



Alınış tarihi (Received): 13.04.2018
Kabul tarihi (Accepted): 13.12.2018

Baş editor/Editors-in-Chief: **Ebubekir ALTUNTAŞ**
Alan editörü/Area Editor: **Turgut ÖZSEVEN/Bülent TURAN**

Kalitenin İyileştirilmesi Amacıyla İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemlerinin Kullanılması Üzerine Havacılık ve Uzay Sektöründe Bir Uygulama

Fatma YILMAZ^a

Taner ERSÖZ^b

^aEndüstri Mühendisliği / TÜBİTAK, Karabük Üniversitesi, Türkiye / ftma.yilmaz@hotmail.com

^bAktüerya ve Risk Yönetimi Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye / tanererso@karabuk.edu.tr

ÖZET: Kalite, rekabet ortamının çok önemli bir unsurdur ve firmaya stratejik bir avantaj sağlamaktadır. Bu konuda firmaların kendilerini mükemmelleştirmesi gerekmektedir. Kaliteyi yükseltmenin yolu ise kalitesizliği önlemektir ve bunun temelinde de değişiklik yatar. Bunun içinde birden bire değil sürekli gözlem yaparak sistemi, süreci ve ürün kalitesini geliştirmek gerekmektedir. Ürün kalitesini geliştirmek içinde istatistiksel kalite kontrol tekniklerinden faydalanılır. İstatistiksel kalite kontrol; en az maliyetle, zamanında ve doğru veri üretmektir. Bir üretim veya hizmet sürecinin olağan biçimde devam edip etmediğinin istatistiksel tekniklerle kontrolü, olağan dışı bir durum varsa bunun fark edilebilmesi ve nedenlerinin belirlenerek ortadan kaldırılmasıdır.

Bu çalışmada bir havacılık ve uzay fabrikasında üretilen A400M Kargo tipi askeri uçağa ait iskelet gövde parçasının bir yıllık üretim miktarından belirli bir örneklem miktarı alınarak, hata oranları saptandı, hataların kaynağı bulunarak, mevcut standartlara uyup uymadığı Minitap 17 programı kullanılarak belirlendi. Üretimde yapılan hatalar sonucu ortaya çıkan hatalı ürün sayısının, alt ve üst kontrol sınırları dâhilinde olup olmadığı, müşteri Spesifikasyon aralığına uygunluğu değerlendirildi. Sonuçlar neticesinde çözüm önerisi geliştirildi.

Anahtar Kelimeler – İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri, Kontrol Grafiği, Kalite Kontrol, Makine Yeterliliği, Proses Yeterlilik Analizi, Kalitenin İyileştirilmesi

An Application in Aviation and Space Sector Regarding the Utilization of Statistical Quality Control Methods Aiming to Improve Quality

ABSTRACT: Quality is the most prominent element in competition environment and provides strategical advantage to the companies. Companies have to perfect themselves on this subject. The way to raise quality is to prevent poor quality, the basis of which is change. Therefore, the system, process and product quality should be improved making observations regularly rather than abruptly. Statistical quality control methods are employed for improving quality of the product. Statistical quality control means to produce correct data on time with low cost. Controlling the normality of production or service processes by employing statistical techniques allow people to detect any abnormality, to find out the reasons behind that and to eliminate those reasons.

In this study, a specific number of samples of a skeletal body part of the A400K military cargo aircraft manufactured in an aviation and space factory was determined, failure rate was estimated, the source of the failures was determined and its compliance to the current standards were analyzed employing the Minitap 17 program. It was also evaluated if the number of faulty products caused by the failures occurred during production was within the boundaries of upper and lower control limits. Moreover, its compliance to the customer specification limits was assessed. According to the outcome of the study, a solution offer was developed.

Keywords – Statistical Process Control Techniques, Control Chart, Quality control, Machine Competence, Process Sufficiency Analysis, Quality Improvement

1. Giriş

Günümüz firmalar arasında katı rekabet ortamında birçok faktörün en iyi şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Kalite firmaya stratejik avantaj sağladığından, bu konuda şirketlerin kendilerini mükemmelleştirmesi gerekmektedir (Pekdemir, 1992).

Kalite, işletmeler arası rekabette stratejik bir araç haline gelmiştir. Rekabetin ana hedefi müşteridir ve ancak müşteriye ele geçiren, tatmin eden ve elinde tutan kuruluşlar rekabette başarılıdır. Bunun da ön koşulu kaliteye önem vermektir (Bircan ve Özcan, 2001).

En geniş anlamda kalite, iyileştirilebilen her şeydir. Bu bağlamda, sadece ürün ve hizmette değil, aynı zamanda kişilerin nasıl çalıştıkları, makinelerin nasıl işletildikleri, sistem ve prosedürlerin nasıl yürütüldüğü ile de ilgilidir. Dolayısıyla insan davranışlarını da her yönüyle içermektedir (İmai, 2014).

Kaliteyi yükseltmenin yolu kalitesizliği önlemektir ve kalitesizliğin temelinde değişiklik yatar. Kaliteyi yükseltmek için değişikliği mutlaka izlemek ve belirli sınırlar içinde tutmak gerekir. Kalite birdenbire değil sürekli gelişme ile yükselebilir. Ürünün kalitesini geliştirmek için sistemi geliştirmek, sistemi geliştirmek için de süreçleri kontrol altına almak gerekir. Bunu geliştirmek için de istatistikten yararlanılması gerekmektedir (Tikici, 2004).

Bu makalede, uzay ve havacılık üzerine hizmet veren bir işletmede, firmanın ürettiği A400M uçağına ait bir gövde parçasının üzerinde bulunan beş adet delik için veri noktasına göre pozisyonlarındaki hata oranlarını saptamak ve bu parça üzerinde belirlenen altı noktadaki yüzeylerin eğimlerindeki hata oranlarını Minitap 17 programı kullanılarak bulmak amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

İstatistiksel kalite kontrol, bir ürünün en ekonomik ve yararlı bir şekilde üretilmesini sağlamak amacıyla önceden belirlenen kalite standartlarına uygunluğunu sağlamak ve kusurlu üretimi en aza indirmek için istatistiksel yöntemlerin kullanılmasıdır (Pekmezci, 2005).

