


İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL TEKNİKLERİ İLE OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Öğr. Gör. Dr. Z. Berna AYDIN* 

Dr. Öğr. Üyesi V. Sinem ARIKAN KARGI** 

ÖZ

Yoğun rekabetin yaşandığı günümüz dünyasında, firmaların varlığını sürdürebilmesi için kendilerini sürekli geliştirmesi ve ürün kalitesini sürekli iyileştirmesi zorunludur. Ürün kalitesinin iyileştirilmesi, uluslararası standartlara uygunluğu, üretilen ürünlerin kalite düzeylerinin araştırılması istatistiksel kalite kontrol teknikleri yardımıyla yapılır. Bir sürecin kontrol altında olup olmadığı kontrol grafikleri yardımıyla belirlenir. Süreç yeterliliğinin ölçülmesinde de, C_p ve C_{pk} süreç indeksleri hesaplanılarak sürecin yeterliliği belirlenir.

Çalışmamız Bursa ilinde otomotiv sektöründe yer alan bir fabrikada üretilen otomobillerin ön kapı dinamik kapanma hız ölçümlerinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı X ortalama ve S kontrol grafikleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 2017 yılı ocak ayına ait ön kapı kapanma hız ölçümlerine ilişkin veriler, SPSS 17 paket programı yardımıyla sürecin kontrol altında olup olmadığı incelenerek, süreç ve makine yeterlilik indeksleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda, sürecin kontrol altında ve yeterli olduğu görülmüştür. Sürecin makine yeterlilik indeksi hesaplandığında, sol ön kapanma hızı yeterli iken, sağ ön kapanma hızlarına ilişkin değerlerin yetersiz olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İstatistiksel Süreç Kontrol, Süreç Yeterliliği, Makine Yeterliliği

Jel Sınıflandırması: L15

AN APPLICATION IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY BY STATISTICAL QUALITY CONTROL TECHNIQUES

ABSTRACT

In today's highly competitive world, firms should develop themselves continuously and improve the quality of their products to maintain their existence. Improving quality of products, complying with

* Uludaę Üniversitesi İ.İ.B.F. Ekonometri Bölümü, berna@uludag.edu.tr

** Uludaę Üniversitesi İ.İ.B.F. Ekonometri Bölümü, vesa@uludag.edu.tr

international standards, and analyzing the level of product quality are achieved using statistical quality control techniques. Control charts are used to define whether a process is under control or not. Process capability is estimated by calculating the process indices C_p and C_{pk} .

This study aimed to define whether the measurement of front door dynamic closing speed of the automobiles manufactured in an automotive manufacturing plant in Bursa is under statistical control, using X-bar and S control charts. For this purpose, the January 2017 data on front door closing speed measurement was analyzed using SPSS 17 software: process capability and machine capability indices were calculated.

In conclusion, it was found that the process is under control and capability. Machine capability index calculation indicates that the left front door closing speed is adequate, whereas right front door closing speed is inadequate.

Key Words: *Statistical Process Control, Process Capability, Machine Capability*

Jel Classification: *L15*

1. GİRİŞ

Geçmişte kalite kontrolü denince akla sadece ölçme ve muayene işlemleri gelirken, günümüzde bu uygulamalar yerini istatistiksel süreç kontrol tekniklerine bırakmıştır. İstatistiksel süreç kontrolü, bir ürünün ekonomik olarak ihtiyaca uygun üretimini yapmak için verileri toplamak, analizini yapmak, yorumlamak ve çözüm yolları önermek üzere istatistik prensip ve tekniklerinin, üretimin tüm aşamalarında kullanılmasıdır. Burada amaç, hem işletme içinde kusurları yakalamak hem de kusurlu ürün üretilmeden önce müdahalede bulunarak önlem almaktır.

İstatistiksel olarak kontrol altında tutulacak süreçten elde edilen ürünlerin, kontrol edilen özelliklerinin ölçüldüğü durumlarda X ortalama, R ve S nicel kontrol grafikleri kullanılır. Süreç yeterliliği ise; sürecin istikrarlılığı ile ilgilendir. Herhangi bir süreçte yeterlilik analizi yapılırken önce sürecin kontrol altında olması ve verilerin normal dağılıma sahip olması gerekir. Süreç yeterlilik çözümlemesinde C_p ve C_{pk} süreç indeksleri hesaplanılarak sürecin yeterliliği belirlenir. Gerekli önlemler alınarak, red edilen ürünlerin ayrılması sağlanır. Kusurlu ürün oranının yüksek olması ya tolerans sınırlarının genişletilmesi ya da üst teknolojiye makinaların kullanımını gerektirir.

Bir kontrol grafiği esas olarak üç çizgiden oluşur. Bunlar; alt kontrol sınır limiti, üst kontrol sınır limiti ve orta değer çizgisidir. Kalite özelliğinin ortalama değeri aynı zamanda hedeflenen değer olarak da ifade edilen orta çizgi ile temsil edilir. Eğer ilgililenen kalite özelliği ölçülebilir özellikte ise, bu durumda merkezi eğilim ölçülerinden aritmetik ortalama, dağılım ölçülerinden ise değişim aralığı ve standart sapma kullanılır. Merkezi eğilim ve dağılım için kontrol grafikleri “Değişkenler için

Kontrol Grafikleri” ya da “Nicel Kontrol grafikleri ” olarak adlandırılır. Kalite özelliğinin sürekli ve sayısal olarak ölçülememesi, yani kusur sayısı gibi belli bir olayın gözlem sayısına dayanması durumunda kullanılan kontrol grafiklerine ise “özellikler için kontrol grafikleri” ya da “nitel kontrol grafikleri” adı verilir (Sermin Elevli ve Sema Behdioğlu, 2006: 20).

Literatüre baktığımızda farklı sektörlerde istatistiksel süreç kontrolüne ve süreç yeterlilik indeksine ilişkin pek çok çalışma mevcuttur. Kumar ve Gupta 1993’de, Austin motorlu araç fabrikasında istatistiksel teknikler yardımı ile ıskarta oranını iki yılda %56 oranında azaldığını ortaya koymuşlardır. Jugulum ve Şefik 1998’de, işletmelerin ürün kalitesinin sürekli gelişimini sağlamak, rekabet koşullarında pazarda tutunabilmek için toplam kalite yönetimi ile kalite fonksiyon açılımı, istatistiksel proses kontrol, Taguchi metotları, ve yaratıcı problem çözümü teorisi araçlarının birleştirilmesinin gerekliliğini öne sürmüşlerdir. Kakuro 2000’de, istatistiksel teknikler yardımıyla Toyota fabrikasında; kalite, maliyet, teslimat, güvenlik ve müşteri memnuniyeti değerlerini araştıran ve bunlar arasındaki değişimleri izleyen bir akıllı istatistiksel proses kontrol sistemi oluşturmaya çalışmışlardır. Bircan ve Gedik, 2003 yılındaki çalışmasında, tekstil işletmesinde meydana gelen üretim hatalarının sebeplerini ve üretim aşamasının kontrol altında olup olmadığını p ve np nitel kontrol grafikleriyle gözlemlemişlerdir. Kaya ve Ağa 2004’de motor ve traktör imalatı yapan bir işletmede kalite iyileştirme çalışmalarında istatistiksel kalite kontrol teknikleri uygulayarak, işletmenin kalite gelişimini olumsuz yönde etkileyen faktörleri belirlemişlerdir ve bu faktörlerin ortadan kaldırılması için sebep-sonuç diyagramları geliştirilerek çeşitli önerilerde bulunmuşlardır. Czarski, Satora, Matusiewicz, 2007’ de yapmış oldukları çalışmada çelik dövme üretiminde prosesin yeterli olup olmadığını ortaya koymakla birlikte, mühendislikte istatistiksel metotların kullanılabilirliği ve teknik üniversitelerde istatistik eğitiminin gerekliliği üzerine vurgu yapmışlardır. Parkash, v.d. 2013’de İstatistiksel süreç kontrolünün önemi, makine ve yeterlilik indeksinin kullanım amacı, kontrol kartlarının süreci izlemedeki fayda ve dezavantajı konularına değinmişlerdir. Ürünün meydana getirilmesinde ve ürün kalitesini belirlemede etkili olan süreç kavramı Tate,1999; Çelikçapaş1995 tarafından incelenmiş, süreçteki değişkenliğin nedenleri Koku,1989 tarafından ortaya konulmuştur. Akın,1996 yılında süreç kontrolünde istatistiksel yöntemlerin uygulanmasını göstermiş, Garrity,1990 yılındaki çalışmasında prosesin yeterliliğini incelenmiştir. Proses yeterliliğinin hesaplanmasında kullanılan yeterlilik ölçüsü C_{pk} indisi Oakland,1992 tarafından incelenmiş, Kane,1989 çift yanlı spesifikasyon limitleri durumunda C_{pk} ’yı hesaplamıştır. Tek yanlı spesifikasyon limitleri durumunda kusurlu mamul yüzdesinin hesaplanmasında Devor,1992 normal dağılım tablosunun kullanılabileceğini göstermiştir (Şahin, 2013: 253-271). Ala ve İkiz’in 2014’de yapmış oldukları çalışmada, dokuma üretiminde oluşan kumaş hatalarının belirlenip önlenmesinde istatistiksel kalite tekniklerinin uygulanmasındaki önemi ve bu teknikler ile kalite seviyesinin % 80 oranında

