



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

VERİ YAPISININ YETERSİZ OLDUĞU DURUMLARDA GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARININ GELİŞTİRİLMESİ VE MOBİLYA ÜNİTELERİNDE

DEVELOPING RELIABILITY ENGINEERING
APPLICATIONS AND ITS APPLICATION IN FURNITURE
UNITS WHEN DATA STRUCTURE IS INSUFFICIENT

Yazarlar (Authors): Mustafa Konuk^{id}, Emel Kızılkaya Aydoğan^{id}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Konuk M., Aydoğan E. K., “Veri Yapısının Yetersiz Olduğu Durumlarda Güvenilirlik Mühendisliği Uygulamalarının Geliştirilmesi ve Mobilya Ünitelerinde Uygulanması” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(1): 149-163, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1092794

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

VERİ YAPISININ YETERSİZ OLDUĞU DURUMLARDA GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARININ GELİŞTİRİLMESİ VE MOBİLYA ÜNİTELERİNDE UYGULANMASI

Mustafa Konuk^a, Emel Kızılkaya Aydoğan^b

^aBellona Mobilya Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kayseri/TÜRKİYE

^bErciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kayseri/TÜRKİYE

Sorumlu yazar: mustafa.konuk@bellona.com.tr,

(Geliş/Received: 24.03.2022; Düzeltme/Revised: 08.04.2022; Kabul/Accepted: 30.04.2022)

ÖZ

Günümüzde her geçen gün daha da zorlaşan rekabet şartları büyümeyi sağlamak isteyen şirketleri, faaliyetlerini etkili ve verimli şekilde yapmaya zorlamaktadır. Artan maliyetler ve pazarda gerçekleşen rekabetçi fiyat stratejisi; şirketleri, ürüne müşteri açısından hiçbir değer katmayan fakat müşterinin satış fiyatı içerisinde maliyetine katlanmak zorunda olduğu kayıp/israf olarak nitelendirilen tüm faaliyetleri önlemeye yöneltmektedir. Düşen kârlılık oranları ile bu kayıp ve israf noktaları daha da önemli hale gelmektedir. Bu israf ve kayıplar içerisinde ise kullanıcı, çevresel veya üretim şartlarındaki değişkenliklerden kaynaklanabilen müşteriden şikâyet veya iade olarak geri dönen ürünler önemli bir yer tutmaktadır. Yapılan çalışmanın temel amacı, tüm üreticiler içerisinde 99%'luk bölümü oluşturan küçük veya orta ölçekteki şirketlerin ihtiyaçlarına yönelik olarak satış sonrası hizmet süreçlerinde güvenilirlik mühendisliği uygulamalarını, bu çalışmanın ilgili bölümlerinde açıklanan yetersiz veri yapısı durumunda düşük maliyetler ile gerçekleştirebilmelerini sağlamak, böylece de uygulanabilir bir güvenilirlik mühendisliği süreci oluşturmaktır. Bu süreç operasyonel mükemmelliğe katkı sağlayacaktır. Operasyonel mükemmellik seviyesi; işgücü, teknolojisi ve tedarikçisi birbirine benzer üreticiler içerisinde rekabet üstünlüğünde belirleyici olmaktadır. Önerilen güvenilirlik analizi yaklaşımı mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir firmada mobilya ünitelerinde uygulanmıştır. Uygulama sonucunda ilgili tasarım özelliğinde robustluğun 17% arttırılması ile ürünlerin garanti kapsamında hata yapma olasılığı 31,3%'ten 17%'ye düşürülmüştür.

Anahtar kelimeler: Güvenilirlik Mühendisliği, Eksik Veri, Robust Tasarım, Dinamik Yaş.

DEVELOPING RELIABILITY ENGINEERING APPLICATIONS AND ITS APPLICATION IN FURNITURE UNITS WHEN DATA STRUCTURE IS INSUFFICIENT

ABSTRACT

Today, competitive conditions, which are getting more and more difficult with each passing day, force companies that want to grow, to carry out their activities effectively and efficiently. Increasing costs and competitive price strategy in the market; It directs companies to prevent all activities that do not add any value to the product for the customer, but are considered as loss/waste that the customer has to bear the cost within the selling price. With falling profitability rates, these loss and waste points become even more important. Among these wastes and losses, the products returned as complaints or returns from the customer, which may be caused by the changes in the user, environmental or production conditions, have an important place. The main purpose of the study is to ensure that small or medium-sized companies, which make up

99% of all manufacturers, can perform reliability engineering applications in after-sales service processes for their needs, with low costs in case of insufficient data structure explained in the relevant sections of this study, thus providing a viable reliability. engineering process. This process will contribute to operational excellence. operational excellence level; Its workforce, technology and supplier are decisive in competitive advantage among similar manufacturers. The proposed reliability analysis approach has been applied to furniture units in a company operating in the furniture industry. As a result of the application, by increasing the robustness in the relevant design feature by 17%, the probability of failure of the products within the scope of warranty was reduced from 31.3% to 17%.

Keywords: Reliability Engineering, Missing Data, Robust Design, Dynamic Age.

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve tüketicilerin çeşitlenen ihtiyaçları doğrultusunda ürün, sistem ve süreçlerin karmaşıklık seviyesi artmaktadır. Bu ise güvenilirlik mühendisliği uygulama alanlarının genişlemesine ve kendisinden beklenen fonksiyonların da artmasına sebep olmaktadır. 1930 yıllarda istatistiğin kalite kontrol faaliyetlerinde kullanımı ile temelleri atılan güvenilirlik çalışmaları kısa zamanda farklı alanlara yayılım göstermiştir. Havacılık ve uzay mühendisliği, nükleer mühendislik başta olmak üzere; derin sulardan petrol ve gaz çıkarmada kullanılan ekipmanların ve sistemlerin güvenilirliği büyük önem taşımakta olup; standartlar, teknikler ve bilgi öncelikle bu alanlarda oluşmaktadır. Rekabetin yoğun şekilde yaşandığı günümüz endüstrilerinde ise güvenilirlik mühendisliği uygulamaları, yeni ürünlerin tasarım süreçlerinin performansını artırma, garanti ve bakım hizmet süreçlerinin optimizasyonu gibi amaçlarla kullanılmakta olup; üreticilere rekabette önemli avantajlar sağlamakta, tüketicilere sunulan değerin korunmasına da yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmanın uygulama alanı olan mobilya sektörü hem dünya geneli hem de Türkiye için önemli bir endüstriyi oluşturmaktadır. CSIL (Centre For Industrial Studies) 2020 yılında global olarak sektör büyüklüğünü tüketim açısından 418 milyar dolar olarak raporlamıştır. Türkiye'nin ithalat ve ihracat rakamları incelendiğinde ise mobilya sektörü dış ticaret açığı vermeyip cari fazla veren nadir sektörlerden biridir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2020 yılı için mobilya ithalatını 432,2 milyon dolar, ihracatını ise 3,1 milyar dolar olarak açıklamıştır. Yakın coğrafya olarak; Avrupa, Afrika, Rusya ve

Orta Doğu bölgesi düşünöldüğünde ise mobilya tüketiminde yıllık 130 milyar dolarlık büyük bir potansiyel Türkiye'nin hedef etki alanına girmektedir (CSIL). 2021 yılında yapılan, Mobilya Küresel Fırsatlar ve Riskler Çalıştayı sonucunda Türkiye Mobilya Sektörü için trendler; dijital dönüşüm, sürdürülebilirlik, müşteri deneyimi, çevrimiçi-fiziki mağaza hibridleri, evden çalışma ve finansman olarak belirlenmiştir.

Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 2020 yılında yayınladığı Mobilya Sektör Raporu'na göre faaliyet gösteren işyeri sayısı 39.042, çalışan sayısı ise 197.733 'tür. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası 2020 reel sektör verileri ise mobilya üreticilerinin ortalama kârlılıklarının 5.7% olduğunu göstermektedir. Bu iş kolundaki üreticilerin 99.3%'ü KOBİ statüsünde yer almaktadır [1].

