



## HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ(HTEA): İMALAT ATÖLYESİNDE ANLIK HATA VE DURUM İZLEME UYGULAMASI

Ceren ARSLAN KAZAN<sup>1\*</sup>, Halil İbrahim KORUCA<sup>1</sup>, Buket KARATOP<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Faaliyet Tabanlı Maliyetlendirme, Maliyet Optimizasyonu.*

### Öz

Bu çalışmada, Endüstriyel mutfak ürünleri imal eden ve ürün gamında yüzlerce ana ürün ve binlerce yarı mamul bulunan bir firmanın talaşlı imalat atölyesinde Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemi uygulanmıştır. Atölyede bulunan, 12 adet makinaya yerleştirilen Programlanabilir Mantık Denetleyici (Programmable Logic Controller, PLC) kartlar ile anlık makinanın durumu, ürün ve üretim izlenmiştir. Makinelere yerleştirilen PLC kartları yardımıyla veriler merkezi bilgisayara kaydedilmiş olup, makinanın çalışmasıyla ilgili sağlıklı veriler elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, Makineye yerleştirilen kartlardan alınan veriler ile makinelerin çalışma durumları, kapasite kullanım süreleri, makinelerin çalışma süreleri, sadece yatay torna makinelerine ait parça sıkılmış durumda bekleme süreleri, boşta bekleme süreleri, çalışma süreleri ve duruş süreleri elde edilmiştir. Operatörlere bağlı kalmadan elde edilen veriler doğrultusunda işletmede HTEA yöntemi uygulanmış olup, en çok karşılaşılan hata türleri belirlenerek 100'den büyük RÖS değerine sahip olanlar için önleyici ve düzeltici faaliyetler belirlenmiş ve uygulanmıştır. Ayrıca ana çalışmaya ek olarak talaşlı imalat firmalarının katlandığı en büyük maliyet kalemi olan kesici uç takımı maliyetleri de analiz edilmiş olup, HTEA uygulamasının yapılmadığı Ocak 2021 ile uygulamanın yapıldığı Şubat 2021 ve Mart 2021 üretim maliyetleri karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

## FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA): INSTANT ERROR AND CONDITION MONITORING IN MANUFACTURING

### Keywords

*Failure Mode Effect Analysis (FMEA), Activity Based Costing, Cost Optimization.*

### Abstract

FMEA method was applied in the machining workshop of a company that manufactures industrial kitchen products and has hundreds of main products and thousands of semi-finished products in its product range. With PLC cards placed in 12 machines in the workshop, the status of the machine, product and production were monitored instantly. With the help of PLC cards placed in the machines, the data were recorded on the central computer, valid data about the operation of the machines were obtained. The operating status of the machines with the data received from the cards inserted into the machines, that is, capacity usage times, working times of machines, waiting times in tightening only for horizontal lathe machines, idle waiting, working times, downtimes were obtained. In line with the data obtained, FMEA method was applied in the enterprise; the most common error types were determined, and preventive and corrective actions were applied for those with a RÖS value greater than 100. In addition to the main study, cutting tool costs, which are the most expensive item for machining companies, were examined, and production costs from January, when FMEA was not used, and February and March, when it was used, were compared and evaluated.

### Alıntı / Cite

Arslan Kazan, C., Koruca, H.İ., Karatop, B., (2022). Hata Türü ve Etkileri Analizi(HTEA): İmalat Atölyesinde Anlık Hata ve Durum İzleme Uygulaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 804-815.

\* İlgili yazar / Corresponding author: cerenarslann@gmail.com, +90-553-479-9583

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
C. Arslan Kazan, 0000-0003-0530-011X	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	09.02.2022
H.İ. Korusu, 0000-0002-2448-1772	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	14.04.2022
B. Karatop, 0000-0001-6053-1725	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	29.04.2022
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.09.2022

## 1. Giriş (Introduction)

İmalat işletmelerinde, hataların azaltılması, düzeltilmesi ve/veya tamamen ortadan kaldırılması için kullanılan HTEA uygulamada sık kullanılan yöntemlerden birisidir. İşletmeler, müşteri isteklerine daha iyi ve hatasız cevap verebilmek için hem üretim hem de tedarik zinciri yönetimini etkin ve verimli şekilde yerine getirmek zorundadır. İşletmeler bunun için, üretim sürelerini kısaltmak, maliyetleri doğru analiz etmek ve azaltmak, üretim hatalarını en aza indirmeleri gerekmektedir. Artan rekabet ortamında işletmelerin sadece üretim yapıyor olması yeterli değildir ve en kısa sürede, yüksek miktarda ve yüksek verimlilik oranı ile müşteri beklentileri karşılanması gerekmektedir. İmalat teknolojinin gelişmesi, müşteri talep değişiklikleri, müşteriye özel ürünler, yüksek kalite ürünler, karmaşık üretim süreçleri işletmeleri kendilerini geliştirmeye zorunlu hale getirmektedir. Talaşlı imalat; bir malzemede istenen özellikleri (yüzey, boyut, şekil) elde etmek için takım tezgâhlarının kesici takımlar yardımıyla iş parçası üzerinden tabaka tabaka malzeme kaldırma işlemidir. Talaşlı imalatta işlenebilir malzeme yelpazesi oldukça geniştir. Birbirlerinden farklı ürün talaş kaldırma işlemlerinden kaynaklı operatör hatası ve diğer hatalar birim maliyetleri arttırmaktadır.

İşletmeler yüksek verimlilik ve düşük maliyetle müşteri isteklerini karşılamak istemektedirler. Bu nedenle oluşan hataların önlenmesi için çeşitli kalite iyileştirme politikaları geliştirmekte ve uygulamaktadır. HTEA önleyici bir risk yönetimi yöntemidir ve potansiyel hatalar sistematik olarak tahmin edilebilir. İnsan hataları, ekipman sorunları, personel eğitimi, nesnelere yanlış yerleştirilmesi, iletişim zorlukları, tasarım sorunları dahil olmak üzere etkisi olabilecek sorun ve hatalar belirlenebilir. Bu sebepten dolayı hata analizlerinde önemli bir yere sahiptir.

