

Araştırma Makalesi

Hata Türü Etkileri Analizi İle Elektrikli Ev Aletleri Üretiminde Süreç Verimliliğinin Geliştirilmesi

Aysun SAĞBAŞ^{1,*} , Birsen KAHRAMAN¹ ,

¹Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ/ Türkiye

Geliş: 03.09.2020

Kabul: 19.12.2020

Özet: Son yıllardaki hızlı teknolojik gelişmeler ve artan rekabet koşulları nedeniyle, üretim ve hizmet sektöründe faaliyet gösteren işletmeler için, maliyetin azaltılması, kalitenin geliştirilmesi ve süreç verimliliğinin artırılması çok büyük önem arz etmektedir. Bu araştırmada; müşteri odaklı çalışan ve elektrikli ev aletleri sektöründe faaliyet gösteren bir firmada; müşteri istek ve beklentilerini karşılamayan ve iskartaya ayrılan ürün sayısının azaltılması ve verim düşüklüğü tespit edilen kritik bir sürecin iyileştirilmesi amacıyla Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemi uygulanmıştır. Bu kapsamda; darboğaz oluşumuna sebep olan hata nedenleri; Pareto analizi ve Ishikawa diyagramı gibi kalite iyileştirme ve geliştirme teknikleri ile incelenmiş ve Risk Öncelik Sayıları (RÖS) hesaplanmıştır. En yüksek RÖS değerlerine sahip hatalar için düzeltici faaliyetler planlanmış ve hurdalara sebep olan hatalar ayrıntılı olarak incelenmiş olup, bu hataların iyileştirilmesi için öneriler sunulmuştur. Sonuçta; kusursuzluğu hedefleyen üretim hattında, iyileştirmeler yapılarak iskartaya ayrılan ürün sayısının azaltılması sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Hata Türü ve Etkileri Analizi, Kalite İyileştirme, Süreç Verimliliği.

Improving Process Efficiency in the Production of Electrical Appliances with Failure Mode Effects Analysis

Abstract: Due to the rapid technological developments and increasing competition conditions in recent years, it is of great importance for the enterprises operating in the manufacturing and service sector to reduce costs, improve quality and increase process efficiency. In this research, the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method was applied in order to reduce the number of products that do not meet customer demands and expectations and to improve a critical process in which low efficiency was determined in a company operating in the electrical appliances sector. In this context, errors and causes of bottleneck formation were examined with quality improvement and development techniques such as Pareto analysis and Ishikawa diagram and Risk Priority Coefficients (RPC) were calculated. For errors with the highest RPC values, corrective actions were planned and the errors that caused the scrap were examined in detail and recommendations were made for the improvement of these failures. Consequently, in the production line, which aims for perfection, improvements have been made to reduce the number of scrapped products.

Keywords: Failure Mode and Effects Analysis, Quality Improvement, Process Efficiency.

* Sorumlu yazar

E-posta adresi: asagbas@nku.edu.tr (A.Sağbaş)

1. Giriş

Gün geçtikçe gelişen teknoloji ve artan rekabet koşulları nedeniyle üretim sektöründe faaliyet gösteren işletmeler, rakip firmalara göre daha fazla pazar payına sahip olabilmek için, bu süreçte yönetim biçimlerini ve üretim süreçlerini günümüz koşullarına ve değişen şartlara göre sürekli güncellemek durumundadırlar. Dolayısıyla işletmelerin rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri için, müşteri memnuniyetini artırmaya, maliyetlerini azaltmaya, kalite ve süreç verimliliklerini iyileştirme ve geliştirmeye odaklanmaları gerekmektedir. Bu kapsamda; işletmelerin süreçlerinin kolayca tanımlanması, ölçülmesi, analiz edilmesi ve iyileştirilerek kontrol edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda farklı istatistikî yöntemler kullanılmakta olup, ölçme, analiz etme, iyileştirme ve kontrol etme şeklindeki sistematığın sürekli bir döngü şeklinde gerçekleştirilmesi, işletmelerin süreç kalitesi ve süreç verimliliğinin sağlanması açısından mutlak bir gerekliliktir.