Güvenilirlik mühendisliği uygulamaları için gerekli olan saha verisi mobilya sektöründe nitelik ve nicelik bakımından oldukça kısıtlıdır. Satış sonrası hizmet süreçleri, garanti süreçleri ve ürünlerin tüketiciye ilk seferde doğru ulaştırılma performansı istenilen düzeyde değildir. KOBİ statüsündeki pek çok şirket için bu süreçler hemen hemen hiç gerçekleşmemektedir. Büyük ölçekteki firmalar ise satış sonrası hizmet süreçlerini geliştirmekte olup, müşteri şikâyet ve iadelerini azaltmayı hedeflemektedirler. Güvenilirlik mühendisliği uygulamalarının gelişmesi bu süreçlerin daha iyi yönetilmesini sağlayacak olup, yukarıda bahsedilen ihracat potansiyelini harekete geçirmenin de önemli bir aşamasını oluşturacaktır. Dünyanın en büyük mobilya üreticisi ve perakendecisi IKEA, 2019-2022 yıllarını kapsayan 10 stratejik faaliyet

başlığı içerisinde dördüncü başlık olarak ‘‘anında müşteri memnuniyeti için kalite, güven ve problem çözmeyi’’ belirlemiştir. IKEA tarafından belirlenen; müşteriyi anlama, ihtiyaçları keşfetme, gereksiz maliyetleri düşürme, sürdürülebilir bir yaşam başlıkları da güvenilirlik mühendisliği uygulama alanları içerisinde yer bulmaktadır. Sektördeki mevcut durum incelendiğinde istatistik-olasılık temelli yaklaşımlar ve yapısal analizler (sonlu elemanlar analizi) olmak üzere temelde iki uygulama dikkat çekmektedir. Mobilya endüstrisinde resmi olarak ilk yapısal analiz uygulaması TÜBİTAK - Üniversite ve Sanayi iş birliği ile bir mobilya üreticisinde 2013 yılında gerçekleştirilmiştir [2]. Bu çalışmada performans testleri ve ürün mühendisliği entegrasyonu ile demonte sandalyelerin mukavemeti geliştirilmiştir. TÜBİTAK-Üniversite ve Sanayi iş birliğinde 2015 yılında yapılan başka bir doktora çalışmasında ‘‘döşemeli koltuklarda performans testleri ve sonlu elemanlar analizlerini kapsayan ürün mühendisliği yaklaşımıyla ağırlık-mukavemet optimizasyonu’’ konulu projede, bütün olarak oturma grubu ürünlerinde ilk kez yapısal analiz uygulamaları geliştirilmiştir [3].

Mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir firmada yapılan Ar-Ge projesinde, büfe ünitesinin ürün geliştirme sürecinde yapılan toplam 118 laboratuvar testinin (yarı mamul ve hammadde testleri dahil), 20 adetinin yapısal analiz yaklaşımı ile gerçekleştirilebileceği belirtilmektedir. Olasılık ve istatistik temelli güvenilirlik mühendisliği uygulamalarının sektörde yeterince geliştirilememesinin nedenleri ise doğru saha verilerinin yetersiz olması, ürünlerin gerçek kullanım şartlarının izlenememesi ve farkındalık eksikliği olarak düşünölmektedir.

Mobilya sektörü ve genelde tüm KOBİ’lerde geçerli olan saha verilerinin nitel ve nicel yönden eksikliği için bu çalışma kapsamında yenilikçi bir süreç önerilmektedir. Bu yaklaşımdan hareketle ev mobilyasının ünitelerinden biri olan büfe ürününün farklı tasarımları üzerinde önerilen süreç uygulanmıştır. Yapılan güvenilirlik analizi ıktıları ile ürünlerin tasarım özellikleri arasındaki ilişki istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Hipotez testi sonucunda güvenilirlik

ıktıları üzerinde etkili olan öncelikli tasarım özelliğinin plastik ayaklar olduğu ortaya konmuştur. Bu plastik ayakların tedarik edildiği tedarikçi süreçlerinde robust tasarım prensipleri uygulanmış ve süreç parametre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu iyileştirme çalışmaları sonucunda veriler tekrar analiz edildiğinde ise güvenilirlik analizi çıktılarının iyileştiği ortaya konulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAşTIRMASI

Marvin Rausand [4] güvenilirliğin tanımını yaparken Uluslararası Standartlar Organizasyonu’nun (ISO) tanımını kullanmış ve güvenilirliği ‘‘bir ögenin belirli çevresel ve operasyonel koşullar altında belirli bir süre boyunca, gerekli bir işlevi yerine getirme yeteneği’’ olarak tanımlamıştır. Bir öge; bileşen (ürün, yarı mamul) olabileceği gibi bir alt sistem veya sistem olabilmektedir. Daha istatistiksel ve olasılık tabanlı başka bir tanımda ise güvenilirlik ‘‘bir sistemin/bileşenin düzgün çalışma olasılığı’’ olarak tanımlanmaktadır [5].

Güvenilirlik mühendisliğinin gelişiminde temel unsurlar olasılık ve istatistik olarak gösterilmekle birlikte, seri üretimin de başka önemli bir unsur olduğu belirtilmektedir. Henry Ford’un 1910 yılında ürettiği Model T arabası kalite kontrol ve değiştirilebilir standart parça kullanımı ile bir güvenilirlik uygulaması olarak görölmektedir [6].

1930 ‘lu yıllarda Walter Shewhart, Harold F. Dodge ve Harry G. Romig, endüstriyel ürünlerin kalite kontrolünde istatistiksel yöntemlerden yararlanmanın teorik temelini oluşturmuştur. Bu yöntemlerin kullanılması I. Dünya Savaşı’nın başlangıcına dayanmaktadır. Savaşta kullanılan mühimmat beklenen özellik ve etkiyi gösteremeyince bunun olası sebepleri araştırılmış ve güvenilirlik hesaplamaları ile ilgili ilk olasılık çıkarımları bu yıllarda yapılmıştır. Böylece bir sistemin güvenilirliğinin sistemi oluşturan bileşenlerin ayrı ayrı güvenilirliklerine ve aynı zamanda birlikte oluşturdıkları güvenilirlik düzeyine bağlı olduğu görölmüştür. Pek çok bileşenden oluşan karmaşık bir sistemde çok sayıda bileşen olması, bileşenlerin her birinin yüksek güvenilirlikte olmasına rağmen sistem için genel güvenilirlik seviyesinin düşük olmasına sebep olabilmektedir [4].

Güvenilirlik diğer birçok teknik ve yaklaşım gibi II. Dünya Savaşı ile gelişimini hızlandırmıştır. Güvenilirlik analizleri özellikle 1950 ve 1960'lı yıllarda uzay programlarında oldukça geniş biçimde uygulanmıştır [6]. Güvenilirlik mühendisliği kapsam ve yaklaşımlar anlamında geniş bir alana yayılmıştır. 1980 yılından itibaren güvenilirlik mühendisliği alanında yayın ve uygulamaları içeren Reliability Engineering & System Safety [7] dergisi; güvenilirlik mühendisliği, risk değerlendirmesi, tesis, sistem, operasyonların güvenilirlik analizleri, arıza dağılımları ve modeller, yazılım, insan faktöründe güvenilirlik alanlarındaki çalışma ve yayınları kapsamına almaktadır. Guangbin Yang [8] güvenilirlik mühendisliğini, bir ürünün önceden tanımlanmış şartlarda çalıştırıldığında güvenilir olmasını sağlama disiplini olarak tanımlamaktadır. Başka bir ifade ile güvenilirlik mühendisliğinin işlevi, hatalardan kaçınmaktır. Bu amaçla ele aldığı Life Cycle Reliability Engineering kitabında ürünün tasarım aşamasının ilk faaliyeti olan kavramsal tasarımdan, ürünün ömrünü tamamladığı sürece kadar güvenilirlik fonksiyonunu yaklaşımlar ve araçlar temelinde detaylı olarak açıklamıştır. Ürün tasarım ve geliştirme aşamasında ürüne katılan ve doğal güvenilirlik olarak nitelendirilen çalışmalar, üretim aşamasında değişkenlik kaynaklarına karşı varyasyonu en aza indirmek adına ve ürünler kullanıma alındıktan sonra da planlı bakım faaliyetleri geniş şekilde ele alınmaktadır. Gregory A. DeCroix Oligopol pazarlarda optimal garanti, güvenilirlik ve fiyat problemini ele almıştır [9]. Bu 3 karar değişkeni için en uygun değer arandığı çalışmada kârı maksimize etmek için en iyi garanti- güvenilirlik -fiyat dengesi ele alınmış ve Nash Dengesi (Nash Equilibrium) ile belirli varsayımlar altında çözüm geliştirilmiştir. Optimum garanti şartları ile güvenilirliğin birbirini tamamlayıcı unsurlar olduğu çalışmada gösterilmektedir. Tüketiciler riskten olabildiğince kaçınmak isteyeceği için güvenilirlik sonuçlarının daha iyi ve garanti sürelerinin uzun olması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Rausand'ın, güvenilirlik çalışmaları sonucunda yaptığı en temel çıkarım, bu çalışmaların her zaman karar vericiler için bilgi sağlamak olması gerektiğidir. Bu karar destek sistemleri risk