Kalite problemlerinin çözümünde istatistiksel teknikleri kullanmadan önce verilerin doğru toplanması gerekmektedir. Gerçek ve doğru verilere dayanmayan değerler kalite problemlerinin çözümünde kullanılamaz. Yanlış ya da gerçeklerle bağdaşmayan veriler, yetersiz veri toplama yöntemleri, veri iletiminden doğan hatalar veya hatalı matematiksel işlemler, anormal değerlerin kullanılıp kullanılmaması, uygun istatistiksel yöntemlerin belirlenmesi istatistik metodlarının kalite kontrolünde kullanımıyla ilgili temel sorunlardır (Bircan ve Özcan, 2001).

İstatistiksel kalite kontrol teknikleri muhteşem yedili olarak da adlandırılan temel istatistik tekniklerinden oluşmakla birlikte, bu projede “Kontrol Grafiği” yöntemi incelenmiştir.

İstatistiksel kalite kontrol tekniklerinin; satın alınan malzemenin kalitesinin geliştirilmesi, işgücü ve malzeme kullanımında tasarruf sağlanması, nihai ürünün geliştirilmesi, kalite özelliğinin temel değişkenliğinin belirlenmesi, kusurlu ürün kalitesinin geliştirilmesi, muayene standartlarının belirlenmesi ve geliştirilmesi, muayene maliyetlerinin düşürülmesi, üretici ile tüketici arasındaki ilişkilerin geliştirilmesi ve ürünün bir tipindeki

üretimden diğerine kolayca dönüşüm yapılması gibi faydaları bulunmaktadır. Bu faydalara sahip olan istatistiksel kalite kontrol tekniklerine; kalite değişiminin belirlenmesi ve kalitenin sürekli olarak geliştirilmesini sağlamak amacıyla başvurulur. Söz konusu teknikler, süreçlerin kontrol altına alınmasını ve kontrol dışına çıkan süreçlere ilişkin nedenlerin belirlenmesini ve bunların ortadan kaldırılmasını sağlar (Rungasamy vd., 2002).

Kalite Kontrol Grafikleri; Kontrol grafikleri, üretimden belirli ve eşit zaman aralıklarında alınan örneklerden elde edilen ölçüm değerlerinin zaman içerisindeki değişimlerinin gösterildiği grafiklerdir. (Hamurkaraoğlu, 2002).

İki tür kontrol grafiği kullanılmaktadır. X-R ve I-MR grafikleridir. İki gösterimde de yatay ekseninde farklı zamanlarda alınmış numunelere yer verilir. Üretim sistemi otomasyon şeklinde olup farklı bölge ve makinalardan işgücüne ihtiyaç duymadan üretilen çok miktardaki ürünler üzerinde hesaplama yapılırken X-R grafiği kullanılmaktadır. Ancak üretimin tek bir merkezde toplanarak bir noktada üretime başlayıp aynı noktada üretimi bitirmesi şeklinde gerçekleşen taşınamayacak büyük parçada ve az sayıda olan üretimler için I-MR grafiği kullanılır (Işığışık, 2012). Uçak gövde iskelet parçası çok büyük bir parça olduğu için üretime bir noktada başlayıp aynı noktada üretimi tamamlanan bir sistemde çalışılmaktadır. Bunun için uygulama tekniği olarak I-MR chart tekniğinden faydalanılmıştır.

Kontrol grafiklerinde, üst kontrol limitinin üstünde veya alt kontrol limitinin altında kalmış nokta mevcutsa, aynı trendin devamlı ve ısrarlı şekilde devam etmesi, merkez hattın aynı tarafında olmak ve kontrol limitleri dâhilinde kalmakla beraber ardışık üç noktadan ikisinin merkezden uzaklaşması ve bu uzaklığın kontrol limitine yaklaşması gibi durumlar söz konusuysa süreçte kontrolsüz bir durum bulunduğu göstergesidir.

I-MR grafiği iki grafikten oluşur. Bunlardan ilki grafiğin üst kısmında bulunan ölçülen değerleri temel alan grafikdir. Bu grafik örneklem olarak alınan gözlem değerlerini belirlenmiş olan UCL-LCL (üst ve alt kontrol limitleri-upper and lower kontrol limits) 'e göre tek tek değerlerini gösterir. Bu verilerden yararlanarak orta nokta hesabını yapar ve sonuç neticesinde meydana gelen sapmaların belirlenmesine olanak sağlar (Micheal, 2000).

Grafiğin alt kısmında ise İki ölçü arasındaki sapmaları temel alan grafik bulunmaktadır. Bu grafik ölçülen değerleri temel alan grafiğinde gözlemlenen ardışık iki veri arasındaki değişimi gösteren grafikdir. Burada da bir orta nokta belirlenerek UCL-LCL kontrol sınırları dâhilinde olup olmadığı gözlemlenir.

İndividual value ve Moving Range olmak üzere iki grafikte de merkeze, yatay eksene çizilen üst ve alt kontrol limit (upper and lower kontrol limit-UCL ve LCL) çizgileri bulunmaktadır. Bunlara ilaveten UCL-LCL kontrol sınır aralığından daha dar bir aralıkta müşteri tolerans aralığı mevcuttur ve sürecin bu sınırları dâhilinde olması beklenmektedir. İlaveten gözlemlenen hataların en alt ve en üst sınırları göz önüne alınarak MR orta nokta hesaplanır.