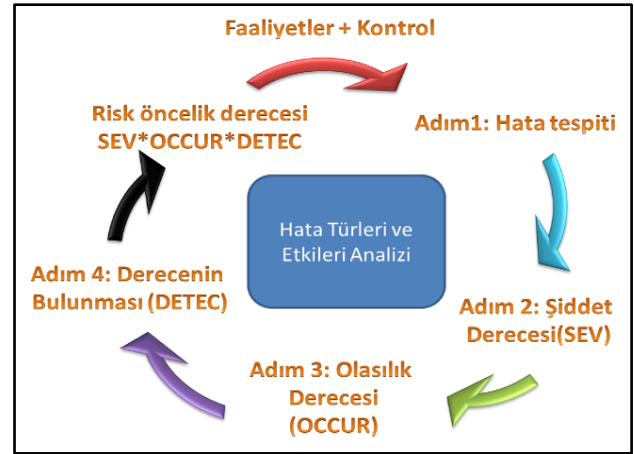
Hata türü ve etki analizi; sistem, tasarım, süreç veya servis aşamalarında oluşabilecek hataların değerlendirmesini ve bu tür hataların sürekli iyileştirilmesini ve azaltulmasını hedefleyen bir yaklaşımdır. HTEA, 1950'li yılların başında ilk olarak Amerika 'da havacılık alanında uçuş ve kontrol sistemlerinde kullanılmış olup, endüstride ilk yaygın kullanımı, Japonya'da tekstil ve otomotiv alanında gerçekleşmiştir. HTEA; yeni bir ürün geliştirirken veya tasarımı tamamlanmış bir üründe önemli bir değişiklik gerçekleştirilirken kullanılmakta olup, üretim sürecinde karşılaşılabilecek ve sonucu müşteriye ulaşabilecek olası hatalar, bunların cinsi, sebebi, kritikliği, etkileri, ortaya çıkma sıklığı ve frekansının tahmin edilmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Aydın, 2004)). Hataların önlenmesine yönelik çalışmalarda; eski ve yeni düşünce karşılaştırıldığında aşağıdaki tablo ortaya çıkmaktadır.

Tablo 1. Hata Önlenmesine Yönelik Düşünce Sistemlerinin Karşılaştırılması (Kaya ve Alaykiran, 2019)

Eski Düşünce	Yeni Düşünce
Iskarta ve hurdaların gözlenmesi	Iskarta ve hurdaların önüne geçilmesi
Güvenliliğin ortaya konulması	Güvensizliğin azaltılması
Problemlere çözüm üretilmesi	Problemlerin önlenmesi

HTEA; hataları önlemesi nedeniyle, hata maliyetlerinin ve ürün riskinin azaltulmasını ve ürün güvenilirliğinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. HTEA tekniği, kararlı ve istikrarlı bir şekilde uygulandığında; incelenen ürünlerin kalite, güvenilirlik ve emniyetinin geliştirilmesi, ürün değişiklikleri için harcanan zaman ve maliyetlerin azaltılması, risklerin azaltılması için alınan önlemlerin dokümantasyonu ve takibi, mümkün hataların tespit edilmesi ve bu hata etkilerine ait şiddet derecelerinin değerlendirilmesi, hatalı ürün geliştirmelerinin ve müşteri şikayetlerinin önlenmesi, tekrarlanan hataların devre dışı bırakılması veya tekrarlanmasının önlenmesi konularında önemli fayda sağlamaktadır (Bolat, 2000). HTEA; 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 (Aytaç, 2011). HTEA sistematığı şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. HTEA Sistematığı

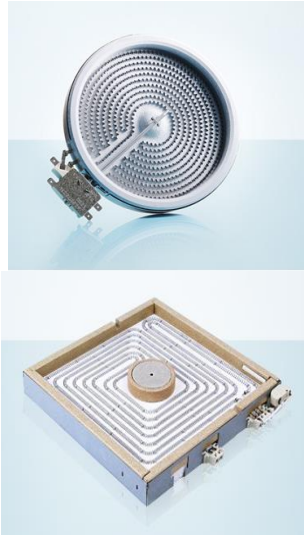
Literatürde; HTEA ekseninde kalite ve süreç iyileştirme konularında çok sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Üretim sektöründe gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Çelebi (2006) tarafından yapılan çalışmada; müşteri odaklı altı sigma yaklaşımı ekseninde, imalat sektöründeki firmanın süreç iyileştirme çalışması için; Pareto analizi, sebep-sonuç diyagramı ve süreç yeterlilik analizi kullanılarak, lastik aşınması konusundaki müşteri şikayetlerinin %70 iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Çevik ve Aran (2006) piston üretimi yapan bir firmada, piston üretim sürecinde karşılaşılan hataları, HTEA tekniğine göre analiz etmişler ve süreçte önemli iyileştirmeler sağlamışlardır. Kadioğlu vd. (2009) tarafından, makine imalatı yapan bir işletmede, tasarım HTEA ile ürünün tasarımından kaynaklanabilecek hataların ve hata kaynaklarının belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Büyüktuna (2012) tarafından yapılan çalışmada; HTEA tekniği, nakil tankları sürecinde kullanılmış olup, hata türleri, sebepleri ve hata türlerinin müşterilere olan etkileri belirlenmiş ve her bir hata türü için, hata olasılıkları, şiddetleri ve keşfedilebilirlik dereceleri hesaplanmıştır. Gergin vd. (2011) tarafından, bir çelik boru üretim işletmesinde, çekme tipi borulardaki fire oranının azaltılması amacıyla toplanan veriler, frekans dağılımları ve önceliklendirme matrisleri ile analiz edilmiş ve firelerin hangi süreç adımlarında oluştuğu tespit edilerek iyileştirme hipotezleri önerilmiştir. Er vd. (2011), bir lastik fabrikasında iskarta oranının altı sigma yaklaşımıyla azaltılması sürecinde; Pareto Analizi, HTEA gibi yöntemler uygulayarak, üretimde iskarta oranı en yüksek olan üründe üretim sürecinin iyileştirilmesini amaçlamıştır. Baysal ve ark. (2002), HTEA yaklaşımını otomotiv endüstrisinde uygulamış ve müşteri şikayetlerini azaltarak kalite iyileştirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Atmaca ve Keskin (2005) tarafından yapılan çalışmada, Bursa ilindeki otomotiv yan sanayi işletmelerinin TS 16949 kalite yönetim sistemine yönelik bir saha araştırması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda uzman yöneticilerin görüşleri doğrultusunda hazırlanan anketler ile, HTEA yönteminin uygulanmasının işletmelere getireceği avantajlar irdelenmiştir. Erginel (2008) yaptığı çalışmada; mekanik termostatın parçaları için, müşteri gereksinim ve beklentilerini kriter olarak analitik hiyerarşi süreci ile