analizi, çevresel etki analizi, kalite güvence, bakım optimizasyonu, mühendislik tasarımı, kalite ve güvenilirliğin doğrulanması gibi süreçlerde olabilmektedir [4]. Bir üretici tarafından üretilen ve pazara sunulan ürünler için güvenilirlik uygulamaları gerçekleştirilirken zaman tayini ve kabulleri önemli bir faktör olmaktadır. Ürünün kullanım zamanının başlangıcı ve arıza süresinin net şekilde tanımlanması önemlidir. Bu tanımlamalar keyfi olabilir ancak anlamlı olmalıdır. Üretim sektöründe güvenilirlik mühendisliği için 2 önemli alan ürünlerin garanti sözleşme şartlarının oluşturulması ve tasarım süreçlerine yapılacak geri bildirimlerle yeni ürünlerde güvenilirliğin artırılmasıdır. Garanti maliyetleri günümüz rekabetçi endüstri ortamında önemli bir maliyet unsurunu oluşturmaktadır [10]. Satışların artırılması, çoğu firmanın temel hedefi olan kârlılığı arttırmanın etkili bir yoludur. Tüketicilerin satın alma isteğini arttırmak için üreticiler genelde makul bir satış fiyatı belirlerler. Düşük fiyat stratejisi satışları arttırmada bir seçenek olarak görülse de bu karlılıkta düşüşe sebep olacaktır. Rakiplere göre daha iyi bir garanti politikası, rekabetçi bir fiyat belirleme aracı olarak ele alınmaktadır. Garanti, ürünleri pazarlamanın önemli bir faktörüdür, çünkü daha iyi bir garanti politikası genellikle daha yüksek ürün kalitesine işaret eder ve müşterilere daha fazla güvence sağlar [11].

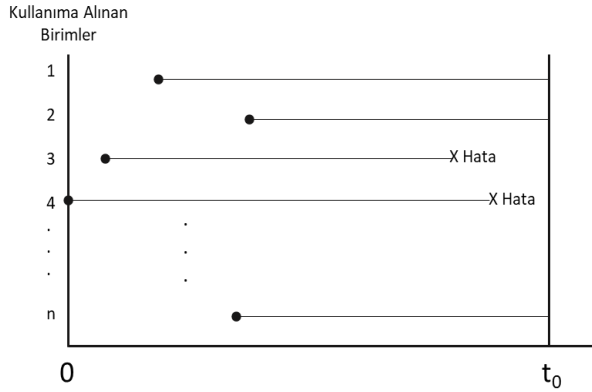
Bu makale “Veri yapısının yetersiz olduğu durumlarda güvenilirlik mühendisliği uygulamalarının geliştirilmesi ve mobilya ünitelerinde uygulanması” yüksek lisans tezinin özeti niteliği taşımaktadır [12].

3. VERİ YAPISININ YETERSİZ OLDUĞU DURUMLARDA GÜVENİLİRLİK MÜHENDİSLİĞİ YAKLAŞIMI VE MOBİLYA ÜNİTELERİNDE ÖRNEK UYGULAMA

3.1. Güvenilirlik Veri Yapısının Tanımlanması

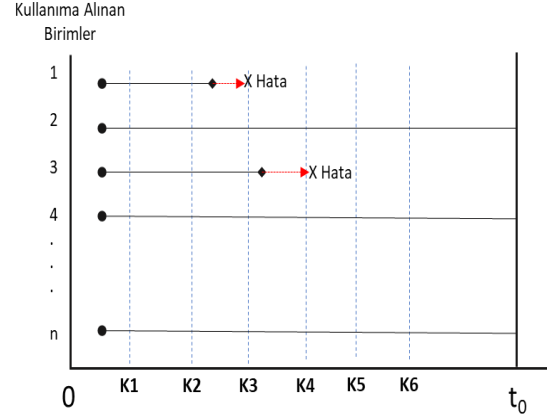
Güvenilirlik analizlerinde veri yapısının özellikleri incelendiğinde, tam ve sansürlü veri setleri, açıklayıcı değişken durumu, Deming'in istatistiksel veri kategorileri olarak 3 grup karşımıza çıkmaktadır.

Güvenilirlik analizlerinde tam veri setine çok nadir rastlanılmaktadır. Tam veri seti genelde deneysel çalışmalarda elde edilebilmekte olup bu da hızlı kullanım testleri yardımıyla olabilmektedir. Diğer yandan ürün geliştirme süreçleri için gerekli olan güvenilirlik verisi, güncel ürün jenerasyonunun üretimi ve müşterilerde kullanımı devam ettiğinden genel olarak sansürlenmektedirler. Tam veri setinde tüm birimlere ait hata/ arıza verme zamanına kadar olan toplam süre bilinmektedir. Sağdan sansürlü veri setlerinde ise birimlere ait etkinleştirme zamanı bilinmektedir. Belirli bir zaman sonunda bazı birimler hata/arıza verirken bazı birimler ise çalışmasını sürdürecektir. Bu sansürleme sağdan sansürleme veya Tip I sansürleme olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1).

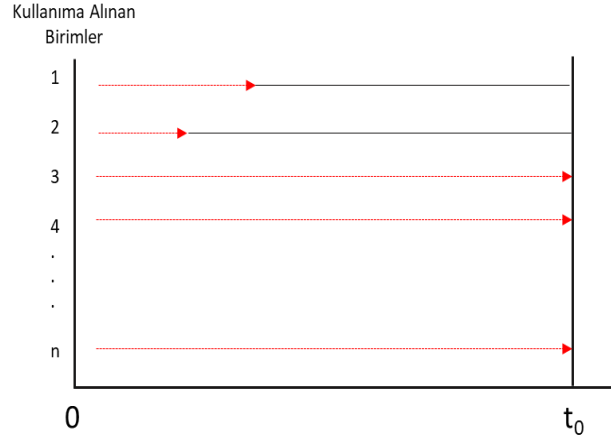


Şekil 1. Farklı zaman girişli sağdan sansürlü veriler [4].

Aralıklı sansürlü verilerde ise hata/arızaların meydana geldiği zaman aralığı belirlidir. Tam olarak ne zaman başarısızlığın gerçekleştiği konusunda ise belirsizlik vardır (Şekil 2). Çünkü kontroller sürekli değil belirli zaman aralıklarında yapılabilir. Soldan sansürlü veri yapısında arızalar belirli bir zamandan önce meydana gelir. Bu veri yapısı, hata zamanlarının sıfır ile inceleme süresi arasında meydana geldiği aralıklı sansürlü veri yapısının özel bir durumu gibidir (Şekil 3).



Şekil 2. Aynı zaman girişli aralıklı aşamalı sansürlü veriler.



Şekil 3. Aynı zaman girişli soldan sansürlü veriler.

