

## KUMAŞ BOYAMA SÜRECİNDE BULANIK TOPSIS İLE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

Emine EŞ YÜREK \*

Alınma: 31.10.2023; kabul: 27.11.2023

**Öz:** Kumaş boyama sürecinde çok sayıda fiziksel ve kimyasal işlem uygulanmaktadır. Ürün özelliklerine göre belirlenmesi gereken malzeme reçetelerinin ve sıcaklık, devir hızı, pH gibi parametrelerin doğru ayarlanmaması hatalara sebep olmaktadır. Bu hataların bir kısmı yeniden işleme ile giderilebilse bile operasyonel maliyetleri arttırmaktadır. Bu çalışmada, Bursa’da tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin boyama süreçlerinde karşılaşılan hataları belirlemek, risklerini değerlendirmek ve önceliklendirmek amacıyla bulanık TOPSIS ile Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) uygulanmaktadır. Bulanık mantık, hataların dilsel değişkenler kullanılarak değerlendirilmesini; TOPSIS ise şiddet, olasılık ve saptanabilirlik kriterlerine farklı ağırlıklar verilmesini mümkün kılmaktadır. Çalışma sonucunda hataları azaltabilecek önleyici tedbirler değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hata türü ve etkileri analizi, Bulanık TOPSIS, Kumaş boyama, Kalite iyileştirme

### Failure Mode and Effects Analysis with Fuzzy TOPSIS in Fabric Dyeing Process

**Abstract:** A number of physical and chemical operations are applied in fabric dyeing. Failure to correctly adjust material recipes and parameters such as temperature, rotation speed, and pH, which must be determined according to product features, causes errors. Even though some of these errors can be eliminated by rework, they increase operational costs. In this study, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) with fuzzy TOPSIS is applied to determine the failure types in the dyeing processes of a company operating in the textile sector in Bursa to evaluate and prioritize their risks. Fuzzy logic enables evaluating errors using linguistic variables, while TOPSIS gives different weights to severity, probability, and detectability criteria. As a result of the study, preventive actions that can reduce these errors are evaluated.

**Keywords:** Failure mode and effects analysis, Fuzzy TOPSIS, Fabric dyeing, Quality improvement

## 1. GİRİŞ

Rekabetin küresel bir boyut kazandığı günümüz koşulları, işletmeleri etkin çalışmaya zorlamaktadır. Bunun için, işletmelerin faaliyetlerini gerçekleştirirken malzeme, enerji, para, zaman ve işgücü israfından kaçınmaları gerekmektedir. Fakat üretim süreçlerinde yapılan hatalar, çoğu zaman kalitesizliğe ve israfa neden olarak operasyonel etkinliğin önündeki en önemli engellerden birini oluşturmaktadır. Kalite kontrol faaliyetleri kalitesiz ürünün müşteriye gitmesini engelleyerek müşteriye korumaktadır. Tarihsel gelişimi içerisinde son kontrolden süreç içine hatta mal kabule kadar yayılmış olan kalite kontrol anlayışı ise süreci izleyerek olası aksaklıkları erken tespit edip kaynakların israfını azaltmayı hedeflemektedir. Yine de, tüm kalite kontrol faaliyetlerine rağmen üretim süreçlerinde kalitesizlikle karşılaşmaktadır. Kaynakların etkin şekilde kullanılabilmesi için hataların henüz gerçekleşmeden önlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen ve toplam kalite felsefesindeki önemli araçlardan biri olan Hata Türü ve

\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16059 Nilüfer Bursa

İletişim Yazarı: Emine Eş Yürek (esyurek@uludag.edu.tr)

Etkileri Analizi (HTEA), olası hataların tanımlanması ve önem derecelerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bu sayede, her bir hata türü için önleyici tedbirlerin belirlenip uygulanarak hataların giderilmesi ve kalitenin iyileştirilmesini sağlamaktadır. İlk kez 1960'ların ortalarında, havacılık sektöründe kullanılmış, kalite iyileştirmedeki başarısı nedeniyle kimya, otomotiv, tekstil gibi pek çok farklı sektörde kullanımı zamanla yaygınlaşmıştır (Wu ve diğ., 2021).

Bu teknikte, çalışmaya konu olan her bir ürün, parça veya işlem için olası hatalar, bunların son kullanıcıya olan etkisi ve hataya sebep olan olası nedenler araştırılmaktadır. Bu sayede sorunlar izlenebilir ve düzeltici ve önleyici tedbirler alınabilir. Öncelikle uzman bir ekip tarafından potansiyel hata türleri belirlenir. Bu hatalar; şiddet (Ş), olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) olmak üzere üç farklı kriter açısından değerlendirilir. Şiddet, hatanın sonuçları açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Olasılık, hatanın gerçekleşme sıklığını gösteren kriterdir. Saptanabilirlik ise hatanın tespit edilmesindeki zorluğu ifade etmektedir. Her bir hata, bu üç kriter açısından 1-10 arasında puanlandırılır. Bu üç kriterin puanlarının çarpımı risk öncelik sayısını (RÖS) vermektedir. Hatalar, hesaplanan RÖS değerlerine göre sıralanır. Yüksek RÖS değeri, yüksek risk anlamına gelmektedir. Risklerin belirlenmesini takiben, yüksek riskli hatalar öncelikli olmak üzere, önleyici tedbirler değerlendirilmelidir.

