

İKİ PARAMETRELİ WEIBULL DAĞILIMINI ESAS ALAN MALİYET MODELİ İLE MAKİNE PARÇA DEĞİŞİM SÜRELERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Semra BORAN (*boran@sakarya.edu.tr*)

*Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü,
Sakarya, Türkiye*

Seda Hatice GÖKLER (*shgokler@sakarya.edu.tr*)

*Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü,
Sakarya, Türkiye*

İsmail ULUS (*ismailulus93@gmail.com*)

*Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü,
Sakarya, Türkiye*

Furkan Cihad TUNÇ (*fcihad@hotmail.com*)

*Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü,
Sakarya, Türkiye*

ÖZET

Üretimde yararlanılan makine parçalarının bozulma veya eskime gibi nedenlerden dolayı değiştirilme sıklığı üretim maliyetlerini etkiler. Aynı özelliklere sahip olmalarına rağmen makine parçalarından yararlanma süreleri değişkendir ve genellikle kesin olarak bilinmez. Planlı değişimlerde operatörün yoğunluğu gibi nedenlerden dolayı çoğu zaman planlanan değişim zamanından küçük sapmalar görülebilir. Plansız değişimlerde ise parça bozulduğunda değiştirilme işlemi gerçekleştirildiği için makine kullanım parçaların kullanım süreleri farklılık göstermektedir. Bu nedenle parça değişim zamanları tahmin edilebilmektedir. Tahminin doğru olması üretim maliyeti açısından önemlidir. Tahminin küçük olması makine parçasının ömrünü tamamlamadan kullanım dışı kalma maliyeti ve değiştirme maliyetlerinin artmasına; tahminin büyük olması ise kullanım esnasında bozulma ile makinede işlenen ürünün de zarar görmesine dolayısı ile daha büyük maliyete neden olur. Bu nedenle en düşük maliyeti verecek makine parça kullanım süresinin belirlenmesi önemlidir. İşletmelerde makine parça değişim zamanını belirleme genellikle uzmanların deneyimlerine ve geçmiş dönem kayıtlarına göre yapılır. Ancak bu şekildeki değişim sürelerinin tahmininde hata yapma riski yüksektir aynı zamanda uzmanlara bağımlılık söz konusudur. Bu çalışmada bir makine parçası değişim süresini optimum yapacak bir maliyet modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen maliyet modeli iki parametrelili Weibull dağılımını esas almaktadır. Maliyet, planlı ve plansız parça değişim maliyeti ile onların alt maliyet bileşenlerinden oluşmaktadır. Maliyet modeli, otomobil lastiği üreten bir işletmede, lastik pişimi aşamasında preslerde kullanılan pişirme torbalarının optimum kullanım süresini belirlemede uygulanmıştır. Duyarlılık analizi ile de maliyet modelindeki önemli parametrelerin maliyet ve optimum kullanım süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Weibull dağılımı, maliyet modeli, makine parça değişim süresi*

ESTIMATION OF REPLACEMENT TIME OF MACHINE PARTS WITH COST MODEL BASED ON TWO-PARAMETER WEIBULL DISTRIBUTION

Semra BORAN (*boran@sakarya.edu.tr*)

Sakarya University, Industrial Engineering Department,, Esentepe Campus, Sakarya, Turkey

Seda Hatice GÖKLER (*shgokler@sakarya.edu.tr*)

Sakarya University, Industrial Engineering Department,, Esentepe Campus, Sakarya, Turkey

İsmail ULUS (*ismailulus93@gmail.com*)

Sakarya University, Industrial Engineering Department,, Esentepe Campus, Sakarya, Turkey

Furkan Cihad TUNÇ (*fcihad@hotmail.com*)

Sakarya University, Industrial Engineering Department,, Esentepe Campus, Sakarya, Turkey

ABSTRACT

The replacement time of machine parts affects production cost. Despite all machine parts have same feature; their life spans are variable and uncertain. For reasons, such as the work intensity of operator can often cause minor deviations in the planned replacements. When the machine part is failure suddenly, it must be replaced with new one in unplanned replacements so the deviation becomes larger. As a result, replacement time of machine parts can be estimated. Estimation accuracy is important for production cost. The lower estimation causes cost of replacement of working machine parts and increasing replacement cost. The higher estimation causes machine parts failures in production process so it gives rise to huge products failure and greater cost. Therefore, it is important to estimate replacement time of machine to obtain minimum cost. Before this article, estimation of the replacement time of machine parts is based on experiences of experts and past records of company. This type of estimation has high risk of error and depends solely on experts. In this study it is developed a cost model for optimizing the replacement time of machine parts. The model is based on two-parameter Weibull distribution. Cost consists of planned and unplanned replacement of machine parts, and their sub-components. The cost model is applied on the estimation of optimum replacement time of a part of presses in tire manufacturing. Sensitivity analysis is presented to demonstrate how changing parameters in the model affects costs.

Keywords: *Weibull distribution, cost model, replacement time of machine parts.*

1. GİRİŞ

Herhangi bir imalat prosesi için prosesteki önemli bilgilerden biri makine parçası eskimesi veya bozulması ile ilgilidir. Makine parçasının bozulmasından dolayı imalat sisteminin atıl kalma zamanının, toplam atıl zamanın üçte birinden daha fazlasına karşılık geldiği bilinmektedir (Hsu and Shu, 2010). Bu nedenle makine parçasının bozulma sıklığının belirlenmesi makine performansının belirlenmesi için de istenir.

Daha ayrıntılı değerlendirmek gerekirse endüstride uygulanan 3 çeşit makine parça değiştirme stratejisi vardır (Zhou ve diğerleri, 1990):

- Planlı makine parça değiştirme stratejisi
- Önleyici planlı makine parça değiştirme stratejisi
- Bozulan makine parçası değiştirme stratejisi

Birinci planlanmış makine parçası değiştirme stratejisinde, önceden planlanan zamanda veya bozulma durumunda değişim yapılır. İkinci önleyici planlı parça değişim stratejisi de birinciye benzerdir. Makine parçasının bozulmadan değiştirilmesi, hatalı parça üretimini önlemek için yapılır. Bu iki stratejide makine parçaları sabit zaman aralıklarıyla değiştirildiğinden ömrünü tamamlamama yani yeterince yararlanılmama maliyeti söz konusudur. Bu değiştirilme stratejileri arasındaki fark ise önleyici planlı makine parça değiştirmesinin bitmiş ürün parça sayısını esas almasıdır. Üçüncü stratejide hata ortaya çıkana kadar parça kullanılır. Bu strateji, makinede işlenen ürünün de kalitesinin bozulmasına veya hasarlanmasına neden olduğundan ortaya çıkan maliyet daha fazla olacaktır. Kısaca makine parçası değişim için iki durum söz konusudur. Birincisi bozulmadan önce değiştirmek ikincisi ise bozulduktan sonra değiştirmektir.