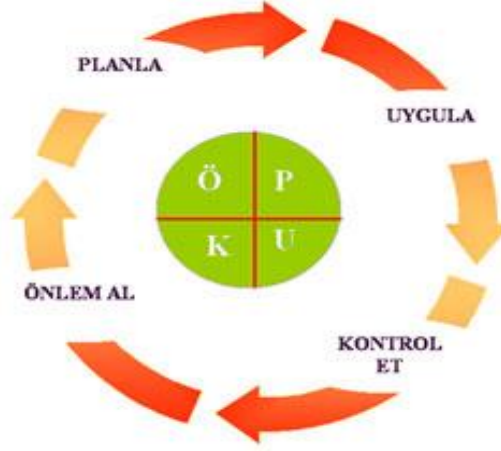
yükseltilebileceği ortaya konulmuştur. Simanova ve Gejdos 2015’ de yaptıkları çalışmada mobilya sektöründe istenilen özelliğine göre üretilen ürünün süreç performansının ölçümünde farklı Cp ve Cpk indeks değerlerini inceleyip süreç performansı ve kusurlu üretiminin azaltılmasına yönelik literatüre katkıda bulunmuşlardır. Çakırkaya ve Acar’ın 2016’da yaptıkları çalışmada bir otomotiv sektöründeki üretim hattında meydana gelen hataları belirleyerek bu hataları istatistiksel kalite kontrol tekniklerinden pareto diyagramı ile analiz etmişlerdir. Üretim hattında hangi noktalara odaklanılması gerektiği konusuna vurgu yaparak işletmenin üretim sürecini en az hata ile daha kaliteli ürünler üretmesine ve verimliliğin artmasında yol gösterici olmuşlardır.

Son yıllarda otomotiv sektöründe yoğun bir şekilde istatistiksel kalite kontrol tekniklerinden ve altı sigma yaklaşımından faydalanılmaya başlanmıştır. İstatistiksel proses kontrol tekniklerinin otomotiv sektöründe ele aldığımız bu çalışmada Bursa ilinde 2017 yılına ait otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın ürettiği otomobillerin sağ ve sol ön kapı dinamik kapanma hız ölçümlerinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı ve aynı zamanda sürecin yeterli olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Toplam kalite yönetimi anlayışı, sürekli iyileştirme ve problem çözümünde istatistiksel ve sistematik bir yaklaşım ileri sürer. Bu felsefe anlayışında; çalışanların memnuniyeti, istatistiksel ölçme yöntemlerinin kullanılması, firmadaki hataların ortadan kaldırılması, ekip çalışmasına önem verilmesi, başarılı firmaların tecrübelerinden yararlanılması, stratejik plân ve hedefler yer alır. Bu anlayış ile, müşterilerin istek ve beklentileri doğrultusunda ürün ve hizmet sunmak aynı zamanda verimliliğinin artmasını sağlar.

Toplam kalite yönetiminin temel elemanları; üst yönetimin liderliğinde katılımçılık ve yaratıcılık, müşteri ve kalite odaklılık, önlemeye dönük yaklaşım ile süreç odaklılık, çalışanların eğitimi ve insana yatırım, ekip çalışması, hedefler ile yönetim ve sürekli geliştirme sürecinin benimsenmesi ve uygulanmasıdır. Toplam kalite yönetiminin etkin olarak uygulanabilmesi için sürekli gelişme fikrinin firmanın tüm çalışanları tarafından benimsenmesi zorunludur. Sürekli gelişme aslında Walter A. Shewart tarafında ortaya konulan ve Edwards Deming tarafından geliştirilen ve “ Deming Döngüsü” olarak da adlandırılan bir döngüdür.

Şekil 1. Sürekli Gelişme ve Hedefler ile Yönetim(PUKO) Döngüsü



Sürekli gelişme ve hedefler ile yönetim döngüsüne aynı zamanda PUKO döngüsü de denir. Şekil 1’de yer alan PUKO döngüsünün birinci adımında, geliştirilmek istenen olgu ile ilgili hedefler belirlenir ve plânlanır. İkinci adımda, plânlanan işler küçük bir bölüme uygulanır. Üçüncü adımda, uygulama sonuçları gözlenir ve kontrol edilir. Son adımda ise, uygulama sonuçları incelenerek gerekli önlemler alınır. Uygulamanın olumlu ya da olumsuz yanları göz önünde bulundurularak karar verilir. Daha sonra yeni değişiklikler söz konusu ise tekrar plânlama ve uygulama yapılarak kontrol edilir ve gerekirse önlem alınır. Bu aşamalar izlenerek döngü sürekli olarak tekrar edilir.

Toplam kalite yönetiminde; işi ilk seferde doğru yapma anlayışı, ortaya çıkacak olası hataların önceden belirlenip önlem alınmasına imkân sağlar. Böylece maliyetler düşer. Deming’e göre; kalite, maliyet, verimlilik ve kâr arasında Şekil 2’de görüldüğü gibi zincirleme bir reaksiyon vardır. Kalitenin artması; maliyetin azalmasını, verimliliğin ve kârın artmasını sağlar.

Şekil 2 incelendiğinde kalitenin iyileştirilmesi sonucunda maliyetlerin azaldığı, azalan maliyetlerin verimlilik artışı sağladığı ve bu iyileşme fiyatlara yansiyarak ürün fiyatını düşürdüğü görülür. Böylece düşük fiyat, firmanın pazar payının artmasına ve şirketin ömrünün uzamasına neden olur. Bu zincirleme reaksiyon, sürecin devamlılığını ve daha çok iş olanağına imkân sağlar. Daha çok iş olanağı da daha çok kârı doğurur. Dolayısıyla firmada işletme faaliyetlerinin sürekliliği ve iyileştirilmesi, çalışanların daha çok motivasyonu ve yeni iş fırsatları yakalamalarında etkin olur.

Şekil 2. Deming'in Zincirleme Reaksiyonu



2. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROL TEKNİKLERİ

İstatistiksel kalite kontrol teknikleri, sürecin; tasarım, üretim, ürün sonrası hizmetlerin her aşamasında uygulanmaktadır. Satın alınan malzemenin kalitesinin geliştirilmesi, işgücü ve malzeme kullanımında tasarruf sağlanması, muayene maliyetlerinin düşürülmesi, kusurlu ürün kalitesinin iyileştirilmesi, üretici ile tüketici arasındaki ilişkilerin geliştirilmesinde bu teknikler faydalıdır.