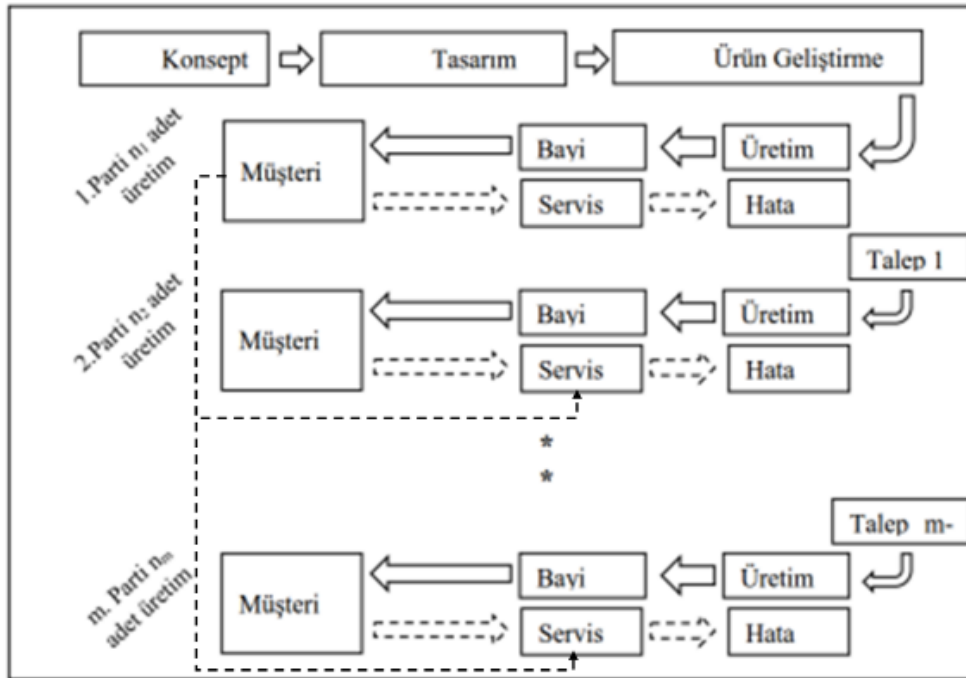
Pek çok uygulamada güvenilirlik verileri, belirli bir süreçten veya popülasyondan geldiği ve aynı koşullar altında test edildiği veya çalıştırıldığı varsayılan bir birim numunesi üzerinde toplanmaktadır. Ürünler birbirinden farklı şartlarda, koşullarda, çevresel ve kullanıcı değişkenliklerine maruz kalmaktadır. Açıklayıcı değişkenleri olmayan güvenilirlik verisine Meeker 'in rulman yorulma verileri örnek olarak gösterilebilir [10]. Açıklayıcı bir değişkene sahip olan arıza süresi verilerinde çevresel koşullar ve birimlerin özellikleri gibi ekstra değişkenler de analize dahil edilirler. Birimlerin dayanım, ömür ve güvenilirlikleri üzerinde bu değişkenlerin etkileri araştırılabilir. Böylece mevcut durum daha iyi analiz edilebilir ve iyileştirme, geliştirme çalışmalarının niteliği artırılabilir.

Açıklayıcı değişkenler olmadan bozunma verileri kapsamında, birimlerin belirli bir özelliğindeki zamanla değişim ile ilgilenilmektedir. Değişim önceden belirlenmiş olan bir eşik değerine geldiğinde, bu durum arıza olarak kabul edilir [10]. Deming 'in (1975) önerdiği veri yapısında ise, istatistiksel çalışmaların genel olarak iki farklı kategoriye ayrılabilceği belirtilmektedir. Sayısal çalışmalar ve analitik çalışmalar olarak belirtilen bu veri yapılarında temel bir farklılık vardır. Sayısal çalışmalar sonlu ve tanımlanabilir bir ana kütle (popülasyon) hakkındaki soruları yanıtlar. Ürün güvenilirliği bağlamında bu ürünler sahada hizmet verebilir ya da bir depoda saklanabilir. Tipik olarak istatistiksel çalışmalar; popülasyondan rastgele alınan bir örneğin değerlendirilmesi ile başlar ve ardından örneğin alındığı popülasyon hakkında bir çıkarım veya çıkarımlar yaparak yürütülür. Analitik çalışmalar, zaman içinde birimler veya başka çıktılar oluşturan süreçlerle ilgili soruları yanıtlar. Süreçler belirli hammaddeleri ürünlere dönüştürür ve bu süreçlerden elde edilen ürünlerin güvenilirlik analizleri yapılabilir. Sayısal bir çalışmada temel varsayım, örnekleme

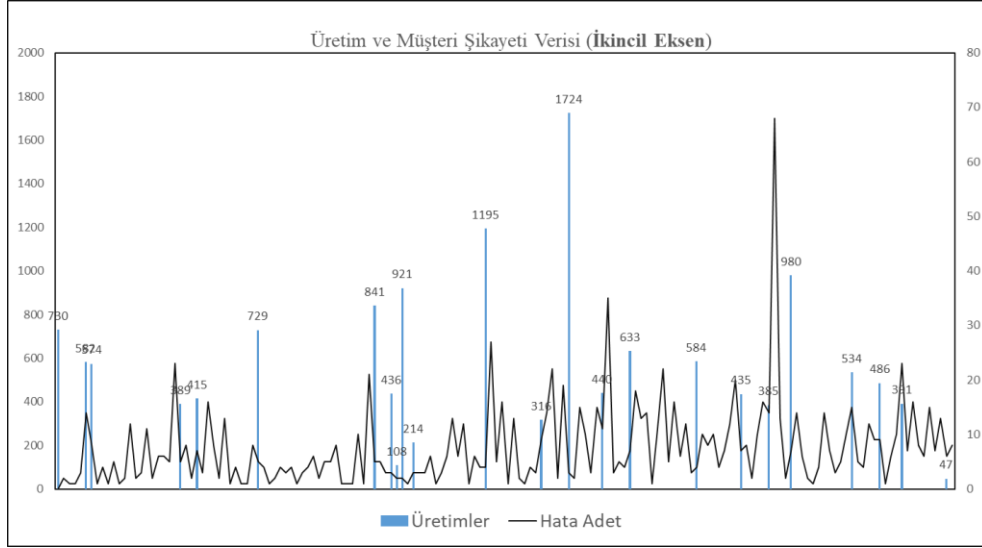
çerçevesinin, popülasyondaki gerçek birimleri doğru bir şekilde temsil etmesidir. Analitik bir çalışmada popülasyon yoktur. Bunun yerine, sürecin özellikleri hakkında çıkarımlar yapmak için yapılan varsayım, sürecin geçmişte olduğu gibi gelecekte de aynı şekilde davranacağıdır. Güvenilirlik çalışmalarının çoğu analitik çalışmalardan oluşmaktadır.

3.2 Mobilya Sektörü İçin Eksik Veri Yapısı ve Mevcut Süreç

Yeni mobilya tasarımları konsept ve ürün geliştirme aşamalarını tamamladıktan sonra ilk seri üretimin gerçekleştirilmesi ve pazara ulaştırma ile süreç devam etmektedir. Pazara sunulan ürünler kullanım aşamalarında stokastik bir süreçte farklı kök sebeplerle arıza /hata yapmakta ve servis hizmeti sağlanmaktadır (Şekil 4). Bu süreç içerisinde üretim partileri ve hatalı ürünler arasında eşleştirme yapılamamaktadır. Bir süre sonra farklı zamanlarda, farklı partilerde üretim gerçekleştirilmiş olmaktadır. Bu ise temel güvenilirlik verisinin elde edilememesine neden olmaktadır (Şekil 5).



Şekil 4. Mobilya ünitelerinin geliştirme -üretim ve hata bildirim süreci.



Şekil 5. Örnek büfe ünitesi için 19 aylık üretim ve hata verisi.