Bu çalışmada, endüstriyel tip mutfak ürünleri üreten bir firmanın talaşlı imalat atölyesinde HTEA uygulayarak hatalar analiz edilmiş ve maliyetler düşürülmüştür. Atölyede ortaya çıkan hatalar makinalara yerleştirilen kartlar ile tespit edilmiştir. Makine operatörlerinin bazen makinaları makine çalışıyor konumda bırakması, parça işlemedikleri, ürünlerde kalite hataları görülmesinden dolayı önlem olarak makinalara kartlar yerleştirilmiştir. Böylelikle, makinelerin çalışıp çalışmadığı anlık kontrol edilerek operatörlerin verdiği bilgiler kartlar yardımıyla kontrol edilmiştir. Alınan bu veriler geliştirilen bir algoritma ile daha anlaşılır hale dönüştürülmüştür. Haberleşme protokolleri ile sürekli veri kaydedilmiş ve süreler baz alınarak birim maliyet verileri doğru olarak hesaplanmıştır. Makinaların yanına yerleştirilen kiosk ekranları vasıtasıyla kullanılan ERP yazılım ara yüzü ile operatörler iş emirlerinin başlama ve bitiş zamanlarını ERP sistemine girebilmeleri sağlanmıştır. İş emri onaylarını verirken hatalı üretim gerçekleştirdiği takdirde hatalı ürün miktarları ve hatalı ürün üretilme nedenleri sisteme girebilmektedirler. Hata türleri ERP programı yardımı ile değerlendirilmiş ve hataların ortaya çıkmadan önlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. İşletmede işçilerin hata yapmasına etkileyen faktörler araştırılmıştır. Alınan veriler doğrultusunda hesaplanan birim maliyet verileri temel alınarak, işletmenin PLC kart yerleştirme öncesi ve sonrası toplam üretim maliyetleri karşılaştırılmış ve hata türleri analiz edilmiştir.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Artan rekabet ortamında çeşitlilik gösteren müşteri isteklerine daha iyi cevap verebilmek için tedarik zinciri yönetiminin gerektirdiklerini etkin ve verimli şekilde yerine getirmek, üretim sürelerini kısaltmak, maliyetleri doğru analiz etmek ve azaltmak ve üretim hatalarını en aza indirmek gerekmektedir. Literatürde HTEA yönteminin üretim sektöründe uygulanması ile ilgili birçok çalışma yapıldığı görülmektedir.

Çevik ve Aran (2009) çalışmasında, piston imalatı yapan bir işletmede müşteriye sunmadan önce üründe meydana gelebilecek hataların oluşmasını önlemek amacı ile bir HTEA uygulaması yapmışlardır. İşletmede 10 hata türü tespit edilmiş, bu hatalar için belirlenen düzeltici & önleyici faaliyetler sonrasında müşteri şikâyetlerinde %47,4 azalma gözlemlenmiştir.

Ghani vd. (2013), kaplamalı karbür kesme kenarının frezelemesi sırasında yükleme ve boşaltma etkisinin neden olduğu hata etkileri araştırılmıştır. Karbür, kırılabilir bir malzeme olup karbür kesici takım kullanıldığında takım ömrünü uzatmak için kesme hızının 120m/dk'da kesmenin uygun olduğu tespit edilmiş olup, nitrat ve nitrüleme gibi gelişmiş sinterleme işlemleri ve HT-Ti (C, N) / k- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiSiCN ve CrSiCN gibi yeni kaplamalar ile birlikte ultra ince karbür kesici takım kaliteleri kullanılarak daha iyi karbür kesici takım özelliklerinin elde edileceği önerilmiştir.

Mariajayaprakash, ve Senthilvelan (2013) Hindistan'da %20'nin üzerinde bir elektrik kesintisi olan bir şeker fabrikasında meydana gelen en büyük sorunun, kazanın sık sık arızalanması ve bu da üretim kaybına yol açmaktadır. Kazan arızalarına neden olacak en önemli hata parametreleri Hata Türü ve Etki Analizi (HTEA) uygulanarak tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar: İşlem sırasında tambur besleyicinin kalitesinin Taguchi'nin yöntemi ile mümkün olan en düşük maliyetle iyileştirilebildiği gösterildiği, Shikawa diyagramı veya neden ve sonuç diyagramı, işlem sırasında tambur besleyicinin kalitesini etkileyen tüm olası nedenleri sıralamak için çok etkili olduğu görüldüğü, yakıt parametresi, işlem sırasında tambur besleyicinin kalitesini önemli ölçüde etkilediği ifade edilmiş, optimum yakıt türü, yakıt nemi, motor yükü ve silo seviyesi tahmin edilebilmiş, işlem sırasında tambur arızasının öngörülen hata aralığı  $1.37 < 1.86 < 2.35$  'tir.

Yee, Ahmed, Quader (2014) çalışmasında, cam üretim tesisi kuran firmada proses performansını arttırmak ve ürün kalitesini iyileştirmek için histogram, kontrol çizelgeleri, pareto çizelgeleri, akış çizelgeleri, neden sonuç çizelgeleri gibi çeşitli istatistiksel araçlar ve teknikler uygulanmıştır. Temperleme işlemi, kesme işlemine (%5,91) ve ısı baskı işlemine (%3,38) kıyasla yüzde 9,49'luk bir red oranına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Ünğan (2017) çalışmasında, otomotiv sektöründe metal işleme alanında faaliyet gösteren bir firmanın pul, yay ve türevindeki ürünlerin üretim süreçleri ve alt süreçleri, hammadde ve yardımcı malzeme kabulü, giriş kalite kontrol, stoklama ve ara sevkiyatlar, ambalajlama süreçleri için HTEA uygulanmıştır. Uygulama sonucunda, olası hata türleri ve etkilerini önlemeye dönük aksiyon önlemleri tanımlanmış süreçlerinin genelinde %52,6'lık, ambalajlama sürecinde ise %54,3'lük bir iyileşme sağlanmıştır.

Mzougui ve Felsoufi (2019)'nin çalışmasında, beklenen arıza tespiti (AFD) ve HTEA yöntemlerinin avantajlarını birleştiren bir yöntem önermektedir. Sürdürülebilirlik ve maliyet artırıcı hataların önlenmesine öncelik verilmesi ve sınıflandırılmanın iyileştirme için ek faktörler ele alınmış ve HTEA analizi uygulanmıştır. Geleneksel Risk Önceliği Puanı (RPN) hesaplamasında şiddet, ortaya çıkma, tespit değerleri çarpılmakta, fakat bu makalede ağırlıklandırılmış değerler de hesaplama içine alınmamıştır. Şiddetin, olasılığın ve tespitin ağırlıklandırılmış hali dikkate alınmamıştır.

Hung ve Chen (2019) çalışmasında, mevcut seramik altlık üretim yönteminin yerine lazer kaplamalı bakır (LPC) tekniğini kullanarak yeni bir AIN (Alüminyum nitrür) seramik altlık metalleştirme işlemi önermektedir. Alaşımız bakır kaplamanın AIN metalizasyon işlemi sırasında birçok hata türü tespit edilmiş olup, üst kaplama, kirlilik gibi etkenler hurda kayıplarına neden olduğu tespit edilmiş olup bu hataları önlemek için kullanılan HTEA analizi sonucunda suyla durulama süresini arttırarak, partikül kirleticisini gidermek için alkol solüsyonu kullanarak iyi sonuçlar elde edildiği çalışmada ifade edilmektedir.

Lo vd. (2019) çalışmasında, takım tezgahlarının güvenilirliğini arttırmak, hata türlerini belirlemek, olası riskleri önlemek için HTEA yöntemi uygulanmış ve Hibrit FMEA-MCGDM (Çok kriterli grup karar verme) model sonuçları karşılaştırılmıştır. İlk olarak kriterlerin hesaplanması için R-BWM (Ağırlıklandırılmış en iyi-en kötü yöntem) yöntemi kullanılmış, ikinci olarak ise hata türlerini sıralamak için R-TOPSIS yöntemi uygulanmış ve gürültü ve titreşim sorununun iyileştirme gerektiren en acil unsur olduğu ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçların ürün tasarım planlarının ve hata önleme stratejilerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için faydalı olduğu ortaya koyulmuştur.