Geleneksel HTEA'nın bazı zayıflıkları söz konusudur (Tekez, 2018). İlk olarak, hataların şiddet, olasılık ve saptanabilirlik kriterleri açısından değerlendirilmesi subjektiftir ve uzman kişiler tarafından yapılır. Hatalara kesin sayısal değerler atamak zor bir iştir. Bu nedenle, değerlendirmeyi yapan uzmanlar dilsel ifadeler kullanma eğilimindedir (Sofyalıoğlu, 2011). Uzmanlardan daha gerçekçi dilsel değerlendirmeler alabilmek için Bowles ve Pelaez (1995) HTEA'yı bulanık mantık ile birlikte uygulamıştır. Bu şekilde, her bir hata ilgili kriter açısından "çok yüksek, yüksek, orta yüksek, orta, orta düşük, düşük, çok düşük" gibi dilsel değişkenlerle değerlendirilebilmiştir. Geleneksel HTEA ve bulanık HTEA ile elde edilen risklerin karşılaştırmasında başarılı sonuçlar veren bulanık HTEA etkili bir yöntem olarak benimsenmiştir (Dağsuyu ve diğ., 2016; Yazıcı ve diğ., 2021; Gul ve diğ., 2020; Testik ve Unlu, 2023; Cardiel-Ortega ve Baeza-Serrato, 2023). İkinci olarak, söz konusu kriterlerin ağırlıkları eşit kabul edilmektedir. Fakat, bazı hata türlerinde, hatanın gerçekleşme sıklığı düşük, şiddeti çok yüksek olabilir. Böyle bir durumda, her iki kriterin eşit değerlendirilmesi risk önceliklendirmede yanıltıcı olabilir. Son olarak, farklı hata türleri için aynı RÖS değerleri elde edilebilir ve bu da risklerin değerlendirilmesinde yanıltıcı olabilir. Örneğin şiddeti 9, olasılığı 1, saptanabilirliği 3 olan bir hata ile şiddeti 1, olasılığı 9 ve saptanabilirliği 3 olan bir hatanın her ikisinin de RÖS değerleri 27 çıkabilir. Oysa, her iki hata türünün doğuracağı sonuçlar çok farklı etkilere sebep olabilmektedir. HTEA'nın çok kriterli karar verme yöntemleri ile uygulanması, kriterlere farklı ağırlıklar verilmesini ve hata önceliklendirmenin daha güvenilir sonuçlar vermesini sağlamıştır (Liu ve diğ., 2019). Liu ve diğ. (2019), HTEA'yı çok kriterli karar verme yöntemleri ile entegre eden çalışmaları incelemiş ve başarıyla uygulanan yöntemlerden birinin TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) olduğunu göstermiştir. Literatürde, bulanık mantık ve TOPSIS'in HTEA ile birlikte uygulandığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Song ve diğ., 2013; Liu ve diğ., 2015; Vahdani ve diğ., 2015; Dhiman ve Deb, 2020; Gul ve Ak, 2021; Bocut ve Uncu, 2022; Sharifi ve diğ., 2022).

Bu çalışma, Bursa'da tekstil sektöründe örme, dokuma, apre, düz boya ve baskı üzerine faaliyet gösteren bir işletmenin boyama süreçlerinde, son üründe karşılaşılan hataları belirlemek, risklerini değerlendirmek, önceliklendirmek ve önleyici tedbirleri değerlendirerek hataları azaltmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, bulanık TOPSIS ile HTEA uygulanmış, risk öncelikli hataların azaltılması için önleyici faaliyetler değerlendirilmiştir. Bölüm 2'de tekstil sektöründe gerçekleştirilen HTEA çalışmaları incelendiğinde bu çalışmaların çoğunlukla konfeksiyon süreçlerine odaklandığı görülmüştür. Kumaş boyamada ise geleneksel HTEA'nın dezavantajlarını gidermeye yönelik entegre yöntemleri uygulayan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu açıdan, bu çalışma, uygulandığı işletmenin operasyonel etkinliğine katkı sağlamanın ötesinde,

kumaş boyama sürecinin risk analizinde bildiğimiz kadarıyla ilk bulanık TOPSIS çalışması olması yönüyle literatüre de katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, HTEA'nın tekstil sektöründeki uygulamaları incelenmiştir. Üçüncü bölümde, bu çalışmada uygulanan bulanık TOPSIS yöntemi anlatılmaktadır. Çalışmanın gerçekleştirildiği işletmedeki HTEA uygulaması dördüncü bölümde anlatılmış, elde edilen sonuçlar paylaşılmış ve alınabilecek önlemler değerlendirilmiştir. Son olarak, beşinci bölümde ise genel sonuçlar ve değerlendirmelerden bahsedilmektedir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde HTEA'nın tekstil sektöründeki uygulamaları incelenmiştir. HTEA çalışmalarının çoğunlukla konfeksiyon süreçlerinde uygulandığı görülmektedir. Ünal ve Acar (2016) tarafından bir kot üretim işletmesinde potansiyel hatalar ve riskler belirlenip önleyici tedbirler değerlendirilmiştir. Bir konfeksiyon işletmesinin kesimhane bölümünde HTEA'yı uygulayan Küçük ve diğ. (2016) belirlenen 18 hatadan 8'inin yüksek öncelikli olduğunu göstermiştir. Eren ve Pamuk (2020) ise faaliyet gösteren bir işletmenin numune son onay aşamasında HTEA uygulamış ve 13 hata tespit etmiş, önerilen önleyici tedbirlerin dikkate alınması ile hata risklerinin önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir. Pazireh ve diğ. (2017), orta ölçekli bir konfeksiyon işletmesinde HTEA'yı uyguladıktan sonra gerçekleştirdikleri simülasyon çalışması ile önleyici tedbirlerin kusurlu ürün, yeniden işleme ve toplam üretim maliyetlerindeki etkilerini analiz etmiştir. Erdil ve Taçgın (2018), sürdürülebilirlik bakış açısı ile konfeksiyon sektöründe, üretim süreçlerindeki ekonomik olumsuzluklar kadar çevresel olumsuzları da azaltmak amacıyla HTEA'yı uygulamıştır. Korkusuz Polat (2019), HTEA'yı kural tabanlı bir bulanık mantık ile birlikte uygulamıştır. Buruk Şahin ve Aktar Demirtaş (2021) konfeksiyon alanında faaliyet gösteren bir işletmede, HTEA ile istatistiksel kalite kontrol tekniklerini entegre ederek bir karar destek sistemi kurmuştur. İstatistiksel süreç noktalarındaki veri girişini karar destek sistemi ile entegre ederek sistemin doğru veriyi kullanarak risk önceliklendirmesi yapmasını sağlamıştır. Böylece karar vericilerin sonuçları yorumlama ve doğru aksiyonları alması kolaylaşmıştır. Yucesan ve Gul (2021), konfeksiyon sektöründeki bir işletmede hataların risk önceliklendirmesini yapmak için nütrosifik analitik hiyerarşi prosesi (NAHP) ile HTEA'yı birlikte uygulamıştır.