Önleyici değiştirme stratejisini esas alan analitik model oluşturmak için makine parçası kullanım süresi dağılımının ne olduğunun belirlenmesi gerekmektedir (Shabtay ve Kaspi, 2003). Üretimde kullanılan makinelerin parçalarının değiştirilme zamanları bir rassal değişken olarak tanımlanır ve uygun bir olasılık dağılımıyla karakterize edilir. Parça kullanım süreleriyle ilgili verilerin genellikle Weibull dağılımına uyduğu kabul edilmektedir. Bu dağılım, rassal veriye uymada son derece esnek olduğundan ve farklı şekilli dağılımlara adapte edilebildiğinden güvenilirlik çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu olasılık dağılımı ile makine parçasının kesin olarak bilinemeyen kullanım süreleri tahmin edilir. Doğru kullanım süresinin belirlenmesi için verilerin uyduğu dağılımı doğru belirlemenin yanı sıra uyduğu kabul edilen dağılımın parametrelerinin de doğru tahmin edilmesi gerekmektedir. Çünkü bu değerler üretim maliyetlerini ve dolayısı ile maliyete göre belirlenen kullanım süresini etkiler.

Makine parçasının önceden belirlenen süreyi doldurduğunda çoğu zaman ömrünü tamamlamadan değiştirilmesi ürün başına parça maliyetini ve yenisi ile değiştirme maliyetini arttırmakta diğer türlü tanımlanan süreden daha uzun kullanılması durumunda üretim esnasında parçanın bozulması makinede işlenmekte olan ürünün de hatalı olmasına neden olacağından ek olarak kusurlu ürün maliyetini ortaya çıkarmaktadır. Dolayısı ile amaç gereğinden az yada çok olmayacak şekilde maliyeti en küçük yapacak optimum kullanım süresini veya değişimler arasındaki süreyi belirlemektir.

Makine parçasını yenisiyle değiştirme politikası gibi yönetim politikaları öncelikle üretim maliyetini azaltmak için gereklidir. Ürün maliyetini düşürmek makine parçası yönetim sisteminin birinci amacıdır. Makine parçası değiştirme zamanı, parçanın maksimum kullanılma zamanıdır. Kullanılma süresini eskime veya bozulma gibi iki faktör belirler. Bu iki faktörü esas alan maliyet modelleri kullanım süresinin kısa veya uzun olması arasındaki ekonomik

karşılaştırmayı esas alır. Geliştirilen bir çok olasılıksal optimizasyon modelleri makine parçası kullanım süresinin dağılımını esas alır. Bu modeller kullanım süresi dağılımlarına göre makine parçasından yararlanma ve proses içinde hatayı dengelemek için optimal planlı makine parçası yerine koyma politikası geliştirmeyi sağlar. Makine parçası ile ilgili maliyetler toplam üretim maliyetini etkilediğinden ekonomik makine parçası değiştirme politikaları özellikle pahalı parçalar için çok önemli olmaktadır (Jeang,1998). Makine parçasının değiştirilmesi durumunda ortaya çıkan maliyet, makine boş kalma maliyeti, kalitesiz ürün maliyeti, parça değiştirme maliyeti, işçilik ve malzeme maliyetlerinden oluşur.

Bu çalışmada; maliyeti en küçük yapacak makine parçası kullanım süresinin belirlenmesi amacıyla bir maliyet modeli ön görülmüştür. İki parametrelili Weibull dağılımını esas alan bu maliyet modeli otomobil lastiği üreten bir işletmede lastiğin pişiminde kullanılan pişirme torbalarının optimum kullanım süresini belirlemede kullanılmıştır. Bu maliyet kriterine göre oluşturulan analitik model ile uzmanların geçmiş verilere ve kayıtlara göre yaptıklarından daha etkin ve doğru kullanım süresi tahmini gerçekleştirilmiş olur. Makine boş kalmaların azalması, ürün hasarlarını azalması gibi iyileşmeler ile maliyetin azalması beklenir. Aynı zamanda geliştirilen model ile subjektifliğin ortadan kalkması mümkün olur. Oluşturulacak makine parça değişim stratejisi ile üretim planlamada iyileşme ve verimlilik artışı gibi olumlu sonuçlar elde edilmesi sağlanır.

Çalışmanın 2. bölümde makine takımlarının değiştirilme zamanının belirlenmesi ile ilgili maliyet modellerine ait literatür araştırması sonuçlarına, 3. bölümde ise Weibull dağılımı ve dağılıma uygunluğu belirlemek için yararlanılan Anderson-Darling uyumluluk testi ile Weibull dağılımının parametrelerinin belirlenmesinde kullanılacak olan en çok olabilirlik tahmin yöntemine yer verilmektedir. 4. bölümde maliyet modeli

tanımlanmaktadır. 5. bölümde maliyet modelinin gerçek hayatta uygulama örneği gösterilmektedir 6. bölümde duyarlılık analizine ve son 7. sonuç bölümünde ise elde edilen sonuçlara ve önerilere yer verilmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde özellikle makine takımların değiştirme zamanının belirlenmesi ile ilgili maliyet modelinin geliştirildiği çalışmalar yer almaktadır. Takımların yenisi ile değiştirme süresini optimum yapacak modellerden biri Jeang (1998) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada, takım değiştirme kararının doğru bir şekilde verilmesini amaçlayan modelde ömür döngüsü içindeki bütün maliyetler değerlendirilmektedir. Zhou ve diğerleri (1990), makine takım eskime durumlarını esas alan optimal değiştirme modeli geliştirmiştir. Bu modelde koşulların test edilmesiyle elde edilen makine takım kapasitesinin olasılık dağılımı ele alınmıştır. Shabtay ve Kaspi (2003), geliştirdikleri modelde kesme makineleri için önleyici takım değiştirme yaşını da belirlemeyi amaçlamıştır. Makine takımlarının optimum değiştirme zamanını bulmayı sağlayan bir çalışma Hsu ve Shu (2010) tarafından yapılmıştır. Lad ve Kulkarni (2012) kullanıcının maliyet profilini ve ana bakım etkisini göz önüne alan makine takım alt montajı için optimal önleyici bakım ve yerine koyma aralıklarını belirleyen bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, koşullu hata sayısı modeli ile bütün sistem ömrü üzerinde alt montajın beklenen ömür maliyetine katkısını minimize eden optimizasyon problemi formüle edilmiştir. Xu ve Cao (2015) kesme prosesi için optimal makine takım yerine koyma zamanının belirlenmesi için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalışmada, kesme prosesinde ürün kalitesinin bozulmasını tanımlamak için ürün hata oranı modeli geliştirilmiş ve ürün kalite kaybı bu model esas alınarak tahmin edilmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen maliyet modelinin literatürde yer alan diğer modellerden farkı; makine parçasının bozulması durumunda

makinede işlem görmekte olan iş parçasının yeniden işlenemeyip hurdaya ayrılıyor olması ve bozulmadan dolayı makine durduğunda birlikte çalıştıkları ikinci makinenin de durmasıdır.