3.3. Dinamik Yaş Hesabı Yaklaşımı ve Örnek Uygulama

Şekil 5'te verilen süreç için belirli varsayımlar altında dinamik yaş hesabı yaklaşımı ile bir güvenilirlik analizi bu çalışma kapsamında önerilmektedir. Grafikte sağ eksen, sürekli zaman serisi ile şikâyet verisini göstermektedir. Sol eksen ise üretim parti büyüklükleridir. Gelen müşteri şikâyetlerinin eşleştirilebileceği ve hangi parti üretimine ait olduğu ile ilgili hiçbir üretim kaydı olmadığı için, pazara sunulmuş olan ilgili tüm büfe ürünleri için ağırlıklı bir dinamik yaş kullanılacaktır. Dinamik Yaş denklemi Denklem (1)'de verilmiştir.

$$Ağırlıklı\ Gün = \left(1 - \frac{Üretim}{Küm.Üretim}\right) * ÖAG \quad (1)$$

Ağırlıklı gün ile ifade edilen eşitlik yardımıyla pazarda kullanımda bulunan tüm üniteler için ağırlıklı bir ortalama dinamik yaş hesabı yapılmaktadır. Bu hesaplamada dinamik yaş (ağırlıklı gün); pazara sunulan yeni üretim miktarının toplam üretim miktarına oranı ile doğru orantılı olacak şekilde, önceki ağırlıklı gün ile çarpılmakta böylece pazarda bulunan tüm ürünler için dinamik yaş azaltılmaktadır. Yani

pazara sunulan yeni ürünlerle, pazarda tüm ürünlerin ağırlıklı yaşı, ilgili oran kadar küçülmektedir. Bu her yeni üretim partisi üretilip pazara sunuldukça yapılmakta olup, üretimin yapılmadığı zamanlarda ise geçen zaman dilimi dinamik yaş üzerine eklenmektedir. Şekil 4'te gösterildiği üzere müşterilerden gelen şikâyetler herhangi bir parti üretimine ait olabilmektedir. Bu nedenle pazardaki tüm ürünler için hesaplanan dinamik bir yaş hesabı ile gelen her müşteri şikâyeti/hata eşleştirilmektedir.

Buradaki varsayımlar şu şekilde belirlenmiştir;

- Her parti üretiminde ilgili ürünler standart şartlarda üretilmektedir.
- Pazarda müşterilerin ürünleri kullanım şartlarındaki değişkenlikler (veya alışkanlıklar) aynıdır.
- Ürünlerin tamamı aynı ortalama akış süresinde müşteriye ulaşmaktadır. Buradaki değişkenlik her dönemde aynı büyüklükte ve standart sapmada meydana gelmektedir.
- Ürünlerin üretim tarihlerine göre hata verme olasılıkları sabittir.

Çizelge 1. Dinamik yaş hesabının sürece uyarlanması

Dinamik Yaş	Üretim	Kümülatif Hatasız Ürün	Üretim Tarihi	Şikayet Tarihi	Hata/Şikayet Adet
0	730	730	7.May.16	-	-
30	-	728	-	6.Haz.16	2
34	-	727	-	10.Haz.16	1
38	-	726	-	14.Haz.16	1
41	-	723	-	17.Haz.16	3
23	582	1291	20.Haz.16	20.Haz.16	14
16	574	1857	11.Tem.16	11.Tem.16	8
20		1856	-	15.Tem.16	1
26		1852	-	21.Tem.16	4
30		1851	-	25.Tem.16	1
37		1846	-	1.Ağu.16	5
38		1845	-	2.Ağu.16	1
42		1843	-	6.Ağu.16	2
45		1831	-	9.Ağu.16	12
51		1829	-	15.Ağu.16	2
52		1826	-	16.Ağu.16	3
53		1815	-	17.Ağu.16	11
56		1813	-	20.Ağu.16	2
58		1807	-	22.Ağu.16	6

Çizelge 1’de görüleceği üzere 7 Mayıs’ta ilgilendiğimiz büfe ünitesi 730 adet üretilmiş ve pazara gönderilmiştir. İlk müşteri şikâyeti/ürün hatası 30 gün sonra gelmiştir. Gelen 2 müşteri şikâyeti ile pazarda hatasız kullanımı devam eden ürün sayısı 728’dir. Daha sonra müşteri şikayetleri gelmeye devam etmiştir. 20 Haziran’da 582 adetlik bir parti üretimi daha yapılmıştır. Toplam ürün miktarı hata veren ürünlerin adeti düştükten sonra 1857’dir. 11 Temmuz’da yapılan 574 adetlik üretim ile de toplam hatasız ürün sayısı 1857 olmuştur. Görüleceği üzere dinamik yaş 582’lik ikinci parti üretimi ile 41’den 23’e düşmüştür. Burada dinamik yaş formülü Denklem (1) ile şu şekilde uygulanmıştır;

$$\text{dinamik yaş} = \left(1 - \frac{582}{1291}\right) * 41 = 22,52 \approx 23$$

olarak bulunmuştur.

$$\text{dinamik yaş} = \left(1 - \frac{574}{1857}\right) * 23 = 15,89 \approx 16$$

olarak bulunmuştur.

Bu şekilde ilgili büfe ürünü için tüm veri güvenilirlik mühendisliği analizine uygun hale getirilmiştir. Bu aşamadan sonra aşağıda tasarım

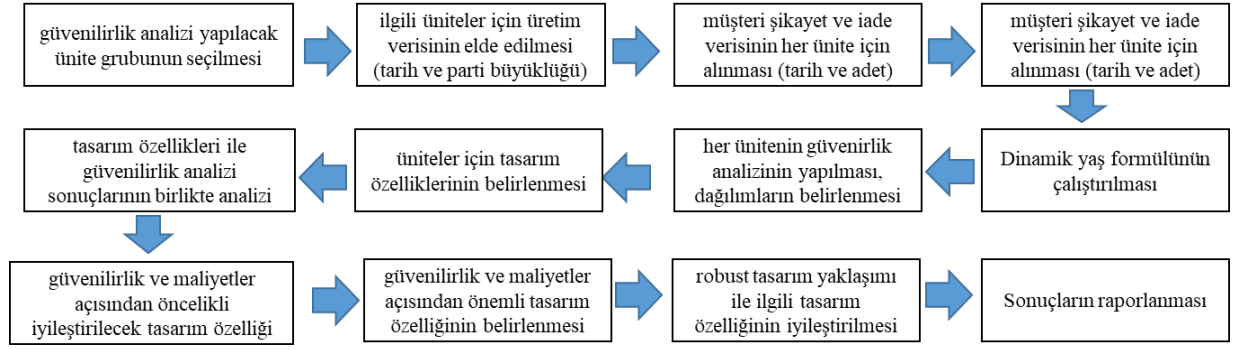
özellikleri ile birlikte belirtilen büfe üniteleri için dinamik yaş hesabı yapılmıştır. Analizde Minitab 19 yazılımının deneme sürümünden faydalanılmıştır.

9 farklı büfe ürünü için tasarım özelliklerinden ürün IX için elde edilen bilgiler örnek olarak Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Ürün IX tasarım özellikleri.

Tasarım Faktörü	Değer	Tasarım Faktörü	Değer
Ayak Yükseklik	230	Mekanizma	var
Ayak Bağlantı Şekli	vidalı	Üretim Yer	251253254
Ayak Eğim	açılı	Yerden Yükseklik	812
Toplam Ağrlık (kg)	75	Büfe Üst Tabla Detay	yok
Paket Sayısı	5	Kapak Detay	kapak

Güvenilirlik analizlerinin yapılmasında ve güvenilirliğin robust tasarım prensipleri ile iyileştirilmesinde (mühendislik) bu çalışma kapsamında izlenen süreç adımları Şekil 6 ‘da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Dinamik yaş yaklaşımı ile güvenilirlik mühendisliği süreci.