İstatistiksel kalite kontrol teknikleri; sürecin kontrol altına alınmasını, kontrol dışına çıkan sürece ait nedenlerin belirlenmesi ve bunların ortadan kaldırılmasında önemli rol oynar. Herhangi bir sürecin kontrol dışına çıkmasında değişkenliğin etkisi söz konusudur.

Günümüzde yüksek teknoloji kullanılmasına rağmen değişkenliği tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. Süreçteki değişkenlik, özel ve genel nedenlere bağlıdır. Süreçteki özel nedenler: Hammaddenin homojen olmaması, makinanın bozulması, kullanılan araç-gerecin aşınması, işçilerin dikkatsizliği, ürünün birden fazla makinadan geçmesi durumunda süreçlerdeki herhangi bir makinada aksaklık meydana gelmesidir. Genel nedenler; üretim faktörlerinin tümünde rassal olarak ortaya çıkan tek başına etkileri zayıf olan ve küçük farklılıklar yaratan ortak nedenlerdir. Titreşim, sıcaklık, nem, gerilim dalgalanması genel nedenlere örnek gösterilebilir. Genel nedenlerin etkisi altındaki bir süreç istatistiksel olarak kontrol altındadır.

İstatistiksel kalite kontrol teknikleri uygulama zorluğuna göre; temel, orta düzey ve ileri düzey olarak üç grupta toplanır. Temel istatistiksel teknikler; frekans dağılımı, histogram, pareto çözümlemesi ve diyagramı, balık kılıcı diyagramı, gruplandırma, serpilme diyagramı ve kontrol

grafikleridir. Orta düzeydeki istatistiksel teknikler ise; örneklem araştırması teorisi, örneklem muayenesi, istatistiksel tahmin ve duyarlılık testlerine ilişkin teknikler ve deney plânlaması teknikleridir. İleri düzeydeki istatistiksel teknikler ise; çok değişkenli çözümleme, yöneylem araştırması teknikleri ve ileri düzey deney plânlaması teknikleridir. Bu tekniklere ek olarak, problem belirlenmesinde ve çözümlenmesinde “Beyin Fırtınası”, “K5N” sorgulama yöntemi kullanılır.

Temel düzey istatistiksel kalite kontrol tekniklerinden biri olan kontrol grafikleri, daha çok normal dağılan süreçlere uygulanmakla birlikte normal dağılım göstermeyen süreçlere de uygulanması mümkündür. Bir süreçten elde edilen ürünlerin istenilen özellikleri gösterip göstermediği kontrol edilmesi aşamasında ölçülebilir veya değerlendirilebilir nitelikler ile karşılaştırılır. Ölçülebilir özelliklere sahip olan bir süreç için “Nicel Kontrol Grafikleri” değerlendirilebilir özelliklere sahip olan bir süreç için ise “Nitel Kontrol Grafikleri” kullanılır. Nicel kontrol grafikleri; ortalama (\bar{x}) ve aralık (R), ortalama ve standart sapma (S), bireysel gözlem değerleri (I) ve hareketli aralık (MR); nitel kontrol grafikleri ise; kusurlu oranı (p), kusurlu sayısı (np), kusur sayısı(c), birim başına kusur sayısı (u) kontrol grafiklerini içerir.

2.1. Nicel Kontrol Grafikleri

Üretimden belirli ve eşit zaman aralıklarında alınan örneklerden elde edilen ölçüm değerlerinin zaman içerisindeki değişimlerinin gösterildiği grafiklere kontrol grafikleri adı verilir. Kontrol grafikleri belirlenebilir nedenlerden kaynaklanan değişmelerin tespit etmek ve düzeltilmesine imkân tanıyan etkili bir istatistiksel süreç kontrol aracıdır (Elevli ve Behdioğlu, 2006: 1).

Süreç ortalamasının kontrolünde ortalama olarak ifade edilen X kontrol grafiği, sürecin değişkenliğinde standart sapma için S kontrol grafiği, aralık kontrolü için R kontrol grafiği kullanılır(Montgomery,2001:207). R ve S kontrol grafiklerinden hangisinin tercih edileceği örneklem hacmine bağlıdır. Örneklem hacminin 10’un altında olması durumunda X ve R kontrol grafiklerinin, 10’a eşit ve üzerinde olması durumunda ise X ve S kontrol grafiklerinin kullanılması önerilmektedir (Işığışok, 2012: 181).

2.1.1.Ortalama ve Aralık Kontrol Grafikleri

X-R kontrol grafikleri; kalite karakteristiklerinin ölçülebilen, sayısal olarak ifade edilebilen, değişkenlerde kullanılan kontrol grafikleridir. Bir kalite karakteristiğinin ortalaması μ ve standart sapması σ olan normal dağılıma uyduğu ve süreç parametrelerinin (μ ve σ) bilindiği kabul edildiğinde, n örnek büyüklüğüne sahip örnek ortalaması aşağıdaki gibidir:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (1.1)$$

\bar{X} , μ ortalama ve σ_x standart sapmasına sahip normal dağılıma uymaktadır. μ ve σ 'nın bilinmediği durumlarda ise bu değerler, sürecin kontrol altında olduğu düşünüldüğünde alınan alt örneklerle tahmin edilmektedir. Yapılacak bu tahminler için örnek büyüklüğü en az 25 olmalıdır. Her biri n adet gözleme sahip m adet örnek olduğu varsayıldığında, $\bar{X}_1, \bar{X}_2 \dots \bar{X}_m$ her örneğin ortalaması iken süreç ortalaması yani örneklem ortalamalarının ortalaması aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_m}{m} \quad (1.2)$$

$X_1, X_2 \dots X_n$ n büyüklüğünde bir örnek olduğunda, en büyük ve en küçük gözlem arasındaki farka değişim aralığını denilir. R ile gösterilen değişim aralığı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$R = X_{enb} - X_{enk} \quad (1.3)$$

$R_1, R_2 \dots R_m$ m örneğin değişim aralığı iken, ortalama değişim aralığı aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad (1.4)$$

\bar{X} kontrol grafiğine ilişkin orta çizgi (OÇ), üst kontrol limiti (ÜKL) ve alt kontrol limiti (AKL) formülleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{ÜKL} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ \text{OÇ} &= \bar{\bar{X}} \\ \text{AKL} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \end{aligned} \quad (1.5)$$

R kontrol grafiğinin orta çizgi ve kontrol limitleri aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\dot{U}KL = D_4 \bar{R}$$

$$O\dot{C} = \bar{R}$$

$$AKL = D_3 \bar{R} \quad (1.6)$$

2.1.2 Ortalama ve Standart Sapma Kontrol Grafikleri

Örneklem hacmi n , $n > 10$ veya $n > 12$ gibi orta büyüklükte olduğu durumlarda ve örneklem hacmi değişkenlik gösterdiği durumlarda standart sapma kontrol grafiği kullanılır (Montgomery, 2001: 239).