3. WEIBULL DAĞILIMI

Weibull dağılımı ilk olarak W. Weibull tarafından malzeme özelliklerinin modellenmesi amacıyla önerilmiştir (Weibull, 1938). Weibull dağılımı bozulma hızının artan, azalan ve sabit olduğu durumların hepsinde kullanılabildiği için esnek bir güvenilirlik modeli sunma özelliğine sahiptir (Lewis, 1996). Dağılım günümüzde deneysel verilere iyi uyum gösterdiği için güvenilirlik problemlerinin yanı sıra biyoloji (Van Boekel, 2002), rüzgar enerjisi (Hennessey Jr., 1977), stok kontrol (Sanni ve Chukwu, 2013) ve orman işletmeciliği (Evans ve diğerleri, 1989) gibi bir çok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır.

İki parametrelili Weibull dağılımının parametreleri ölçek (α) ve şekil (β) parametreleridir. Şekil parametresi boyutsuzdur. Bu iki parametreye ek olarak konum (γ) parametresi de söz konusu ise dağılım üç parametrelili Weibull dağılımı olarak adlandırılır.

Verilerin bir dağılıma uyduğu kabulünde büyük bir risk alınmış olur. Eğer kabul yanlışsa tahmin değeri geçersiz olacak ve dolayısı ile maliyet söz konusu olacaktır. Verilerin Weibull dağılımına uygunluğu belirlemek için iki farklı yaklaşım izlenebilir. Birincisi grafik yöntemi, ikincisi ise istatistiksel prosedür içeren uygunluk testleridir. Uygunluk testlerinden en çok bilinenler ise Anderson-Darling (AD veya A^2) ve Kolmogrov-Smirnov (KS) dur.

Bu çalışmada verilerin Weibull dağılımına uygunluğunu belirlemede yararlanılacak olan Anderson-Darling uygunluk testinde (Anderson ve Darling, 1954) gözlenen verilerin önem seviyesi olasılığı (p) değeri Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanır (Romeu, 2003).

$$p = 1/\{1 + \exp[-0.1 + 1.24 \ln(AD^*) + 4.48(AD^*)]\} \quad (1)$$

Burada AD^* düzeltilmiş AD değeridir ve $AD^* = (1+0.2/\sqrt{n})AD$ eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte $AD = \left[\sum_i \frac{1-2i}{n} \{ \ln - \exp(-Z_i) - Z_{(n+1)-i} \} - n \right]'$ dir. i , sıralanmış verinin sıra numarası; n , veri sayısı olmak üzere $Z_{(i)} = [x_{(i)}/\alpha^*]^{\beta^*}$ 'dir.

Eğer $p > \alpha$ ise sıfır hipotez, yani verilerin Weibull dağılımına uyduğu kabul edilir. α , anlamlılık düzeyidir ve 0.01, 0.05 ve 0.1 gibi değerlerden birini alır.

Benzer şekilde Weibull dağılım parametrelerinin tahmini değerlerinin doğruluğu maliyeti doğrudan etkiler. Parametre tahmini için geliştirilen yöntemler de grafiksel yöntemler ve istatistiksel yöntemler olmak üzere iki sınıfta incelenir (Yang ve Yue, 2014). En çok kullanılan istatistiksel yöntemler ise moment tahmin yöntemi (Pandey, 2000), en çok olabilirlik tahmin metodu ((Harter ve Moore (1965 a), Harter ve Moore (1965b) ve Cohen (1965)) ve ağırlıklı en küçük kareler yöntemi (Jukic ve Benšic, 2008)'dir.

Weibull dağılımı parametre değerlerinin bulunmasında ise en çok olabilirlik yöntemi çoğunlukla kullanılmaktadır. Parametrelerin en çok olabilirlik tahmini değeri, $L(x)$ ile tanımlanan olabilirlik fonksiyonunu en çok yapan ortalama değerdir. Verilerin olabilirliğini en büyükleyen parametre değerleri maksimum olabilirlik tahminleri olarak bilinir (Wadagale ve diğerleri, 2011).

İki parametrelili Weibull dağılımı için α ölçek ve β şekil parametreleri olarak tanımlandığında bu parametreler en çok olabilirlik tahmin yöntemi ile sırasıyla eşitlik 2 ve 3 yardımıyla hesaplanır.

$$f(\beta) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^\beta \ln x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^\beta}{n} \quad (3)$$

F(x) ve E(x) sırasıyla iki parametrelili Weibull dağılımının kümülatif olasılık fonksiyonu ve aritmetik ortalamasıdır (Eşitlik 4 ve 5).

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} \quad 0 \leq x \leq \infty, \quad \alpha, \beta \geq 0 \quad (4)$$

$$E(x) = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (5)$$

Burada Γ , gamma fonksiyonudur. $\Gamma(n) = \int_0^\infty e^{-x} x^{n-1} dx$ şeklinde tanımlanır.

4. MAKİNE PARÇASI KULLANIM SÜRESİ MALİYET MODELİ

Bu çalışmada ön görülen maliyet modeli; Handlarski (1980), Ahmad ve Kamaruddin (2012), Barlow ve Hunter (1960) tarafından geliştirilen modeller esas alınarak oluşturulmuştur. Bu maliyet modelinin literatürde yer alan önceki çalışmalardaki modellerle alt maliyet bileşenleri benzerlik taşımaktadır. Ancak bu çalışmada tanımlanan maliyet modelinin diğer geliştirilen modellerden farklı kılanlar aşağıda yer alan kabullerdir.

Buna göre maliyet model ile ilgili kabuller şunlardır:

- Makine parçasının sadece bir çeşidi göz önüne alınmaktadır.
- Makine parçasının bozulması işlenmekte olan ürünün de bozulmasına ve hurdaya ayrılmasına neden olur.
- Makine parçasının değiştirilmesi için makine durdurulduğunda birlikte çalıştığı diğer makinenin de durması gerekir.

Modelin karar değişkeni aşağıdaki gibidir:

- Makine parçasının kullanım süresi (zaman biriminde)

Maliyeti fonksiyonunun maliyet bileşenleri ise Tablo 1’deki gibidir.