Dağcı (2019) çalışmasında, Ankara'da talaşlı imalat sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede hataların meydana gelmemesi için ve de eğer bir hata oluşmuş ise, müşteriye yansımaması için ham malzeme tedarikinden ürün sevkiyatına kadar geçen süreç için HTEA uygulanmıştır. 2018 yılında hata türlerine göre, hurda olan ürün adetleri ile 2019 yılının ilk dört ayında gerçekleşen hata türlerine göre hurda ürün adetleri karşılaştırıldığında; tezgâha yanlış NC program verilmesi hata türünde %47,05, operatöre yanlış bilgi verilmesi hata türünde %25, kalınlığın tolerans dışında olması (daha ince) hata türünde %87,01, delik çapının büyük olması hata türünde %87,09, delik konumunun hatalı olması hata türünde %42,85, parçada çapak kalması hata türünde %71,42, ölçü düşmesi hata türünde %62,5 ve eski revizyonlu program çalıştırılması hata türünde %100 azalma gözlemlenmiştir.

Sánchez vd. (2020) çalışmasında, nesnelerin interneti (IoT) tabanlı ürünler oluşturma ve satma işinde işletmelere ilgili maliyet bilgilerini sağlamak için Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (ABC) sisteminin benimsenmesini araştırmaktır. Bu çalışmanın sonucunda Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (ABC) sistemine göre, akıllı rüzgâr jeneratörünün maliyeti ile ilgili karar verme sürecinde her bir ürüne dolaylı maliyetler tahsis edilmezse ise maliyetin %7,9 daha düşük olacağını sonucu sonucuna varılmıştır.

Li vd. (2021) çalışmasında, yüzer açık deniz rüzgâr türbinlerinin arıza nedenlerini analiz etmek için bir AHP-FMEA metodolojisi uygulanmıştır. On beş arıza senaryosu belirlenmiştir. Arıza yayılma yollarını önlemek ve arıza etkileri azaltmak için düzeltici ve önleyici eylemler belirlenmiştir. Rüzgâr türbini (0,44 RPN'si ile) yüzer açık deniz rüzgâr

türbininin en kritik sistemidir, bunu demirleme sistemi (0,18), yüzer temel (0,17), kule ve geçiş parçaları (0,16) takip eder ve daha sonra kırık palamar halatları ve diğer 14 arıza modu riskli arızalar olarak tanımlanır.

Filz vd. (2021) çalışmasında, endüstriyel yatırım mallarının kullanım aşamasındaki geçmiş ve operasyonel veriler üzerinde derin öğrenme modelleri kullanarak veriye dayalı HTEA metodolojisi sunmakta ve bu metodoloji havacılık sektöründen bir örnek olay incelenmiştir. Zaman kazandıran avantajların yanı sıra geliştirilen bu metodoloji sayesinde her çalışan aynı sonuçlara ulaşacağı öngörülmüş olup veri odaklı hata tahminin yüksek doğruluğu nedeniyle bileşenler yalnızca gerekli zamanda değiştirilir, bu nedenle daha uzun süre kullanılabilir. İlgili metodoloji yardımıyla anlık RÖS değerleri kullanılarak parçaların ya da bileşenlerin arızaları tahmin edilebilir hale gelmiştir.

Bu çalışma, HTEA analizi ile elde edilen sonuçların maliyete etkileri hesaplanmıştır. Ayrıca, diğer HTEA Analizi çalışmalarından farklı olarak, nesnelere interneti PLC kartlar aracılığıyla makinelerden alınan veriler anında ara yüz aracılığı ile yönetimin ekranından görünmesi sağlanmıştır. HTEA tekniği ERP programı ile kolayca entegre edilerek analiz aşamasında doğru ve hızlı sonuçlar elde edilmiştir. Veriler gerçek zamanlı elde edilmektedir. Veriler ilgili karar süreçlerinde kullanılmaktadır.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışma kapsamında, endüstriyel mutfak ürünleri imal eden işletmenin talaşlı imalat biriminde ortaya çıkan hatalar, üretim sahasında yer alan kiosklardaki ERP programına girişleri operatörler tarafından yapılmaktadır. Operatörlerin kontrol edilebilmesi için birimde yer alan 12 adet makineye PLC kart yerleştirilmiş olup, anlık makinelerin çalışma süreleri, duruş süreleri elde edilmektedir. Operatörlerin girmiş olduğu veriler ise PLC kartlardan alınan veriler ile karşılaştırılmakta ve kullanıcıya bağlı kalmadan süreç kontrol altına alınmıştır. Operatörler kontrol edildiğini bildiği için yüksek performans ile işlerini yerine getirir hale gelmişlerdir. İmalat atölyesinde 12 adet CNC tezgâh kullanılmaktadır. PLC kartlardan elde edilen veriler ile operatörlerin ERP programına iş emrine bağlı olarak girdiği veriler karşılaştırılır, verilerin doğruluğu kabul edildikten sonra ilgili birimde Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi uygulanmıştır. Uygulama öncesi ve sonrası toplam üretim maliyeti karşılaştırılmıştır.

#### 3.1. İşletme ile İlgili Genel Bilgiler (General Information about the Factory)

İşletmenin ürün gamı; pişiriciler, açık büfe, soğutma, dondurma makinesi, bulaşık makinesi, soğuk oda, mobilya, çamaşırhane, nötr ürünler (çalışma tezgâhı, yıkama tezgâhı, premix tezgahlar, davlumbaz, servis rafı, duvar rafı, tepsi taşıma arabaları, yer ızgarası, malzeme dolabı, sıcaklık dolabı vs.) oluşmaktadır. Bir otelin mutfağında olması gereken tüm ürünler firma bünyesinde üretilebilmektedir.

#### 3.2. HTEA Yöntemi (FMEA Method)

HTEA, bir ürün ya da süreçte bilinen veya meydana gelebilecek hataların, önceki deneyimler ya da teknolojiler kullanılarak belirlenmesi ve bu hataların önlenmesi için yapılan bir planlamadan oluşan analitik bir tekniktir (Besterfield vd., 1999; Söylemez, 2006). HTEA bir sistemde tecrübeler göz önünde bulundurularak, mevcut ya da meydana gelebilecek hataları tanımlayan, sisteme olan etkisini değerlendiren ve bu hataların oluşmasını azaltan veya önleyen aksiyonları tanımlayan, aksiyonların uygulanması ile hataların oluşma ihtimallerini yeniden değerlendiren ve sistemi dokümante eden bir analiz yöntemidir (Gönen, 2004).

HTEA uygulamalarında kullanılan temel kavramlar aşağıda verilmiştir (Stamatis,2003; Çeber, 2010):

**Fonksiyon;** ürün veya sürecin amacının ne olduğu üzerinde durularak ürün veya süreçten karşılaması beklenen hedeflerdir.