HTEA, iplik üretiminde de hataları önlemede uygulanmış ve etkili olmuştur. Bilişik (2018), önleyici tedbirlerin uygulanmasını dikkate alarak risk önceliği açısından bir öncesi-sonrası değerlendirmesi yapmış ve risklerin %39 azaldığını göstermiştir. Mutlu ve Altuntaş (2019) ise hataları belirlerken hata ağacı analizi kullanmış ve toplamda 57 adet hata belirlemiştir. HTEA sonucunda, bunlardan %22,8'inin tolere edilemez, %15,78'inin ise yüksek riskli olduğu ortaya çıkmıştır.

Özyazgan ve Engin (2013) HTEA'yı örme işletmesinde uygulamış ve örme makinesi kaynaklı yedi adet yüksek öncelikli hata tespit etmiştir. Benzer şekilde, örme sürecindeki hataları ve önceliklerini belirlemek isteyen Tekez (2018), HTEA'yı bulanık TOPSIS ile uygulamıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda hataların ağırlıklı olarak örme makinesindeki ayarların doğru yapılmamasından kaynaklandığını belirlemiştir.

HTEA'yı bir dokuma işletmesinde uygulayan Özyazgan (2014), hatalara sebep olan kritik faktörlerin çalışanların eğitim eksikliği ve olumsuz çalışma koşulları olduğunu ortaya çıkarmıştır. Dedimas ve Gebeyahu (2019), 178 adet dokuma tezgâhının bulunduğu bir işletmede, hataları %4,18 oranında azaltmıştır.

Tekstil boya-terbiye işlemlerinde ise Sabır ve Benekli (2015) tarafından HTEA uygulanmış, üç adet yüksek riskli hata tespit edilmiş ve önleyici tedbirler önerilmiştir.

Tekstil sektöründeki üretim süreçlerinin ötesinde tedarik zincirindeki hatalar da akademik çalışmalara konu olmuştur. Hashim ve diğ. (2023), sözkonusu hataları tespit etmek ve riskleri önceliklendirmek için bulanık AHP ve bulanık TOPSIS'i HTEA ile birlikte uygulamıştır. Yontar

ve Zengin (023) ise tedarik zinciri risk yönetimi için genel bir çerçeve geliştirmeyi amaçladıkları çalışmada, üretim, dağıtım, müşteri, tersine lojistik başlıkları altındaki riskleri değerlendirmiştir.

### 3. YÖNTEM

TOPSIS yöntemi, pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak çözümün seçilmesi düşüncesine dayanmaktadır (Salih ve diğ., 2019). Bu yöntemde alternatiflerin değerlendirilmesi ve kriterlerin ağırlıklandırılması kesin sayısal değerler kullanılarak yapılmaktadır. Oysa, karar vericilerin değerlendirmeleri kesin sayılar olmayıp belirsizlik içermektedir. Chen (2000), bu kesinliği ortadan kaldırmak amacıyla TOPSIS'e bulanık mantığı entegre etmiştir. Bulanık TOPSIS'te alternatifler ve kriterler dilsel değişkenler kullanılarak uzman kişiler tarafından değerlendirilir. Bu değerlendirmeler üçgen bulanık sayılara dönüştürülür. İki üçgen bulanık sayı arasındaki mesafeler hesaplanır. Bulanık pozitif-ideal çözüm ve bulanık negatif-ideal çözüme olan uzaklıklar dikkate alınarak yakınlık katsayısı hesaplanır. Alternatiflerin önceliklendirmesinde bu yakınlık katsayısı kullanılır. Yöntemin uygulama adımları şöyledir (Chen, 2000):

1. Alternatifler ve kriter ağırlıkları, Tablo 1 ve 2'deki dilsel değişkenler kullanılarak K adet uzman tarafından değerlendirilir.
2. Alternatiflere her kriter için verilen dilsel skorlar üçgen bulanık sayılara dönüştürülür,  $\tilde{x}_{ij}^k = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  ve  $\tilde{w}_j^k = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ .  
 $\tilde{x}_{ij}^k$ : k. uzmanın i. alternatifine j. kriter için verdiği dilsel değişken  
 $\tilde{w}_j^k$ : k. uzmanın j. kriterin ağırlığı için verdiği dilsel değişken
3.  $\tilde{x}_{ij}$  ve  $\tilde{w}_j$  dilsel değişkenleri Eş. (1) ve (2) ile hesaplanır,  $\tilde{D}$  bulanık karar matrisi ve  $\tilde{W}$  bulanık ağırlık vektörü elde edilir.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1(+) \tilde{x}_{ij}^2(+) \dots (+) \tilde{x}_{ij}^K] \quad (1)$$

