

## Hata Türü Ve Etkileri Analizi Ve Döküm Sektöründe Bir Uygulama

Sariye Şençoban Kaya<sup>1\*</sup> , Kemal Alaykiran<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, Konya

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

(Geliş/Received: 14.05.2019; Kabul/Accepted: 19.07.2019; Online baskı/Published online: 09.12.2019)

### ÖZET

Bu çalışmada kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan hata türü ve etkileri analizi, döküm sektöründe üretimi gerçekleşen bir parça üzerinde uygulanmıştır. Öncelikle üretim parçasına ait iş akış şeması ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak bir ekip tarafından analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre oluşabilecek hata türleri tanımlanıp, bu hata türlerinin nedenleri ve etkileri belirlenerek risk öncelik sayısı hesaplanmıştır. Bu risk öncelik sayısına göre öncelikli olarak önlem alınması gereken hata türleri belirlenmiştir. Öncelikli olarak önlem alınması gereken hata türleri için gerekli düzeltici ve önleyici faaliyetler belirlenmiş ve alınan önlemler sonrasında hatanın tekrar oluşup oluşmadığı izlenmiştir. Bu analiz sonucunda 15 tane hata türü tanımlanmıştır. Bu hatalardan 13'ünün risk öncelik sayısının değeri 100'den büyük çıkmıştır. Bu 13 hatanın oluşmasını engellemek için çeşitli önlemler alınmıştır. Tüm bu önlemler alındıktan sonra tanımlanan hata türleri üzerinde yaklaşık olarak %50 oranında iyileşme meydana geldiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Düzeltici ve Önleyici Faaliyet, FMEA, Proses FMEA, Risk Öncelik Sayısı

### Failure Mode And Effects Analysis And An Application In The Casting

### ABSTRACT

In this study, one of the quality improvement methods, the failure type and its effects analysis, has been applied on a piece which is produced in the casting sector. First of all, the work flow diagram and product information of the production part were analyzed in detail by a team. According to the results of the analysis, the types of failures that can occur are identified and the causes and effects of these failure types are determined and the risk priority number is calculated. The types of failures that should be taken as a priority according to this risk priority number are determined. Necessary corrective and preventive actions were identified for the types of failures that should be taken as a priority and it was observed that the failure occurred again after the measures taken. As a result of this analysis, 15 failure types are defined. Of these errors, 13 had higher ROS values than 100. Various measures have been taken to prevent the occurrence of these 13 faults. After all these measures were taken, approximately 50% improvement was observed on the types of faults identified.

**Key Words:** Corrective and Preventive Action, FMEA, Process FMEA, Risk Priorities Number

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz küresel rekabet ortamında, her alanda rekabet üstünlüğü sağlamak işletmelerin temel hedeflerinden biri haline gelmiştir. Firmalar pazarda kendi sektörlerinde yer edinebilmek ve kalıcı olabilmek için müşteri beklentilerini dikkate alarak, müşteri memnuniyetlerini en üst düzeyde tutmak zorundadırlar. Bu nedenle müşterilere daha kaliteli ürün sunmak, tek seferde hatasız ve doğru ürünü üretmek işletmeler için vazgeçilmez bir unsurdur. İşletmeler kalite seviyelerini daha ileriye taşımak için pek çok yöntem kullanmaktadırlar. Bu yöntemlerden biri de mevcut hataları ya da potansiyel hataları ortaya çıkmadan belirlemeyi ve önlemeyi veya nihai kullanıcıdaki etkisini ortadan kaldırmayı amaçlayan bir teknik olan hata türü ve etkileri analizi (FMEA) yöntemidir.

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: sariye.sencoban@gmail.com

FMEA yöntemi, üretim ve montaj aşamalarında oluşabilecek potansiyel hata türlerini, nedenlerini ve bu hataların etkilerini tahmin ederek, olasılık, şiddet ve saptanabilirlik çarpanlarını hesaplayarak sistemin tamamı üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendirerek RÖS'ü belirlemektedir. Bu RÖS'e göre gerekli düzeltici faaliyetleri alarak hatanın ortaya çıkmasını önlemeyi ve hatanın müşteri üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik faaliyetlerin yazılı hale getirildiği bir ekip çalışmasıdır.