**Müşteri;** Nihai/Ara ürün ya da hizmetten etkilenen son kullanıcıdır. Müşteri herhangi bir kişi, departman veya işletme olabilmektedir.

**Hata;** bir fonksiyonun planlanan şekilde tamamlanmamış olmasındaki başarısızlıktır.

**Hata Türü;** bir sistemin karmaşıklığına bağlı olarak bir fonksiyonun istenilen şekilde yüzde yüz başarı ile yerine getirilememesi ya da gerektiği gibi veya hiçbir şekilde yerine getirilememesidir.

**Hata Etkisi;** sistemde fonksiyonun karşılaması beklenen hedefleri karşılayamadığı takdirde müşterinin yaşadığı maddi ya da manevi negatif geri dönüşür.

**Hata Nedeni;** sistem içerisindeki bir fonksiyonun beklentileri karşılamaına engel olan her türlü faktördür.

**Mevcut Kontroller;** sistemin var olan işleyişini devam ettirebilmek, olası başarısızlık nedeni ile ilişkili riski azaltmak veya ortadan kaldırmak için uygulanan eylemlerdir. Mevcut kontroller sayesinde hatanın müşteriye ulaşması önlenmektedir.

**HTEA Elemanı;** HTEA kapsamında ele alınan sistemi ifade etmektedir. Hata türü, hata etkisi, hataların ortaya çıkma olasılıkları örnek olarak verilmektedir.

**Şiddet (S);** sistemde meydana gelen hatanın müşteri üzerindeki etkisinin derecesidir.

**Ortaya Çıkma (O);** hatanın meydana gelme olasılığına ilişkin derece değeridir, diğer bir ifade ile hata nedeninin hata türüne yol açması ihtimaline karşılık gelen derece değeridir.

**Belirlenebilirlik (S);** sistemde gerçekleştirilen mevcut kontroller aracılığı ile olası bir hatanın müşteriye ulaşmadan önlenmesi derecesidir.

**Risk Öncelik Sayısı (RÖS);** Şiddet (S), Ortaya Çıkma (O) ve Belirlenebilirlik (B) derece değerlerinin çarpımı ile elde edilmektedir. RÖS ile sistemdeki hatalar risk önceliklerine göre sıralanmakta ve bu öncelik doğrultusunda düzeltici önleyici faaliyetler uygulanmaktadır.

$$\text{Risk Öncelik Sayısı (RÖS)} = \text{Şiddet (S)} \times \text{Ortaya Çıkma (O)} \times \text{Belirlenebilirlik (B)} \quad (1)$$

**Kritiklik:** Hatanın ortaya çıkma ve müşteriye ulaşmadan bu hatanın saptanabilmesi ihtimallerinin çarpımıdır. Ek kalite planlaması gerektiren hataların önceliklerini belirlemede kullanılır.

**Kritik Karakteristikler:** Yasal düzenleme veya ürün/hizmet emniyetini etkileyebilen karakteristiklerdir. Genel olarak, kritik karakteristikler şu faktörler tarafından belirlenir (Stamatis, 1995; Ceber, 2010): Mahkemeler, Düzenleyici kurumlar, Endüstriyel standartlar, Müşteri talepleri, Dâhili mühendislik ihtiyaçları.

### 3.2.1. Talaşlı İmalat Süreçlerinde Hata Türleri (Failure Modes in Machining Processes)

Talaşlı imalat, imal edilecek parçalara şekil verme, geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal edilme işlemlerini kapsar. Kesici takımın belirli bir dönme hızı ve ilerleme hızıyla iş parçasından talaş kaldırma işlemine talaşlı imalat denir. Talaş kaldırma, iş parçasının mekanik etkileri (şekil değişimi, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın büzülmesi, kırılması, deformasyonu, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi ve kesici takımın aşınması) sonucunda, takımlar ile işlenen karmaşık bir süreçtir. Talaşlı imalat sürecinde genellikle mekanik enerji kullanılır. Bazı yeni imalat tekniklerinde (dalma erozyon, lazer kesici, su jeti vb.) kimyasal, elektrik, su enerjisi de kullanılmaktadır (Güngör 2004). Talaşlı imalat yöntemleri ve bu yöntemlerde kullanılan kesici takımlar çok çeşitlilik gösterirler. Talaşlı imalat yöntemlerinden bazıları; Vargel, Planyalama, Tornalama, Delme, Frezeleme, Tığ/Broşlama, Raybalama, Taşlama, Testere ile kesme ve Tesviye işlemi, Borlamadır (Çiğdem, 2006). Planlamada talaşlı şekillendirme yönteminin seçimi yapıldıktan sonra, takım ve iş parçası için uygun kesme hızları ve ilerleme miktarları belirlenmelidir. Bu parametrelerin hatalı seçilmesi, kullanılması, ayarlanması gibi durumlarda takım kırılması, çalışanın yaralanması, makinenin arızalanması, ürünün hatalı işlenmesi, parçanın bozulması, yeniden işleme, teslimatta gecikme gibi riskleri taşır (Taşkın vd., 2003).

Müşteri siparişlerine ait ürünlerin üretimine başlanabilmesi için, iş emirlerine, iş emirlerinin takibini yapabilmek için de operatörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat, operatörler işe başlama zamanlarını ve işin bitiş zamanlarını doğru şekilde sisteme girişini kaydetmez ise gerekli bilgilerin hiçbirine ulaşılması mümkün değildir. Bu nedenle üretim birimlerinde yer alan CNC tezgahlara yerleştirilen PLC kartlar sayesinde makine çalışma verileri operatörlere bağlı kalmadan elde edilebilmektedir. Bu durumda hem operatörlerin çalışmaları kontrol edilebilmekte, hem de makinelerin siparişe başlamalarına ve çalışma zamanlarına doğru olarak ulaşılabilir.

### 3.2.2. HTEA Amaçları (Aim of Failure Mode and Effects Analysis)

HTEA tekniğinin amaçlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Gül, 2001; Huang, 2000):

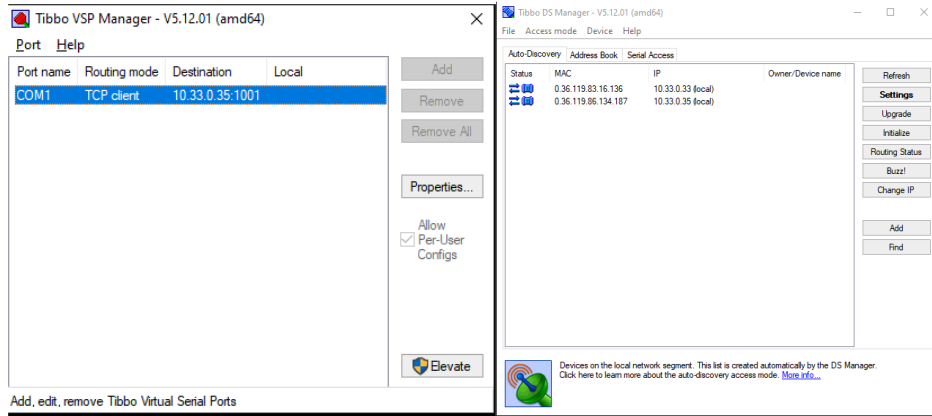
- Ürün veya süreçte oluşabilecek hata türlerini, etkilerini ve kritiklik derecelerini kararlaştırmak,
- Ürün veya süreçte oluşabilecek potansiyel hataları önceden belirleyerek bu hataların oluşmasını engellemek,