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1(+) \tilde{w}_j^2(+) \dots (+) \tilde{w}_j^K] \quad (2)$$

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n]$$

4. Normalize edilmiş bulanık karar matrisi  $\tilde{R}$  oluşturulur.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (3)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right)$$

$$c_j^* = \max_i c_{ij}$$

5. Kriterlerin ağırlıkları dikkate alınarak ağırlıklandırılmış ve normalize edilmiş bulanık karar matrisi  $\tilde{V}$ ,  $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot) \tilde{w}_j$  denklemi kullanılarak elde edilir.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (4)$$

6. Bulanık pozitif-ideal çözüm (BPİÇ,  $A^+$ ) ve bulanık negatif-ideal çözüm (BNİÇ,  $A^-$ ) tanımlanır. Ağırlıklandırılmış normalize bulanık karar matrisi, değeri  $[0,1]$  olan pozitif üçgen bulanık sayılardan oluşmaktadır. Bu durumda, BPİÇ tamamı 1, BNİÇ ise tamamı 0 olan üçgen bulanık sayılardan oluşur.

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-)$$

$$\tilde{v}_j^+ = (1,1,1) \text{ ve } \tilde{v}_j^- = (0,0,0), \quad j = 1,2, \dots, n$$

7. Alternatiflerin  $A^+$  ve  $A^-$ 'ye uzaklıkları Eş. (5) ve (6) ile hesaplanır.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), \quad i = 1,2, \dots, m \quad (5)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1,2, \dots, m \quad (6)$$

İki üçgen bulanık sayı arasındaki mesafe,  $d(\cdot, \cdot)$  fonksiyonu ile aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) = \sqrt{\frac{1}{3}[(\tilde{v}_{ij1} - 1)^2 + (\tilde{v}_{ij2} - 1)^2 + (\tilde{v}_{ij3} - 1)^2]} \quad (7)$$

$$d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) = \sqrt{\frac{1}{3}[(\tilde{v}_{ij1} - 0)^2 + (\tilde{v}_{ij2} - 0)^2 + (\tilde{v}_{ij3} - 0)^2]} \quad (8)$$

$$\tilde{v}_{ij} = (\tilde{v}_{ij1}, \tilde{v}_{ij2}, \tilde{v}_{ij3})$$

8. Alternatifleri önceliklendirmek için yakınlık katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır. Yakınlık katsayısı 1'e yaklaştıkça alternatifin önceliği artmaktadır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad i = 1,2, \dots, m \quad (9)$$

**Tablo 1. Hata türlerinin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenler (Chen, 2000)**

Dilsel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayı		
Çok düşük (ÇD)	0	0	0,1
Düşük (D)	0	0,1	0,3
Orta düşük (OD)	0,1	0,3	0,5
Orta (O)	0,3	0,5	0,7
Orta yüksek (OY)	0,5	0,7	0,9
Yüksek (Y)	0,7	0,9	1
Çok yüksek (ÇY)	0,9	1	1

**Tablo 2. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında kullanılan dilsel değişkenler (Chen, 2000)**

HT için Önem Ağırlıkları	Üçgen Bulanık Sayı		
Çok zayıf (Z)	0	0	1
Zayıf (Z)	0	1	3
Orta zayıf (OZ)	1	3	5
Orta (O)	3	5	7
Orta güçlü (OG)	5	7	9
Güçlü (G)	7	9	10
Çok güçlü (ÇG)	9	10	10

#### 4. UYGULAMA

Kumaş boyama işlemi, dokumadan gelen kumaşa boyar madde, boyama yardımcı maddeleri ve çeşitli kimyasallar kullanılarak istenilen rengin verilmesidir. Dokumadan gelen top halindeki kumaş, kuru açma makinelerinde açılır ve jet makinelerine alınır. Burada ön yıkama yapılarak kumaş, üzerindeki yağ ve kirden arındırılır. Islak haldeki kumaşa belirli kimyasallar ve boya verilerek kumaş boyanır. Boyama işleminden sonra kumaş ram makinelerinde kurutulur ve istenilen sertlik ayarı için aprelenir. İstenilen ürün özelliklerine göre boyanıp kurutulan kumaş kalite kontrol işleminden geçer.

Kumaş boyama süreci fiziksel ve kimyasal olmak üzere pek çok işlemden oluşmaktadır. İstenilen ürün özelliklerine göre değişiklik gösteren malzeme reçetelerinin doğru uygulanmaması ve sıcaklık, basınç, pH gibi parametrelerin doğru ayarlanmaması hatalara sebep olmaktadır. Kalite kontrol aşamasında tespit edilen hataların bir kısmı kumaşın yeniden işlenmesi ile giderilebilirken bir kısmı ise ıskarta ile sonuçlanmaktadır. Bu hatalar yüksek üretim maliyetlerine sebep olduğundan kumaşın istenilen ürün özelliklerine göre ilk seferde doğru boyanması çok önemlidir.