önceliklendirilen parçalara, tasarım HTEA uygulamıştır. Tüm parçalar göz önüne alınarak yapılan tasarım HTEA için, hata türleri sayısı ile önerilen model sonuçları karşılaştırılmış ve hata oranında %35 azalma tespit edilmiştir. Taş (2010), tarafından gerçekleştirilen çalışmada; orta ölçekli ve önemli ölçüde ileri teknoloji kullanan bir mobilya işletmesinde, HTEA uygulanmıştır. Proses HTEA uygulaması ile mobilya işletmesi için, 15 ana süreçte toplam 42 hata tipi tanımlanmış ve önemli iyileştirme fırsatları belirlenmiştir.

Bu çalışma; Tekirdağ bölgesinde elektrikli ev aletleri sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede, müşteri şikayetlerinin en yoğun olduğu “HiLight” bölümünde uygulanmış ve ıskartaya ayrılan ürün sayısının azaltılarak üretim sürecinin iyileştirilmesi ve verimliliğin artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, altı sigma metodolojisi ekseninde, hata türü ve etkileri analizi uygulanarak, “neden-neden analizi; 5N, İshikawa diyagramı ve Pareto Analizi” ile hurdaya neden olan ve en çok görülen hatalar belirlenmiş ve bu hataların proses HTEA yöntemi ile risk öncelik değerleri (RÖS) hesaplanmıştır. Süreç verimliliğinin artırılması, en yüksek RÖS değerine sahip olan hataların iyileştirilmesi ve hurda oranının düşürülmesi amacıyla, düzeltici ve önleyici faaliyetler önerilmiştir. Bu amaçla; malzeme depolama, ürün üretim süreci ve personel ve operatörlerin çalışma organizasyonlarının yeniden planlanması konularında öneriler sunulmuştur.

2. Uygulanan Metodoloji

Araştırma; Tekirdağ bölgesinde ev aletleri için rezistans, seran ocak ısıtıcısı ve döküm ürünleri üreten bir işletmede, HiLight radyant ısıtıcı (Şekil 2) üretim sürecinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; üretim verimliliğinin artırılması ve süreç iyileştirme ve geliştirme amacıyla, altı sigma yaklaşımı ekseninde hata türü ve etkileri analizi uygulanmıştır.

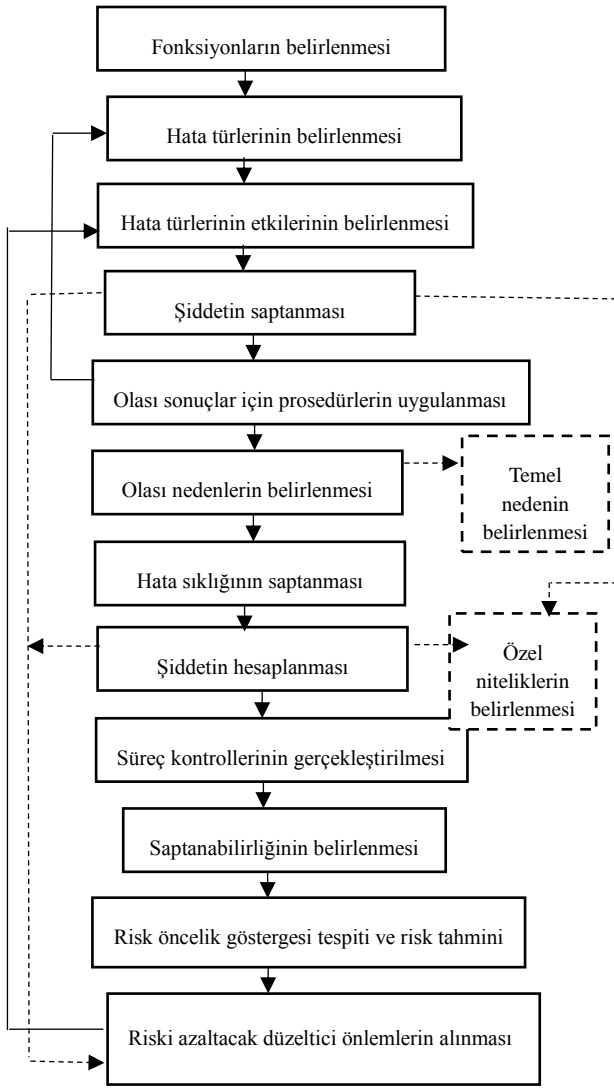


Şekil 2. HiLight Radyant Isıtıcı

HTEA; olası hataların belirlenmesi, bu hataların önceliklerinin sıralanması, öncelik sırasına göre gerekli düzeltici faaliyetlerin alınarak hatanın müşteriye ulaşmadan önlenmesi konularına odaklanmaktadır. HTEA; sistem, tasarım, süreç veya hizmetten kaynaklanan potansiyel