- Nihai ürünün müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşıladığından emin olmak için, planlanan imalat ve montaj süreçleriyle bağlantılı olarak bir ürünün tasarım karakteristiklerini analiz etmek,
- Potansiyel hata türleri belirlendiğinde, onları ortadan kaldırmak için düzeltici önlemleri almak veya sürekli bir şekilde onların oluşma potansiyellerini azaltmak ve böylece ürünün geliştirilmesini sağlamak,
- Montaj veya imalat süreci için sistemin dayandığı neden ve ilkeleri yazılı hale getirmek.

### 3.3. Talahlı İmalat Makinaları ve Sistemin Bütünleştirilmesi (Machining and System Integration)

Birimde bulunan her bir makineye PLC kartlar yerleştirilmiş olup, Tibbo Ethernet çevirici yardımı ile makinelerin çalışma süreleri anlık kaydedilebilir ve ulaşılabilir hale getirilmiştir. Tibbo Ethernet çeviricinin devreye alınması için firmanın IT ekibinden firma içerisinde kullanılmayan IP numaraları bilgisi alınmış ve iletişim kurulan arayüzler aşağıda yer almaktadır (Şekil 1). VSP Manager arayüzü ile IP tanımlaması yapılır, DS Manager arayüzü ise VSP Manager verilen IP bilgisi ile makine eşleştirilir. Makineler ile haberleşmeler sağlandıktan sonra belirlenen verilerin makinelerden alınması için WinProLadder PLC programında gerekli diyagramlar oluşturulmuştur.

WinProLadder, PLC programında yazılan diyagramdan gelen verilerin anlaşılır hale getirilmekte ve birimde yer alan makinelerin isimleri ile eşleştirilmiştir. Bunun için C# programında haberleşme protokolleri için gerekli kodlar yazılmıştır (Şekil 2). Haberleşme protokolleri sonucunda anlaşılır hale gelen veriler ERP programına aktarılmıştır. Verilere herkesin kolay ulaşabilmesi amacıyla C# programında (xx.exe) dosyası tutulması yerine ERP programına aktarım sağlanmıştır. BIT değerleri kısmı port kısımlarının bağlantı databitleri olarak tanımlamak mümkündür. Bu databitler üzerinden haberleşme sağlanmaktadır. Okunan veriler hangi makinelerden gelmektedir bunu ayırt etmek için REGISTERLAR tanımlanması gerekmektedir. Bu bilgiler PLC diyagramdan gelmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Tibbo VSP Manager ve DS Manager (Tibbo VSP and DS Manager)

```

/*BIT DEĞERLERİ*/
<add key="PORTU" value="COM1"/>
<add key="DATABIT" value="7"/>
<add key="STOPBIT" value="1"/>
<add key="HIZI" value="9600"/>
<add key="PARITY" value="Even"/>
<add key="ISTASYON" value="01"/>

if (veri_oku.Enabled == true)
{
    if (!ComPort.IsOpen)
    {
        ComPort.PortName = Convert.ToString(ConfigurationManager.AppSettings["PORTU"].ToString());
        ComPort.BaudRate = Convert.ToInt32(ConfigurationManager.AppSettings["HIZI"].ToString());
        ComPort.DataBits = Convert.ToInt16(ConfigurationManager.AppSettings["DATABIT"].ToString());
        ComPort.StopBits = (StopBits)Enum.Parse(typeof(StopBits), ConfigurationManager.AppSettings["STOPBIT"].ToString());
        ComPort.Parity = (Parity)Enum.Parse(typeof(Parity), ConfigurationManager.AppSettings["PARITY"].ToString());
        ComPort.ReadTimeout = 500;
        ComPort.WriteTimeout = 500;
        try
        {
            if (Register.portAc)
            {
                ComPort.Open();
                Register.ComPort = ComPort;
            }
        }
        catch (UnauthorizedAccessException ex)
        {
            MessageBox.Show(ex.Message);
        }
    }
}

```

Şekil 2. PLC Port Açma Kodları (PLC Port Opening Codes)

#### 4. Uygulama Bulguları ve Sonuçları (Implementation Findings and Results)

##### 4.1. Mevcut Sürecin RÖS Değerlerinin Hesaplanması (Calculation of RPN Values of the Current Process)

Uygulama kapsamında üretimi doğrudan etkileyen; Hammaddenin depoya kabul süreci, hammaddenin üretime verilmesi süreci, makineler, üretim süreci, birim dışından tedarik edilen süreçler dikkate alınmış ve tüm süreçler, işlemler detaylı bir biçimde ele alınmıştır. Tedarikçi firmalara yaptırılan fason imalat işlemlerden kaynaklı hatalar ile de çok karşılaşıldığı için bu süreçler detaylı incelenmiştir. Üretimde yaşanan problemleri sadece işlemsel ve makine arızaları kapsamında değerlendirmek hataya sebebiyet vermektedir. Bu nedenle hammadde kabul süreci ve hammaddenin üretime verilmesi süreci de HTEA kapsamında incelenmiştir. Süreçlerde meydana gelen hatalar süreç bazında sınıflandırılmış olup Tablo 1’de verilmiştir.

Belirlenen temel hata nedenleri süreç bazında sınıflandırılırken ve şiddet, ortaya çıkma, belirlenebilirlik değerleri belirlenirken uzman grubunun tecrübelerinden faydalanılmıştır. Uzman grup altı kişiden oluşan konusunda en az 10 yıl deneyimli kişilerden oluşmaktadır. Uzman grupla temel hata nedenlerinin şiddet, ortaya çıkma ve belirlenebilirlik değerleri belirlenirken beyin fırtınası tekniğinden faydalanılarak mutabakata varılan değerler kullanılmıştır. Şiddet, Ortaya Çıkma, Belirlenebilirlik değerleri derecelendirme skalaları Tablo 1’de verilmiştir (Stamatis, 1995). RÖS değerleri aşağıdaki tablo dikkate alınarak hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** Şiddet, Ortaya Çıkma, Belirlenebilirlik Değerleri Derecelendirme Skalası (Severity, Probability, Detectability Values Rating Scale)

Şiddet (S)	Derece	Belirlenebilirlik (B)	Derece	Ortaya Çıkma (O)	Derece
Yok	1	Neredeyse İmkânsız	10	Neredeyse Hiç	1
Çok Önemsiz	2	Çok Zor	9	Çok Zor	2
Önemsiz	3	Zor	8	Zor	3
Çok Düşük	4	Çok Az	7	Çok Az	4
Düşük	5	Az	6	Az	5
Orta	6	Orta	5	Orta	6
Yüksek	7	Ortanın Üstü	4	Ortanın Üstü	7
Çok Yüksek	8	Yüksek	3	Yüksek	8
Uyarılı Tehlikeli Etki	9	Çok Yüksek	2	Çok Yüksek	9
Uyarısız Tehlikeli Etki	10	Neredeyse Kesin	1	Neredeyse Kesin	10

