

In addition, chaos engineering in systems should be planned by considering all components of the system. With a transaction-based intensive payment system, scheduled systems that operate at certain times of the day are not subject to the same interruptions and fragility. Network, storage, database and architecture teams are expected to work together and make chaos engineering planning appropriate to their systems.

We can also separate errors according to the types we encounter.

**Known errors:** Errors that we are aware of, familiar with, and can easily understand are included in these errors.

**Known and unknown errors:** These are errors that we are aware of and familiar with, but cannot easily understand.

**Unknown known errors:** These are errors that we are not aware of or familiar with, but can easily understand.

**Unknown unknown errors:** Errors that we are neither aware of, familiar with nor can we easily understand also fall into this class.

#### 4. WHICH TYPES ARE AVAILABLE?

While preparing chaos engineering test environments, different types of methods can be used. These methods are listed below. Methods can be diversified, but in general, proceeding with these headings is appropriate in terms of best practices and compatible with current life practices.

**Load Generation:** It can be summarized as performing a load test on the system by creating a traffic load much higher than the traffic on the media received by the system. Thus, the degree of fragility of the system can be measured.

**Canary Testing:** Canary testing is a method used to open an application or a systemic change to a selected small group, rather than to all users, and to help them understand whether there is any problem in the system. The remaining users will not be informed of the update until the test is finished.

**Error injection:** This type is a technique that deliberately injects an error into a system that generally has no errors and makes it easier for us to understand how the system works. Types of error injection can be very diverse. In general, there may also be physical difficulties such as hardware malfunction or increasing the ambient temperature. Or deliberately corrupting the software also falls under this type of injection.

**Latency injection:** Testing the instability of the system by deliberately creating low-speed network or network connection errors. These levels of slowness can be repeated in a certain principle.

#### 5. AREAS OF IMPLEMENTATION FOR CHAOS ENGINEERING IN CLOUD

Chaos Engineering, an innovative approach aimed at enhancing the resilience of software systems through deliberate fault injection, has become a cornerstone in ensuring system robustness within the tech industry. This proactive methodology is spearheaded by dedicated teams, often small in number, whose mission is to embed these practices across their organizations. These teams not only apply Chaos Engineering techniques directly but also empower and motivate other engineering departments to adopt these practices in their daily workflow.

The implementation of Chaos Engineering typically begins with crucial service-oriented teams, who lead the charge in its adoption and serve as advocates for its

benefits across their organizations. These teams are responsible for crucial areas such as:

**Managing Traffic Infrastructure** (examples include HAProxy, Squid, Load Balancers)

**Streaming Services** (such as RabbitMQ, ActiveMQ, Stream Processing Platforms)

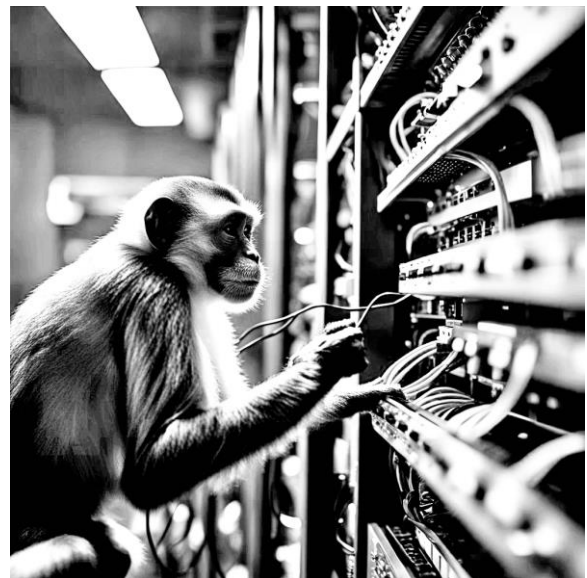
**Storage Solutions** (for example, Cassandra, Redis, Distributed File Systems)

**Data Processing Frameworks** (e.g., Spark, Flink, Big Data Analytics Platforms)

**Database Management** (including Oracle, SQL Server, NoSQL Databases)

By focusing on these essential components, organizations can significantly improve the resilience and reliability of their foundational services.

Forward-thinking companies have integrated Chaos Engineering into their regular release cycles, positioning it alongside other established testing methodologies. This approach ensures that considerations of reliability are woven into the fabric of the development process from the outset, embedding durability into every feature prior to its release. This shift in perspective highlights the evolution of Chaos Engineering from a specialized technique to a vital element of software development, emphasizing its critical role in constructing robust systems capable of withstanding the complexities of the modern digital landscape.



**Figure 2.** Chaos engineering tests can be thought of as a monkey being left in a system room and randomly interfering with servers and cables

## 6. CHAOS ENGINEERING FOR LOAD

### BALANCERS

In our online world, load balancers work like junctions on a busy road, making sure internet traffic goes where it should. Chaos Engineering is like testing those junctions with unexpected problems to make sure they can handle the pressure and keep the traffic flowing smoothly.