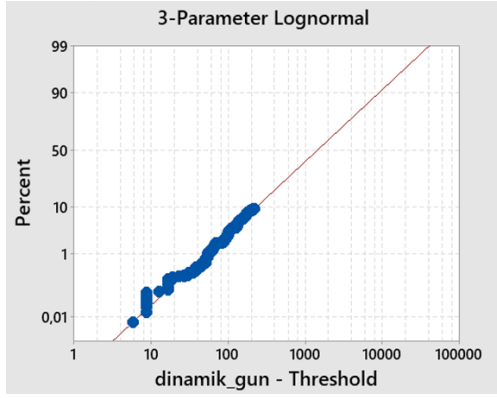
Bu aşamadan sonra dinamik yaş hesabı ile Minitab 19 hazır yazılımının deneme versiyonu üzerinden olasılık dağılımları belirlenecektir. Hataların modellenmesinde Maximum Likelihood yöntemi kullanılmıştır. Veriler sağdan sansürlüdür. Örnek veri kesiti Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Ürün IX için olasılık dağılımı belirleme tablosu.

Dinamik Yaş	Üretim Kümülatif	Üretim Adet	Normal Yaş	Tarih (Hata)	Hata	Cencor	Ay
20	730	730	20,00	7 Mayıs 16	1	F	Mayıs 16
36			36,00	6 Haziran 16	2	F	Haziran 16
40			40,00	10 Haziran 16	1	F	Haziran 16
44			44,00	14 Haziran 16	1	F	Haziran 16
47			47,00	17 Haziran 16	3	F	Haziran 16
26	1291	582	50,00	20 Haziran 16	14	F	Haziran 16
18	1857	574	71,00	11 Temmuz 16	8	F	Temmuz 16
22			75,00	15 Temmuz 16	1	F	Temmuz 16
28			81,00	21 Temmuz 16	4	F	Temmuz 16
32			85,00	25 Temmuz 16	1	F	Temmuz 16
39			92,00	1 Ağustos 16	5	F	Ağustos 16
**	**	**	**	**	**	**	**
227	**		xx	25 Aralık 17	xxxx	C	Aralık 17

Olasılık dağılımını en iyi modelleyen dağılım 3-Parametrelili Log-Normal dağılım olarak tespit edilmiştir. Burada değerlendirmede hata verilerine en uygun görünen olasılık grafiği aranmıştır ve en iyi uyum testi için Anderson-Darling (adj) test istatistiği kullanılmıştır. 3-Parametrelili Log-Normal dağılım olasılık dağılımını en iyi şekilde temsil ettiği gibi en küçük Anderson-Darling (adj) test istatistiğine de sahiptir.

Grafik 13 ürün IX için çizilen 3 Parametrelili Lognormal olasılık grafiğine uyumu göstermektedir. İlk günlerdeki hata verisinin modellenmesinde bir miktar sapma görülmektedir. Bunun sebebinin dinamik yaş formülünün zamanla etkinliğini göstermesi olarak yorumlayabiliriz.



Şekil 7. Ürün IX için 3 parametrelili log-normal dağılım olasılık uyum grafiği.

Buradan hareketle güvenilirlik analizi Ürün IX için aşağıdaki şekilde elde edilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere dağılım bir eşik değeri sahiptir ve bu 3. parametre olarak modelimize dahil olmaktadır.

Parametre tahminleri:

μ : (konum) = 7,282

σ : (ölçek parametresi) = 1,434

λ : (eşik parametresi) = 9,241

Güvenilirlik analizi için önemli parametreler; Ortalama Arızalanma Süresi- Mean Time to Failure (MTTF) : Tüm ürünler düşünüldüğünde ilgili olasılık dağılımına göre tahmin edilen ortalama arıza süresidir.

Ortanca Arızalanma Süresi- Median Time to Failure (MdTTF): Tüm ürünler düşünüldüğünde 50% sıradaki ürünün arızalanma süresidir. Burada ortalamanın etkisinden bağımsız olarak tüm ürünler içerisinde ortanca sıradaki ürünün arızalanma süresinin tahmini ile ilgilenilmektedir.

Garanti süresi kapsamında hayatta kalma süresi: Bu süre 730. günde bir ürünün hayatta kalma olasılığı olarak alınmaktadır (garanti süresi 2 yıl olduğu için). Bu süre 730. günde hayatta kalma olarak alınmıştır.

Ürünlerin ilk 1%'inin hata vereceği zaman: Bu performans göstergesi 1% ihtimalle ürünün hata vereceği gün değerini göstermektedir. Kullanıma alındıktan sonra çok erken hata verme durumuna ilişkin bir performans göstergesi olmaktadır.

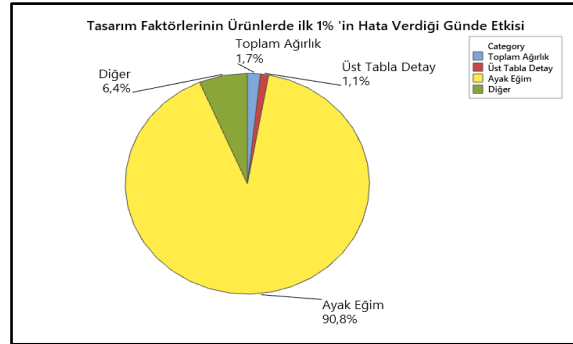
Çizelge 4. Ürün IX için güvenilirlik analizi çıktıları.

Parametreler	95% Güven Aralıkları		
	Tahmin	Alt Sınır	Üst Sınır
Ortalama Ömür (MTTF)	4078 (gün)	2958	5149
Medyan Ortalama Ömür	1464 (gün)	1278	1677
Hayatta Kalma Oranı (730. gün)	68,70%	66,4%	71,0%
Ürünlerin 1%'inin hata verdiği gün	60	57	65

Diğer 8 büfe için de aynı şekilde dinamik yaş yaklaşımı ile güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Ürünlerin erken kullanımda hata vermemesi amaçlandığından tasarım özellikleri, ürünlerin 1%'inin hata verdiği gün çıktısı (response) analiz edilmiştir. Varyans analizi sonucunda tasarım özelliklerinin etkisi Şekil 8'deki gibi elde edilmiştir. Ayakların eğimli olması ürünlerin 1%'inin hata verdiği gün üzerinde önemli düzeyde etkili çıkmıştır ($p < 0,05$). Varyans analizi Çizelge 5'te verilmiştir.

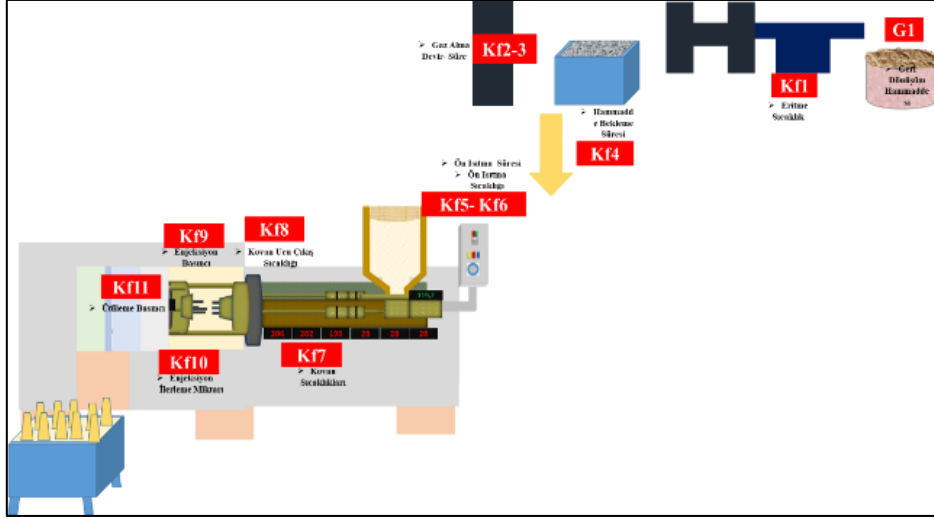
Çizelge 5. Varyans analizi sonuç tablosu

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
AyakEğim	1	3417,74	3417,74	14,14	0,020
TopAgırl	2	124,99	62,50	0,26	0,784
BüfeÜstTabladetay	1	40,61	40,61	0,17	0,703
Error	4	967,13	241,78		
Lack-of-Fit	1	13,96	13,96	0,04	0,847
Pure Error	3	953,17	317,72		
Total	8	5344,68			



Şekil 8. Tasarım faktörlerinin ürünlerin 1%'inin hata verdiği gün üzerindeki etkisi

Plastik ayakların enjeksiyon yöntemi ile üretildiği tedarikçi sürecinde ayakların mukavemetinin geliştirilmesi için robust tasarım çalışması yapılmıştır. İlgili süreç ve önemli parametreler, seçilen Taguchi Ortogonal matris aşağıda verilmektedir.