Capability Analysis – Normality Test, bir sürecin bir dizi spesifikasyon limitini ne derece iyi karşıladığını belirlemek için kullanılan önemli bir tekniğe denir. Bir yetenek analizi, bir süreçten alınan bir veri örneğini temel alır ve genellikle;

UCL-LCL (alt- üst kontrol sınırları),

Sample Mean: Ölçülen değerlerin ortalaması,

Sample N: Veri Miktarı,
 StDev (Overall): Mevcut Standart Sapma,
 StDev (within): Öngörülen Standart Sapma,
 PPM (part per million): Milyondaki Hata Oranı,
 Expected Overall PPM: Milyondaki Mevcut Hata,
 Expected Within PPM: Milyondaki gelecekte gerçekleşmesi öngörülen hata,
 Pp: İşlem Performansı, Ppk: İşlem Performans İndeksi,
 Cp: Sürecin Yeterliliği,
 Cpk: Süreç Yeterlilik İndeksi 'verilerini içerir.

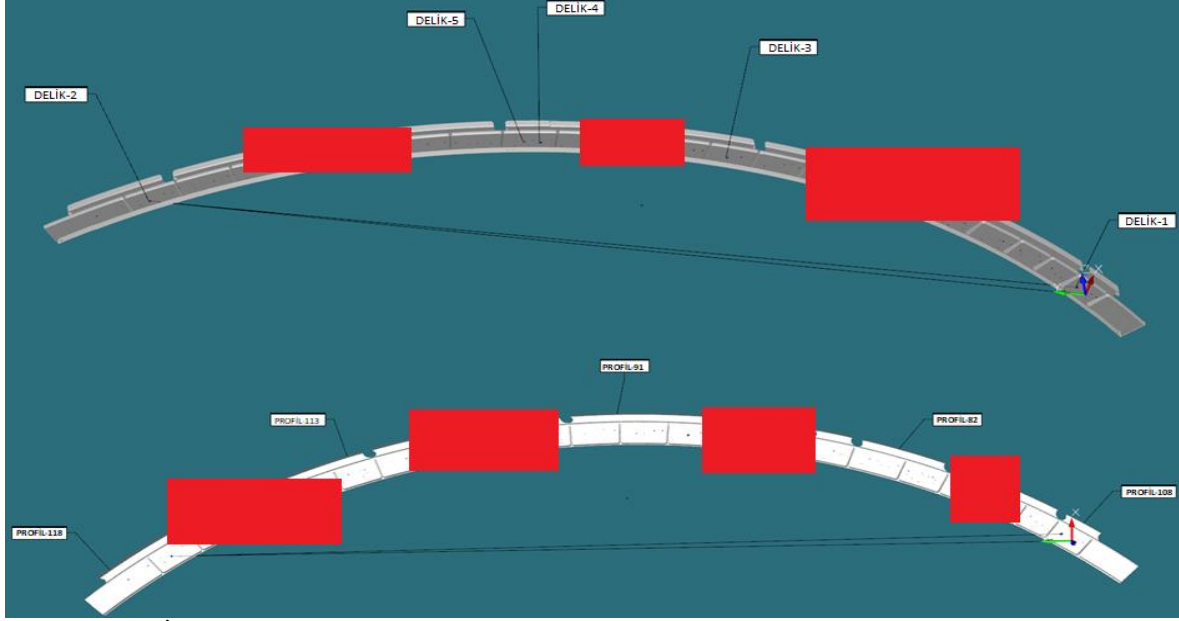
Ürün Bilgileri: A400M: Mevcut ve gelecek Silahlı Kuvvetlerin ihtiyaçlarını karşılamak için 21. Yüzyılın son teknolojilerini birleştiren, en gelişmiş, kanıtlanmış ve sertifikalı hava nakil aracıdır. Stratejik yükler taşıma kabiliyetini, küçük ve hazır olmayan patikalarla taktik konumlara bile dağıtma kabiliyetini birleştirir (Küçükpazarlı, 2017).



Şekil 1: A400M Kargo Tipi Askeri Uçak
Figure 1: A400M Cargo Type Military Aircraft

Buna ek olarak diğer uçakların cephe tankeri gibi davranır. Şekil 1'de A400M kargo tipi bir askeri uçağa ait görsel verilmiştir. Airbus 02 kapı kısmındaki çerçeve iskeletinde kullanılan bir parçadır.

Bu çalışmada, iskelet üzerindeki beş deliğin veri noktasına göre olan pozisyonlarını ve parçanın yüzeye göre konumunda meydana gelen dalgalanmaları belirleyebilmek için altı noktadaki profiller incelenmiştir.



Şekil 2: Parça İskelet Çizim

Figure 2: Piece Skeleton Drawing

Airbus 02 numaralı kapı iskelet parçasına ait çizim Şekil 2’de verilmiştir.

Delikler (Hole) İçin Pozisyon İncelemesi

Firmada subgroupsuz yani farklı ürün grupları tek tezgâhtan çıkacak şekilde üretim yapılmaktadır. Bütün ürünler tek bir iş merkezinden çıkmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada değerlendirme grafiği olarak I-MR chart (Individual –Moving Range Chart) kullanılmıştır.

Hole (delik), düzlem üzerindeki deliklerin belirlenen veri noktasına göre uzaklığıdır. Bu araştırmada deliklerin uluslararası ve müşteri tarafından belirlenen standartlara uygunluğu incelenmiştir.

Müşteri tarafından teknik dokümanlar ile iletilen tolerans genişliği 0 mm - 0,4 mm ‘dir. Bu genişlik grafiklerde gösterilen UCL ve LCL üst kontrol limit ve alt kontrol limit sınır değerleridir.