**Tablo 2.** Talaşlı İmalat Biriminde Olası Hata Türleri ve Temel Nedenleri (Possible Types of Faults and Their Main Causes in The Machining Unit)

Süreç	Hata Türü	Hatanın Temel Nedeni	Şiddet	Ortaya Çıkma	Belirlenebilirlik	RÖS	
Hammadde Kabul Süreci	Kalite	Tedarikçi firmadan kusurlu ürün gelmesi	5	2	6	60	
		Tedarikçi firmaya yanlış malzeme siparişinin verilmesi	4	1	3	12	
		Hammadde giriş kalite kontrol sorumlusunun görevini yerine getirmemesi	3	1	3	9	
	Depoya Yerleşim	Hammaddenin karışması	9	2	6	108	
		Gelen malzemenin depodaki rafa yerleştirilmesi esnasında hasar görmesi	5	2	8	80	
		Depo sorumlusu tarafından hammadde barkod etiketleme işleminin yanlış yapılması	8	1	9	72	
Hammaddenin Üretime Verilmesi Süreci	Üretim	Üretim hattına yanlış hammaddenin verilmesi	9	2	6	108	
		Üretim hattına eksik miktarda hammaddenin verilmesi	4	1	7	28	
		Üretim hattına fazla miktarda hammaddenin verilmesi	2	1	7	14	
Makineler	Yatay torna makineleri hattının arızalanması	Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	8	2	5	80	
		Soğutma suyunun eksikliğinden kaynaklı makine arızası	7	1	4	28	
		Smartkey cihaz arızası	7	1	4	28	
		Hidrolik yağ pompasındaki sızıntıdan kaynaklı makine arızası	7	3	4	84	
		Motor(servo) arızası	8	3	4	96	
	Dikey torna makineleri hattının arızalanması	Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	8	2	5	80	
		Soğutma suyunun eksikliğinden kaynaklı makine arızası	9	2	4	72	
		Kızak yağlarının azalmasına bağlı arıza	7	3	4	84	
		C eksen arızası	2	4	2	16	
	5 eksenli freze makineleri hattının arızalanması	Soğutma suyunun eksikliğinden kaynaklı makine arızası	9	2	4	72	
		Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	8	2	5	80	
		Pres yağının düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	7	1	4	28	
		Makine prob okuma hatası	2	2	4	16	
		Filtrelerin tıkanmasından kaynaklı arıza	8	2	4	64	
	3 eksenli freze makineleri hattının arızalanması	Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	8	2	5	80	
		Kızak yağlarının azalmasına bağlı arıza	7	3	4	84	
Üretim Süreci	Yanlış CNC programı	CNC tezgâha yanlış CNC programının verilmesi	5	5	8	200	
	Üretim	İlk parça deneme hatası	2	5	3	30	
		Fabrika için uygun kalitede CRNI çubuk tedarik edilememesi	10	7	5	350	
		Eski revizyonlu programın üretime verilmesi	8	4	4	128	
		O-ring kanalı işlenmemesinden kaynaklı hatalı üretim	10	7	4	280	
		Mikser mili burcunun alt diş kalınlığının tolerans değerleri dışında olması	10	8	4	320	
		Üretilen dondurma makinesi haznesinde ezilme olması	9	7	4	252	
		Silindir malzemesinde freze kesim hatası nedeniyle alın kaynağında çatlama	10	8	5	400	
		Promix karşı yük ürününde ağırlık eksikliği	10	7	5	350	
	Kalite	Milkshake check valve şurup bağlantı kafası parçasının eninin tolerans dışında olması	8	5	4	160	
		Delik çapı konumunun hatalı olması	9	7	4	252	
		Delik çapının tolerans dışında olması	6	5	5	150	
		Üretilen parçada çapak olması	3	2	4	24	
		Silindir boyunun tolerans dışında olması	9	7	4	252	
		Silindir yüzey temizliğinin uygun olmaması	5	2	8	80	
		Dondurma makinesi ön sacında büküm hatası	5	2	6	60	
	Birim Dışında Yapılan Prosesler	Boyama	Dondurma makinesi ürün ön sacının müşteri isteğine göre uygun boyanmaması	10	3	5	150
			Boyama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması	9	3	6	162
		Markalama	Dondurma makinesinin satışı gerçekleşen firma adı markalamasının yanlış yapılması	10	2	4	80
Markalama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması			8	1	8	64	

HTEA uygulaması sonucu belirlenen hata türleri risk öncelik sayı değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmış hali Tablo 3'de verilmiştir.



**Tablo 3.** HTEA Uygulaması Sonucu RÖS Değerlerinin Büyükten Küçüğe Sıralanışı  
(Ranking of RPN Values From Largest to Smallest as a Result of FMEA Application)

Hata Türleri	RÖS
Silindir malzemesinde freze kesim hatası nedeniyle alın kaynağında çatlama	400
Fabrika için uygun kalitede CRNI çubuk tedarik edilememesi	350
Promix karşı yük ürününde ağırlık eksikliği	350
Mikser mili burcunun alt dış kalınlığının tolerans değerleri dışında olması	320
O-ring kanalı işlenmemesinden kaynaklı hatalı üretim	280
Üretilen dondurma makinesi haznesinde ezilme olması	252
Delik çapı konumunun hatalı olması	252
Silindir boyunun tolerans dışında olması	252
CNC tezgâha yanlış CNC programının verilmesi	200
Boyama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması	162
Milkshake check valve şurup bağlantı kafası parçasının eninin tolerans dışında olması	160
Delik çapının tolerans dışında olması	150
Dondurma makinesi ürün ön sacının müşteri isteğine göre uygun boyanmaması	150
Eski revizyonlu programın üretime verilmesi	128
Hammaddenin karışması	108
Üretim hattına yanlış hammaddenin verilmesi	108
Motor(serv) arızası	96
C eksen arızası	84
Kızak yağlarının azalmasına bağlı arıza	84
Gelen malzemenin depodaki rafa yerleştirilmesi esnasında hasar görmesi	80
Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	80
Silindir yüzey temizliğinin uygun olmaması	80
Dondurma makinesinin satışı gerçekleşen firma adı markalamasının yanlış yapılması	80
Pnömatik basınç düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	80
Silindir yüzey temizliğinin uygun olmaması	80
Dondurma makinesinin satışı gerçekleşen firma adı markalamasının yanlış yapılması	80
Depo sorumlusu tarafından hammadde barkod etiketleme işleminin yanlış yapılması	72
Soğutma suyunun eksikliğinden kaynaklı makine arızası	72
Hidrolik yağ pompasında sızıntıdan kaynaklı makine arızası	64
Filtrelerin tıkanmasından kaynaklı arıza	64
Markalama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması	64
Tedarikçi firmadan kusurlu ürün gelmesi	60
Dondurma makinesi ön sacında büküm hatası	60
İlk parça deneme hatası	30
Üretim hattına eksik miktarda hammaddenin verilmesi	28
Yağlama hatası	28
Smartkey cihaz arızası	28
Pres yağının düşüklüğünden kaynaklı makine arızası	28
Üretilen parçada çapak olması	24
C eksen arızası	16
Makine prob okuma hatası	16
Üretim hattına fazla miktarda hammaddenin verilmesi	14
Tedarikçi firmaya yanlış malzeme siparişinin verilmesi	12
Hammadde giriş kalite kontrol sorumlusunun görevini yerine getirmemesi	9

Bu çalışma kapsamında, mevcut durumun değerlendirmesi sonucunda RÖS değerlerine bakıldığında en önemli

olası hata türlerinin (RÖS  $\geq 100$ ) aşağıda yer alan hata türleri görülmektedir.