Tablo 1. Maliyet fonksiyonun parametre ve değişkenleri

| Notasyon | Maliyet unsurları | Birim |
|------------|---|------------------------------------|
| P | Performans | Iskarta ürün/hatalı makine parçası |
| D | Hurda ürün değeri | Para birimi |
| C_d | Dönüştürme (Çevrim) maliyeti | Para birimi |
| t | Çevrim süresi | dk |
| B | Boşta kalan makina sayısı | 1 ya da 2 |
| C_k | İşçilik ücreti | Para birimi/saat |
| t_b | Makine boşta kalma süresi | dk |
| t_d | Değiştirilme süresi | dk |
| t_{ph} | Planlanan hazırlık süresi | dk |
| t_{uph} | Planlanmayan hazırlık süresi | dk |
| C_{mp} | Değiştirilen parça maliyeti | Para birimi |
| C_{puk} | Planlı üretim kayıp maliyeti | Para birimi |
| C_{pi} | Planlı işçilik maliyeti | Para birimi |
| C_p | Planlı parça değişim maliyeti | Para birimi |
| C_{uu} | Kusurlu ürün maliyeti | Para birimi |
| C_{upuk} | Planlanmayan değişim için kayıp üretim maliyeti | Para birimi |
| C_{upi} | Planlanmayan işçilik maliyeti | Para birimi |
| C_{up} | Planlanmayan değişim maliyeti | Para birimi |
| C_T | Toplam maliyet | Para birimi |

Modelde içerilen maliyetler makine parçasının değişiminin planlı veya plansız yapılması durumuna göre iki ana başlık altında toplanmaktadır.

4.1. Planlı Maliyet

Planlı maliyet, makine parçasının ömrünü öngörülen zamanda tamamladığı varsayılarak değiştirilmesi durumunda ortaya çıkan maliyettir. Bu maliyet, makinenin boş kalmasından dolayı ortaya çıkan üretim kayıp maliyeti, işçilik maliyeti ve makine parçası maliyetinden oluşur. $C_{puk} = (t_d * B * C_d) / t$ ve

$C_{pi} = [C_k * (t_d + t_{ph})] / 60$ olduğunda, planlı parça değişim maliyeti (C_p) eşitlik (6) ile tanımlanır.

$$C_p = \frac{C_k(t_d + t_{ph})}{60} + \frac{Bt_d C_d}{t} + C_{mp} \quad (6)$$

4.2. Planlanmayan Maliyet

Planlanmayan maliyet makine parçasının öngörülenden daha kısa sürede kullanım ömrünü tamamladığında yani bozulduğunda ortaya çıkan maliyettir. Bu maliyet sınıfında, planlı maliyete ek olarak ıskarta ürün maliyeti de eklenir. ıskarta ürün, makine parçasının bozulmasından dolayı ürünün hasarlanması ve ıskarta ürün olarak ayrılmasıdır.

Makine parça değişim ortalama süresi, değişimin planlı veya plansız olması durumuna göre değişmektedir. Plansız parça değişimleri, planlı değişime göre genellikle daha zaman alıcıdır. Ayrıca makinelerin birlikte çalışması durumunda bir makinedeki parça bozulması bu makine yanı sıra ikinci makinenin de devre dışı olmasına neden olmaktadır. Plansız değişim maliyeti (C_{up}) ise planlı değişim maliyetine kusurlu ürün maliyetinin eklenmesiyle elde edilir.

Kusurlu ürün maliyeti $C_{uu} = P * D$, planlanmayan değişim için kayıp üretim maliyeti $C_{upuk} = B(t_b + t_d)C_d / t$, işçilik maliyeti $C_{upi} = C_k(t_d + t_{uph}) / 60$ ve makine parçası maliyeti toplamı planlanmamış değişim maliyetini (C_{up}) verir (Eşitlik 7).

$$C_{up} = P * D + [B(t_b + t_d)C_d] / t + [C_k(t_d + t_{uph})] / 60 + C_{mp} \quad (7)$$

Bütün bu değerlere göre x pişim süresi olmak üzere toplam maliyet (C_T), aşağıdaki eşitlik (8)' deki gibidir.

$$C_T = \frac{C_p + (C_{up} - C_p)F_x}{x(1 - F(x) + E(x))} \quad (8)$$

Buradaki $F(x)$ ve $E(x)$ değerleri eşitlik 4 ve 5 ile tanımlanan ve sırasıyla Weibull dağılımının birikimli olasılık fonksiyonu ve aritmetik ortalamasına karşılık gelen değerlerdir.

5. MALİYET MODELİNİN UYGULAMASI

Geliştirilen model otomobil lastiği üreten bir işletmede; ham lastiğin preslerde pişimi sırasında lastiğin içerisinde basınçla şişirilerek, lastik kalıbının şeklini almasını sağlayan pişirme torbalarının optimum kullanım süresinin belirlenmesinde uygulanmıştır. Pişirme torbası preslerin bir parçası olarak kabul edilmektedir. İşletmede, günlük lastik üretimi ortalama 17500 adettir dolayısıyla günde 17500 defa pişirme torbası kullanımı söz konusudur. Pişirme torbalarının ömrü ve fiyatı, üreticisi ve modeline göre değişmektedir. İşletmede pişirme torbalarının kullanım süresi genellikle operatörlerin deneyimlerine ve geçmiş verilere dayanarak yaptıkları tahminlerine ve iş yoğunluğuna göre belirlenmektedir. Tahmini değerlerin gerçek değerden küçük olması ve büyük olması işletmede istenmeyen maliyetlere yol açmaktadır. Pişirme torbalarının ömrünü tamamlamadan değiştirilmesi pişirilen lastik başına birim maliyetin artmasına diğer türlü uzun kullanım tercih edilmesi durumunda ise

pişim esnasında hasarlanması lastiğin de hasar görmesine ve daha büyük maliyetin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle pişirme torbası kullanım maliyetini en düşük yapacak değişim süresi belirlenmek istenmektedir. Amaç, maliyeti en küçük yapacak optimum kullanım süresini çok küçük tahmin hatasıyla belirlemektir. Pişirme torbası kullanım süresini maliyet modelinin uygulanmasında izlenen adımlar aşağıdaki gibidir.

Adım 1. Veri toplama

Son iki ay içerisindeki en fazla hasarlanma gösteren ve plansız değişime yol açan AXYZ kodlu pişirme torbası ele alınacak makine parçası olarak seçilmiştir.