İstatistiksel süreç kontrol işlemlerinde sürecin değişkenliğini göstermek ve sürecin yeterli olup olmadığını anlamak amacı ile sürecin uygunluk oranının bir göstergesi olarak Cp ve Cpk süreç yetenek katsayıları hesaplanmıştır. Uluslararası Cpk: 1, 33 iken Müşteri tarafından istenen Cpk değeri ise 1 dir. Bunun sebebi havacılıkta daha çok yeni bir uygulama olması ve diğer sektörler gibi yüksek üretim miktarları mevcut olmamasıdır. Havacılıkta bir başlangıç evresi olarak kabul edilmektedir. Şu an başlangıç evresi için müşterinin istediği sınır 1 olmakla birlikte, bu çalışma sürekli iyileştirme kapsamında olduğu için gelişme sağlandıkça ve üretim miktarları arttıkça hedef Cpk değeride artacaktır.

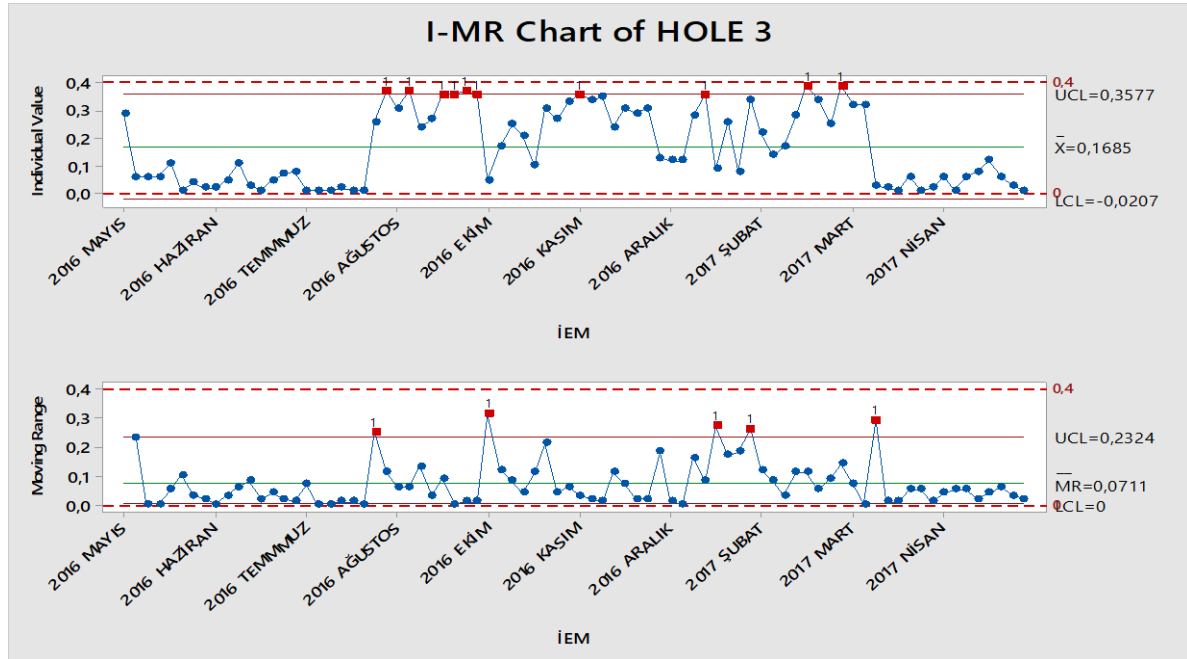
Profiller İncelemesi

Profil, düzlemdeki parçanın yüzeye göre aldığı eğim, dalgalanmadır. Bu projede bu dalgalanmaları ve UCL-LCL sınırları dâhilinde olup olmamama durumları incelenmiştir.

Müşteri tarafından teknik dokümanlar ile iletilen tolerans genişliği $-0,5 \text{ mm} - 0,5 \text{ mm}$ dir. Bu genişlik grafiklerde gösterilen UCL ve LCL üst kontrol limit ve alt kontrol limit sınır değerleridir.