hataların değerlendirilmesini ve bu hataların (riskler, yanlışlıklar, problemler, vs.) devamlı olarak azaltılmasını hedefleyen özel bir mühendislik tekniğidir (Taş ve Koç, 2010; Tunçelli, 2006). Bu yönüyle HTEA; yeni malzeme geliştirme, yeni proses ve proses parçaları, mamul değişiklikleri, proses değişiklikleri alanlarında kullanılmaktadır. Genel olarak 4 çeşit HTEA'den söz edilebilir. Bunlar: sistem HTEA, tasarım HTEA, proses HTEA ve servis HTEA'dir. Sistem HTEA'de; hedef sistemin kalitesini, güvenilirliğini ve korunabilirliğini artırmaktır. Bu hedefe ulaşmak için sistem HTEA; müşterinin belirlenmiş ihtiyaç, istek ve beklentileri dikkate alınarak yapılmalıdır. Sistem HTEA analizlerinin uygulanmasıyla; geliştirme faaliyetleri arasında önceliklendirme yapılması ve değişiklik için açıklamaların kaydedilmesi sağlanmaktadır. İş akışının, sistem ve proses analizinin etkin bir şekilde yapılması, hataların ve kritik önemli işlerin belirlenmesinde ve kontrol planlarının oluşturulması aşamasında yol gösterici olması gibi avantajlar sağlama potansiyeli görülmüştür. (Akin, 1998). Proses HTEA, imalat ve montaj süreçlerini analiz etmede kullanılır. Proses veya montaj yetersizliklerinden kaynaklanan hata türleri üzerinde odaklanır. (Çevik ve Aran, 2006).

Tasarım HTEA, ürünün imalatına başlanılmadan önce uygulanan, ürünün imalatında, montajında ve müşteri tarafından kullanımında ortaya çıkabilecek tasarımdan kaynaklanan arızaların bulunması ve önlenmesi tekniğidir. Servis HTEA, müşteriye servis henüz ulaşmadan analiz edilmesini sağlamaktadır. HTEA'nın başlıca amaçları; ürün veya proseste meydana gelebilecek hataları oluşmadan tahmin ederek, bu hataların oluşmasını önlemek, ürün veya prosesteki olası hataların türlerini, etkilerini, risk önceliğini saptayarak önem derecelerini karşılaştırmak, ürünün, müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayıp karşılamadığından emin olmak için, sistemdeki imalat ve montaj prosesleri ile ilgili olarak bir ürünün tasarım karakteristiklerini belirlemektir (Yılmaz, 2000). Aynı zamanda sistemi analiz ederek, sistemin eksiklerinden doğan potansiyel hata türlerini belirlemeye odaklanır (Durhan, 2006). HTEA sonucu, proseste yapılan iyileştirmeler, bu tekniğin aynı zamanda proses geliştirme yaklaşımı olarak tanımlanmasını sağlamaktadır. Böylece kusursuz ürünler üretmek için analizcilere montaj ve imalat proseslerinde kullandıkları makineleri, prosesleri ve insan gücünün etkilerini analiz ederek, imalat proseslerini değerlendirebilme, yani zayıf noktalarını belirleme olanağını vermektedir. HTEA çalışması, 5 aşamada uygulanmaktadır: proses akış şemasının belirlenmesi, her proseste 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 gerçekleştirilir. Bu kapsamda; olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerlerinin belirlenerek, RÖS değeri hesaplanmaktadır. RÖS değerlerine göre hataların kritiklik düzeyine göre sıralanıp alınabilecek önlemlerin belirlenmesi ve yeni RÖS değerlerinin hesaplanması aşamasından sonra ise; düzeltici ve önleyici faaliyetlerin alınması, hesaplanan yeni RÖS değeri ile eski RÖS değerinin karşılaştırılması yapılmaktadır (Çevik ve Aran, 2006). HTEA çalışmasının uygulama adımları Şekil 3.'te verilmiştir.



Şekil 3. HTEA Uygulama Adımları

HTEA, her hata türü için bir risk önceliği sayısı oluşturur. RÖS değeri büyüdükçe hatanın ciddiyeti artmakta ve öncelikli olarak çözüm getirilmesi önem kazanmaktadır. RÖS değeri aşağıda verilen formülle hesaplanmaktadır:

Risk Öncelik Sayısı = Hata Olasılığı x Etkinin Önem Derecesi x Hatanın Saptanabilirliği

Büyük RÖS değerine sahip olan hatalar öncelikle tasarım sırasında ortadan kaldırılmalı veya azaltılmalıdır (Gürsaka, 2005). Hatanın ortaya çıkma sıklığı, saptanabilirlik ve hatanın önem derecesi ve etkisi sırasıyla; tablolar 2,3 ve 4. te gösterilmiştir.