Çalışmanın yapıldığı işletmede; kalite mühendisi, tekstil mühendisi ve üretim sorumlusundan oluşan üç uzman kişi ile yapılan görüşmeler neticesinde kumaş boyama sürecinde karşılaşılan hatalar belirlenmiştir. Bu hatalar ve oluş nedenleri aşağıdaki gibidir:

**Abraj:** Boyanın kumaş yüzeyine eşit dağılmamasıdır. Kumaşın bazı kısımları açıkta koyulu veya değişik tonlarda olabilir. Bu hatanın farklı nedenleri olabilir. Kumaşın makineye düzgün yerleştirilmemesi dönme esnasında takılmasına neden olur. Makinenin dönme devir düzensizliği de benzer şekilde kumaşın takılmasına neden olur. Kumaş takıldığında boyayı eşit alamaz. Ayrıca boyar maddenin çözeltide iyi çözünmemiş olması da boyanın eşit dağılmamasına neden olur.

**Kanat:** Kumaşın sağ ve sol kenarlarında renk farkı olmasıdır. Kumaş boyandıktan sonra kurutma ve apreleme sırasında kumaşın ortası ile kenarındaki ısı farkından kaynaklanmaktadır. Ayrıca sıkma silindirinde kavislenme olması, boyama sonrasındaki sıkma sırasında kumaşın ortası ile kenarlarının eşit sıkılmamasına sebep olur. Bu durumda, kumaşın kenarlarında daha fazla çözelti kalır ve renk farkı ortaya çıkar.

**Haslık:** Kumaşın boyayı atmasıdır. Boya atan kumaş, yıkamada suya boya salar veya herhangi bir yere sürtüldüğünde boyar. Kumaşın diğer kumaşları veya kıyafetleri boyaması, oturlan koltuğu boyaması haslığa birer örnektir. Boya çözeltisindeki kimyasalların doğru miktarda kullanılmaması ve pH'ının doğru olmaması bu hata türüne neden olur.

**Mekanik kırık:** Dokumadan gelen kumaş boyaya girmeden silindir ile açılır. Kumaş silindirde yeterince gergin değilse silindirlerin arasında katlanır ve kırık oluşur. Ayrıca operatörün kumaşı bir yere sürtmesi veya boya jetine alması sırasında da kırık oluşabilir. Kumaş henüz boyaya girmeden oluşan kırıktır.

**Boya kırığı:** Mekanik kırığın aksine kumaşın boya jetinde kırılması ile ortaya çıkan çatlak görünümdür. Boya jetinin gerekenden daha düşük devirde çalışması kumaşın düzgün dönmemesine ve bazı noktalarının boya almamasına neden olur.

**Yağ-kir:** Kumaşın makinede veya işletme içerisinde kirlenerek üzerinde kir ve yağ lekelerinin oluşmasıdır.

**Çekmezlik:** Kumaşın kabul edilemez oranda çekmesidir. Kumaş, kalite kontrolden çıktıktan sonra yıkama testi yapılır. Belirli bir oranın üzerinde çeken kumaş çekmezlik testini geçemez ve tekrar işleme girer. Yeniden işlendiğinde sorun giderilebilir, tespit edilebildiği için müşteriye gitmesi söz konusu değildir fakat operasyonel maliyetleri olumsuz etkiler.

**En farkı:** Kumaşın ramdan geçmesi esnasında toplar arasında farklı enlere sahip olmasıdır. Genellikle likralı kumaşlarda ve uygun fikse edilmeyen kumaşlarda sarım esnasında oluşur.

Kumaş boyama sürecinde karşılaşılan hatalar belirlendikten sonra aynı ekip; hataları şiddet, olasılık ve saptanabilirlik kriterlerine göre değerlendirmiştir. Uzman ekibin Tablo 1'deki dilsel değişkenleri dikkate alarak yaptıkları değerlendirmeler Tablo 3'te, Tablo 2'deki değişkenleri dikkate alarak kriterlerin önem dereceleri için yaptıkları değerlendirmeler ise Tablo 4'te gösterilmektedir.

**Tablo 3. Hata türlerinin dilsel değişkenler ile değerlendirilmesi**

Hata Türleri	Uzman 1			Uzman 2			Uzman 3		
	Ş	O	S	Ş	O	S	Ş	O	S
Abraj	ÇG	OG	O	ÇG	O	G	G	OG	G
Kanat	ÇG	OG	OG	G	O	G	G	O	G
Haslık	ÇG	O	Z	G	O	Z	G	OG	ÇZ
Mekanik Kırık	G	O	G	G	O	G	ÇG	O	O
Boya Kırığı	G	O	O	O	O	O	G	G	O
Yağ-Kir	O	O	O	OZ	OG	Z	OZ	OG	Z
Çekmezlik	O	Z	ÇZ	O	Z	Z	O	Z	ÇZ
En Farkı	O	OG	Z	O	O	O	OG	OG	Z

**Tablo 4. Kriterlerinin önem ağırlıklarının dilsel değişkenler ile değerlendirilmesi**

Kriterler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
Şiddet	ÇY	Y	Y
Olasılık	Y	Y	Y
Saptanabilirlik	O	O	OY

Uzman değerlendirmeleri bulanık üçgen sayılara dönüştürülmüş ve Tablo 5'teki bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Bulanık karar matrisi normalize edilerek normalize bulanık karar matrisi (Tablo 6) ve kriterlerin önem dereceleri dikkate alınarak ağırlıklandırılmış normalize bulanık matris elde edilmiştir (Tablo 7).