Bu çalışmada kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan proses FMEA, döküm sektöründe üretimi gerçekleştiren bir parça üzerinde uygulanmıştır. İlk olarak FMEA yönteminin tanımı, amacı anlatılmıştır. Daha sonra döküm sektöründe üretilen bir parçanın iş akış şeması belirlenmiş ve bu akış şemasına göre oluşabilecek hata türleri tanımlanıp, bu hata türlerinin nedenleri ve etkileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gerekli düzeltici ve önleyici faaliyetler tanımlanmıştır. FMEA yöntemi ile hesaplanan yeni RÖS ile eski RÖS karşılaştırılarak hata türleri üzerindeki etkiler hesaplanmıştır. Bu analizin sonucunda hata türleri üzerinde yaklaşık %50 oranında iyileştirmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Son bölümde ise yapılan FMEA çalışmasının sonuçları analiz edilerek bu yöntemin uygulanmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

FMEA kavramı birçok kaynakta farklı şekillerde tanımlanmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır;

FMEA, sistem, tasarım, süreç veya hizmetten kaynaklanan potansiyel hataların değerlendirilmesini ve bu hataların (riskler, yanlışlıklar, problemler, vs.) devamlı olarak azaltılmasını hedefleyen özel bir mühendislik tekniğidir [1].

FMEA, ürün müşteriye ulaşmadan önce sistemden, tasarımdan, süreçten veya servisten kaynaklanan var olan ya da olası hataların, problemlerin ve yanlışlıkların tanımlanmasına, belirlenmesine ve bu hataların ortadan kaldırılmasına yarayan özel bir metodolojidir [2].

FMEA, ürünün herhangi bir aşamasında meydana gelebilecek riskleri önceden tahmin ederek, hataları oluşmadan önlemeye yönelik güçlü bir analiz tekniğidir. Hatanın meydana gelmesi ile oluşabilecek tüm olumsuzlukların veya problemlerin müşteri gibi algılanması prensibine dayanmaktadır [3].

FMEA, sistemde oluşabilecek hataları tanımlamak ve bu hataları önlemek için ürün tasarımının ve tasarım sonrasındaki süreçlerin analiz edilmesi amacıyla kullanılan tekniktir. Hata türü ve etkileri analizi tekniği hata türlerini ürün, süreç ya da hizmet aşamalarında tanımlayarak başlar. Proje ekibindeki kişiler ürünün, girdilerinden başlayıp, nihai kullanıcı olan müşteriye ulaşınca kadar sistemin her ögesini analiz eder [4].

FMEA genel olarak; olası hataların belirlenmesi, bu hataların önceliklerinin sıralanması, öncelik sırasına göre gerekli düzeltici faaliyetlerin alınarak hatanın müşteriye ulaşmadan önlenmesi konularına odaklanmaktadır [5].

Tüm bu odaklar çerçevesinde FMEA'nın amaçları, sistemde var olan veya olabilecek hataları analiz ederek ürünün kalite, emniyet ve güvenilirliğini sağlayarak hataların müşteriye ulaşmamasını ve müşteri memnuniyetini sağlamayı amaçlar. FMEA'nın öncelikli amaçlarını şöyle sıralayabiliriz [6].

1. Ürün veya proseste meydana gelebilecek hataları oluşmadan tahmin ederek, bu hataların oluşmasını önlemek.
2. Ürün veya prosesteki olası hataların türlerini, etkilerini ve önem derecelerini karşılaştırmak.
3. Ürünün, müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayıp karşılamadığından emin olmak için, sistemdeki imalat ve montaj prosesleri ile ilgili olarak bir ürünün tasarım karakteristiklerini belirlemek.
4. Sistemde oluşabilecek hata türleri tanımlandığında, bu hataları ortadan kaldırmak için önem derecelerine göre gerekli önleyici ve düzeltici faaliyetleri almak veya devamlı olarak hataların meydana gelme potansiyellerini azaltmak.
5. Montaj ve imalat süreçleri için, sistemin dayandığı ilkeleri ve nedenleri dokümanete etmek.
6. İyi bir şekilde uygulanan FMEA; süreçlerin geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerini (deneyim ve geçmişteki problemlere göre mantık çerçevesinde yalnız gidebilecek her birimin analizini içeren) özetler.

Bu analizin amacı, üretim ve montaj aşamalarında oluşabilecek hata türlerinin ve nedenlerinin bir ekip tarafından analiz edilerek gerekli düzeltici önlemler alınarak bu hataların meydana gelmesini önlenmektir. FMEA yöntemi hataların sürekli olarak azaltılması ilkesine dayandığı için hatanın müşteri üzerindeki etkileri de azaltılmış olur. Bu

yöntem sayesinde müşteri istek ve beklentileri sağlanmakta, üretim sürecindeki hata maliyetleri azaltılmakta, ürünün emniyet ve güvenilirliği sağlanmaktadır.