Tablo 2. Hatanın Ortaya Çıkma Sıklığı

Hatanın oluşma olasılığı	Hatanın olasılığı		Hatanın derecesi	
	1/2'den fazla	1/3	10	9
Çok Yüksek	1/2'den fazla	1/3	10	9
Yüksek	1/8	1/20	8	7
Orta	1/80	1/400	6	5
Düşük	1/2000	1/15000	4	3
Pek Az	1/150000	1/150000'den düşük	2	1

Tablo 3. Keşfedilebilirlik, Saptanabilirlik

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

Tablo 4. Hatanın Önem Derecesi, Etkisi

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

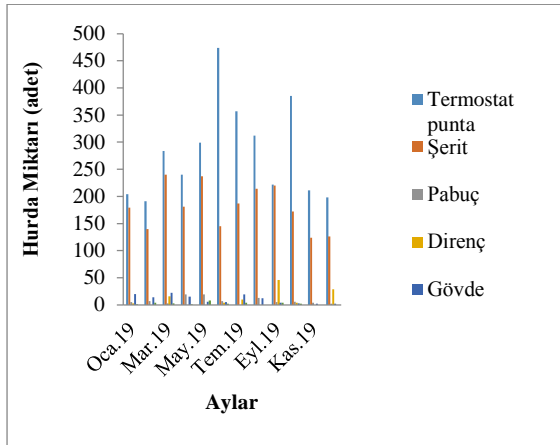
HTEA; sistem içerisindeki önemli hataları belirlese de, kapsamlı bir iyileştirme süreci yürütmek için, Pareto analizi, balık kılıcı diyagramı ve diğer kalite iyileştirme teknikleri ile birlikte kullanılması daha uygun görülmektedir. Bu çalışmada da hatanın kök nedenlerine ulaşabilmek için HTEA ile beraber 5N analizi, Çetele tablosu, neden-sonuç diyagramı ve Pareto analizinden yararlanılmıştır. Bu amaçla; HiLight radyant ısıtıcı üretim sürecinde, öncelikle, müşteri istek ve beklentilerini karşılamayan ürünlerin meydana gelme sıklığını belirleyebilmek için çetele tablosu hazırlanmıştır. Uygun olmayan ürünlerin üretilmesine sebep olan hatanın nedenlerini ortaya koyabilmek için analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra HTEA yapabilmek için RÖS değerleri belirlenen hata nedenleri ile beraber hesaplanmış ve HTEA çizelgesi oluşturulmuştur.

Yüksek RÖS değerine sahip hata nedenlerinin belirlenmesi ve hatanın azaltılabilmesi için önlem alınması gerektiğinin belirlenebilmesi sürecinde ise, Pareto analizi uygulanmıştır.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

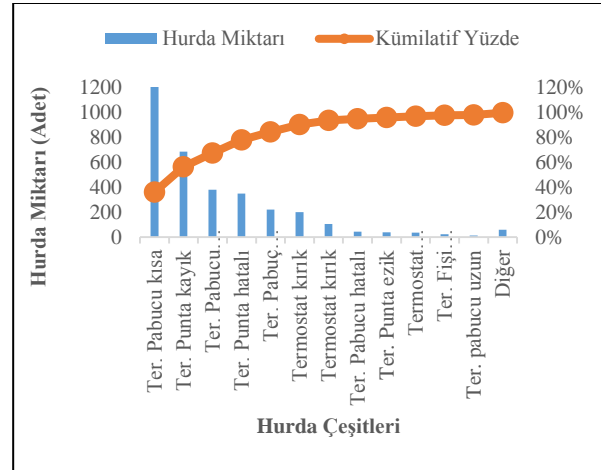
Çalışma kapsamında; HiLight üretiminde karşılaşılan

sorunların analizinin gerçekleştirilmesi HTEA metodolojisinde “tanımlama” aşamasında yapılmıştır. İşletmede, müşteri şikayetlerinden kaynaklı ıskartaya ayrılan ürün miktarının en fazla olduğu, hat 2 istasyonunda iyileştirmeler yapılarak hatalı ürün miktarı azaltılmış süreç iyileştirmesi gerçekleştirilmiştir. HiLight üretim sürecinde günlük hurda miktarlarını gösteren veriler toplanmış olup, 2019 yılında 12 aylık süreç bazında incelenerek hata grupları ve hurda miktarları için hurda miktarları için çetele verilerinden oluşturulan diyagram hazırlanmış olup, Şekil 4. te gösterilmiştir.