Şekil 9. Plastik ayakların enjeksiyon makinesindeki üretim süreci

Hat sorumluları ve operatörleri ile yapılan değerlendirmeler sonucunda önemli kontrol faktörleri ve düzeyleri şu şekilde belirlenmiştir;

Çizelge 6. Kontrol faktörleri ve düzeyleri

Kontrol Faktörleri	Düzeyler		
	1	2	3
A: Kovan Sıcaklıkları	175-170-165	180-175-170	*
B: Enjeksiyon Basıncı	40	50	*
C: Enjeksiyon İlerleme Miktarı	20	50	*
D: Ön ısıtma	Yok	60	70
E: Ütipleme Zamamı	1	2	3

Birleşik bozucu stratejisi (Çizelge 7) ile tasarlanmış olan deney sayısı 36 olmaktadır. Deneysel şartlara uygun üretilen ayakların mukavemetini ölçmek için de test geliştirilmiştir. Mobilya test ve analiz laboratuvarlarında Zwick Test cihazına yapılan özel bir aparat ile ayakların mukavemeti ölçülmüştür (Şekil 10).

Çizelge 7. Noise stratejisi

Noise Stratejisi:	Birleşik Bozucu Faktör Stratejisi Seçilmiştir.	
Ham madde	Geri Dön	Orijinal
Ham madde Bekleme Süresi	Beklemesiz	2 Gün beklemeli



Şekil 10. Zwick test cihazında plastik ayakların mukavemet ölçümü

Yapılan Taguchi Deney Tasarımı analizi sonucunda aşağıdaki değerler elde edilmiştir (Çizelge 8).

Çizelge 8. Deney sonuçları

Deney No	Kovan_Sıcaklık	Enj_Basinc	Enjek_İlerHizi	Onisitma	Utuleme_Zamani	Normal_Hammadde	Geri_Donusum
1	175-170-165	50	20	yok	1	1210	1170
2	175-170-165	50	20	60	2	1320	1020
3	175-170-165	50	20	70	3	1191	1110
4	175-170-165	50	20	yok	1	1220	1050
5	175-170-165	50	20	60	2	1030	1120
6	175-170-165	50	20	70	3	1230	1200
7	175-170-165	50	50	yok	1	1261	1220
8	175-170-165	50	50	60	2	1291	1350
9	175-170-165	50	50	70	3	980	1110
10	175-170-165	40	20	yok	1	1250	1260
11	175-170-165	40	20	60	2	1278	1440
12	175-170-165	40	20	70	3	1247	1190
13	175-170-165	40	50	yok	2	1409	1470
14	175-170-165	40	50	60	3	1292	1010
15	175-170-165	40	50	70	1	1187	1140
16	175-170-165	40	50	yok	2	1194	1160
17	175-170-165	40	50	60	3	1291	1400
18	175-170-165	40	50	70	1	1026	1090
19	180-175-170	50	50	yok	2	1360	1160
20	180-175-170	50	50	60	3	1386	1440
21	180-175-170	50	50	70	1	1272	1360
22	180-175-170	50	50	yok	2	1304	1290
23	180-175-170	50	50	60	3	1286	1410
24	180-175-170	50	50	70	1	1216	1250
25	180-175-170	50	20	yok	3	1277	1120
26	180-175-170	50	20	60	1	1239	1180
27	180-175-170	50	20	70	2	1248	1470
28	180-175-170	40	50	yok	3	1172	1280
29	180-175-170	40	50	60	1	1321	1260
30	180-175-170	40	50	70	2	1375	1460
31	180-175-170	40	20	yok	3	1471	1200
32	180-175-170	40	20	60	1	1320	1360
33	180-175-170	40	20	70	2	1278	1250
34	180-175-170	40	20	yok	3	1338	1220
35	180-175-170	40	20	60	1	1198	1100
36	180-175-170	40	20	70	2	1250	1350

Taguchi deney tasarımında çıktı değişkenimiz (y = ayakları mukavemet değeri), olduğu için “ne kadar büyük o kadar iyi çıktılar” (larger the better responses) sınıfında olmaktadır.

S/N oranı için Denklem (2) kullanılmaktadır [13].

$$\frac{S}{N} = \eta = 10 * \log \frac{1}{MSD} \quad (2)$$

$$= 10 * \log \frac{1}{\left(\frac{1}{y^2}\right) \left[1 + \left(\frac{3\sigma^2}{y^2}\right)\right]}$$

Olarak elde edilmektedir. Burada da görüleceği üzere S/N oranını artırmak için varyansın azalması, ortalamasının da artması gerekmektedir. Deney sonuçlarının çıktı değerleri şu şekildedir. Buradan enjeksiyon prosesinde, plastik ayaklar için en robust kontrol faktör düzeyleri kombinasyonu, yani süreç parametre tasarımı şu şekildedir.

Sıcaklık: 180-175-170, Enjeksiyon Basıncı: 40, Enjeksiyon İlerleme Hızı: 50, Ön Isıtma: 60, Ütuleme Zamanı: 2 .

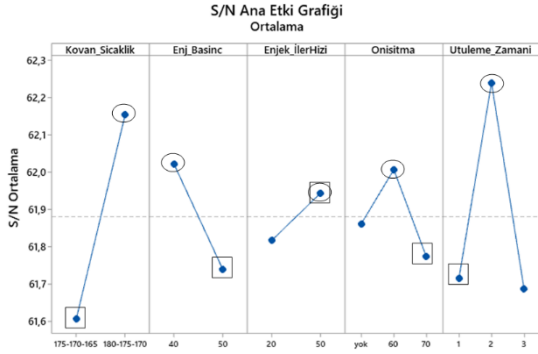
Çizelge 9.

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	Kovan_Sıcaklık	Enj_Basinc	Enjek_İlerHizi	Onisitma	Utuleme_Zamani
1	61,61	62,02	61,82	61,86	61,72
2	62,15	61,74	61,94	62,01	62,24
3				61,77	61,69
Delta	0,55	0,28	0,13	0,23	0,55
Rank	2	3	5	4	1

Robustluk üzerinde en etkili faktörler, önem sırası ile (1) Sıcaklık, (2) Ütuleme Zamanı, (3) Enjeksiyon Basıncı, (4) Ön Isıtma ve (5) Enjeksiyon İlerleme Hızı olarak tespit edilmiştir. Çünkü faktörün kendi düzeyleri arasında S/N oranı yüksek olan faktör değişkenlik üzerinde daha fazla etkili olmaktadır. Yeni parametre tasarımı ve mevcut tasarımın karşılaştırılması grafik üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 11. S/N ana etki grafiği

$$\eta_{mevcut} = 61,257$$

$$\eta_{optimum} = 62,837$$

Kazanç 1,58 dB olarak hesaplanmıştır ($\eta_{mevcut} - \eta_{optimum}$).

Bu durumda Taguchi Robust Tasarım yaklaşımına göre değişkenliğin azaltıldığı oran Denklem (3) ile hesaplanmaktadır [13].

$$Değ. azalımı = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{kazanç\ dB}{6}\right)} \quad (3)$$

$$Değişkenlik azalımı = 16,7\%$$

Bu aşamadan sonra Taguchi Robust Tasarım yaklaşımına uygun olarak sonuçlar konfirme edilmiştir.