**Known-Knowns:** The awareness of an infrastructure's capability to reroute traffic in the event of a load balancer failure is well-established. Systems are equipped with health check mechanisms to identify inactive or malfunctioning load balancers.

**Experiment:** The simulation of a single load balancer's failure during off-peak hours is conducted to observe the efficacy of traffic rerouting and to quantify the detection and rerouting duration.

Known	Things we are aware of and understand	Things we are aware of but don't understand
Unknown	Things we understand but are not aware of	Things we are neither aware of nor understand
	Knowns	Unknowns

Figure 3. Chaos engineering things table (Mesh, 2024).

**Known-Unknowns:** While load balancers are configured to manage a specified volume of traffic, the precise limitations of the current setup and the consequences of abrupt traffic surges remain uncertain.

**Experiment:** The load on load balancers is incrementally increased beyond anticipated capacity to ascertain the threshold at which failure or significant performance degradation occurs. The system's response and recovery duration are meticulously measured.

### Unknown-Knowns:

The premise that load balancers distribute traffic according to specified rules, such as least connections or round-robin algorithms, is understood. However, the efficiency of these algorithms under specific conditions is not fully known.

**Experiment:** Controlled scenarios are crafted to simulate particular traffic patterns that might result in disproportionate load distribution. The effectiveness of the current algorithm in managing these patterns is evaluated.

### Unknown-Unknowns:

Potential vulnerabilities may arise from the complex interdependencies between load balancers and other infrastructure components like DNS services or internal network configurations.

**Experiment:** A comprehensive shutdown of all load balancers is executed to examine the infrastructure's reaction. Such a rigorous test has the potential to reveal latent dependencies or failure points within the system's architecture that have not been previously considered.

Through methodical progression across these categories with targeted experiments, the opportunity arises to detect and rectify potential frailties within the Load Balancer configuration, thereby reinforcing the system's overall robustness. This approach necessitates meticulous planning, execution, and analysis of each experiment to accrue valuable insights while curtailing the impact on the operational environment.

## 7. CHAOS ENGINEERING TOOLS

### 1-Litmus / Harness Chaos Engineering:

*Platforms: Kubernetes*

*Release year: 2018*

*Creator: MayaData*

*License: Open source (with a managed option)*

Litmus started as a testing tool for OpenEBS and has since grown into one of the largest open-source Kubernetes-native Chaos Engineering tools. It provides a library of faults for testing containers, hosts, and platforms such as Amazon EC2, Apache Kafka, and Azure.



## **2-AWS Fault Injection Simulator and AWS Resilience Hub**

*Platforms: AWS*

*Release year: 2021*

*Creator: Amazon Web Services*

*License: Commercial*

AWS Fault Injection Simulator (FIS) lets you introduce faults into AWS services, including Amazon RDS, Amazon EC2, and Amazon EKS. AWS Resilience Hub evaluates your AWS environment, compares them to reliability policies, and provides improvement recommendations.

## **3-Azure Chaos Studio**

*Platforms: Azure*

*Release year: 2021*

*Creator: Microsoft*

*License: Commercial*

Azure Chaos Studio is a Chaos Engineering solution for running faults directly on the Azure API. It supports faults on Azure Compute instances, CosmosDB, and Azure Cache for Redis. It also supports Kubernetes via integration with Chaos Mesh.

## **4-Steadybit**

*Platforms: Docker, Kubernetes, Linux hosts*

*Release year: 2018*

*Creator: Steadybit*

*License: Commercial*

Steadybit is a commercial Chaos Engineering tool that aims to build remediation into its experiments.

## **5-Chaos Monkey**

*Platform: Spinnaker*

*Release year: 2012*

*Creator: Netflix*

*Language: Go*

It was one of the first Chaos Engineering tools and kickstarted the adoption of Chaos Engineering outside of large companies.

## **6-ChaosBlade**

*Platforms: Docker, Kubernetes, bare-metal, cloud platforms*

*Release year: 2019*

*Creator: Alibaba*

*Language: Go*

ChaosBlade is a CNCF sandbox project built on nearly ten years of failure testing at Alibaba. It supports many platforms, including Kubernetes, cloud platforms, and bare-metal, and provides dozens of attacks, including packet loss, process killing, and resource consumption.

## **7-Chaos Mesh**

*Platform: Kubernetes*

*Release year: 2020*

*Creator: PingCAP*

*License: Open source*

Chaos Mesh is a Kubernetes-native tool that lets you deploy and manage your experiments as Kubernetes resources. It's also a Cloud Native Computing Foundation (CNCF) sandbox project (Wikic2., n.d.).

## **8-Chaos Toolkit**

*Platforms: Docker, Kubernetes, bare-metal, cloud platforms*

*Release year: 2018*

*Creator: ChaosIQ*

*License: Open source*

Chaos Toolkit will be familiar to anyone who's used an infrastructure automation tool like Ansible. Instead of making you select from predefined experiments, Chaos Toolkit lets you define your own.