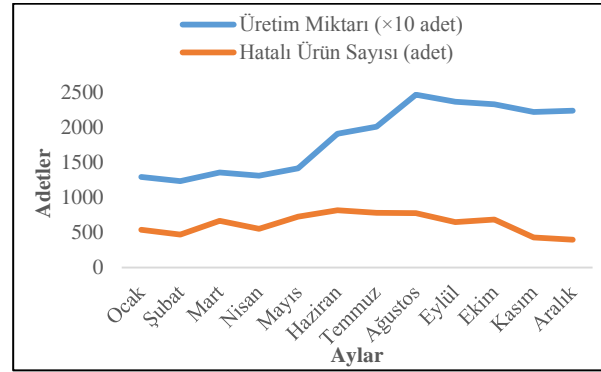
Şekil 4. Hata Gruplarına Göre Hurda Miktarları (2019 Yılı)

Şekil 4. incelendiğinde; 12 aylık süreçte her ay yüksek oranda termostat grubu hataların olduğu görülmektedir. Termostat grubunda görülen hataların hangi sıklıkta olduğunu kolayca görülebilmesi için kontrol listesi hazırlanmıştır. Termostat grubu için, aylık hurda miktarı verileri kullanılarak, Pareto analizi (Şekil 5) yapılmış olup, 12 ayda toplamda 1.557.340 adet ürün üretilmiş ve 3377 adet ürün, termostat hatası nedeniyle ıskarta ürün olarak tasnif edilmiştir.



Şekil 5. Termostat Grubu Aylık Hurda Miktarı İçin Pareto Analizi

HiLight üretiminde hurda ürün oluşumuna neden olan hataların Pareto analizi ile belirlenmesi aşamasından sonra, 2019 yılı aylar bazında üretim miktarı ve hatalı ürün sayısı Şekil 6. 'da gösterilmiştir.



Şekil 6. HiLight Üretiminde Hatalı Ürün Miktarı

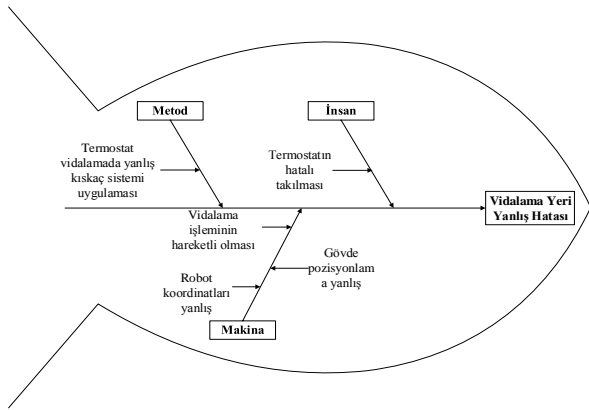
Mevcut durumda belirlenen beş farklı hata türünün her biri için, Proses HTEA yöntemi ile RÖS değerlerinin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; en yüksek RÖS değerine sahip olan hataların (yanlış punta yeri, yanlış vidalama yeri, kısa pabuç hürdası ve hatalı puntalama) iyileştirilmesi ve hurda oranının düşürülmesi amaçlanmış olup, proses HTEA formu tablo 5. 'te verilmiştir.

Tablo 5. Proses HTEA Formu

Proses	Potansiyel Hata Türleri	Hatanın Etkileri	Hatanın Sebepleri	Mevcut Koşullar				RÖS
				Mevcut kontroller	Olasılık	Şiddet	Saptanabilirlik	
Termostat punta	Punta yeri yanlış	Hatalı puntalama hürdası	Taşıyıcı ayarları yanlış	Göz kontrolü	8	8	3	192
Termostat vidalama	Vidalama yeri yanlış	Kısa pabuç hürdası	Vidalama sistemi yanlış	Ölçü kontrolü	9	8	3	216
Termostat punta	Puntalama yeri yanlış	Kısa pabuç hürdası	Tarak ve elektrotun ayarı yanlış	Ölçü kontrolü	5	7	5	175
Termostat punta	Hatalı puntalama	Hatalı puntalama hürdası	Mamulün tozlu olması	Göz kontrolü	5	6	2	60
Termostatın gövdeye akılması	Termostat montajı hatalı	Hatalı puntalama hürdası	Operatör hatası	Göz kontrolü	8	8	3	192
Termostat punta	Robot pabuçları fazla baskı uygular	Ter. Pabuç erimiş hürdası	Robot ayarı yanlış	Ölçü kontrolü	3	8	3	72
Yakma istasyonu	Yakma esnasında tel ile temas	Pabuç Yatık	Yakma işleminin iç kısımdan uygulanması	Ölçü kontrolü	4	6	4	96

Tablo 5. incelendiğinde; mevcut durum için RÖS Değerleri görülmekte olup, Proses HTEA'de en yüksek RÖS değerlerine sahip hatalar için düzeltici faaliyetler planlanmıştır.

Tablo 5.'te verilen RÖS değerleri incelendiğinde; "termostatın gövdeye takılması (RÖS değeri;192), "termostat vidalama (RÖS değeri; 216)" ve "termostat punta (RÖS değeri;175)" süreçleri için, mevcut durumda hesaplanan RÖS değerinin 100'den büyük olması nedeniyle; öncelikli olarak önlem alınması ve iyileştirmeler yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu amaçla, en yüksek RÖS değerine sahip "vidalama yeri yanlış" hatası için hata analizi grafiği oluşturulmuş ve şekil 7. de gösterilmiştir.