3. Bulgular ve Tartışma

Delikler (Hole) İçin Pozisyon İncelemesi

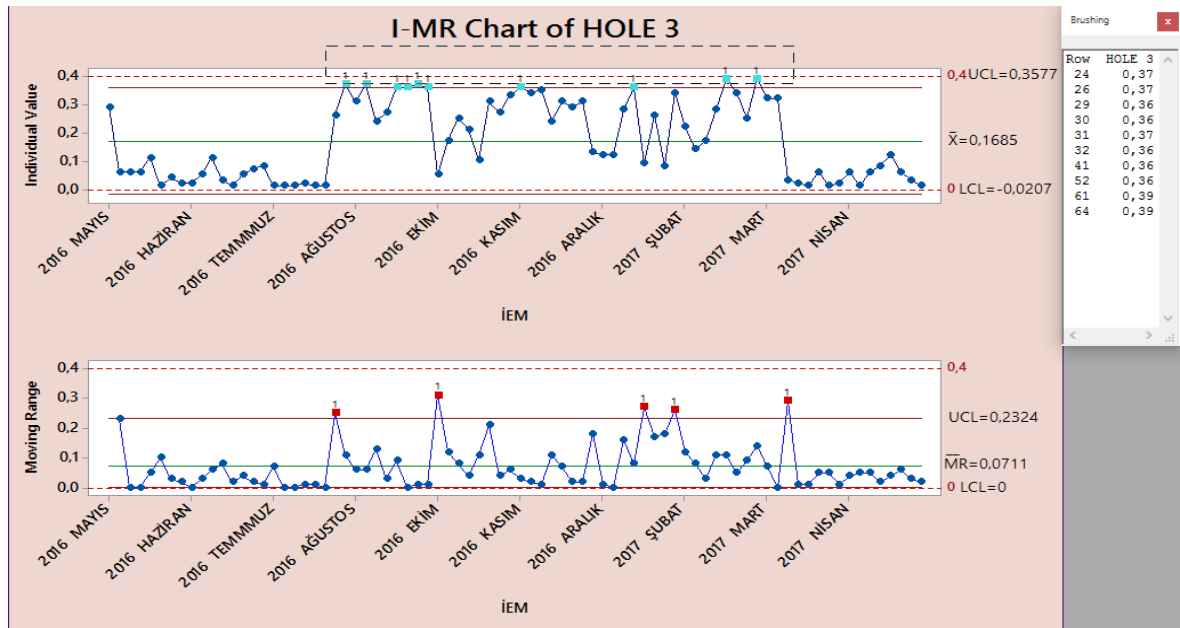


Şekil 3: Delik-3 Bireysel Hareketli Aralık Şeması

Figure 3: Hole-3 Individual Moving Range Chart

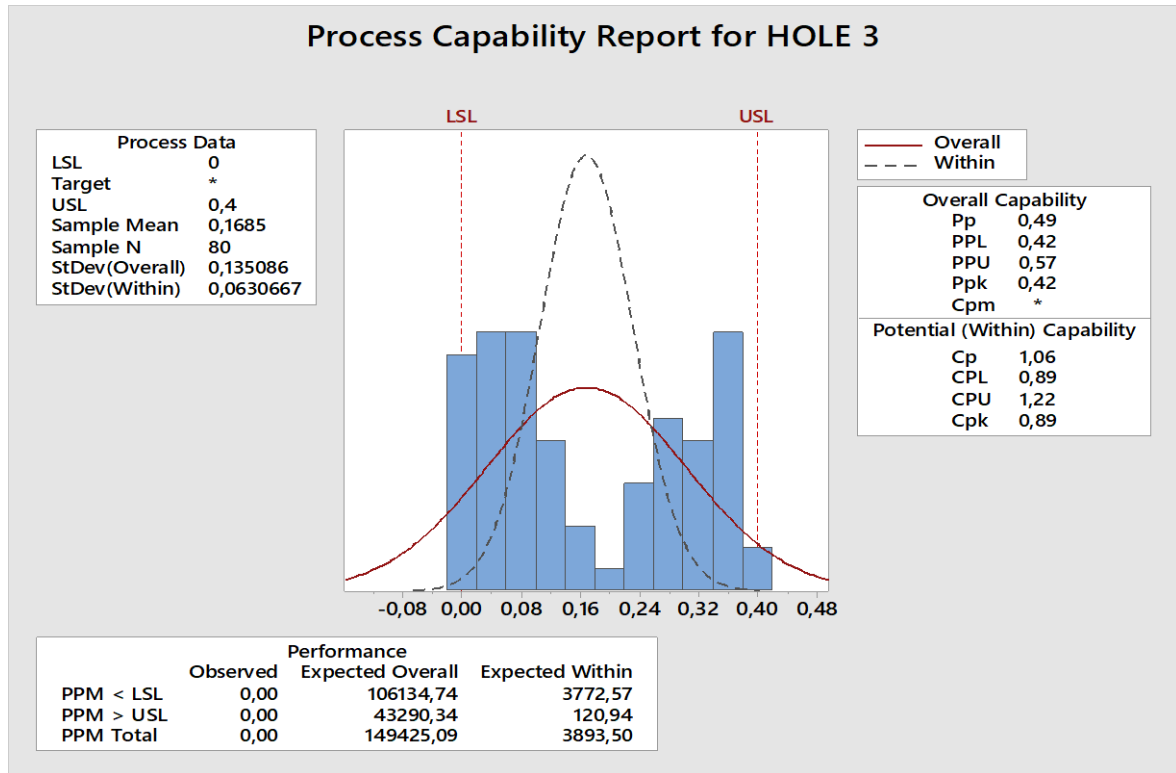
Individual Value: Ölçülen değerleri temel alan grafik

Moving Range: İki ölçü arasındaki sapmaları temel alan grafik



Şekil 4: Delik-3 Bireysel Hareketli Tolerans Aralık Grafiği

Figure 4: Hole-3 Individual Moving Tolerance Interval Chart



Şekil 5: Delik-3 Yetenek Analizi

Figure 5: Hole-3 Capability Analysis

Sample Mean: Ölçülen değerlerin ortalaması

Sample N: Veri miktarı

StDev (Overall): Mevcut Standart Sapma

StDev (within): Öngörülen Standart Sapma

Uluslararası Cpk: 1,33

Müşteri Cpk: 1

PPM (part per million): Milyondaki hata oranı

Hole-1 Individual Moving Range Grafiği; UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Hole-1 kontrol sınırları dâhilindedir ve mevcut duruma göre ilerleyen dönemlerde hata çıkma ihtimali çok düşüktür.

Hole-1 Capability Analysis; Hedef Cpk değerinin müşteri isteği 1'dir. Şekil 5'deki grafikte görüldüğü üzere Şuan için Cpk değeri 1 değerinin altında hesaplanmıştır. Bu değere göre süreç kontrol altında görünmüyor. Ancak, şuan ki Cpk değeri olan 0,72' 1 değerinin çok altında değildir. Aynı zamanda PPM değerlendirme tablosunu da dikkate alındığında, mevcut durumda 98146,72 olan PPM değerinin, sürecin ilerleyen aşamalarında oldukça düşeceği öngörülmektedir.

Hole-2 Individual Moving Range Grafiği; UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Hole-2 kontrol sınırları dâhilindedir ancak iki ölçü arasındaki sapmaları temel alan grafikte hızlı yaşanan değişimler gözlemlenmiş ve ani yaşanan bu değişimlerin ileride sorunlara sebep olabileceği düşünülmektedir.

Hole-2 Capability Analysis; UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Hole-2 kontrol sınırları dâhilindedir ancak iki ölçü arasındaki sapmaları temel alan grafikte hızlı yaşanan değişimler gözlemlenmiş ve ani yaşanan bu değişimlerin ileride sorunlara sebep olabileceği düşünülmektedir.