**Tablo 5. Bulanık karar matrisi**

Hata Türleri	Şiddet			Olasılık			Saptanabilirlik		
Abraj	8,33	9,67	10,00	4,33	6,33	8,33	5,67	7,67	9,00
Kanat	7,67	9,33	10,00	3,67	5,67	7,67	6,33	8,33	9,67
Haslık	7,67	9,33	10,00	3,67	5,67	7,67	0,00	0,67	2,33
Mekanik Kırık	7,67	9,33	10,00	3,00	5,00	7,00	5,67	7,67	9,00
Boya Kırığı	5,67	7,67	9,00	4,33	6,33	8,00	3,00	5,00	7,00
Yağ-Kir	1,67	3,67	5,67	3,33	5,00	7,00	1,00	2,33	4,33
Çekmezlik	3,00	5,00	7,00	0,00	1,00	3,00	0,00	0,33	1,67
En Farkı	3,67	5,67	7,67	4,33	6,33	8,33	1,00	2,33	4,33

**Tablo 6. Normalize bulanık karar matrisi**

Hata Türleri	Şiddet			Olasılık			Saptanabilirlik		
Abraj	0,83	0,97	1,00	0,52	0,76	1,00	0,59	0,79	0,93
Kanat	0,77	0,93	1,00	0,44	0,68	0,92	0,66	0,86	1,00
Haslık	0,77	0,93	1,00	0,44	0,68	0,92	0,00	0,07	0,24
Mekanik Kırık	0,77	0,93	1,00	0,36	0,60	0,84	0,59	0,79	0,93
Boya Kırığı	0,57	0,77	0,90	0,52	0,76	0,96	0,31	0,52	0,72
Yağ-Kir	0,17	0,37	0,57	0,40	0,60	0,84	0,10	0,24	0,45
Çekmezlik	0,30	0,50	0,70	0,00	0,12	0,36	0,00	0,03	0,17
En Farkı	0,37	0,57	0,77	0,52	0,76	1,00	0,10	0,24	0,45

**Tablo 7. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi**

Hata Türleri	Şiddet			Olasılık			Saptanabilirlik		
Abraj	0,64	0,90	1,00	0,36	0,68	1,00	0,21	0,45	0,71
Kanat	0,59	0,87	1,00	0,31	0,61	0,92	0,24	0,49	0,77
Haslık	0,59	0,87	1,00	0,31	0,61	0,92	0,00	0,04	0,19
Mekanik Kırık	0,59	0,87	1,00	0,25	0,54	0,84	0,21	0,45	0,71
Boya Kırığı	0,43	0,72	0,90	0,36	0,68	0,96	0,11	0,29	0,56
Yağ-Kir	0,13	0,34	0,57	0,28	0,54	0,84	0,04	0,14	0,34
Çekmezlik	0,23	0,47	0,70	0,00	0,11	0,36	0,00	0,02	0,13
En Farkı	0,28	0,53	0,77	0,36	0,68	1,00	0,04	0,14	0,34

Hata türlerinin bulanık pozitif-ideal çözüm ve bulanık negatif-ideal çözüme uzaklıkları Tablo 8'deki gibidir. Bu uzaklıklar kullanılarak hesaplanan yakınlık katsayısı Tablo 9'da verilmiştir. Yakınlık katsayılarının büyükten küçüğe sıralaması ise risk öncelik sıralamasını vermektedir. Buna göre abraj, kanat ve mekanik kırık en yüksek riske sahip ilk üç hata türü olarak belirlenmiştir. Bu hataları sırasıyla boya kırığı, haslık ve en farkı takip etmektedir. Yağ-kir ve çekmezlik ise en düşük riske sahip iki hata türüdür.

**Tablo 8. Hata türlerinin BPİÇ ve BNİÇ'e uzaklıkları**

Hata Türleri	Ş	O	S	di+	Ş	O	S	di-
Abraj	0,2160	0,4100	0,5777	1,2038	0,8607	0,7304	0,5026	2,0936
Kanat	0,2494	0,4604	0,5457	1,2554	0,8375	0,6623	0,5429	2,0427
Haslık	0,2494	0,4604	0,9287	1,6384	0,8375	0,6623	0,1092	1,6090
Mekanik Kırık	0,2494	0,5153	0,5777	1,3424	0,8375	0,5946	0,5026	1,9347
Boya Kırığı	0,3700	0,4107	0,7031	1,4838	0,7096	0,7123	0,3684	1,7903
Yağ-Kir	0,6785	0,5019	0,8370	2,0174	0,3893	0,5988	0,2147	1,2027
Çekmezlik	0,5678	0,8574	0,9512	2,3764	0,5035	0,2170	0,0771	0,7977
En Farkı	0,5142	0,4100	0,8370	1,7612	0,5617	0,7304	0,2147	1,5068



**Tablo 9. Hata türlerinin yakınlık katsayısı ve risk öncelik sırası**

Hata Türleri	Yakınlık Katsayısı	Risk Öncelik Sırası
Abraj	0,6349	1
Kanat	0,6194	2
Haslık	0,4955	5
Mekanik Kırık	0,5904	3
Boya Kırığı	0,5468	4
Yağ-Kir	0,3735	7
Çekmezlik	0,2513	8
En Farkı	0,4611	6

HTEA'nın tek amacı hataları tespit edip riskleri belirlemek değildir. Bu hataların nedenlerini araştırarak önlenmesine veya risklerin azaltılmasına yönelik aksiyon almayı da gerektirir. Mevcut durumda firmada haslık ve çekmezlik hataları için testler yapılmakta olup diğer hataların tespit edilmesi için operatörün gözle kontrolü gerekmektedir. Firmadaki uzman ekiple yapılan görüşmelerin neticesinde bu hataların önlenmesi için aşağıdaki aksiyonların alınabileceği değerlendirilmiştir.

**Abraj:** Operatörün kumaşı makineye düzgün takmasını sağlamak amacıyla iş adımları oluşturulmalı ve standartlaştırılmalıdır. Kumaşın takılması, makinenin devir hızı ve boya çözeltisinin hazırlanması konularında operatör bilgilendirilmelidir.