## **9-Toxiproxy**

*Platforms: Any*

*Release year: 2014*

Creator: *Shopify*

License: *Open source*

Toxiproxy is a network failure injection tool that lets you create conditions such as latency, connection loss, bandwidth throttling, and packet manipulation. As the name implies, it acts as a proxy that sits between two services and can inject failure directly into traffic.

**10-Istio**

Platform: *Kubernetes*

Release year: *2017*

Creators: *Google, IBM, and Lyft*

License: *Open source*

Istio is best known as a Kubernetes service mesh, but not many know it natively supports fault injection as part of its traffic management feature.

creates a working area for high availability. In addition, it gives an idea about all the weaknesses of the system and how to act in case of disaster.

**9. CONCLUSION**

In this article, we have discussed Chaos Engineering is a concept that has started to be used to check the reliability of distributed systems and systems running on the cloud, especially distributed systems running on the cloud. In this context, it is stated that Chaos Engineering involves creating errors around the service in a controlled manner in order to verify the durability of the service and find weaknesses. Chaos Engineering is used to understand the behavior of systems by simulating real-world scenarios, detect weaknesses and strengthen the system against unexpected failures. This continuous improvement process ensures that cloud systems become more robust and reliable. You can also strengthen the fragility of your systems by using best practices and relevant tools.

	Gremlin	Litmus	AWS FIS	AWS Resilience Hub	Azure Cloud Studio	Steadybit	Chaos Monkey	ChaosBlade	Chaos Mesh	Chaos Toolkit	ToolProxy	Istio
License	Commercial	Open source	Commercial	Commercial	Commercial	Commercial	Open source	Open source	Open source	Open source	Open source	Open source
Works with	Kubernetes, containers, Linux and Windows hosts	Kubernetes	Cloud (AWS-only)	Cloud (AWS-only)	Cloud (AWS-only)	Kubernetes, Docker, and Linux hosts	Sprinkler	Docker, Kubernetes, bare-metal, cloud platforms	Kubernetes	Docker, Kubernetes, bare-metal, cloud platforms	Network	Kubernetes
Application faults	✓		✓		✓	✓		✓				
Host faults	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Container/Pod faults	✓	✓			✓	✓		✓	✓	✓		✓
GUI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			
CLI	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓
REST API	✓				✓	✓		✓			✓	
Reliability scoring	✓	✓		✓								
Reliability policies	✓			✓		✓						
Metrics/Reporting	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓		✓
Shared fault library	✓	✓				✓						
Test halting	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓
Test scheduling	✓	✓			✓		✓		✓			
Random targets	✓	✓				✓	✓		✓	✓		
Custom faults			✓		✓	✓				✓		
Health checks	✓	✓				✓				✓		

**Figure 4.** Chaos engineering tools comparison matrix  
(Comparing chaos engineering tools)

**8. WHAT ARE THE BENEFITS**

We have talked about many features of chaos engineering, but it would be good to talk about its benefits in general. First of all, determining and testing this approach shows how well the system can survive against problems that may occur in live environments and increases the reliability of the system. If errors are known in advance, preliminary studies can be carried out on this issue to ensure that the system is resistant to major errors. It prevents major problems in remote systems of users and customers and reduces repair and maintenance activities. It saves money and time for the customer and provides long-term reliability to the company. It prevents unexpected interruptions in distributed systems and

**REFERENCES**

Al-Said Ahmad, A., Al-Qora'n, L.F. & Zayed, A. Exploring the impact of chaos engineering with various user loads on cloud native applications: an exploratory empirical study. *Computing* 106, 2389–2425 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00607-024-01292-z>

Chaos Mesh. (2024). Chaos Mesh Overview. Chaos Mesh. <https://chaos-mesh.org/docs/>

Comparing Chaos Engineering tools. (2024, February 19). Gremlin. <https://www.gremlin.com/community/tutorials/chaos-engineering-tools-comparison>

IBM. (n.d.). What is Chaos Engineering? Retrieved from <https://www.ibm.com/topics/chaos-engineering>

Torkura, Kennedy & Sukmana, Muhammad Ihsan Haikal & Cheng, Feng & Meinel, Christoph. (2019). Security Chaos Engineering for Cloud Services. <https://doi.org/10.1109/NCA.2019.8935046>.

Yadav, Rahul. (2024). Harnessing Chaos: The Role of Chaos Engineering in Cloud Applications and Impacts on Site Reliability Engineering. 72. 25-30. <https://doi.org/10.14445/22312803/IJCTT-V72I6P104>.

Wikic2. (n.d.). Eight Fallacies of Distributed Computing. Retrieved from <https://wiki.c2.com/?EightFallaciesOfDistributedComputing>