Bir olasılık dağılımın varyansı (σ^2) bilinmediğinde, standart sapma değeri örneklem varyansından yararlanılarak tahmin edilir. Örneklem varyansı s^2 bilinmeyen varyans σ^2 nin yansız bir tahmincisidir.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (1.7)$$

Örneklem standart sapması s , dağılımın standart sapması σ nın yanlı bir tahminidir. Bu yanlılık düzeltme faktörü c_4 ile kaldırılmaktadır. Bu bilgilere ve sürecin standart sapması σ bilindiğinde s kontrol grafiğinin sınırları aşağıdaki gibidir (Montgomery, 2001: 241-242).

$$\dot{U}KL = B_6 \sigma$$

$$O\dot{C} = c_4 \sigma$$

$$AKL = B_5 \sigma \quad (1.8)$$

Süreç parametrelerinin bilinmediği durumlarda ise σ , geçmiş veriler analiz edilerek oluşturulmalıdır. Buna karşılık n büyüklüğünde m adet örnek varken s_i ' nin i. örneğin standart sapması olduğu kabul edildiğinde, m adet standart sapmanın ortalaması aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\bar{s} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i \quad (1.9)$$

Bu durumda s kontrol grafiğinin sınırları aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \bar{ÜKL} &= \bar{x} + A_3 \bar{s} \\ \bar{OÇ} &= \bar{x} \\ \bar{AKL} &= \bar{x} - A_3 \bar{s} \end{aligned} \quad (1.10)$$

3. SÜREÇ YETERLİLİK İNDEKSLERİ

Süreç yeterlilik çalışmasının başlatılması için şu üç koşulun sağlanması gerekir:

- Süreç kontrol altında olmalıdır.
- Gözlem değerleri normal dağılmalıdır.
- Sürecin değişkenliği spesifikasyon sınırları içinde olmalıdır

Süreç yeterlilik çözümlemesinde kullanılan Süreç yeterlilik indeksleri C_p ve C_{pk} biçiminde gösterilir.

Üst ve alt spesifikasyon sınırları arasındaki aralık ile süreç, standart sapması arasındaki ilişkiyi dikkate alan ve çift taraflı spesifikasyon olarak da adlandırılan C_p indeksi

$$C_p = \frac{USL - LSL}{UCL - LCL} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1.11)$$

şeklinde hesaplanır.

C_p değerinin 1'den büyük olması, süreçten kusursuz ürün elde edildiği anlamına gelmeyip, sürecin doğru olarak ayarlanması durumunda, belirtilen toleranslarda üretim yapılmasını sağlar. C_{pk} indeksi, süreç ortalaması ile spesifikasyon sınırları arasındaki ilişkiyi standart sapma terimleri ile ifade eder.

$$C_{pk} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad C_{pk} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (1.12)$$

C_p indeksi sürecin sadece değişkenliğini gösterirken, C_{pk} indeksi sürecin hem değişkenliğini hem de merkezlenme durumunu yani konumunu ortaya koyar. C_{pk} indeksinin C_p indeksinden daha üstün olmasına karşılık, karar aşamasında her iki indekse göre karar verilmesi daha uygundur.

$C_p = 1$ olması durumunda, süreç kararlılık seviyesi yeterli gibi görünse de, süreç %0.27 oranında hala kusurlu ürün üretmektedir.

C_p değerinin tam 1 olması, süreç ortalaması ile spesifikasyon ortalamasının çakışması dışında, alt ve üst kontrol sınırlarının alt ve üst spesifikasyon sınırları ile çakışması durumunda mümkün olur. Bu durumda, sürecin yeterliliği minimum sınırdadır.

Sürecin yeterlilik indekslerinin 1'in altına düşmesi durumunda, süreçten elde edilen ürünlerin müşteri isteklerini karşılamakta yetersiz olduğu ve bu ürünlerin kusurlu oldukları söylenir.

C_{pk} değeri 1'den başlayarak sırasıyla 1.33, 1.67, 2.00, 2.33, 2.67, 3.00, 3.33, 3.67, ... değerlerine ulaşacak şekilde sürekli olarak arttırılmakta ve hedefler bu esasa göre belirlenmektedir (Işığık, 2012: 260-264).

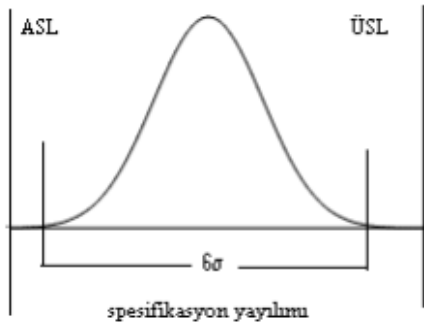
C_p ve C_{pk} 'nin aldığı değerlere göre süreç yeterlilik indeksleri aşağıdaki gibi yorumlanır:

$C_p \leq 1$ ise; süreç yetersiz, $1 < C_p \leq 1.33$ ise süreç kabul edilebilir, $C_p > 1.33$ ise; süreç yeterlidir. $C_{pk} = 1$ ise; verilerin bir kısmı spesifikasyonlara yaklaşır. $C_{pk} > 1$ olduğunda verilerin tamamı spesifikasyon sınırları içine düşer. $0 < C_{pk} \leq 1$ olduğunda, süreç ortalaması spesifikasyon sınırları içinde yer alır. Bu durum sürecin yetersiz olduğunu gösterir. $C_{pk} = 0$ ise; süreç ortalaması

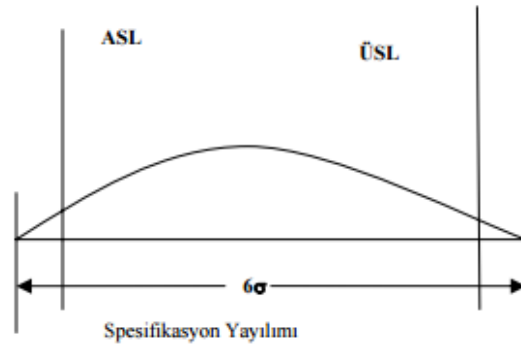
ile spesifikasyon sınırları birbirine eşittir, süreç yeterli değildir. $C_{pk} < 0$ olduğunda ise; süreç ortalaması spesifikasyon sınırlarının dışındadır, süreç yeterli değildir.

Yeterlilik analizi için, sürecin normal dağılıma sahip ve kontrol altında olması gerekmektedir. Sürecin kontrol altında olması durumu, her zaman spesifikasyonları karşılamada yeterli olduğunu göstermez. Aşağıdaki şekillerde sürecin yeterli ve yetersiz olduğu durumlar gösterilmektedir.

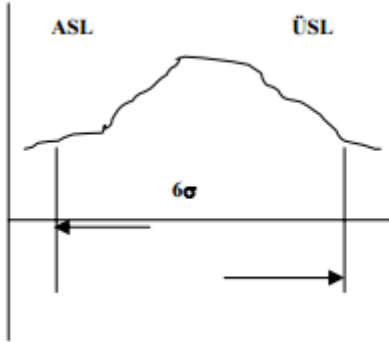
Şekil 3. Kontrol Altında ve Yeterli Bir



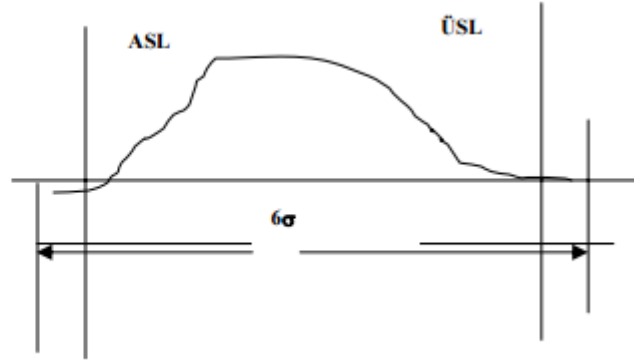
Şekil 4. Kontrol Altında ve Yetersiz Bir Süreç



Şekil 5. Kontrol Dışı ve Yeterli Bir Süreç



Şekil 6. Kontrol Dışı ve Yetersiz Bir Süreç



Sonuç olarak, yeterlilik indeksleri sürecin spesifikasyonlarını karşılayıp karşılamadığını belirlemek için kullanılırken spesifikasyonlar ise; ürünün meydana getirilmesi için belirlenen kurallardır. Müşteriler, satın aldıkları ürünlerin spesifikasyonları karşılayıp karşılamadığını bilmek istediğinden bu indeksler hesaplanır(Şahin, 2013: 57-58).

4. MAKİNA YETERLİLİĞİ

Makina yeterliliği aynı süreç koşullarında (aynı operatör, aynı kontrolör, aynı hammadde, aynı çalışma ortamı, homojen hammadde vb.) makinanın tekrar üretilebilirliğini ifade eder ve belirlenen

standarda göre makinanın göstermiş olduğu gerçek performans olarak tanımlanır(Işığışık, 2012: 282).