Şekil 7. Ishikawa Diyagramı (Vidalama Yeri Yanlış Hatası)

Kritik olarak tanımlanan RÖS değerleri için, işletmede HTEA ekibinin görüş ve önerileri doğrultusunda balık kılıcı diyagramı ve neden neden analizi; 5N gibi süreç iyileştirme ve kalite geliştirme teknikleri kullanılarak RÖS değerleri en yüksek (RÖS>100) olan operasyonların düzeltici faaliyetleri için öneriler geliştirilmiş ve bu önerilerin uygulamada devreye alınması sonrasında yeni RÖS değerleri hesaplanmıştır. Potansiyel hata türü ve proses bazında, RÖS değerleri ve iyileştirme oranları Tablo 6. da gösterilmiştir.

Tablo 6. Potansiyel Hata Türü ve Proses Bazında RÖS Değerleri ve İyileştirme Oranları

Potansiyel Hata Türü	Mevcut Durum RÖS Değeri	İyileştirilmiş Durum RÖS Değeri	İyileştirme Oranı (%)
Vidalama yeri yanlış	216	72	33
Punta yeri yanlış	192	96	50
Termostat montajı hatalı	192	96	50
Puntalama yeri yanlış	175	70	40

Tablo 6. incelendiğinde; RÖS değerleri baz alınarak en yüksek iyileşme (%50) termostat montajı hatalı ve punta yeri yanlış hata türü için gerçekleşirken, en az iyileşme oranının termostat vidalama yeri yanlış (%33) hata sınıfında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu kapsamda iyileştirme önerileri ve düzeltici ve önleyici faaliyetler aşağıda özetlenmiştir.

- Sık rastlanan hataların müşteri şikayetlerinin, operatörlerde farkındalık oluşturması amacıyla, operatörlerin yoğun olarak kullandıkları alanlarda afişe edilerek görmeleri sağlanmıştır.
- Puntalama işlemine giren ürünün, kovanda toz veya pislik bulunması durumunda; ıskarta olarak tasnif edilmesi nedeniyle, termostat puntalama işleminden önce; ürün hava üfleme istasyonundan geçirilerek, bu sorun ortadan kaldırılmıştır.
- Mevcut durumda; termostat ve şerit punta elektrotları belirli üretim sıklıkları ile taşlanmakta ve düzensiz bir kutuda saklanmakta ve zaman zaman taşlanmış elektrotlar taşlanmamış olanlar ile karıştırılmaktadır. Bu amaçla; hatadan sakınma (Poke-Yoke) yöntemi ekseninde yalnızca elektrotlar için kullanılacak kutular yapılmıştır.

4. Sonuç

Rekabetin çok hızlı bir şekilde artmakta olduğu günümüz koşullarında; gelişen teknoloji ile birlikte işletmelerin süreçlerinin iyileştirilerek verimliliğini artırması ve müşteri odaklı üretim yapmaları en öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır. Gerek üretim gerekse hizmet sektöründe; hataların önüne geçerek kusursuzluğu hedefleyen altı sigma metodolojisi tüm dünyada birçok firma için başarının anahtarı olmuştur. Bu çalışmada; elektrikli ev aletleri sektöründe faaliyet gösteren bir firma için, altı sigma metodolojisi ekseninde hata türü ve etkileri analizi uygulanarak üretim sürecinde müşteri beklentilerini karşılamayan hatalı ve ıskartaya ayrılan ürün miktarının minimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaçla süreç geliştirme yaklaşımlarından Pareto analizi uygulanmış olup, HiLight üretiminde karşılaşılan hurdaların analizi gerçekleştirilmiştir. HiLight üretim hattı için 12 aylık üretim ve hurda ürün verileri incelenmiş olup, ıskartaya ayrılan ürün miktarının artmasına sebep olan hatalar ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Belirlenen hataların iyileştirilmesi için düzeltici ve önleyici faaliyetler kapsamında öneriler sunulmuştur. Proses HTEA ile RÖS değerleri hesaplanarak en yüksek RÖS değerlerine sahip hatalar için düzeltici faaliyetler planlanmış ve yeni RÖS değerleri hesaplanarak süreç iyileştirme gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Aydın, Ö., Tasarımda Hata Türü Ve Etkileri Analizi Ve Bir Uygulama, (2004), Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Duru, N., Koç, H., & Taş, Y. (2011). İşletmelerde Hatasızlığa Yönelim, Altı Sigma ve Hata Türü Etkileri Analizi. *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 7(1), 56-67.
- [3] Kaya, S., & Alaykiran, K. (2019). Hata Türü Ve Etkileri Analizi Ve Döküm Sektöründe Bir Uygulama. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 76-89.
- [4] Güner, M., Akman, Ü., & Yücel, Ö. (2010). Erkek Gömleği Üretim Sürecinin Altı Sigma Yöntemiyle

İyileştirilmesi. *Tekstil Ve Konfeksiyon Dergisi*, 20(1), 75-81.