FMEA, tekniği ilk defa ABD ordusunda askeri teçhizatların güvenliliğini arttırmak için geliştirilmiştir. "MIL-P-1629" kodlu Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis" çalışması Türkçe karşılığı Hata Türü Etkileri ve Riskinin Analizi üzerine Prosedürler şeklinde isimlendirilen askeri prosedür, 9 Kasım 1949 tarihinde kullanılmaya başlanmıştır [6]. 1963'te NASA tarafından APOLLO projesinde kullanılmaya başlanmıştır. [7]. Japon NEC firması 1970li yıllarda FMEA tekniğini ilk endüstriyel anlamda uygulamıştır, daha sonra tekstil ve otomotiv sanayinde uygulanarak dünya geneline yayılmıştır [4]. 1988 senesinde Uluslararası Standartlaştırma Organizasyonu kalite yönetim standartları üzerine ISO 9000 serisini ortaya çıkarmıştır. Bu standart işletmeleri, müşterilerin beklentileri ve istekleri doğrultusunda Kalite Yönetim Sistemleri geliştirmeyi zorunlu kılmıştır. ISO 9000 standardının otomotiv sektöründe karşılığı QS 9000 dir. Bu standart otomotiv firmalarını kalite yönetim sistemlerini standartlaştırma gayreti içine sokmuştur. Bunun için bu sektördeki işletmeler FMEA tekniğini içeren APQP İleri Ürün Kalite Planlaması (Advanced Product Quality Planning) uygulamakta ve Kontrol Planları oluşturmaktadır [8]. 2001 yılında ise Ristord nükleer çalışmalarda uygulamak için Belçika'da HTEA prosedürü yayınlamıştır [9].

Türkiye de ise HTEA tekniği 1985 yılından beri uygulanmaktadır. Son zamanlarda kullanımı oldukça yaygınlaşan HTEA yöntemi hemen hemen her sektörde kullanılmaktadır. Bu sektörlerin başında otomotiv sektörü yer alır. Gıda, metal, beyaz eşya, elektronik, deniz taşıtları imalatı, nükleer tasarımlar, yazılım, sağlık sektörü, uzay, atom, iletişim gereçleri vb. gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır [4].

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmadaki bilgiler döküm sektöründe üretilen, bir üretim parçasının imalat öncesi ve imalat aşamasındaki iş akış şemaları ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak bir ekip tarafından analiz edilerek toplanmıştır.

### 2.2. METOT (Method)

Bu çalışmada kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan FMEA uygulaması üzerinde durulmuş ve FMEA çeşitlerinden olan proses FMEA yöntemi ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve döküm sektöründe üretilen bir parçaya nasıl uygulandığı anlatılmıştır.

Öncelikle üretim parçasına ait iş akış şeması belirlenmiş daha sonra bu iş akış şemasına göre oluşabilecek hata türleri tanımlanıp, bu hata türlerinin nedenleri ve etkileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gerekli düzeltici faaliyetler tanımlanmıştır ve bütün bu çalışma sonucunda elde edilen bilgiler proses FMEA tablosuna aktarılmıştır.

Bu çalışma da FMEA uygulaması aşağıdaki adımlar izlenerek yapılmıştır.

1. Proses akış şemasının belirlenmesi,
2. Her proste meydana gelebilecek potansiyel hataların tanımlanması ve bu hataların nedenlerinin araştırılması, tanımlanan hataların proses üzerindeki etkisinin analiz edilmesi ve varsa mevcut kontrollerin yeterliliği ve eksikliğini araştırılması,
3. Olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerlerinin belirlenerek, RÖS'ün belirlenmesi,
4. RÖS'e göre hataların kritiklik düzeyine göre sıralanıp alınabilecek önlemlerin belirlenmesi ve yeni RÖS değerlerinin hesaplanması,
5. Tüm önlemler alındıktan sonra hesaplanan yeni RÖS değeri ile eski RÖS değerinin karşılaştırılması [3].

#### 2.2.1. Proses Akış Şeması (Process Flow Chart)

Dökümü yapılacak parça aşağıda Şekil 1.'de belirtilen proseslerden geçer.