3.4. Dinamik Yaş Hesabı Doğrulama

Ünitelerin plastik ayaklarında yapılan iyileştirmelerin etkisinin görülebilmesi amacıyla pazara sunulan Ürün IX izlemeye alınmıştır. İyileştirme sonrasında yaklaşık olarak 14 ay boyunca üretim ve gelen hata/şikâyet verileri dinamik yaş hesabı ile izlemeye devam edilmiştir. Burada gelen şikâyetlerin hangi üretim verisine dahil olduğu bilinmediği için baştan sona tüm veri seti analize dahildir. Yani süreçte güvenilirlik mühendisliği çıktıları bakımından iyileştirmenin olup olmadığı tüm veri seti üzerinden ortaya konulmaktadır.

Ürün IX İçin Meta Veri;

İyileştirme öncesi ve tüm veri seti için meta veri şu şekildedir;

Çizelge 10. İyileştirme öncesi ve tüm veri seti için meta veri

Veri Aralığı	Üretim Başlangıç Tarihi	Üretim Bitiş tarihi	Toplam Üretim	Toplam hata
İyileştirme öncesi	Mayıs 2016	Aralık 2017	14.089	1.208
Tüm veri seti	Mayıs 2016	Mart 2019	19.359	2.262

Toplam 19.359 adet üretim gerçekleştirilmiştir. Bu üretimlerden gelen şikâyet/hata sayısı 2.262 olmaktadır. Bu aşamada Ürün IX için iyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası ile beraber tüm veri seti analize dahil edilecektir.

Ürün IX İçin İyileştirme Öncesi ve Sonrasının Karşılaştırılması;

İyileştirme öncesi dağılım ve önemli parametreler şu şekildedir;

Dağılım: 3 Parametrelı Lognormal

Parametreler:

$$\mu: (konum) = 7,282$$

$$\sigma: (ölçek parametresi) = 1,434$$

$$\lambda: (eşik parametresi) = 9,241$$

İyileştirme sonrası dağılım ve önemli parametreler şu şekildedir;

Dağılım: 3 Parametrelı Lognormal

Parametreler:

$$\mu: (konum) = 8,402$$

$$\sigma: (ölçek parametresi) = 1,919$$

$$\lambda: (eşik parametresi) = 14,079$$

Çizelge 11. İyileştirme öncesi ve sonrası performans karşılaştırma.

Parametreler	Tahmin (Önce)	Tahmin (Sonra)	Alt Sınır (Önce)	Alt Sınır (Sonra)	Üst Sınır (Önce)	Üst Sınır (Sonra)
Ortalama Ömür (MTTF)	4078 (gün)	28121 (gün)	2958	22123	5149	35746
Medyan Ortalama Ömür	1464 (gün)	4470 (gün)	1278	4025	1677	4965
Hayatta Kalma Oranı (730. gün)	68,70%	82,90%	66,4%	82,2%	71,0%	83,6%
Ürünlerin 1%'inin hata verdiği gün	60	66	57	62	65	70

İyileştirme öncesi ve sonrasında incelediğimiz 4 güvenilirlik analizi performans çıktısı değerlendirilmiştir. Buradan da görüleceği üzere tüm değerlerde iyileşme görülmektedir. Dinamik yaş hesabı ile yapılan analizlerde özellikle ilgilendiğimiz ürünlerin 1%'inin hata yapma günü ve garanti kapsamında arıza verme oranı önemli göstergelerdir. Genel olarak standart sapma iyileştirme öncesi veri setinden tüm veri setine geçildiğinde önemli düzeyde artış göstermiştir. Dağılımın özelliğinden dolayı tüm ürünlerin ömür verisinden etkilenen “Ortalama Ömür” çok büyük değerlerle elde edilmektedir. Bu uç değerler çok geç arıza verecek ürünlerin değerinin tüm veri setini etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Özellikle garanti kapsamında beklenen arızalanma oranı yaklaşık olarak 31,3% değerinden, 17,1% değerine gerilemiştir. Ürünlerin 1%'inin hata vereceği gün değeri ise 60 günden, 66 güne yükselmiştir. Medyan ortalama ömür 1464 günden 4470 güne yükselmiştir.

4. SONUÇ

Güvenilirlik mühendisliği uygulama alanları veri yapısının yetersiz olmasından kaynaklı olarak belirli endüstrilerle ve ekipmanlarla sınırlı kalmaktadır. Hata /arıza durumunda insani, çevresel ve finansal riskin yüksek olduğu bu sektörler, bir gereklilik olarak güvenilirlik mühendisliği teknik ve yaklaşımlarını uygulamak zorundadırlar.

Güvenilirlik mühendisliği uygulama alanlarının sınırlı kalmasının nedenlerinden birisi kurumların öncelikli ihtiyaçları arasında yer almaması olarak görülebilir. Ancak son yıllarda her geçen gün artan rekabet, kurumları; süreç ve ürünlerde katma değer oluşturmayan tüm maliyet unsurlarını ortadan kaldırmaya zorlamaktadır. Garanti harcamaları, bakım ve servis hizmetleri gibi faaliyetler de bir maliyet unsuru olarak ürünün toplam maliyetini arttırmaktadır.

Yapılan çalışma kapsamında pek çok firmada hali hazırda bulunan üretim ve şikâyet/hata verisi yardımı ile güvenilirlik mühendisliği uygulamalarının nasıl geliştirilebileceği üzerine odaklanılmıştır. Önemli bir süreç yeniliği olarak sunulan ve eksik veri yapısında güvenilirlik analizlerini uygulanabilir hale getirmeyi amaçlayan dinamik yaş yaklaşımı, ilk kez ayrıntılı olarak aktarılmıştır. İlgili tasarım özelliğinde robustluğun 17% artırılması ile ürünlerin garanti kapsamında hata yapma olasılığı 31,3%'ten 17%'ye düşürülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya değer katan BELLONA Ar-Ge Merkezi çalışma ekibime teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

1. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, “Reel sektör verileri”,

<https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Reel+Sektor+Istatistikleri/Sektor+Bilancolari/>, Aralık 31, 2021.

2. Uçmak, A., “Demonte olarak üretilmiş çeşitli tiplerdeki ev sandalyelerinin mukavemet özelliklerinin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, [Improving the strength properties of various types of home chairs produced as disassembled] [Thesis in Turkish], Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, 2016.

3. Kuşkun, T., “Döşemeli koltuklarda performans testleri ve sonlu elemanlar analizlerini kapsayan ürün mühendisliği yaklaşımıyla ağırlık-mukavemet optimizasyonu”, Doktora Tezi, [Weight-strength optimization with a product engineering approach that includes performance tests and finite element analyzes on upholstered seats] [Thesis in Turkish], Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, 2020.

4. Rausand, M., Hoyland, A., “System reliability theory”, Pages 10-45, Wiley Interscience, Canada, 2004.

5. Degroot, M., Schervish, M., “Probability and statistics”, Pages 60-67, Pearson, USA, 2012.

6. Saleh, J.H., Marais, K., “Highlights from the early (and pre-) history of reliability engineering”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 91, Issue 2, Pages 249-256, 2006.

7. Soares, C.G., “Forty years of reliability engineering”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 213, Pages 1-3, 2021.

8. Yang, G., “Life cycle reliability engineering”, Pages 122-194, John Wiley & Sons, Canada, 2007.

9. DeCroix, G.A., “Optimal warranties, reliabilities and prices for durable goods in an oligopoly”, European Journal of Operational Research, Vol. 112, Issue 3, Pages 554-569, 1999.

10. Meeker, W.Q., Escobar, L.A., “Statistical methods for reliability data”, Pages 14-55, Wiley, Canada, 1998.

11. Wu, C.C., Lin, P.C., Chou, C.Y., “Determination of price and warranty length for a normal lifetime distributed product”, Int. J. Production Economics, Vol. 102, Issue 1, Pages 95-107, 2005.

12. Konuk, M., “Veri yapısının yetersiz olduğu durumlarda güvenilirlik mühendisliği uygulamalarının geliştirilmesi ve mobilya ünitelerinde uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, [Development of reliability engineering applications and application in furniture units in cases where the data structure is insufficient] [Thesis in Turkish], Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2022.

13. Taguchi, G., Chowdhury, S., Wu, Y., “Taguchi’s quality engineering handbook”, Pages 301-352, John Wiley & Sons, Canada, 2005.