Hole-3 Individual Moving Range Grafiği; Alınan 80 örneklem değerlendirildiğinde Şekil 3'deki grafikte görüldüğü üzere hole-3 UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) değerleri 0 mm - 0,4 mm ile gösterilen müşteri tarafından belirlenen aralıktadır. Normal şartlarda değerler tolerans içerisindedir. Ancak ilgili değerlerin tolerans içerisinde olması bizim için yeterli değildir. Kontrol limitlerinin amacı, süreci kontrol altında tutmak ve ilerleyen zamanlarda oluşabilecek hataları öngörmek ve öncesinde önlem alabilmektir. Bunun yanı sıra kontrol altında giden süreçlerde uzun vadelerde, kontrol limitlerinin dışına çıkması ile anlık tezgâh, kişi, zaman, İş emri temelli hataların yakalanması, araştırılması ve hataların tekrarlanarak sürecin uzun vadede kontrol dışına çıkmasını önlemede bize yardımcı olur.

Şekil 4'deki ekran görüntüsünde de görüldüğü üzere kırmızı ile belirtilen değerler aslında müşteri toleransı içerisinde olan verilerdir. Grafikte kırmızı ile işaretli olmasının sebebi, programın verilere göre oluşturmuş olduğu kontrol limitlerinin üzerinde olmasıdır. İlerleyen zamanlarda süreçte tolerans dışı değerlerin oluşabileceğinin habercisidir. Kontrol sınırlarında bir veri olmamakla birlikte UCL sınırına çok yakın gözlemler mevcut olduğu için kırmızı ile işaretlenerek, bu noktaların kontrol altına alınması gerektiğini belirtmektedir.

Hole-3 Capability Analysis; Şekil 5'de görüldüğü üzere mevcut Cpk değeri $0,89 < 1$ değerinin altında hesaplanmıştır. Bu değere göre süreç kontrol altında görünmemektedir. Ancak, şuan ki Cpk değeri olan $0,89 < 1$ değerinin çok altında değildir. Aynı zamanda PPM değerlendirme tablosunu da dikkate alındığında, mevcut durumda 149425,09 olan milyondaki hata oranının, sürecin ilerleyen aşamalarında oldukça düşeceği öngörülmektedir. Gerekli incelemeler sonucu ortaya çıkabilecek hatalar için önlemler alındığında süreç kontrol altına alınacaktır. $(1-0,89=0,11)$ Alınan önlemler neticesinde %1'lik fark kapatılarak sürecin kontrolü sağlanacaktır.

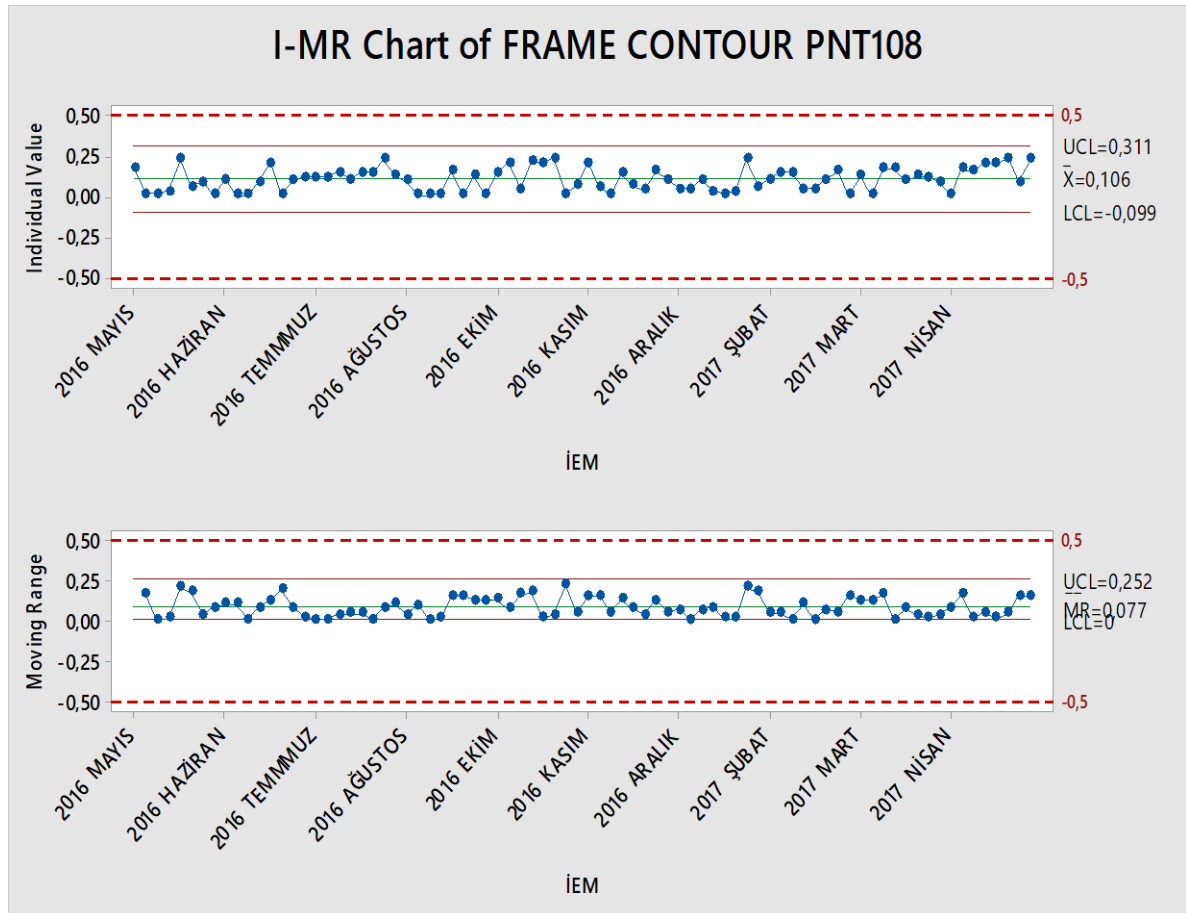
Hole-4 Individual Moving Range Grafiği; UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Hole-4 kontrol sınırları dâhilindedir ancak iki ölçü arasındaki sapmaları temel alan grafikte hızlı yaşanan değişimler gözlemlenmiş ve ani yaşanan bu değişimlerin ileride sorunlara sebep olabileceği düşünülmektedir. Yapılan analiz sonucunda da LCL limitinde görünen 5-17-33 üncü verilerin aslında limit dışında olmadığı gözlemlenmektedir.