Pişirme torbalarının istenmeyen bir durum ile kullanılabilirliğini yitirmesi durumuna pişirme torbası hasarı denilmektedir. Meydana gelen hasar çeşitleri ise arızalı, kusurlu, delik, katlanma, merkez kaçığı, parça koparıyor, patlak, tanımsız delik ve yapışma şeklinde dokuz çeşittir. Kusurlu olma, pişirme torbası yüzeyinde meydana gelen bozulmalardan dolayı pişirme torbasının ıskartaya ayrılmasıdır. Patlak, pişirme torbalarının preslerde pişim esnasında sıcaklık, gaz basıncı vb. nedenlerden dolayı patlayarak hem pişirme torbası hem de lastik ıskartasına neden olan hasar çeşididir. Merkez kaçma, pişirme torbalarının preslere merkezlerinden kaçırarak yüklenmeleri sonucunda hem pişirme torbası hem de lastik ıskartasına sebep olan hasardır. Operatörün makine parçasının eskimeden dolayı değiştirilmesi gerektiğini düşündüğü zaman ömrün tamamlamış olması şeklinde değerlendirilir. Pişirme torbası değişimini yapacak elemanın yoğun olması ve bazı preslerin elle idare ediliyor olması gibi nedenlerden dolayı kullanım süreleri değişiklik göstermektedir. Mevcut geçmiş verilerden pişirme torbası kullanım süresinin 1 dakika ile 1000 dakika arasında değiştiği görülmüştür. Son 2 ay içinde 158 adet AXYZ kodlu pişirme torbalarının değiştirilme nedenleri ve pişim süreleri Tablo 2'deki gibidir.

Adım 2. Verilerin Weibull Dağılımına Uyumunun Test Edilmesi

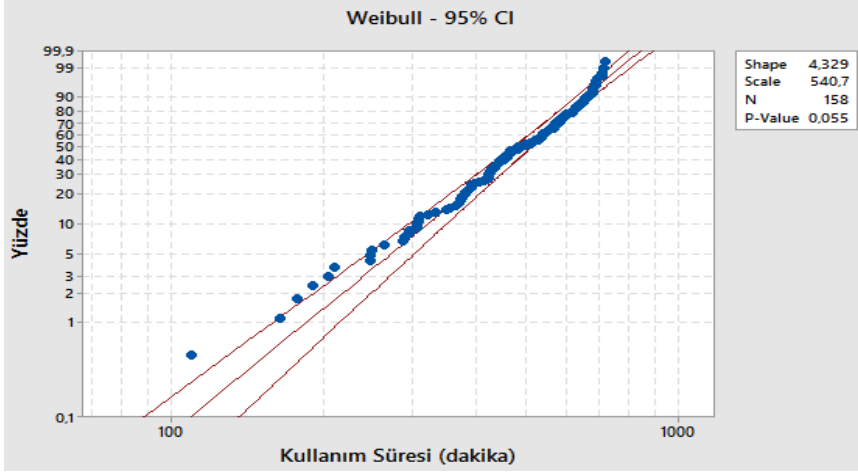
Ömür maliyet formülünde yer alan Weibull dağılımı parametrelerinin değerlerini belirleyebilmek için kullanım sürelerinin bu dağılıma uygun olup olmadığı belirlenmiştir. AXYZ kodundaki pişirme torbasının pişimde kullanılma sürelerinin Weibull dağılımına uygun olduğunu belirlemek amacıyla Anderson-Darling uygunluk testi uygulanmıştır.

Tablo 2. AXYZ Pişirme torbalarının kullanım süresi ve değişim nedenleri

| DN | KS | DN | KS | DN | KS | DN | KS | DN | KS | DN | KS | DN | KS |
|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| A | 311 | D | 427 | ÖT | 621 | ÖT | 718 | P | 306 | P | 445 | P | 589 |
| A | 370 | D | 435 | ÖT | 625 | ÖT | 556 | P | 307 | P | 452 | P | 589 |
| A | 373 | D | 438 | ÖT | 629 | ÖT | 588 | P | 308 | P | 460 | P | 596 |
| A | 417 | D | 441 | ÖT | 630 | ÖT | 550 | P | 332 | P | 461 | P | 597 |
| A | 427 | D | 444 | ÖT | 634 | ÖT | 655 | P | 350 | P | 462 | P | 604 |
| A | 464 | D | 453 | ÖT | 642 | ÖT | 652 | P | 354 | P | 465 | P | 608 |
| A | 466 | D | 469 | ÖT | 642 | ÖT | 642 | P | 382 | P | 484 | P | 616 |
| A | 467 | D | 474 | ÖT | 651 | ÖT | 625 | P | 383 | P | 486 | P | 697 |
| A | 486 | D | 476 | ÖT | 652 | ÖT | 596 | P | 389 | P | 503 | P | 714 |
| A | 497 | D | 521 | ÖT | 656 | M | 366 | P | 392 | P | 513 | P | 485 |
| A | 501 | D | 524 | ÖT | 664 | M | 372 | P | 392 | P | 520 | P | 425 |
| A | 558 | D | 542 | ÖT | 665 | M | 405 | P | 397 | P | 531 | P | 630 |
| A | 567 | D | 542 | ÖT | 666 | M | 577 | P | 416 | P | 531 | P | 513 |
| A | 571 | D | 544 | ÖT | 672 | M | 586 | P | 422 | P | 538 | TD | 391 |
| D | 110 | D | 572 | ÖT | 679 | PK | 204 | P | 424 | P | 540 | TD | 534 |
| D | 164 | D | 573 | ÖT | 679 | P | 177 | P | 425 | P | 544 | TD | 580 |
| D | 210 | D | 690 | ÖT | 680 | P | 190 | P | 425 | P | 549 | TD | 603 |
| D | 248 | D | 455 | ÖT | 681 | P | 248 | P | 428 | P | 553 | Y | 287 |
| D | 321 | D | 455 | ÖT | 685 | P | 250 | P | 431 | P | 554 | Y | 433 |
| D | 367 | DL | 308 | ÖT | 691 | P | 263 | P | 431 | P | 568 | Y | 530 |
| D | 375 | DL | 574 | ÖT | 692 | P | 289 | P | 436 | P | 570 | | |
| D | 376 | K | 381 | ÖT | 710 | P | 295 | P | 440 | P | 573 | | |
| D | 387 | ÖT | 621 | ÖT | 711 | P | 296 | P | 444 | P | 586 | | |

DN:Makina parça değişim nedeni KS:Parça kullanım süresi (dakika) A:Arızalı D:Kusurlu DL: Delik K:Katlama ÖT:Ömrünü tamamlamış M: Merkezleşme PK:Parça koparıyor P:Patlak TD:Tanımsız delik Y:Yapışıyor

$p=0.055$ değeri $\alpha=0.05$ den büyük olduğu için verilerin Weibull dağılımına uyduğu sonucuna ulaşılmıştır. Minitab 17 yazılımı ile elde edilen sonuç Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Anderson-Darling uygunluk testi sonucu

Adım 3. Weibull Dağılım Parametrelerin Belirlenmesi

İki parametrelili Weibull dağılımının parametre değerleri en çok olabilirlik tahmin yöntemi ile yukarıda bölüm 3’de verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçta şekil parametresinin değeri 4.32948 ve ölçek parametresinin değeri 540.67418 olarak bulunmuştur. Parametre değerlerinin bulunmasında da Minitab 17 yazılım programından yararlanılmıştır.