Makine yeterlilik analizinde izlenecek adımlar şunlardır(Güngör, 2013: 44):

1. Öncelikle incelenecek sürecin, çalışma karakteristikleri ve spesifikasyonları belirlenir.
2. Ne yapıldığı konusunda operatör bilgilendirilir.
3. Normal üretim koşullarında, nominal değere ayarlanmış bir makine ile kesintisiz bir çalışma sağlayacak koşullar sağlanır.
4. Makine spect değerinin nominal değerine göre ayarlanarak ard arda 50 ölçü değeri kaydedilir.
5. Ürünler, toplam limitin 1/10'u hassasiyetinde kalibrasyonu yapılmış bir ölçme aracı ile ölçülür ve sonuçlar sıra numarası verilerek kaydedilir.
6. Frekans dağılımında veriler işaretlenir. Verilerin normal dağılıma sahip olması beklenir. Verilerin dağılımı normal dağılıma sahip değilse; makine yeterlilik katsayıları hesaplanmadan, süreçteki özel nedenler araştırılarak sorunların giderilir ve sonra işlemler tekrarlanır.
7. Makine yeterlilik indeksleri (C_m , C_{mk}) hesaplanır. Makine yeterlilik indeksleri minimum (özellikle ISO/TS 16949 için) 1,67 olmalıdır. Makine yeterlilik indeksleri(C_m , C_{mk}) formülleri aşağıda verilmiştir.

$$C_m = \frac{\ddot{U}KL - AKL}{6s} \quad (1.13)$$

$$C_{mk} = \frac{\bar{x} - AKL}{3s} \quad \text{veya} \quad C_{mk} = \frac{\ddot{U}KL - \bar{x}}{3s} \quad (1.14)$$

5. UYGULAMA

Çalışmada Bursa ilinde otomotiv sektöründe yer alan bir fabrikada üretilen otomobillerin sağ ve sol ön kapı dinamik kapanma hız ölçümlerinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı, sürecin ve makinanın yeterliliği belirlenmeye çalışılmıştır. 2017 Ocak ayında her saat başında rassal olarak 5'er birimlik 25 tane örneklem alınmıştır. Sağ ve sol kapı kapanma hızlarının alt ve üst

spesifikasyon sınırları 5-11 saniye arasında olması gerekmektedir. Verilerin \bar{x} ortalama ve standart sapma kontrol grafikleri çizilerek incelenmiştir. Sürecin yeterliliği C_p ve C_{pk} indeksleri ve makine yeterlilik C_m ve C_{mk} indeksleri hesaplanmıştır. İlk olarak süreç yeterlilik çalışması için, 2017 Ocak ayına ait sağ kapı kapanma hızlarına ait verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığı Kolmogorov Smirnov testiyle analiz edilmiştir. İstatistiksel testimiz için; verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığına ilişkin ilgili hipotezler aşağıda yer almaktadır.

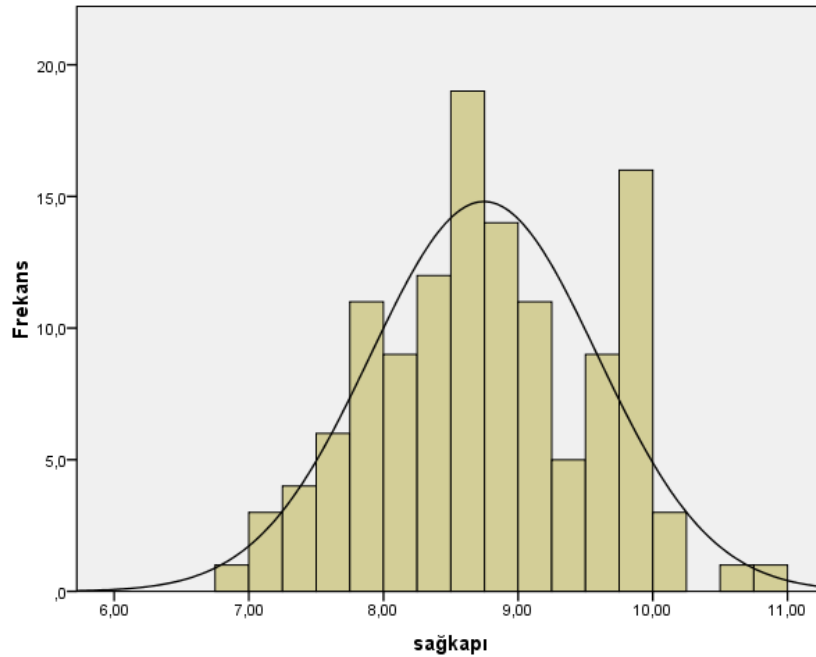
H_0 : Verilerin dağılımı normal dağılıma sahiptir.

H_1 : Verilerin dağılımı normal dağılıma sahip değildir.

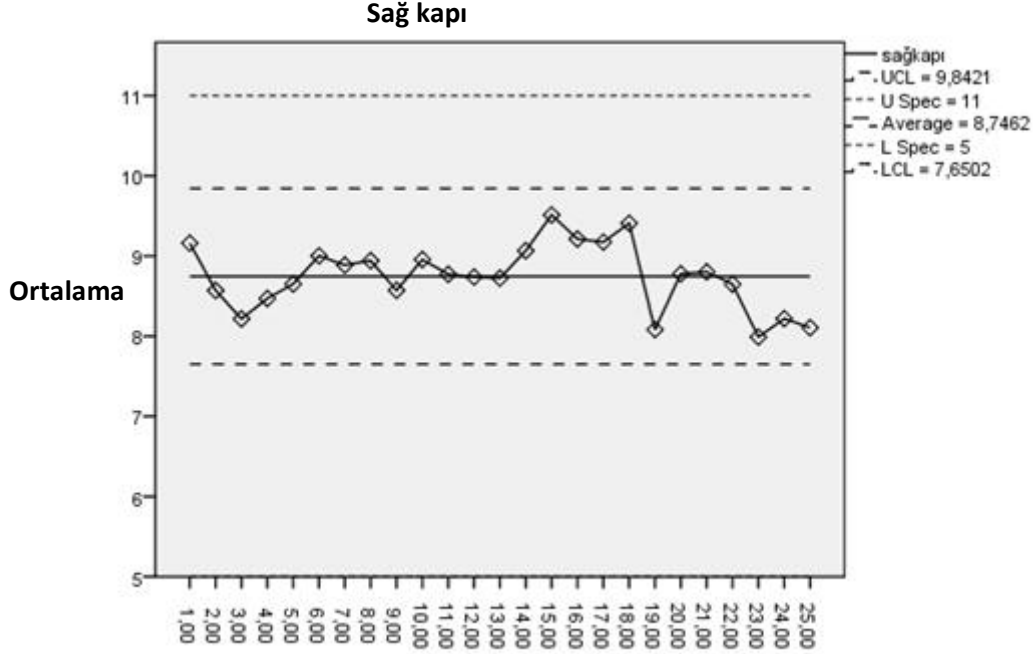
Kolmogorov Smirnov test istatistiği=0,074 ve p değeri=0,089 bulunmuştur. %5 anlamlılık düzeyinde $p \geq 0,05$ olduğu için H_0 kabul edilir. Sağ kapı kapanma hızlarına ait veriler normal dağılıma sahiptir.