Hole-4 Capability Analysis; Mevcut Cpk değeri $0,58 < 1$ değerinin altında hesaplanmıştır. Bu değere göre süreç kontrol altında görünmüyor. Şuan ki Cpk değeri olan $0,58 < 1$ değerinin çok altında olduğu gözlemlenmektedir. Aynı zamanda PPM (potansiyel performans) değerlendirme tablosu dikkate alındığında, mevcut durumda 67389,68 olan PPM değerinin, sürecin ilerleyen aşamalarında 42097,00 ye düşeceği öngörülmektedir.

Hole-5 Individual Moving Range Grafiği; Hole-5 UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Hole-5 kontrol sınırları dâhilindedir ve mevcut duruma göre ilerleyen dönemlerde hata çıkma ihtimali çok düşüktür.

Hole-5 Capability Analysis; Mevcut Cpk değeri $0,50 < 1$ değerinin çok altında hesaplanmıştır. Bu değere göre süreç kontrol altında görünmüyor. Şuan ki Cpk değeri olan $0,50 < 1$ değerinin çok altında olduğu gözlemlenmektedir. Aynı zamanda PPM (potansiyel performans) değerlendirme tablosu dikkate alındığında, mevcut durumda 76564,69 olan PPM değerinin, sürecin ilerleyen aşamalarında 67173,20 ye düşeceği öngörülmektedir.

Profiller İncelemesi

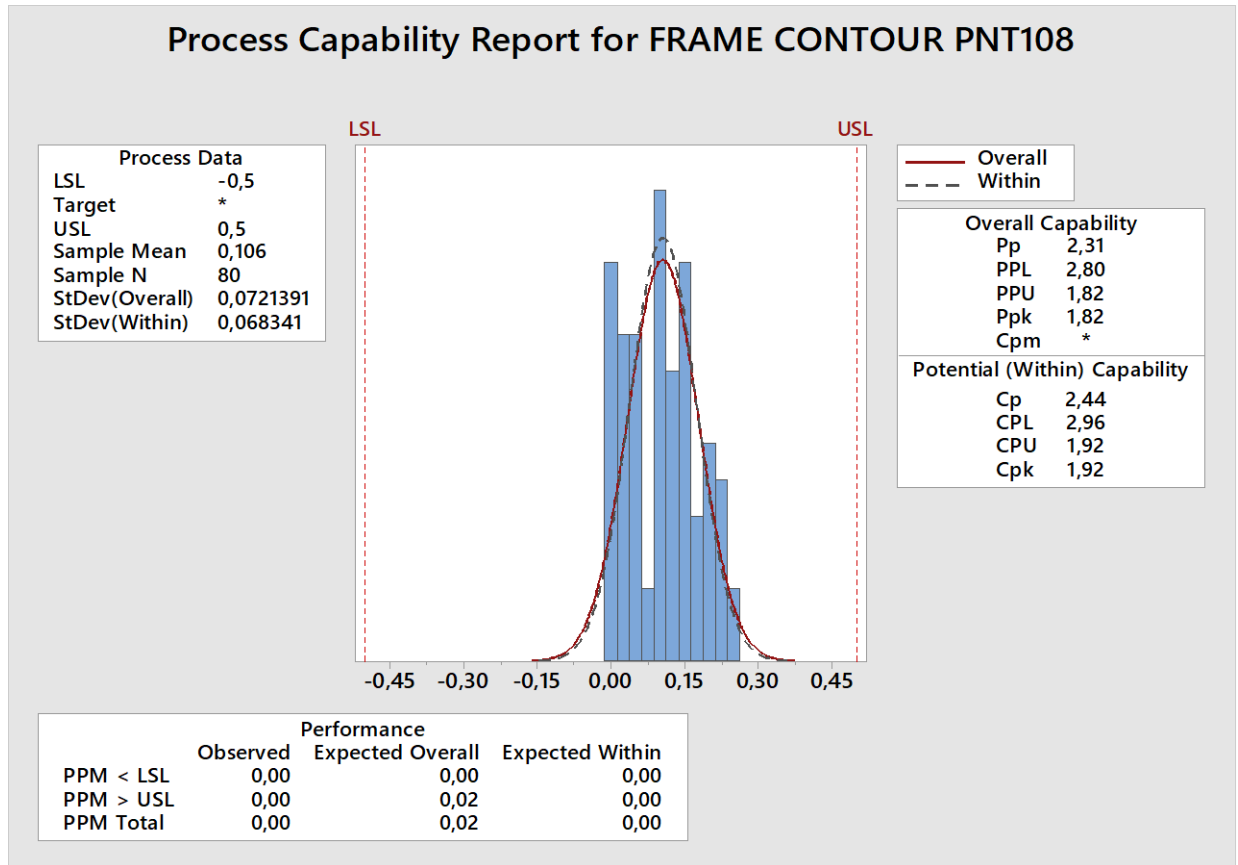


Şekil 6: PNT-108 Bireysel Hareketli Menzil Grafiği

Figure 6: PNT-108 Individual Moving Range Graph

Individual Value: Ölçülen değerleri temel alan grafik

Moving Range: İki ölçü arasındaki sapmaları temel alan grafik



Şekil 7: PNT-108 Yetenek Analizi

Figure7: PNT-108 Capability Analysis

Sample Mean: Ölçülen değerlerin ortalaması

Sample N: Veri miktarı

StDev (Overall): Mevcut Standart Sapma

StDev (within): Öngörülen Standart Sapma

Uluslararası Cpk: 1,33

Müşteri Cpk: 1

PPM (part per million): Milyondaki hata oranı

PNT-40 Individual Moving Range Grafiği; PNT40'ın UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Profile PNT40, deliklere göre daha kararlı bir yapıda oldukları için hata olasılıkları daha azdır. Mevcut duruma UCL-LCL değer aralığı daha çok daraltılmış ve bu duruma göre de kontrol sınırları dâhilindedir. İlerleyen dönemlerde hata çıkma ihtimali çok düşüktür.