Adım 4. Maliyetin Hesaplanması

Pişirme torbası değiştirilmesinde geçen ortalama süre 13 dakikadır. Yine yapılan gözlemlerden planlanan pişirme torbası hazırlama zamanı ortalama 5 dakika, planlanmayan pişirme torbası hazırlama zamanı ortalama 15 dakika olarak belirlenmiştir. Bir lastiğin ortalama pişim süresi 20 dakikadır. Presler ikili olduklarında bir presdeki pişirme torbası bozulması çoğu zaman ikinci presin de boşa kalmasına neden olmaktadır. Pişirme torbalarında bir hasar meydana gelmesi sonucunda ortalama 3 adet lastik hasarlanarak ıskartaya ayrılmaktadır. Bu lastiklerin ıskarta maliyetleri ise birim başına ortalama 74 € dur. Bu durum pişirme torbası maliyetine ek olarak ıskarta ürün maliyetini ortaya çıkartmaktadır. XYZ kodlu pişirme torbasının birim maliyeti 94 €’dir. Preslerde kod değişimi ortalama

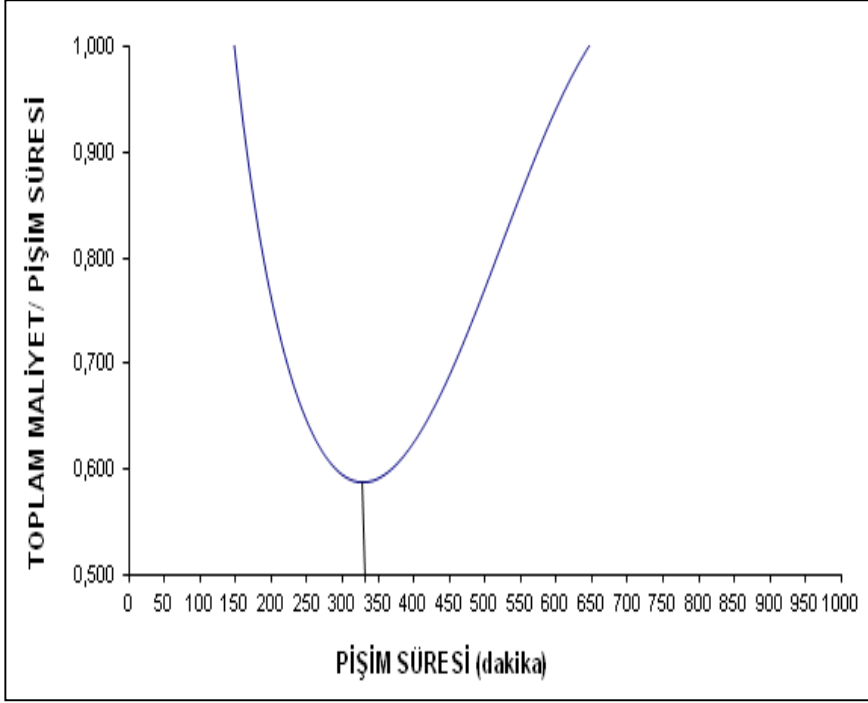
45 dakika sürmektedir. Bir parçanın ortalama değişim maliyeti 35 € ve saat başı işçilik ücreti 25 € 'dir. Burada tanımlanan veriler kullanılarak hesaplanan planlanan ve planlanmayan maliyetler ve bunların alt maliyet sınıflarının değerleri Tablo 3'de özetlenmektedir. 6 ve 7 nolu eşitlikler kullanılarak planlı ve plansız pişirme torbası değiştirme maliyetleri sırasıyla 147 € ve 530.67 € olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Planlanan ve planlanmayan pişirme torbası değişim maliyetleri

| Maliyet Çeşitleri | Planlanan Değişim Maliyeti | Planlanmayan Değişim Maliyeti |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Kusurlu ürün maliyeti | 0 | 222,00 |
| Kayıp üretim maliyeti | 45,50 | 203,00 |
| İşçilik maliyeti | 7,50 | 11,67 |
| Pişirme torbası maliyeti | 94 | 94 |
| TOPLAM | 147,00 | 530,67 |

Adım 5: Optimum Kullanım Süresinin Belirlenmesi

Pişirme torbası kullanım süresi, pişim süresine karşılık gelmektedir. 1 ile 1000 dakika arasında değişen her bir pişim süreleri için 8 no'lu eşitlik kullanılarak toplam maliyet ve buradan pişim süresi başına maliyet hesaplanmıştır. Pişim süresi başına maliyet ve pişim süresi arasındaki ilişki Şekil 2'deki gibidir. Bu şekilden de görüldüğü gibi en düşük birim maliyeti olan 0.588 € pişirme torbasının pişimde kullanılması için optimum süre olan 329 dakikayı vermektedir.

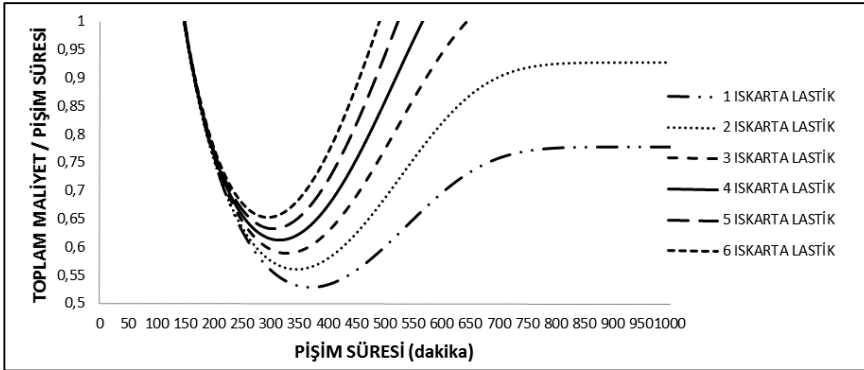


Şekil 2. Pişim süresi başına maliyet / pişim süresi ilişkisi

Şekil 2’de pişirme torbası kullanım süresine göre ortalama maliyet yüksek değerden başlar, minimum değere ulaşana kadar hızla azalır ve sonra asimptotik değere ulaşana kadar artar. Ortalama maliyetin başlangıçta yüksek olmasının nedeni kullanım süresinin kısa olmasıdır. Pişirme torbası kısa süre aralıklarıyla değiştirilirse değiştirme ve üretim kayıp maliyetleri yüksek olacaktır. Sonra ortalama maliyet düşük hızla azalmaya başlar. Bunun nedeni pişirme torbasının kullanım süresi artarken, toplam maliyetin nispeten yavaş artıyor olmasıdır. Bu süreçte bir minimum nokta vardır. Bu noktadan sonra ortalama maliyet tekrar artmaya başlar. Kullanım süresinin büyük olmasından dolayı pişirilen lastiğin hasarlanması ile kalite kaybı hızla artacaktır. Bu durum maliyette hızla artışa yol açtığından ortalama maliyeti arttırır. Maliyet artışının nedeni, pişirme torbasının kullanım süresi uzadıkça ürün bozulma riskinin daha yüksek olmasıdır.