**Kanat:** Operatör kurutma ve apre sırasındaki ısı ayarı konusunda bilgilendirilmelidir. Ayrıca silindirdeki kavışmanın önlenmesi amacıyla makine kontrol sıklığı artırılmalıdır.

**Haslık:** Boya çözeltisindeki uygun kimyasal oranları ve pH ayarı ile ilgili operatöre bilgi verilmelidir.

**Mekanik kırık:** Kumaşın boya jetine alınması sırasında oluşan kırıkların önlenmesi ve silindirde yeterli gerginlikte olması konusunda operatöre bilgilendirme yapılmalıdır.

**Boya kırığı:** Makinenin devir hızı ve kırık önleyici kimyasallar ile ilgili operatöre bilgilendirme yapılmalıdır.

**Yağ-kir:** Dokumadan gelen kumaşın ve ramdan çıkan aprelenmiş kumaşın çevre kaynaklı kirlenmesinin önüne geçmek için 5S çalışması yapılarak tertip, düzen ve temizlik sağlanmalıdır.

**Çekmezlik:** Kumaşın çekmesini önleyecek uygun kimyasal kullanımı ve standartları konusunda operatör bilgilendirilmelidir.

**En farkı:** Kumaş kalitesine göre fiske işleminde uygulanacak standartlar hakkında operatöre bilgi verilmelidir.

## 5. SONUÇ

İşletmelerin, rekabet gücünü belirleyen en önemli faktörlerden biri ürün kalitesidir. Kaliteli süreçlerden çıkan kaliteli ürünler, hem müşteri memnuniyetini arttırmayı hem de israf unsurunu ortadan kaldırarak operasyonel maliyetleri azaltmayı sağlar. Bunun için, hataları sadece düzeltmek değil aynı zamanda önlemek gerekir. Kaliteyi iyileştirme ve sürdürme çabasında kullanılan önemli araçlardan biri olan HTEA, potansiyel hataları belirleyip riskleri değerlendirerek bunları azaltmaya hatta tümüyle ortadan kaldırmaya yönelik alınabilecek aksiyonları değerlendirmeyi sağlar.

Bu çalışma, Bursa'daki bir tekstil işletmesinin düz boya süreçlerinde HTEA ile riskleri ve tedbirleri belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Geleneksel HTEA'da kriterlerin eşit öneme sahip olması ve değerlendiricilerin sayısal değişkenler yerine dilsel değişkenler kullanma eğiliminde olması nedeniyle bulanık TOPSIS ile birlikte uygulanmıştır. Analiz sonucunda abraj, kanat, mekanik kırık ve boya kırığının sırasıyla en riskli dört hata türü olduğu belirlenmiştir.

Bunları haslık, en farkı, yağ-kir ve çekmezlik hataları takip etmektedir. Hataların nedenleri ve önleyici tedbirler değerlendirilmiştir. Hataların tümünün önlenmesinde operatörün dikkat ve özeni öne çıkmaktadır. Ayrıca abraj, kanat, haslık, boya kırığı ve çekmezlik gibi hatalarda, özellikle kimyasal işlemlerde ürünün gerektirdiği reçetelerin doğru şekilde hazırlanabilmesi için istenilen ürün özelliklerine göre reçetenin standartlaştırılması ve operatörün bilgilendirilmesi önerilmiştir. Bu sayede, hata riski azaltılarak kalitenin iyileştirilmesi sağlanabilir. Kumaşa yağ bulaşması veya kirlenmesi gibi risklerin önüne geçmek amacıyla da temizlik, tertip ve düzeni sağlayıp standartlaştırılmasını sağlayacak 5S çalışması önerilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde gösterdikleri ilgi ve destekleri için tüm firma çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## YAZAR KATKISI

Emine Eş Yürek, çalışmanın tüm süreçlerinde katkıda bulunmuştur ve çalışmanın her yönünden sorumludur.

## KAYNAKLAR

1. Bahadır Ünal, Z. ve Acar, E. (2016) Failure mode and effect analysis: An application in jeans production process, *Tekstil*, 65(1-2), 3-34.
2. Bilişik, M.T. (2018) Failure mode and effect analysis and implementation in a textile factory, *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 16(2), 162-178. doi: 10.11611/yead.398967
3. Bocut, M.S. ve Uncu, N. (2022) FMEA based fuzzy Topsis for assessment of quality problems in telescopic platform production, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(4), 875-884. doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1230787
4. Bowles, J.B. ve Pelaez, C.E. (1995) Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis, *Reliability Engineering and System Safety*, 50(2), 203-213.
5. Buruk Şahin, Y. ve Aktar Demirtaş, E. (2021) DSS-Based proces control and FMEA studies for different processes in the field of textile, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 31(4), 250-263. doi: 10.32710/tekstilvekonfeksiyon.917671
6. Chen, C.T. (2000) Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 1-9.
7. Cardiel-Ortega, J.J. ve Baeza-Serrato, R. (2023) Failure mode and effect analysis with a fuzzy logic approach, *Systems*, 11, 348. doi: 10.3390/systems11070348
8. Dağsuyu, C., Göçmen, E., Narlı, M. ve Kokangül, A. (2016) Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit, *Computers & Industrial Engineering*, 101, 286-294. doi: 10.1016/j.cie.2016.09.015
9. Dedimas, T. ve Gebeyehu, S.G. (2019) Application of failure mode effect analysis (FMEA) for efficient and cost-effective manufacturing: a case study at Bahir Dar textile share