[5] Çağlar, M., & Kurt, M. (2015). Altı Sigma Yaklaşımı Ve Savunma Sanayi Sektöründe Bir Uygulama. *Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(3), 13-24.

[6] Sönmez, Y. (2017). Hata Türü Etkileri Analizi Ve Otomotiv Parçaları Üretiminde Bir Uygulama. *İşletme Bilimi Dergisi*, 5(2), 217-245.

[7] Dayan, T. A., & Fıçlalı, A. (2018). Hata Türü Etkileri Analizi Ve Kalite Araçları Kullanılarak Bakır Profil Üretim Verimliliğinin Artırılması. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 67-76.

[8] Aran, G., & Çevik, O. (2009). Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) Ve Piston Üretiminde Bir Uygulama. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 8(16), 241-265.

[9] Bolat, T. (2000). *Toplam Kalite Yönetimi (Konaklama İşletmelerinde Uygulanması)*. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş. İstanbul.

[10] Aytaç, E., Kalite İyileştirme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Hata Türü Ve Etkileri Analizi Ve Uygulama Örneği. (2011), Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Aydın.

[11] Çelebi, S., Müşteri Odaklı Altı Sigma Ve İmalat Sektöründe Bir Uygulama. (2006), Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[12] Gönen, D., Kadioğlu, M., & Uçmuş, E. (2009). Makine İmalatı Yapan Bir İşletmede Tasarım Hata Türü Ve Etkileri Analizi İle Hata Kaynaklarının Belirlenmesi Ve Kalitenin İyileştirilmesi. *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1).

[13] Büyüktuna, O., Hata Türü Ve Etkileri Ve Makine Sanayinde Bir Uygulama. (2012), Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Denizli.

[14] Atmaca, E., & Keskin, H. (2005). Bursa İli Otomotiv Sektöründe TS 16949 Kalite Yönetim Sistemi'nin Rekabetçi Avantajları. *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul Ticaret Üniversitesi.

[15] Erginel, N. (2008). Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği İçin Bir Model ve Uygulaması. *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 15(3), 17-26.

[16] Taş, Y., & Koç, K. (2010). Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) Tekniğinin Mobilya Endüstrisine Yönelik Uygulanması. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 2(5), 150-178.

[17] Tunçelli, S. B., Helikopter Tasarım Sürecinde Pilot Koltuğu Tasarım Sürecinde Pilot Koltuğu Tasarım Kavram Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA). (2006), Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Ürünleri Tasarım Anabilim Dalı, İstanbul.

[18] Akın, B. (1998). *ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde*

Hata Türü Ve Etkileri Analizi. İstanbul Bilim Teknik Yayınevi.

[19] Yılmaz, A., Hata Türü Ve Etkileri Analizi. (1997), Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[20] Usuç, C., Hata Türü Ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Üretim Ve Hizmet Sektörü Uygulamaları. (2002), Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

[21] Yılmaz., B. S. (2000). Hata Türü Ve Etkileri Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(4), 134-148.

[22] Durhan, D., Hata Türü Ve Etkileri Analizi (FMEA) Ve Bir Uygulama. (2006), Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[23] Düzgüner, E., Ürün Geliştirme Sürecinde Önleyici Kalite Güvence: FMEA Metodu ve Bu Metodun Bir Sanayi İşletmesindeki Uygulanması. (2002), Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.

[24] Gürsakal, N. (2005). *Altı Sigma: Müşteri Odaklı Yönetim*. Ankara Nobel Yayın Dağıtım.

[25] Chin, K. S., Wang, Y. M., Poon, G. K., & Yang, J. B. (2009). Failure Mode And Effects Analysis By Data Envelopment Analysis. *Karar Destek Sistemleri Dergisi*, 48(1), 246-256.

[26] Damanab, P. S., Alizadeh, S. S., Rasoulzadeh, Y., Moshashaie, P., & Varmazyar, S. (2015). Failure modes and effects analysis (FMEA) techniqua: a literature review. *Scientific Journal of Review*, 4(1), 1-6.

[27] Baysal, M. E., Canyılmaz, E., & Eren, T. (2002). Otomotiv Yan Sanayinde Hata Türü ve Etkileri Analizi. *Teknoloji Dergisi*, 5(1-2), 83-90.

[28] Gergin, Z., Acar, E. N., & Terzi, D. (2011, Haziran). Bir Çelik Boru Üretim İşletmesinde Çekme Tipi Borulardaki Fire Oranının Azaltılması Amaçlı Altı Sigma Proje Analizi. *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, (s. 24-33). İstanbul Kültür Üniversitesi.

[29] Er, S., Kahraman, A., Boran, S., & Yazgan, H. R. (2011, Haziran). Bir Lastik Fabrikasında Iskarta Oranının Altı Sigma Yaklaşımıyla Azaltılması. *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, (s. 34-43). Sakarya Üniversitesi.