- Silindir malzemesinde freze kesim hatası nedeniyle alın kaynağında çatlama
- Fabrika için uygun kalitede CRNI çubuk tedarik edilememesi
- Promix karşı yük ürününde ağırlık eksikliği
- Mikser mili burcunun alt dış kalınlığının tolerans değerleri dışında olması
- O-ring kanalı işlenmemesinden kaynaklı hatalı üretim
- Üretilen dondurma makinesi haznesinde ezilme olması
- Delik çapı konumunun hatalı olması
- Silindir boyunun tolerans dışında olması
- CNC tezgâha yanlış CNC programının verilmesi
- Boyama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması
- Milkshake check valve şurup bağlantı kafası parçasının eninin tolerans dışında olması
- Delik çapının tolerans dışında olması
- Dondurma makinesi ürün ön sacının müşteri isteğine göre uygun boyanmaması
- Eski revizyonlu programın üretime verilmesi
- Hammaddenin karışması
- Üretim hattına yanlış hammaddenin verilmesi

Risk önceliği olan temel hataların daha çok insan kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu hata çözümü için yüksek maliyet ve teknolojik yatırım gerektirmemektedir. Belirlenen yüksek riskli hata türleri ile ilgili iyileştirme çalışmaları başlatılarak maliyete etkisi hemen görülmüştür. 16 maddeye uygulanan düzeltici & önleyici faaliyetler Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 4. Düzeltici & Önleyici Faaliyetler (Corrective and Preventive Actions)**

Hatanın Temel Nedeni	Düzeltilici & Önleyici Faaliyet
Silindirde freze kesim hatası nedeniyle malzemenin alın kaynağında çatlama	Personele mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
Fabrika için uygun kalitede CRNI çubuk tedarik edilememesi	Tedarikçi performans değerlendirme sürecinin devreye alınması, değerlendirme sonucu yüksek puan alan tedarikçiden malzeme temin edilmesi
Promix karşı yük ürününde ağırlık eksikliği	Operatörün işlem sırasında ölçüm yapması gereken aşama hakkında bilgilendirilmesi ve kayıt altına alınması
Mikser mili burcunun alt dış kalınlığının tolerans değerleri dışında olması	Personele farkındalık eğitiminin verilmesi
O-ring kanalı işlenmemesinden kaynaklı hatalı üretim	Operatörün işlem sırasında yapması gereken plan doğrultusunda işlem yapmasını sağlamak
Üretilen dondurma makinesi haznesinde ezilme olması	Personele mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
Delik çapı konumunun hatalı olması	Operatörün işlem sırasında ölçüm yapması gereken aşama hakkında bilgilendirilmesi ve kayıt altına alınması
Silindir boyunun tolerans dışında olması	Operatörün işlem sırasında ölçüm yapması gereken aşama hakkında bilgilendirilmesi ve kayıt altına alınması
CNC tezgâha yanlış CNC programının verilmesi	Operatöre mesleki eğitim verilmeli, üretim gerçekleşmeden üretim şefi tarafından teknik resimin onaylanması
Boyama işleminin teknik dokumana uygun yapılmaması	Personele mesleki yeterlilik ve farkındalık eğitiminin verilmesi
Milkshake check valve şurup bağlantı kafası parçasının eninin tolerans dışında olması	Personele farkındalık eğitiminin verilmesi
Delik çapının tolerans dışında olması	Operatörün işlem sırasında ölçüm yapması gereken aşama hakkında bilgilendirilmesi ve kayıt altına alınması
Dondurma makinesi ürün ön sacının müşteri isteğine göre uygun boyanmaması	Personele mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
Eski revizyonlu programın üretime verilmesi	CNC ofis biriminin çalışanlarına farkındalık eğitimi verilmesi, revizyon çalışmalarının anlık yapılması
Hammaddenin karışması	Etiketli hammaddenin kabul edilmesi
Üretim hattına yanlış hammaddenin verilmesi	Personel eğitimlerinin artırılması, sık periyotlarda eğitimin verilmesi

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında, HTEA tekniğinin uygulanması sonucunda kaliteli ürünleri düşük maliyet ile tasarlayıp üretmesini, aynı zamanda işlem maliyetlerini de kontrol altına alarak hatalı ürünlerin müşteriye ulaşmadan önce

önlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, HTEA tekniği ERP programı ile kolayca entegre edilerek analiz aşamasında doğru ve hızlı sonuçlar elde edilmiştir. HTEA tekniği uygulanması belirlenen riskli yerlerle ilgili yapılan iyileştirmelerle üretim maliyetlerinin düştüğü görülmüştür. Maliyet karşılaştırılmasında üretim miktarı sabit kabul edilmiştir. Ocak ayında 3971 adet parça üretimi yapılmıştır. Ocak ayında hatalı üretilen ürün adedi 129 iken şubat ayında hatalı üretilen ürün adedi 49, mart ayında ise hatalı üretilen ürün adedi 39 'dur. Hatalı ürün adet sayısında şubat ayında ocak ayına göre %62 oranında, mart ayında ise %70 oranında azalmıştır.