#### 2.2.2. Üretim Sürecinde Meydana Gelebilecek Hatalar, Nedenleri, Etkileri ve Mevcut Kontroller (Errors, Causes, Effects and Existing Controls in the Production Process)

1. Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi: Bu hatanın oluşma nedeni, üretimi gerçekleştirilecek olan parçaya ait olmayan maça sandığının alınarak maça üretiminin gerçekleştirilmesidir. Bu hatanın potansiyel etkisi, stok maliyetlerin artmasına ve üretim proseslerinde aksamalara neden olmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak maça sandıklarını iyi bilen tecrübeli kişiler (maçahane sorumlusu) tarafından maça sandıklarını alınması ön görülmüştür. Herhangi bir teknik çizim, tanımlama kartı vs. gibi kontrol önlemleri bulunmamaktadır. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.
2. Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması: Bu hatanın muhtemel oluşma nedeni maça üretimi prosesi sırasında uygunsuz maçaların fark edilmeden bir sonraki proses alanına taşınmasıdır. Bu hatanın potansiyel etkisi, müşteri spesifikasyonlarına uygun olmayan ürünün üretilmesi nedeniyle müşteri şikâyetlerinin artmasına ve iç hata oranlarının yükselmesine neden olmaktadır. Bu hatayı önlemek için mevcut süreçte herhangi bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır. Bu gibi durumda karşılığınca bozuk olan parça bir sonraki proseste fark edilirse parça hurdaya ayrılmaktadır. Eğer fark edilemezse parçanın hatalı olarak müşteriye sevki gerçekleştirilmektedir.
3. Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi: Bu hatanın nedeni kalıplama prosesi sırasında kalıplama hattına yanlış modelin bağlanmasıdır. Bu hatanın potansiyel etkisi özellikle müşteri siparişine göre üretim yapan işletmelerde kontrolsüz stok artışına ve depo maliyetlerinde artışa neden olmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak modelleri iyi tanıyan tecrübeli kişiler (modelhane sorumlusu) tarafından modellerin alınması ön görülmüştür. Herhangi bir model sicil kartı, teknik çizim, tanımlama kartı vs. gibi kontrol önlemleri bulunmamaktadır. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.
4. Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni modelin kalıplama hattına uygun şekilde bağlanmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi firmada hurda artışına neden olmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak derecelerin üzerinde üst derece mi alt derece mi olduğunu belirten "ÜD" ve "AD" işaretleri bulunmaktadır. Üst model "ÜD" işaretli dereceye alt model de "AD" işaretli dereceye konmaktadır.
5. Parça da yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerin meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni kalıp kumu dayanımının az olması ve kalıp yüzeylerinin kontrolünün eksik yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte bu hatayı önlemeye yönelik bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır.
6. Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hataların nedeni kalıba maça, filtre ve besleyicilerin konulmaması veya yanlış konulmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte bu hatayı önlemeye yönelik bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır.
7. Parçada döküm kaynaklı (gaz boşluğu vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni ocak analizinin yanlış yapılması, maden oranlarının yanlış karıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi ürünün mekanik özelliklerinin istenilen düzeyde olmamasına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak tecrübeli kişiler tarafından spektrometre ile kontrol yapılmaktadır. Her ürün için bu oranların olması gereken değerlerin yazıldığı herhangi bir döküm metot kartı yoktur. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.
8. Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi: bu hatanın nedeni ocak ve döküm sıcaklığının istenen değerden sıcak ya da soğuk olmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi ürünün mekanik özelliklerinin istenilen düzeyde olmamasına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak tecrübeli kişiler tarafından termokuple ile kontrol yapılmaktadır. Her ürün için bu sıcaklık değerlerinin yazıldığı herhangi bir döküm metot kartı bulunmamaktadır. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.
9. Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni derecelerin yeterli miktarda ve uygun hızda doldurulmamasıdır. Bu hatanın potansiyel etkisi ürünün mekanik özelliklerinin istenilen düzeyde olmaması, uygun olmayan ürünlerin artmasına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

10. Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın nedeni parçanın yolluklarından istenilen şekilde ayrılmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına yani hurda artışına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

11. Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın nedeni parçanın uygun olarak taşlanmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına yani hurda artışına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

12. Parçada yüzey kalitesinin kötü olması: Bu hatanın nedeni parçaların yeterli sürede kumlanmaması ve proses kontrollerinde eksiklikten kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

13. Parçaların müşteri spesifikasyonlarına uygun olarak boyanmaması: Bu hatanın nedeni boyama operatörlerinin hangi parçayı hangi renkte boyayacağını bilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır. Süreç soru cevap şeklinde devam ettirilmektedir.

14. Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi: Bu hatanın nedeni final kontrol yapacak yetkin bir personelin olmaması ve final kontrol kriterlerinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri iadesi, müşteri şikâyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

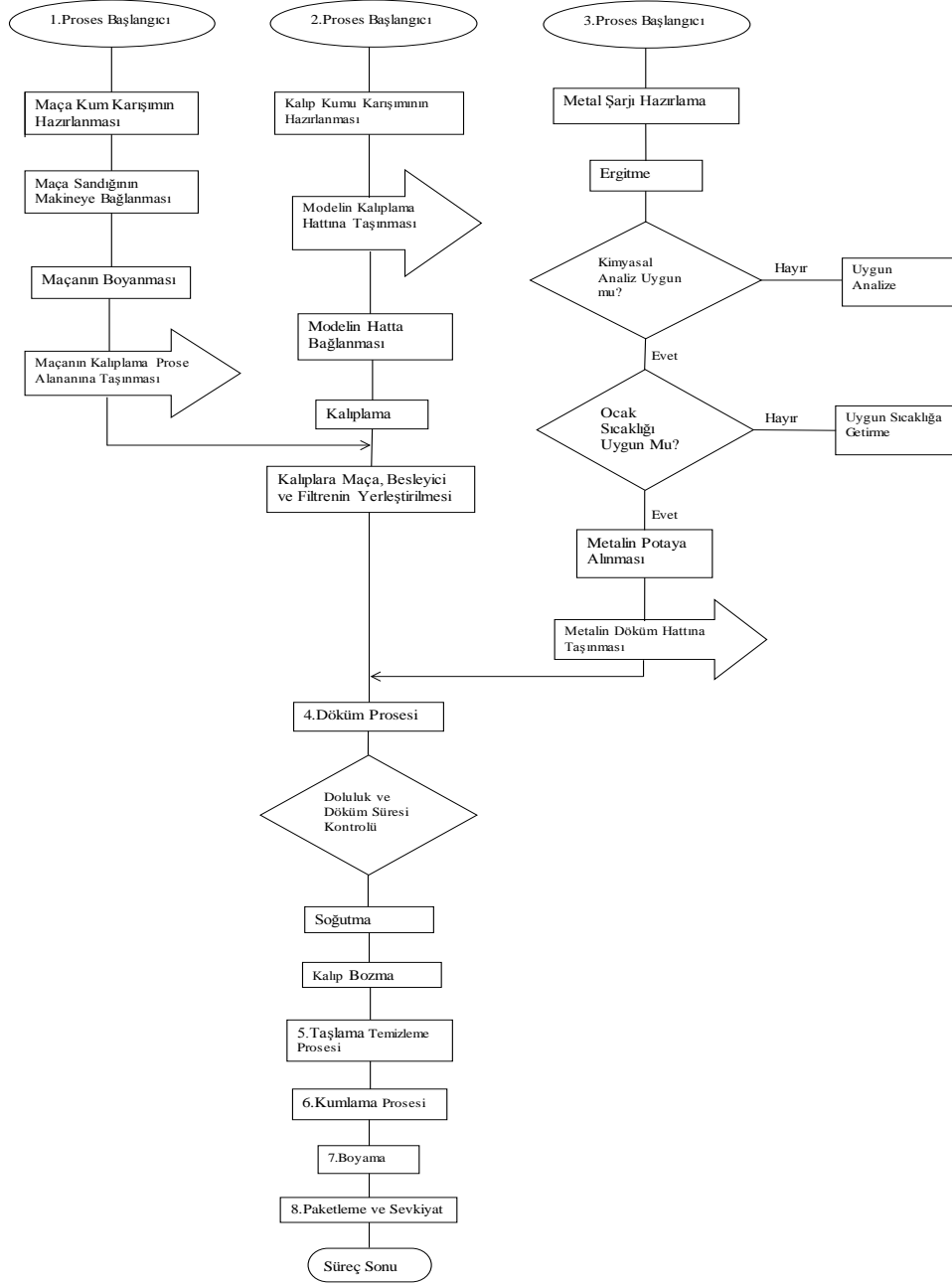
15. Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi: Bu hatanın nedeni sevkiyat operatörlerinin ürünün paketlenmesi için müşteri spesifikasyonlarını bilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri şikâyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır. Süreç soru cevap şeklinde devam ettirilmektedir.