2017 Ocak ayına ilişkin sağ kapı kapanma hızlarına ait çizilen histogram aşağıda verilmiştir.

Şekil 7. Sağ Kapı Kapanma Hızlarına İlişkin Histogram Grafiği

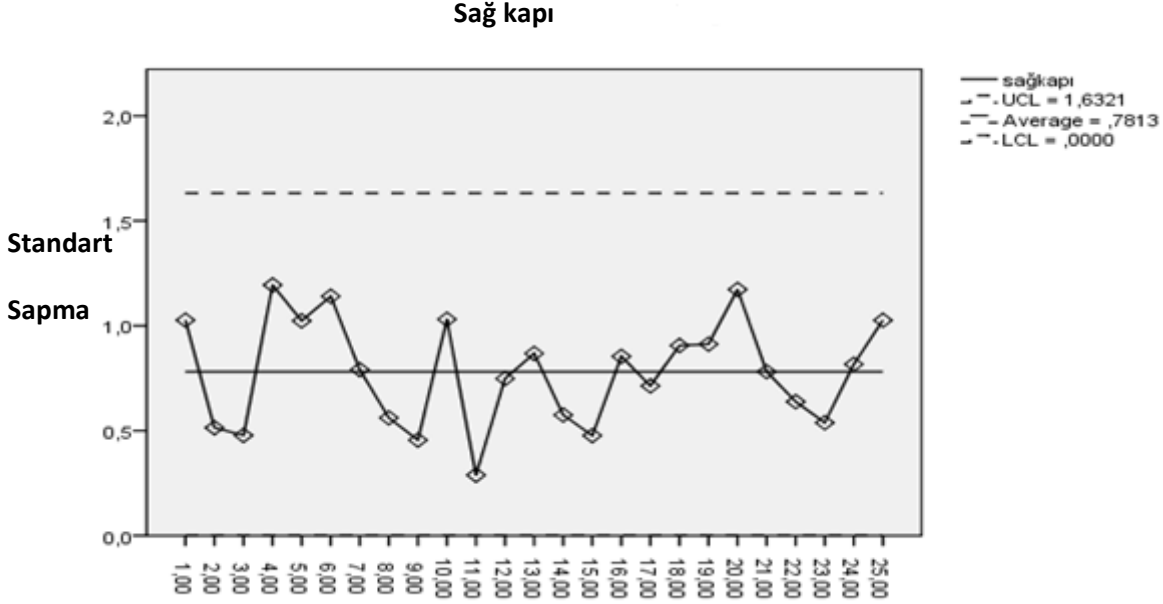


Şekil 8. Sağ Kapı Kapanma Hızlarına İlişkin Ortalama Kontrol Grafiği



2017 Ocak ayına ilişkin sağ kapı kapanma hızlarına ait çizilen x ortalama grafiği Şekil 8’de gösterilmektedir. Grafikte orta çizgi 8,7462, üst kontrol sınırı 9,8421 ve alt kontrol sınırı 7,6502 elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi; gözlem değerleri kontrol sınırları içerisinde yer almaktadır. Dolayısıyla süreç kontrol altındadır.

Şekil 9. Sağ Kapı Kapanma Hızlarına İlişkin Standart Sapma Kontrol Grafiği



2017 Ocak ayına ilişkin sağ kapı kapanma hızlarına ait çizilen standart sapma grafiği Şekil 9’da gösterilmektedir. Grafikte orta çizgi 0,7813, üst kontrol sınırı 1,6321 ve alt kontrol sınırı 0,00 elde edilmiştir. Gözlem değerlerinin değişkenliği kontrol sınırları içerisinde yer aldığından sürecin değişkenliği kontrol altındadır.

Sağ kapanma hızlarına ilişkin süreç yeterlilik indeksleri hesaplanmış $C_p=1,30$ ve $C_{pk}=0,94$ bulunmuştur. $C_p > 1$ olduğundan süreç kabul edilebilir. Sürecin spesifikasyonları karşıladığı ifade edilir. Ancak süreç minimum düzeyde yeterlidir ve kusurlu ürün üretimi söz konusudur. Firma süreçte yapılabilecek düzeltici işlemlerle kontrol sınırını daraltarak C_p ve C_{pk} değerinin 1,33’ün üzerine çıkmasını sağlayabilir.

C_p ve C_{pk} değerleri 1’den daha büyük olduğunda sürecin yeterliliği de artar. Sonrasında makine yeterlilik indekslerini hesaplanmış ve $C_m=1,19$ $C_{mk}=0,90$ olarak bulunmuştur. Bu değerler 1,33 değerinin altında olduğu için makine yeterliliği sağlanamamıştır. Firma kapı kapanma hızlarını ölçen mevcut makine ve araç gereçlerinin ayarlarını, aşınma ve yıpranma durumlarını belirleyerek önleyici bakım çalışması yapması gereklidir. Kapı kapanma hızları müşteri için önemlidir. Kapanmayan yada geç kapanan kapılardan müşteri rahatsız olabilir. Müşterinin memnuniyeti söz konusu olduğu için her iki kapının kapanma hızlarının birbirine yakın olması gerekir. Kapı kapanma hızlarının güvenlikle

ilgisi olmamakla birlikte hiç kapanmayan bir kapı seyahat halindeki araçta bulunanlar için güvenlik problemi yaratacaktır.

Otomotiv sektörüne getirilen ISO/TS 16949:2009, mevcut ABD, Alman, Fransız ve İtalyan otomotiv kalite sistem gerekliliklerini düzene sokarken, dünyanın her yanındaki tüm otomobil üreticileri tarafından benimsenmesi gereken bir zorunluluk değildir. ISO/TS 16949 kalite yönetim sisteminde Cpk değeri 1,67 iken ISO 9000' de asgari Cpk değeri 1,33 belirlenmiştir.

Cp ve Cpk değerlerinin min 1 , makine yeterliliği için Cm ve Cmk değerlerinin min 1,33 olması istenmesine rağmen bu değerlerin daha yüksek olması sürecin ve makinanın yeterliklerini arttıracaktır.

2017 Ocak ayına ait sol kapı kapanma hızlarına ait verilerin normal dağılıma sahip olup olmadığı Kolmogorov Smirnov testiyle analiz edilmiştir. İstatistiksel testimiz için; verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığına ilişkin ilgili hipotezler aşağıda yer almaktadır.

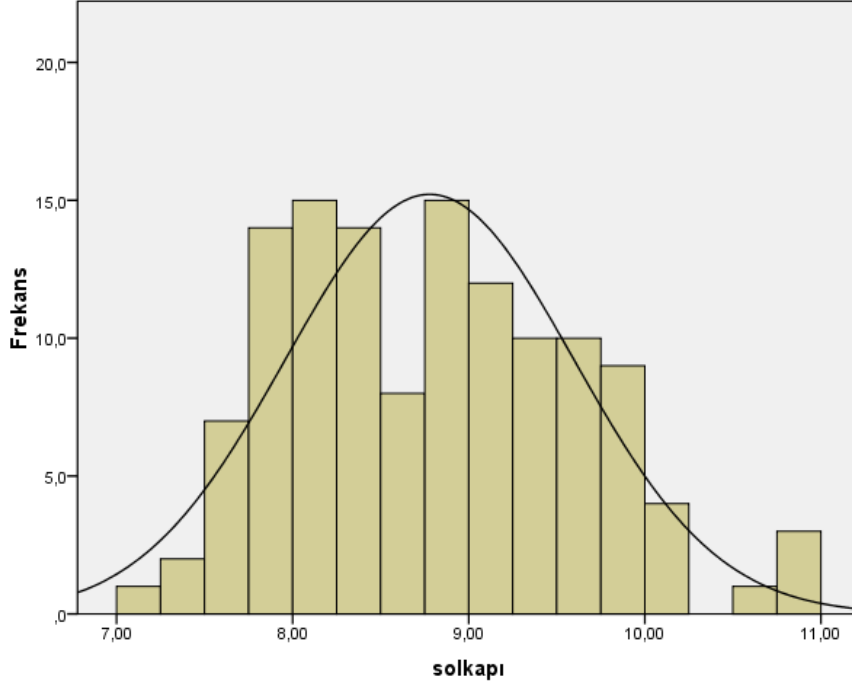
Ho: Verilerin dağılımı normal dağılıma sahiptir.

H1: Verilerin dağılımı normal dağılıma sahip değildir.