PLC kartlardan ve operatörlerden ayrı ayrı veri akışı elde edilmiş olup, veriler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Mevcut sürecin RÖS değerleri hesaplanmış, değerler büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve iyileştirme 16 maddenin öncelikli olarak ele alınması gerektiğine sonucuna varılmıştır. RÖS değeri 100'den yüksek olan silindir malzemesinde freze kesim hatası nedeniyle alın kaynağında çatlama, fabrika için uygun kalitede CRNI çubuk tedarik edilememesi, promix karşı yük ürününde ağırlığının düşük olması, mikser mili burcunun alt dış kalınlığının tolerans değerleri dışında olması, O-ring kanalı işlenmemesinden kaynaklı hatalı üretim, üretilen dondurma makinesi haznesinde ezilme olması, delik çapı konumunun hatalı olması, silindir boyunun tolerans dışında olması, CNC tezgaha yanlış CNC programının verilmesi, boyama işleminin teknik dokümanlara uygun yapılmaması, Milkshake check valve şurup bağlantı kafası parçasının eninin tolerans dışında olması, delik çapının tolerans dışında olması, dondurma makinesi ürün ön sacının müşteri isteğine göre uygun boyanmaması, eski revizyonlu programın üretime verilmesi, hammaddenin karıştırılması, üretim hattına yanlış hammaddenin verilmesi hataları için düzeltici ve önleyici faaliyetler uygulanmıştır. İyileştirme öncelikli 16 maddenin üretim maliyetine etkisi de analiz edilmiştir ve üretim maliyetlerinde toplamda %6 düşüş sağladığı maliyet ile ilgili kayıtlarında gözlemlenmiştir. Tablo 5' de ocak, şubat ve mart aylarının toplam üretim maliyetleri verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere hammadde maliyetleri sabittir. HTEA tekniğinin uygulanması sonucunda hatalı ürün üretiminin azalmasına paralel olarak işçilik maliyetlerinde düşüş sağlanmıştır. Hatalı ürün üretiminden kaynaklı, üretilen ürünlerin tekrar üretilmesi sonucunda katlanılmak zorunda olan kesici uç takım maliyetleri oldukça fazlaydı. Hatalı ürün üretimi azaldıkça kesici uç takım maliyetlerinde de oransal düşüş sağlanmıştır.

**Tablo 5.** 2021 Yılı Ocak – Şubat - Mart Ayları Maliyet Karşılaştırması (Cost Comparison For January – February - March 2021)

	2021 Yılı Ocak Ayı	2021 Yılı Şubat Ayı	2021 Yılı Mart Ayı
<b>Hammadde Maliyeti</b>	₺146.297,22	₺146.297,22	₺146.297,22
<b>İşçilik Maliyeti</b>	₺58.518,89	₺49.741,05	₺49.155,87
<b>Kesici Uç Takım Maliyeti</b>	₺21.944,58	₺17.555,67	₺17.336,22
<b>Toplam Maliyet</b>	<b>₺226.760,69</b>	<b>₺213.593,94</b>	<b>₺212.789,31</b>

İşletmede kalitenin daha da iyileştirilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla, işletmede kalite sorunlarını belirlemek üzere kurulan HTEA Analizi yöntemine yeni bir otomatik kalite sistemi eklenerek ürün üzerinde oluşan kusur ve hata sorunu anında tespit edilebilen bir çalışma ile konu daha da geliştirilebilir. Sorunların kaynağı tespit edilerek hatalı ürün sayılarının anında önlenmesi mümkün hale getirilebilir. Gelecekteki çalışmalarda, araştırmacılar, a) İş görenlerin farklı istihdam biçimleri ile ilgili beceri dağılımı hakkındaki gerçek verileri analiz ve b) İşletmedeki karmaşık iş süreçleri ve kalite sorunu oluşan istasyonlarda çalışan iş görenlerin becerileri konusunda uyarıcı ve onları doğrudan birbirine bağlayan entegre bir sistem tasarlamak için süreçleri veri kaynaklarıyla bütünleştirilebilir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Besterfield, D.H., Besterfield, C., Besterfield, G., Besterfield, M., 1999. Total Quality Management. D.H. Besterfield (Edt.), America: Prentice Hall.
- Çeber, Y., 2010. Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminin (FMEA) Üretim Sektöründe Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye.
- Çevik, O., & Aran, G., 2009. Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Piston Üretiminde Bir Uygulama. Sakarya Üniversitesi İİBF Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 8 (16), 241–265.
- Çiğdem, M., 2006. İmal Usulleri. 2nd edn. Türkiye: Çağlayan Kitabevi.
- Dağcı, B., 2019. Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü ve Etkilerinin Analizi ve Hataların Veri Madenciliği İle Araştırılması: Talaşlı İmalat Sektöründe Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Türkiye.

- Filz, M. A., Langner, J. E. B., Hermann, C., & Thiede, S., 2021. Data-driven Failure mode and Effect analysis (FMEA) to Enhance Maintenance Planning. *Computers in Industry*, 129, 103451.
- Ghani, A. J., Harron, C. H. C., Hamdan, S. H., Said, A. Y., Tomadi, A. Y., 2013. Failure mode analysis of carbide cutting tools used for machining titanium alloy. *Ceramics international*, 39(4), 4449-4456.
- Gül, B., 2001. Kalite Yönetiminde Hata Türü ve Etkileri Analizi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Gönen, D., 2004. Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye.
- Güngör, F., Paçal, K., 2004. Talahlı İmalat Sisteminin Planlamasında, Risk Analizinin Etkisi. IV. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu.
- Güngör, F., Paçal, K., 2006. Risk Analizinin İşleme Planlamasına Etkisi . UAS 2006, IV. Ulusal Üretim Araştırmaları.
- Huang, G. Q., 2000. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) over the www. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103, 113508.
- Hung, S. W., Chen, T. K., 2019. Disclosing AlN Ceramic Substrate Process Failure Mode and Effect Analysis. *Microelectronics Reliability*, 103, 113508.
- Li, H., Diaz, H., Soares, C. G., 2021. A Failure Analysis of Floating Offshore Wind Turbines Using AHP-FMEA Methodology. *Ocean Engineering*, 234, 109261.
- Lo, H. W., Liou, J. J. H., Haung, C. N., Chaung, Y. C., 2019. A Novel Failure Mode and Effect Analysis Model for Machine Tool Risk Analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 183, 173-183.
- Mariajayaprakash, A., & Senthilvelan T., 2013. Failure Detection and Optimization of Sugar Mill Boiler using FMEA and Taguchi Method. *Engineering Failure Analysis*, 30, 17-26.
- Mirzaoğlu, İ., Saritas, M., 2008. PLC VE SCADA Kullanarak Bir İrmik Üretim Sisteminin Otomasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Mzougui, I., Felsoufi, Z. E., 2019. Proposition of a Modified FMEA to Improve Reliability of Product. 29th CIRP Design in Portugal, (pp. 1003-1009).
- Sánchez, M., Paz Moral, M., Ramoscelli, G., 2020. Activity-based Costing in Smart and Connected Products Production Enterprises. *Growing Science*, 6, 33-50.
- Söylemez, C., 2006. Failure Mode and Effects Analysis Occupational Safety Application. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Stamatis, D. H., 1995. Failure Mode and Effects Analysis – FMEA from Theory to Execution. 2nd edn. Asq Pr America: Quality Press Publishing.
- Stamatis, D.H., 2003. Failure Mode and Effect Analysis – FMEA from Theory to Execution. Second edn. ASQ America: Quality Pres Publishing.
- Üngan, M. C., 2017. Failure Mode Effects Analysis and an Application in Automotive Parts Production. *Journal of Business Science (JOBS)*, 5(2), 217-245.
- Yee T. M., Ahmed, S., Quader, M. A., 2014. Process Behaviour and Capability Analysis for Improvement of Product Quality in Car-door Glass Manufacturing. 5th Brunei International Conference on Engineering and Technology in Brunei, (BICET) (pp. 1-6).