- company, Ethiopia, *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 12(1), 23-29. doi: 10.22094/joie.2018.556677.1533
10. Dhiman, H.S. ve Deb, D. (2020) Fuzzy TOPSIS and fuzzy COPRAS based multi-criteria decision making for hybrid wing farms, *Energy*, 202, 117755. doi: 10.1016/j.energy.2020.117755
  11. Erdil, A. ve Taçgın, E. (2018) Potential Risks and Their Analysis of the Apparel & Textile Industry in Turkey: A Quality-Oriented Sustainability Approach, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 26, 6(32), 30-42. doi: 0.5604/01.3001.0012.2526
  12. Eren, E.R. ve Pamuk, O. (2020) Hata türü ve etkileri analizi yönteminin konfeksiyon sektöründe uygulanması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1533-1546. doi: 10.17482/uumfd.732515
  13. Gul, M., Yucesan, M ve Celik E. (2020) A manufacturing failure mode and effect analysis based on fuzzy and probabilistic risk analysis, *Applied Soft Computing*, 96, 106689. doi: 10.1016/j.asoc.2020.106689
  14. Gul, M. ve Ak, M.F. (2021) A modified failure modes and effects analysis using interval-valued spherical fuzzy extension of TOPSIS method: case study in a marble manufacturing facility, *Soft Computing*, 25, 6157-6178. doi: 10.1007/s00500-021-05605-8
  15. Hashim, M., Nazam, M., Baig, S.A., Basit, A., Usman, M., Hussain, Z. ve Akash, R.S.I. (2023) Achieving textile supply chain reliability through risk mitigation: a stakeholders perspective, *The Journal of The Textile Institute*. doi: 10.1080/00405000.2023.2201033
  16. Korkusuz Polat, T. (2019) Risk priority with fuzzy logic: application of a textile factory, *Sakarya University Journal of Science*, 23(2), 203-212. doi: 10.16984/sofenbilder.458807
  17. Küçük, M., İşler, M. ve Güner, M. (2016) An application of the FMEA method to the cutting department of a clothing company, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 26(2), 205-212.
  18. Liu, H.C., You, J.X., Shan M.M. ve Shao, L.N. (2015) Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach, *Soft Computing*, 19, 1085-1098. doi: 10.1007/s00500-014-1321-x
  19. Liu, H.C., Chen, X.Q., Duan C.Y. ve Wang, Y.M. (2019) Failure mode and effect analysis using multi-criteria decision making methods: A systematic literature review, *Computers & Industrial Engineering*, 135, 881-897. doi: 10.1016/j.cie.2019.06.055
  20. Mutlu, N.G. ve Altuntaş, S. (2019), Hazard and risk analysis for ring spinning yarn production process by integrated FTA-FMEA approach, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 29(3), 208-218. doi: 10.32710/tekstilvekonfeksiyon.482167
  21. Özyazgan, V. (2014) FMEA analysis and implementation in a textile factory producing woven fabric, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 24(3), 303-308.
  22. Özyazgan, V. ve Engin, F.Z. (2013) FMEA analysis and applications in knitting industry, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 23(3), 328-232.
  23. Pazireh, E., Sadeghi, A.H. ve Shokohyar, S. (2017) Analyzing the enhancement of production efficiency using FMEA through simulation-based optimization technique: A case study in apparel manufacturing, *Cogent Engineering*, 4, 1284373. doi: 10.1080/23311916.2017.1284373.
  24. Salih, M.M., Zaidan, B.B., Zaidan, A.A. ve Ahmed, M. A. (2019) Survey on fuzzy TOPSIS state-of-the-art between 2007 and 2017, *Computers and Operations Research*, 104, 207-227. doi: 10.1016/j.cor.2018.12.019

25. Sharifi, F., Vahdatzad, M.A., Barghi, B. ve Azadeh-Fard, N. (2022) Identifying risks using combined FMEA-TOPSIS method for new product development in the dairy industry and offering mitigation strategies: case study of Ramak Company, *International Journal of Assurance Engineering and Management*, 13(5), 2790-2807. doi: 10.1007/s13198-022-01672-8
26. Sofyalıoğlu, Ç. (2011) Süreç hata modu etki analizini gri değerlendirme modeli, *Ege Akademik Bakış*, 11(1), 155-164.
27. Song, W. Ming, X, Wu, Z. ve Zhu, B. (2013) Failure modes and effects analysis using integrated weight-based fuzzy TOPSIS, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26(12), 1172-1186. doi: 10.1080/0951192X.2013.785027
28. Tekez, E.K. (2018) Failure modes and effects analysis using fuzzy TOPSIS in knitting process, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 28(1), 21-26.
29. Testik, O.M. ve Unlu E.T. (2023) Fuzzy FMEA in risk assessment for test and calibration laboratories, *Quality and Reliable Engineering International*, 39, 575-589. doi: 10.1002/qre.3198
30. Vahdani, B., Salimi, M. ve Charkchian, M. (2015) A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77, 357-368. doi: 10.1007/s00170-014-6466-3
31. Yazıcı, K., Gökler, S.H. ve Boran S. (2021) An integrated SMED-fuzzy FMEA model for reducing setup time, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32, 1547-1561. doi: 10.1007/s10845-020-01675-x
32. Yontar, E. ve Zengin, Ş. (2023) Identifying and analyzing the risk factors of sustainable supply chain management in textile sector, *İstanbul Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 7-20. doi: 10.20854/bujse.1211206
33. Yucesan, M. ve Gul, M. (2021) Failure modes and effects analysis based on neutrosophic analytic hierarchy process: method and application, *Soft Computing*, 25, 11035-11052. doi: 10.1007/s00500-021-05840-z
34. Wu, Z., Liu, W. ve Nie W. (2021) Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112, 1409-1436. doi: 10.1007/s00170-020-06425-0