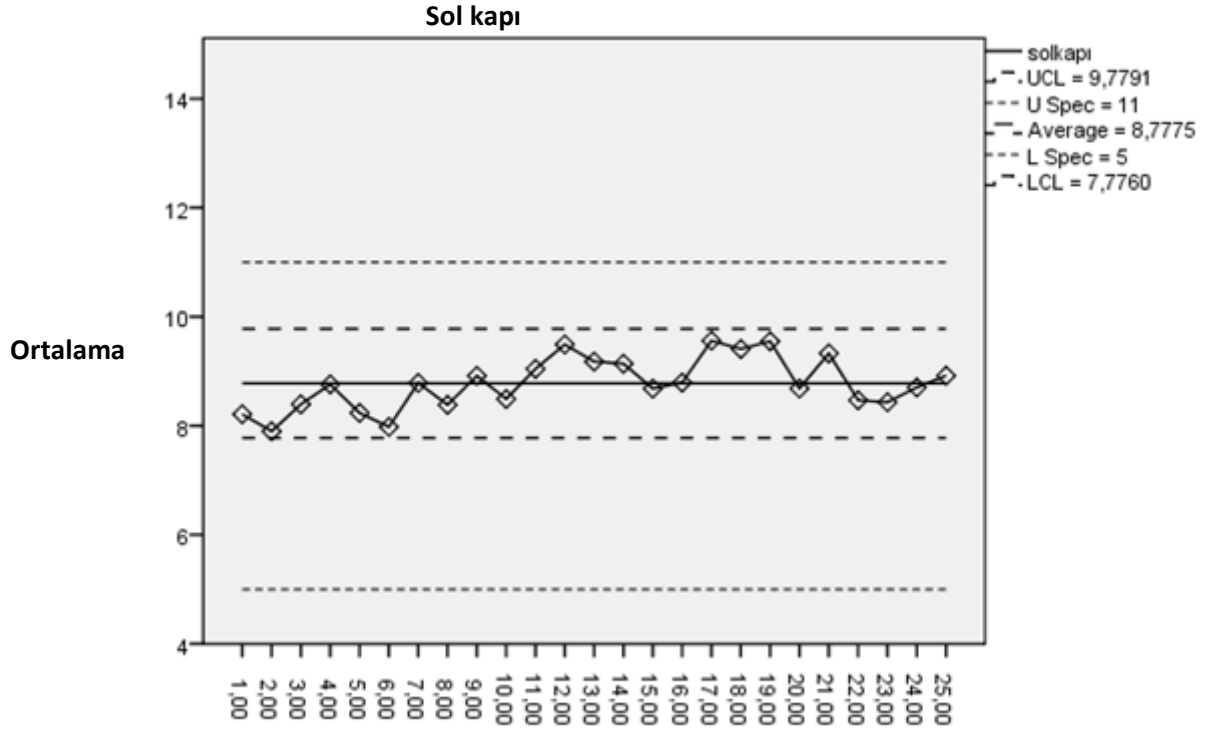
Kolmogorov Smirnov test istatistiği= 0,086 ve p değeri=0,055 bulunmuştur. %5 anlamlılık düzeyinde $p \geq 0,05$ olduğu için Ho kabul edilir. Sol kapı kapanma hızlarına ait veriler normal dağılıma sahiptir.

2017 Ocak ayına ilişkin sol kapı kapanma hızlarına ait çizilen histogram aşağıda verilmiştir.

Şekil 10. Sol Kapı Kapanma Hızlarına İlişkin Histogram Grafiği

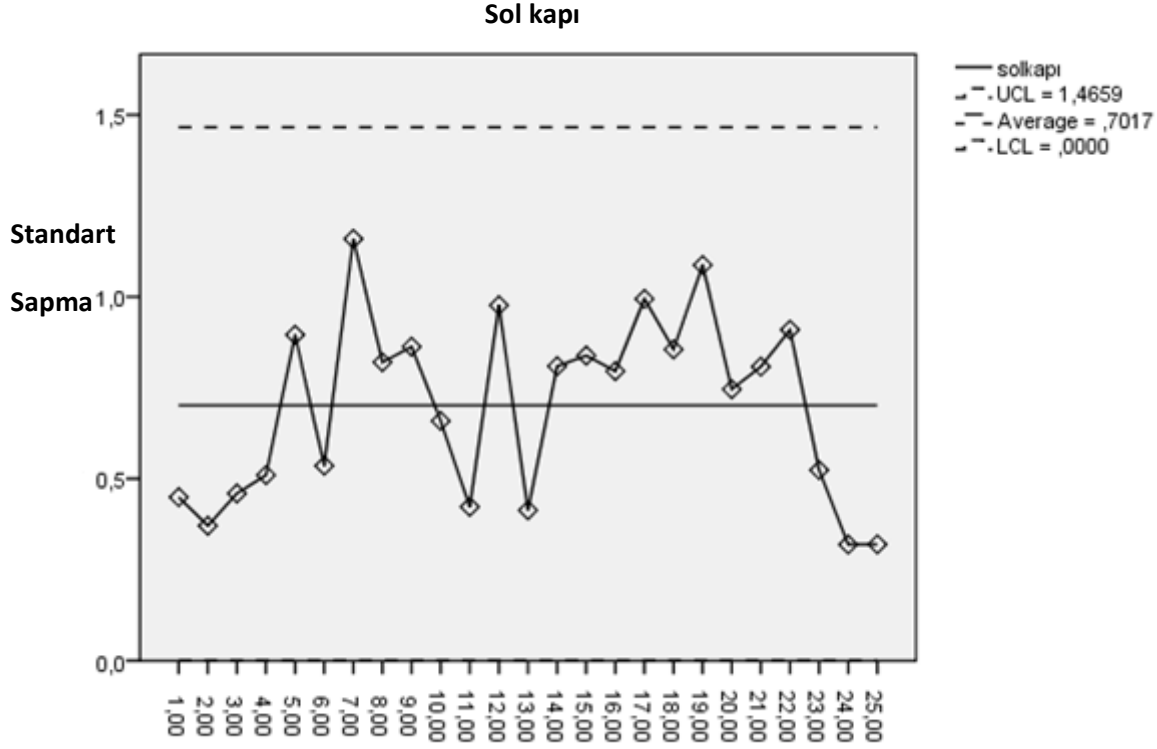


Şekil 11. Sol Kapı Kapanma Hızlarına İlişkin Ortalama Kontrol Grafiği



2017 Ocak ayına ilişkin sol kapı kapanma hızlarına ait çizilen x ortalama grafiği Şekil 11’de gösterilmektedir. Grafikte orta çizgi 8,7775, üst kontrol sınırı 9,7791 ve alt kontrol sınırı 7,7760 elde edilmiştir. Şekil 11’de görüldüğü gibi; gözlem değerleri kontrol sınırları içerisinde yer almaktadır. Süreç kontrol altındadır.

Şekil 12. Sol Kapı Kapanma Hızlarına İlişkin Standart Sapma Kontrol Grafiği



2017 Ocak ayına ilişkin sol kapı kapanma hızlarına ait çizilen standart sapma grafiği Şekil 12'de gösterilmektedir. Grafikte orta çizgi 0,7017, üst kontrol sınırı 1,4659 ve alt kontrol sınırı 0,00 elde edilmiştir. Gözlem değerlerinin değişkenliği kontrol sınırları içerisinde yer aldığından sürecin değişkenliği kontrol altındadır.