### *2.2.3. Olasılık – Keşfedilebilirlik – Şiddet Değerlerinin Belirlenmesi ve Risk Öncelik Sayısının Belirlenmesi (Determination Of the Severity Values And Determination Of The Number Of Risk Priorities)*

Olasılık, keşfedilebilirlik ve şiddet değerlerini belirlemek için 10'luk sistem kullanılmıştır. Bu çalışmadaki bilgiler döküm sektöründe üretilen, bir üretim parçasının imalat öncesi ve imalat aşamasındaki iş akış şemaları ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak kalite ve üretim ekipleri tarafından analiz edilerek toplanmıştır. Değerler verilirken mümkün olduğunca geçmiş veriler ve tecrübelerden yararlanılmıştır.

Olasılık, keşfedilebilirlik ve şiddet değerleri belirlenmiştir. RÖS hesaplanırken çarpma yöntemi kullanılmıştır [4]. Ortaya çıkma değeri hesaplanırken aşağıdaki Çizelge 1.'deki değerlerden yararlanılmıştır.

Şekil 1. Döküm Parçası Akış Şeması  
(Figure 1. Casting Part Flow Chart)



**Çizelge 1.** Hatanın ortaya çıkma sıklığı [10]  
(Table 1. Frequency of occurrence of failure [10])

HATANIN OLUŞMA OLASILIĞI	HATANIN OLASILIĞI (SIKLIĞI)	DERECE
Çok Yüksek	1/2'den fazla	10
	1/3	9
Yüksek	1/8	8
	1/20	7
Orta	1/80	6
	1/400	5
Düşük	1/2000	4
	1/15000	3
Pek Az	1/150000	2
	1/150000'den düşük	1

Aşağıda Çizelge 2.'de belirlenen hatalar ve bu hataların ortaya çıkma olasılıkları gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Hataların Ortaya Çıkma Olasılığı  
(Table 2. Probability Of Occurrence Of Failure)

Hata	Olasılık
1.Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	5
2.Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın kullanılması	5
3.Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	5
4.Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	3
5.Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	5
6.Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	5
7.Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	6
8.Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	5
9.Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	5
10.Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	6
11.Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	6
12.Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	6
13.Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	4
14.Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	6
15.Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	4

Keşfedilebilirlik değeri hesaplanırken aşağıdaki Çizelge 3.'deki değerlerden yararlanılmıştır.

**Çizelge 3.** Keşfedilebilirlik (Saptama) [10]  
(Table 3. Explorability (Detection) [10])

Saptanabilirlik	Saptanabilirlik Olasılığı	Derece
Fark Edilmez	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği mümkün değil	10
Çok Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği çok az	9
Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği az	8
Çok Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği çok düşük	7
Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği düşük	6
Orta	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği orta	5
Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği yüksek	4
Çok Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği çok yüksek	3
Hemen hemen kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği hemen hemen kesin	2
Kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği kesin	1

Aşağıda Çizelge 4.'de belirlenen hatalar ve bu hataların ortaya çıkma olasılıkları gösterilmiştir.

**Çizelge 4.** Hataların Keşfedilebilirliği (Saptama)  
(Table 4. Detectability of Errors (Detection))

Hata	Keşfedilebilirlik
1.Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	5
2.Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın kullanılması	5
3.Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	5
4.Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	4
5.Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	5
6.Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	5
7.Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	5
8.Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	6
9.Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	5
10.Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	4
11.Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	4
12.Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	4
13.Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	6
14.Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	4
15.Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	4

Şiddet değeri hesaplanırken aşağıdaki Çizelge 5.'deki değerlerden yararlanılmıştır.



**Çizelge 5. Şiddet (Ağırlık) Etkisinin Sınıflandırılması[10]**

(Table 5. Classification Of Violence Effect [10])

Etki	Derece
Uyarısız Gelen Yüksek Tehlike	10
Uyarısız Gelen Tehlike	9
Çok Yüksek	8
Yüksek	7
Orta	6
Düşük	5
Çok Düşük	4
Küçük	3
Çok Küçük	2
Yok	1

Aşağıda Çizelge 6.'da belirlenen hatalar ve bu hataların şiddetleri (ağırlık) gösterilmiştir.