6. DUYARLILIK ANALİZİ

Duyarlılık analizi ile toplam maliyetin üzerinde payı en yüksek olan kusurlu ürün maliyeti ve kayıp üretim maliyeti parametrelerindeki değişimin maliyet ve pişirme torbası pişim süresindeki etkisi incelenmiştir. İşçilik maliyetinin toplam maliyetteki etkisi küçük olduğundan ele alınmamıştır. Ürün kalitesindeki bozulma maliyeti, optimum kullanım süresinin belirlenmesinde çok önemli etkiye sahiptir. Bu maliyetin parametresi olan ıskarta lastik sayısının (P) maliyet üzerindeki etkisi incelenmiştir. Pişirme torbası bozulması durumunda ortalama ıskarta lastik sayısı mevcut durumda 3 kabul edilmesine rağmen 1’den 6’ya kadar değişmesi durumunda maliyet değişimi analiz edilmiştir. Şekil 3’den görüldüğü gibi pişirme torbasının bozulmasından dolayı ıskartaya ayrılan ortalama lastik sayısı arttıkça ortalama maliyet de artmakta ve optimum pişimde kullanılma süresi azalmaktadır. İskarta lastik sayısının küçük olduğu durumlarda pişim süresi çok uzun olduğunda bozulma hızla gerçekleşeceğinden sürenin farklı değerler alması ortalama maliyeti etkilemediğinden eğrinin sağ kısmı sabite yakın değer almaktadır.



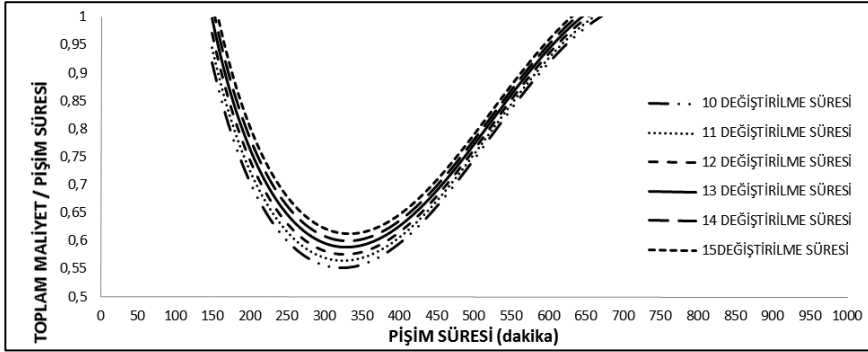
Şekil 3. İskarta lastik sayısına bağlı olarak maliyet ve pişim süresinin değişimi

İskarta lastik sayılarına göre pişirme torbası optimum kullanım süreleri ve ortalama maliyet değerleri aşağıda Tablo 4’de yer almaktadır. İskarta lastik sayısının artışının maliyette kesin bir artışa yola açtığı görülmektedir.

Tablo 4. Iskarta lastik sayısına bağlı olarak maliyet ve pişim süresinin değişimi

| Iskarta Lastik | Optimum Pişim Süresi | Maliyet/ Pişim Süresi |
|----------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 368 | 0,528 |
| 2 | 346 | 0,561 |
| 3 | 329 | 0,588 |
| 4 | 315 | 0,612 |
| 5 | 305 | 0,633 |
| 6 | 295 | 0,652 |

Ürün kayıp maliyetinde de pişirme torbası değiştirilme süresi (t_d) parametre olarak alınmıştır. Mevcut durumda değiştirilme süresi ortalama 13 dakikadır. 10 ile 15 dakika arasında değişen değiştirme süreleri için ortalama maliyet ve bunu minimum yapan pişim sürelerindeki değişim araştırılmıştır. Şekil 4’den de görüldüğü gibi pişirme torbası değiştirilmesinde geçen süre arttıkça ortalama maliyet de artmaktadır.



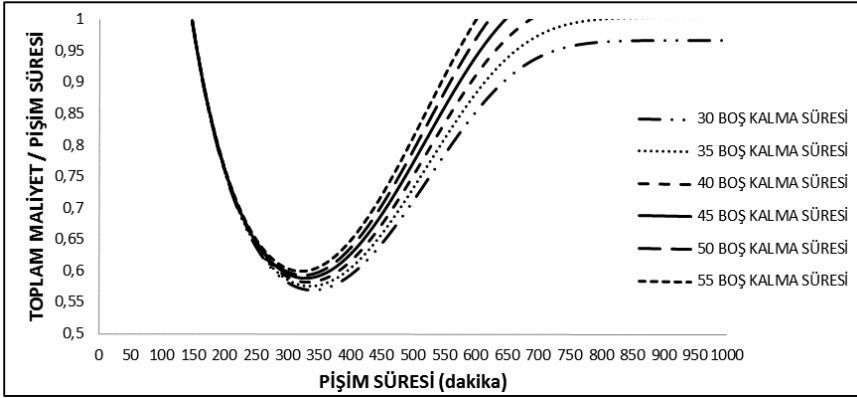
Şekil 4. Pişirme torbası değiştirme süresine bağlı olarak maliyet ve pişim süresinin değişimi

Tablo 5’de pişirme torbası değiştirme süreleri, ortalama maliyet ve bulunan optimum pişim süreleri yer almaktadır.

Tablo 5. Pişirme torbası değiştirme süresine bağlı olarak maliyet ve pişim süresinin değişimi

| Piştirme torbası Değiştirilme Süresi | Optimum Pişim Süresi | Maliyet/ Pişim Süresi |
|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 10 | 322 | 0,551 |
| 11 | 324 | 0,564 |
| 12 | 327 | 0,576 |
| 13 | 329 | 0,588 |
| 14 | 331 | 0,600 |
| 15 | 333 | 0,612 |

Üretim kayıp maliyetinde etkili olan bir diğer parametre de presin boşa kalma süresi (t_b)'dir. Bu süre ortalama 45 dakikadır. Boşa kalma süresinin 30, 35, 40, 45, 50 ve 55 dakika olması durumunda ortalama maliyetin pişim süresine göre değişimi incelenmiştir. Şekil 5'de görüldüğü gibi presin boşa kalma süresi arttıkça ortalama maliyet de artış göstermektedir.

**Şekil 5.** Kod değiştirme süresine bağlı olarak maliyet ve pişim süresinin değişimi

Boşa kalma süresine göre optimum pişim süresi ile ortalama maliyet değerleri Tablo 6'da özetlenmektedir.