Sol kapanma hızlarına ilişkin süreç yeterlilik indeksleri hesaplanmış $C_p=1,34$ ve $C_{pk}=1$ bulunmuştur. $C_p>1,33$ olduğunda süreç yeterli olmaktadır. Sürecin spesifikasyonları karşıladığı ifade edilir. Daha sonra, makine yeterlilik indekslerini hesaplanmış $C_m=1,226$ $C_{mk}=0,908$ olarak bulunmuştur. Bu değerler 1,33 değerinin altında olduğu için makine yeterliliği söz konusu değildir. Firma kapı kapanma hızlarını ölçen mevcut makinelerinin ayarlarını, aşınma ve yıpranma durumlarını belirleyerek önleyici bakım çalışması yapması gereklidir. Önleyici bakım çalışmasında makine ayarlarında giderilebilecek yıpranmalar örneğin titreşim sertlik dişlinin kırılması gibi basit aşınma yıpranma sorunları dışında kullanılan makinelerin günümüz teknolojisine uygun olmadığı ve aynı zamanda istenilen özellikte ürün üretmediği sonucuna varılıyorsa makinelerin yenilenme zorunluluğunu söz konusu olabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz rekabet koşullarında, ürün kalitesinin uluslararası standartlara uygun olması ve istenilen ürün kalitesinde üretim yapılması işletmenin varlığını sürdürebilmesinde önemli bir rol oynar. Üretilen ürünlerin kalite düzeylerinin araştırılması, istatistiksel kalite kontrol teknikleri yardımıyla yapılmaktadır. Kontrol grafikleri ile ürünlerin ölçüm değerleri arasındaki değişkenliği ve sürecin kontrol altında olup olmadığı gözlemlenir. Bu amaçla, Bursa ilinde otomotiv sektöründe yer alan bir fabrikada üretilen otomobillerin ön kapı dinamik kapanma hız ölçümlerinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. 2017 Ocak ayında her saat başında rassal olarak 5'er birimlik 25 tane örneklem alınmış verilerin x ortalama ve standart sapma kontrol grafikleri çizilerek incelenmiş ve sürecin kontrol altında olduğu görülmüştür. Üretim sürecinin performansını ölçmek amacıyla Cp ve Cpk süreç yeterlilik indeksleri hesaplanmış ve sağ ön kapanma hızı kabul edilebilir düzeyde iken sol ön kapanma hız ölçümlerinin yeterli olduğu görülmüştür. Sağ ön kapanma hızı için süreç minimum düzeyde yeterlidir ve kusurlu ürün üretimi söz konusudur. Firma süreçte yapılabilecek düzeltici işlemlerle kontrol sınırını daraltarak Cp ve Cpk değerinin 1,33'ün üzerine çıkmasını sağlayabilir.

Daha sonra, sağ ve sol ön kapanma hızlarına ilişkin ölçümlerin makine yeterlilik indeksi hesaplanmış, sol ön kapanma hızı yeterli iken, sağ ön kapanma hızlarına ilişkin değerlerin yetersiz olduğu görülmüştür. Firmanın, ürün spesifikasyonlarına uygun üretimde bulunabilmesi için mevcut makine araç gereçlerin ayarlarını, aşınma ve yıpranma durumlarını belirleyerek önleyici bakım çalışması yapması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Kapanma hızlarını ölçen makine ve aletlerin ayarında aşınma yıpranma ve bir problem yoksa çalışan personelin ölçüm konusunda bilgileri ve ölçümleri düzgün not edip etmediği araştırılmalıdır.

Üretim işletmeleri piyasada varlığını sürdürebilmesi için, Cp ve Cpk indekslerini hesaplayarak üretimini sürdürmesi gerekmektedir. Cp ve Cpk değerlerinin min 1, makine yeterliliği için Cm ve Cmk değerlerinin min 1,33 olması istenmesine rağmen bu değerlerin daha yüksek olması sürecin ve makinanın yeterliliklerini arttıracaktır.

Uygulanan istatistiksel kalite kontrol teknikleri yardımıyla kusurlu ürün üretimi minimum düzeye indirilir. Böylece, işletmelerin maliyetlerinde önemli ölçüde azalma söz konusu olup istenilen ürün kalitesi elde edilebilir.

KAYNAKÇA

- Ala, D. M. ve İkiz, Y. (2014). “Dokuma Üretimi Süresince Oluşan Kumaş Hatalarının Belirlenmesine Yönelik İstatistiksel Bir Araştırma”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 21(7):282-287.
- Amin, R. W. ve Ethridge R. A. (1998). “A Note On Individual and Moving Range Control Charts”, Journal of Quality Technology, 30(1):70-74.
- Bangphan, S.,Bangphan, P. ve Boonkang, T. (2014). Process Capability Analysis by Using statistical Process Control of Rice Polished Cylinder Turning Practice. International J. of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering 8(12),2037-2043.
- Besterfield, D. (2004). “Quality Control”, Pearson Prentice Hall, Seventh Edition, New Jersey.
- Bircan, H. ve Gedik, H. (2003). “Tekstil Sektöründe İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri Uygulaması Üzerine Bir Deneme” Cumhuriyet Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 4(2): 69-79.
- Czarski, A., Satora, K.ve Matusiewicz, P. (2007). Statistical Methods In Quality Management Process Capability Analysis, Metaurgy and Foundry Engineering 33(2):121-128.
- Çakırkaya, M. ve Acar, Ö.E.(2016). “Bir Üretim Hattında Meydana Gelen Hataların Önem Derecelerinin İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinden Pareto Analizi İle Belirlenmesi”, Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi ,13(36):272-288.
- Çolak, T.ve Akdeniz, F. (2008). “Elyaf İşletmelerinde İstatistiksel Süreç Kontrolünün Uygulanması”, Çukurova Üniversitesi Enstitüsü 17(5):86-94.
- Elevli, S.ve Behdioğlu, S. (2006). “İstatistiksel Proses Kontrolü Teknikleri ile Kömür Kalitesindeki Değişkenliğin Belirlenmesi”, Madencilik, 45(3):19-26.
- Işığışık, E. (2012). “Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol”, Ezgi Kitabevi, Genişletilmiş 2. Baskı, Bursa.
- Jugulum, R.ve Şefik, M., (1998), “Building A Robust Manufacturing Strategy”, Computers & Industrial Engineering, 35: 225-228.
- Kahraman, C.ve Kaya, İ. (2009). “Süreç Doğruluk İndeksi ve Bulanık Karar Ortamında Kullanılması”, Tübvav Bilim Dergisi, 2(2):148-156.



- Kakuro, A. (2000). “A Demonstrative Study of a New SQC Concept and Procedure in the Manufacturing Industry”, *Mathematical and Computer Modelling*, 31:1-10.
- Kaya, İ. ve Ağa, A.(2004). “Kalite İyileştirme Sürecinin Yedi Temel Aracı ve Motor-Traktör İmalatı Yapan Bir İşletmede Uygulanması”, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11: 423-446.
- Krishnamoorthi, K. S. (2006). “A First Course In Quality Engineering Integrating Statistical and Management Methods of Quality”, Pearson Hall, USA.
- Kumar, S. ve Gupta, Y.P.(1993). “Statistical Process Control At Motorola’s Austin Assembly Plant”, *Interfaces*, 23(2):84-92
- Montgomery, C. D.(2001). “Introduction To Statistical Quality Control”. John Wiley & Sons, Fourth Edition, New York.
- Öztürk, Ahmet(2009). “Kalite Yönetimi ve Planlaması”, Ekin Kitabevi, Bursa.
- Parkash, V., Kumar, D.ve Rajoria, R. (2013). “Statistical Process Control”, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(8):70-72.
- Pavol, G. (2015). “Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control”, *Procedia Economics and Finance*, 34: 565-572.
- Reynold, R. M.; Stoumbos, Z. G.(2001). “Monitoring The Process Mean and Variance Using Individual Observations and Variable Sampling Intervals”. *Journal of Quality Technology*, 33(2), 181-205.
- Simanova, L.ve Gejdos, P. (2015). “The Use of Statistical Quality Control Tools to Quality Improving In The Furniture. Business”, *Procedia Economics and Finance*, 34:276-283.
- Şahin, O. (2013). “İstatistiksel Proses Kontrolünde Proses Yeterlilik Analizi ve Tekstil Endüstrisinde Uygulama”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 27(2): 253-271.