**Çizelge 6. Hataların Şiddeti (Ağırlık)**

(Table 6. Intensity of Errors (Weight))

Hata	Şiddet
1.Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	7
2.Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın kullanılması	6
3.Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	6
4.Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	6
5.Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	6
6.Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	7
7.Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	7
8.Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	7
9.Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	7
10.Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	6
11.Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	6
12.Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	6
13.Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	5
14.Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	6
15.Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	5

2.2.4. Öncelikle Önlem Alınacak Hataların Belirlenmesi Ve Öngörülen Önlemler Ve Yeni RÖS Değerleri (Identifying Errors To Be Taken First Forecasted Measures And New RÖS Values)

Yukarıda ortaya çıkma, saptama ve ağırlık değerleri belirlenen hatalar için RÖS hesaplanmaktadır. RÖS $\geq$  100 olan hatalar için öncelikli olarak önlem almak gerekmektedir. Bu hatalar aşağıda Çizelge 7.'de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.** RÖS Değerine Göre Sıralanmış Hatalar  
(Table 7. Failures Sorted By According To ROS Value)

Hata	RÖS
1.Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	175
2.Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın kullanılması	150
3.Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	150
4.Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	72
5.Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	150
6.Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	175
7.Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	210
8.Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	210
9.Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	175
10.Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	144
11.Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	144
12.Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	144
13.Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	120
14.Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	144
15.Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	80

Bu sonuçlara göre birincil olarak önlem alınacak hatalar ve ikincil olarak önlem alınacak hatalar şu şekildedir.

1.Birincil olarak önlem alınacak hatalar

- Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi,
- Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması,
- Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi,
- Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi,
- Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi,
- Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi,
- Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi,
- Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi,
- Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi,
- Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi,

- Parçada yüzey kalitesinin kötü olması,
- Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması,
- Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi,

## 2.İkincil olarak önlem alınacak hatalar

- Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi,
- Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi,

Yukarıda belirlenen hatalar için yeterli düzeyde önlem alındıktan sonra tekrar FMEA çalışması yapılacaktır. Böylece yeni durum için hata öncelikleri bulunacaktır. Amaç sürekli iyileştirme ile hata oranlarını minimize etmektir.

Birinci aşamada önlem alınacak hatalar için belirlenen önlemler şu şekildedir:

1. Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak oluşma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda tanımlama kartları oluşturularak maça sandıklarının üzerine yapıştırılması sağlanmıştır. Böylelikle yanlış maça sandığının üretime alınmaması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 63 olmuştur.

2. Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak oluşma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla maça üretildikten sonra kontrol edilmesi için kontrol kriterleri oluşturulmuştur. Böylelikle uygunsuz olan maçaların belirlenip bir sonraki proses sahasına taşınmamış olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

3. Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda model sicil kartlarının oluşturulması sağlanmış ve modellerin üzerine tanımlama kartları yapıştırılmıştır. Böylelikle modellerin kalıplama hattına doğru olarak bağlanması sağlanmış olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 54 olmuştur.

4. Parça da yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerin meydana gelmesi: Bu hatanın oluşmasını engellemek için proses kontrol kriterlerinin oluşturulması sağlanmıştır. Böylelikle hatanın proseste keşfedilebilirliğini arttırarak keşfedilebilirlik değeri düşürülmüş olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

5. Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hatanın oluşmasını engellemek için proses kontrol kriterlerinin oluşturulması sağlanmıştır. Hangi ürün için hangi maça hangi filtre ve besleyici kullanılacağını gösteren parça bilgi kartları oluşturulmuştur. Böylelikle hatanın proseste oluşma olasılığı ve keşfedilme değeri düşürülmüş olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 63 olmuştur.

6. Parçada döküm kaynaklı (gaz boşluğu vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla her ürün için ocak analizlerinin yazdığı döküm metot kartlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik

değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 84 olmuştur.

7. Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla her parça için ocak sıcaklıklarını belirten döküm metot kartlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 84 olmuştur.

8. Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla proses kontrol kriterinin oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 63 olmuştur.

9. Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla parçanın yolluklarından ayrılması ile ilgili proses kontrol kriterinin oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

10. Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla parçanın taşlanması ile ilgili proses kontrol kriterinin oluşturulması sağlanmış ve parça taşıma kartlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

11. Parçada yüzey kalitesinin kötü olması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla parçanın kumlanması ile ilgili proses kontrol kriteri oluşturulmuştur. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 54 olmuştur.

12. Parçaların müşteri spesifikasyonlarına uygun olarak boyanmaması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla ürün listeleri ve hangi ürünün hangi renk ve hangi kriterlerde boyanacağını belirten boyama talimatlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 45 olmuştur.

13. Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla final kontrol kriterleri tanımlayarak, yeni bir personel istihdamı sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

2.2.5. Alınan Önlemler Sonrası İçin Hesaplanan Yeni RÖS ile Eski RÖS'ün Karşılaştırılması (Comparison Of New RÖS And Old RÖS For Post-Measures Measured)

**Çizelge 8. Eski RÖS Değerleri ve Yeni RÖS Değerleri**  
(Table 8. Old and new RÖS values)

Hata	Eski RÖS	Yeni RÖS
1.Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	175	63
2.Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın kullanılması	150	72
3.Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	150	54
4.Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	72	72
5.Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	150	72
6.Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	175	63
7.Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	210	84
8.Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	210	84
9.Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	175	63
10.Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	144	72
11.Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukları meydana gelmesi	144	72
12.Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	144	54
13.Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	120	45
14.Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	144	72
15.Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	80	80

Yukarıda Çizelge 8.'de görüldüğü gibi tüm önlemler alındıktan sonra hesaplanan yeni RÖS değerleri 100'ün altına düşmektedir. Sistemde yeterli iyileştirme sağlanmıştır. FMEA çalışmasının sonucunda 1 numaralı hatada %64, 2 numaralı hatada %52, 3 numaralı hatada %64, 5 numaralı hatada %52, 6 numaralı hatada %64, 7 numaralı hatada %60, 8 numaralı hatada %60, 9 numaralı hatada %64, 10 numaralı hatada %50, 11 numaralı hatada %50, 12 numaralı hatada %62,5, 13 numaralı hatada %62,5 ve 14 numaralı hatada %50 oranında azalma gözlenmiştir. Analiz edilen hata türleri üzerinde %50 oranında iyileşme gerçekleşmiştir.

### 3. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmadaki bilgiler döküm sektöründe üretilen, bir üretim parçasının imalat öncesi ve imalat aşamasındaki iş akış şemaları ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak bir ekip tarafından analiz edilerek toplanmıştır. Bu analiz

sonucunda 15 tane hata türü tanımlanmıştır. Bu hatalardan 13'ünün RÖS değeri 100 den büyük çıkmıştır. Bu 13 hatanın oluşmasını engellemek için çeşitli önlemler alınmıştır. Tüm bu önlemler alındıktan sonra tanımlanan hata türleri üzerinde yaklaşık olarak %50 oranında iyileşme meydana geldiği gözlenmiştir.

FMEA hataları tahmin ederek önlemeye yönelik ayrıntılı kontrol planları hazırlaya yardımcı olan bir tekniktir. Fakat kalite iyileştirme süreci süreklilik isteyen bir süreç olduğu için işletmelerin başarısı için kalite iyileştirme süreçlerinin bir arada kullanılması önerilmektedir. Kontrol önlemi alınan hataların istatistiksel proses kontrol teknikleriyle sürekli olarak izlenmesi ve desteklenmesi daha çok faydalı olacaktır.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. B. Tunçelli, Helikopter Tasarım Sürecinde Pilot Koltuğu Tasarım Sürecinde Pilot Koltuğu Tasarım Kavram Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarım Anabilim Dalı, İstanbul, 2006.
- [2] E. Aytaç, Kalite İyileştirme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Uygulama Örneği, Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Aydın, 2011.
- [3] G. Aran, Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Tokat, 2006.
- [4] O. Büyüktuna, Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Makine Sanayinde Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Denizli, 2012.
- [5] Y. Taş, K. H. Koç, Hata türü ve analizi tekniğinin mobilya endüstrisine yönelik uygulaması, İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, 2 (5) (2010), 150-178. <http://dergipark.org.tr/iaud/issue/30050/324473>
- [6] B. S. Yılmaz, Hata türü ve etki analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2 (4) (2000), 133-150. <https://www.academia.edu/3178040>
- [7] Y. Sönmez, M. Unğan Hata türü ve etkileri analizi ve otomotiv parçaları üretiminde bir uygulama, İşletme Bilim Dergisi (JOBS), 5(2) (2017), 217-245. doi:10.22139/jobs.321887
- [8] C. Söylemez, Hata Türü ve Etkileri Analizi İş Güvenliği Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2006.
- [9] Ö. Ö. Aydın, Tasarımda Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2004.
- [10] Ö. Kahraman, A. Demirer, Ohsas 18001 kapsamında FMEA uygulaması, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1) (2010), 53-68. <https://www.researchgate.net/publication/330347482>