Tablo 6. Pişirme torbası değiştirme süresine bağlı olarak maliyet ve pişim süresinin değişimi

| Boşta Kalma Süresi | Optimum Pişim Süresi | Maliyet/Pişim Süresi |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 30 | 341 | 0,569 |
| 35 | 337 | 0,576 |
| 40 | 333 | 0,582 |
| 45 | 329 | 0,588 |
| 50 | 326 | 0,594 |
| 55 | 322 | 0,600 |

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Makine parçalarının kullanım süreleri, deneme yanılma yöntemi veya uzman deneyiminden yararlanarak belirlemek yerine analitik bir model kullanılarak daha doğru tahmin edilmektedir. Operatörlerin veya çalışanların deneyimlerinden yararlanma durumunda her biri süre ile ilgili farklı tahminler de bulunacaktır. Ayrıca bu tahminlere bağımlılık da söz konusu olacaktır. Bu çalışmada geliştirilen maliyet esaslı model sürenin daha doğru tahmin edilmesini sağlamaktadır. Dolayısı ile tahmin hatasının getirdiği maliyetler azalmaktadır. Yapılan uygulama çalışmasında ele alınan pişirme torbasının kullanım süresinin 1-1000 dakika gibi çok geniş bir aralıkta değiştiği gözlenmiştir. Değişkenliğin bu kadar büyük olduğu bir durumda olması gereken kullanım süresini tahmin etmek oldukça zordur. Model bu zorluğu ortadan kaldırmakta ve daha doğru tahmin yapılmasını sağlamaktadır. Dolayısı ile doğru tahmin ile maliyetlerde azalma, verimlilik artışı, kalitede iyileşme gibi sonuçların elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Duyarlılık analizi sonuçları maliyet bileşenlerinin önemli parametrelerindeki iyileşmelerin ortalama maliyeti azaltacağını göstermiştir.

Bu çalışmada sadece AXYZ kodlu en sorunlu olan pişirme torbası seçilmiştir. Gelecek çalışmalarda; farklı kodlara sahip pişirme

torbaları için de maliyet modeli esas alınarak benzer çalışma yapılması planlanmaktadır. Ayrıca planlanan çalışmada simülasyon yöntemi kullanılarak verilerin Weibull dağılımından farklı bir dağılıma uyması durumunda model sonuçlarının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Ahmad R., Kamaruddin S., 2012, An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application, *Computers&Industrial Engineering* 63(1), pp 135-149.
- [2] Anderson, T.W. ve Darling, D. A.,1954. A test of goodness of fit, *J. Ame. Statist. Assoc.* 49, pp.765-769.
- [3] Barlow R.E., Hunter L., 1960, Optimal preventive maintenance policies, *Operation Research*, 8, pp.90-100.
- [4] Cohen, A.C., 1965. Maximum likelihood estimation in the Weibull distribution based on complete and on censored samples, *Technometrics*, 7(4).
- [5] Evans J.W., Johnson R.A. ve Green D.W., 1989. Two and Three Parameter Weibull Goodness-of-Fit Tests, United States Department of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory Research Paper FPL-RP-493.
- [6] Handlarski, J., Mathematical analysis of preventive maintenance schemes, *The Journal of the Operational Research Society*, 31 (3), pp. 227-237
- [7] Harter, H.L.ve Moore A.H.,1965a. Point and interval estimators based on order statistics, for the scale parameter of Weibull population with known shape parameter, *Technometrics*, 7 (3), pp.405-422.
- [8] Harter, H.L. ve Moore A.H., 1965b. Maximum likelihood estimation of the parameters of Gamma and Weibull populations from complete and from censored samples, *Technometrics*, 7(4). pp.639-643.

- [9] Hennessey Jr. J.P.,1977. Some aspects of wind power statistics, J. Appl. Meteorol. 16 (2).
- [10] Hsu, B-M. ve Shu M-H., 2010. Reliability assessment and replacement for machine tools under wear deterioration, Int. J. Manuf. Technol. 48, pp.355-365.
- [11] Jeang, A., 1998. Reliable tool replacement policy for quality and cost, European Journal of Operational Research, pp. 334-344.
- [12] Jukic ´ D., Benšic ´ M. ve Scitovski R., 2008. On the existence of the nonlinear weighted least squares estimate for a three-parameter Weibull distribution, Comput. Stat. Data Anal. 52 (9) pp.4502–4511.
- [13] Lad, B.K. ve Kulkarni, M.S., 2012. Optimal maintenance Schedule decisions for machine tools considering the use’s cost structure. International Journal of Production Research. 50 (20), pp.5859-5871.
- [14] Lewis E.E.,1996. Introduction to Reliability Engineering, 2.ed. John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Pandey M., 2000. Direct estimation of quantile functions using the maximum entropy principle, Struct. Saf. 22 (1), pp. 61–79.
- [16] Romeu, J.L., 2003. Anderson-Darling: A Goodness of Fit Test for small Samples Assumptions, Selecting Topics in Assurance Related Technologies (START). A Publication of the Reliability Analysis Center. 10(5).
- [17] Sanni S.S. ve W.I.E. Chukwu W.I.E., 2013. An economic order quantity model for items with three-parameter Weibull distribution deterioration, ramp-type demand and shortages, Appl. Math. Model. 37 (23), pp. 9698–9706.
- [18] Shabtay D. ve Kaspi M., 2003. The efficiency range of economical cutting conditions and tool replacement under the age replacement strategy, Int. J. Prod. Res. 41 (11), pp.2563-2580.
- [19] Van Boekel M.A.J.S., 2002. On the use of the Weibull model to describe thermal inactivation of microbial vegetative cells, Int. J. Food Microbiol. 74 (1–2), pp. 139–159.

- [20] Wadagale A.V., Thatkar P.V., Dase R.K. ve Tandale D.V., 2011. Modified Anderson-Darling Test for Wind Speed Data, International Journal of Computer Science & Emerging Technology 2 (2), pp. 249-251.
- [21] Weibull, W., 1938. Investigations into Strength Properties of Brittle Materials, Ingeniörs Vetenskaps Akademiens Handlingar, Royal Swedish Institute for Engineering Research, Stockholm, 27.
- [22] Xu, W. ve Cao L., 2015. Optimal tool replacement with product quality deterioration and random tool failure, International Journal of Production Research. 53 (6), pp.1736-1745.
- [23] Yang F. ve Yue Z., 2014. Kernel density estimation of three-parameter Weibull distribution with neural network and genetic algorithm, Applied Mathematics and Computation 247, pp. 803–814.
- [24] Zhou, C., Chandra J., ve Wysk R.,1990. Optimal cutting tool replacement based on tool wear status, Int. J. Prod. Res., 28 (7), pp.1357-1367.