PNT-40 Capability Analysis; Mevcut Cpk değeri 1,70>1 değerinin çok üzerinde hesaplanmıştır. Bu değere göre süreç kontrol altındadır. Aynı zamanda PPM değerlendirme tablosunu da dikkate alındığında, mevcut durumda milyondaki hata oranı 0,05 olan PPM değerinin, sürecin ilerleyen aşamalarında 0,16 ya çıkacağı öngörülmektedir. Bu hata herhangi soruna sebebiyet vermeyecek kadar küçük olsa bile önceden kontrol altına alınması gerekli ve olası hataların önceden engellenmesi gerekmektedir. Gerekli incelemeler sonucu ortaya çıkabilecek hatalar için önlemler alındığında süreç kontrol altına alınacaktır.

PNT-44 Individual Moving Range Grafiği; PNT44'ün UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Profile PNT44, deliklere göre daha kararlı bir yapıda oldukları için hata olasılıkları daha azdır. Mevcut duruma UCL-LCL değer aralığı daha çok daraltılmış ve bu duruma göre de kontrol sınırları dâhilindedir. İlerleyen dönemlerde hata çıkma ihtimali çok düşüktür.

PNT-44 Capability Analysis; Mevcut Cpk değer 1,56>1 değerinin çok üzerinde hesaplanmıştır. Bu değere göre süreç kontrol altındadır. Aynı zamanda PPM değerlendirme tablosunu da dikkate alındığında, mevcut durumda milyondaki hata oranı 1,28 olan PPM değerinin, sürecin ilerleyen aşamalarında 1,41 e çıkacağı öngörülmektedir. Bu hata herhangi soruna sebebiyet vermeyecek kadar küçük olsa da önceden kontrol altına alınması gerekli ve olası hatalar önceden engellenmesi gerekmektedir. Gerekli incelemeler sonucu ortaya çıkabilecek hatalar için önlemler alındığında süreç kontrol altına alınacaktır.

PNT-97 Individual Moving Range Grafiği; PNT97' nin UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Profile PNT97, deliklere göre daha kararlı bir yapıda oldukları için hata olasılıkları daha azdır. Mevcut duruma UCL-LCL değer aralığı daha çok daraltılmış ve bu duruma göre de kontrol sınırları dâhilindedir. İlerleyen dönemlerde hata çıkma ihtimali çok düşüktür.

PNT-97 Capability Analysis; Mevcut Cpk değeri 1,90>1 değerinin çok üzerinde hesaplanmıştır. Bu değere göre süreç kontrol altındadır. Aynı zamanda PPM değerlendirme tablosunu da dikkate alındığında, mevcut durumda milyondaki hata oranı 0,30 olan PPM değerinin, sürecin ilerleyen aşamalarında 0,01 e düşeceği öngörülmektedir. Bu durumda sıfır hata durumuna ulaşmak kadar mükemmel bir sonuçtur ve süreç kusursuz çalışmaktadır.

PNT-99 Individual Moving Range Grafiği; PNT99'un UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Moving range grafiğinde belirtilen kırmızı nokta bir hata göstergesi değildir. Ardışık iki gözlem arasında hızlı bir değişim yaşanmış ancak bunun süreçte herhangi bir kontrolsüz duruma neden olmamıştır. Profile PNT99, deliklere göre daha kararlı bir yapıda oldukları için hata olasılıkları daha azdır. Mevcut duruma UCL-LCL değer aralığı daha çok daraltılmış ve bu duruma göre de kontrol sınırları dâhilindedir. İlerleyen dönemlerde hata çıkma ihtimali çok düşüktür.

PNT-99 Capability Analysis; Mevcut Cpk değeri 1,72>1 değerinin çok üzerinde hesaplanmıştır. Bu değere göre süreç kontrol altındadır. Aynı zamanda PPM değerlendirme tablosunu da dikkate alındığında, mevcut durumda milyondaki hata oranı 0,68 olan PPM değerinin, sürecin ilerleyen aşamalarında 0,12 e düşeceği öngörülmektedir. Daha da kararlı duruma gelecek olan sürecin bu durumda sıfır hata durumuna ulaşmak kadar mükemmel bir sonuçtur ve süreç kusursuz çalışmaktadır.

PNT-103 Individual Moving Range Grafiği; PNT103'ün UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Profile PNT103, deliklere göre daha kararlı bir yapıda oldukları için hata olasılıkları daha azdır. Mevcut duruma

UCL-LCL değer aralığı daha çok daraltılmış ve bu duruma göre de kontrol sınırları dâhilindedir. İlerleyen dönemlerde hata çıkma ihtimali çok düşüktür.

PNT-103 Capability Analysis; Mevcut Cpk değeri $1,79 > 1$ değerinin çok üzerinde hesaplanmıştır. Bu değere göre süreç kontrol altındadır. Aynı zamanda PPM değerlendirme tablosunu da dikkate alındığında, mevcut durumda milyondaki hata oranı 0,33 olan PPM değerinin, sürecin ilerleyen aşamalarında 0,04 e düşeceği öngörülmektedir. Daha da kararlı duruma gelecek olan sürecin bu durumda sıfır hata durumuna ulaşmak kadar mükemmel bir sonuçtur ve süreç kusursuz çalışmaktadır.

PNT-108 Individual Moving Range Grafiği; Şekil 6'daki grafikten anlaşıldığı üzere PNT108'in UCL (üst kontrol limit) ve LCL (alt kontrol limit) sınır dâhilindedir. Üstelik müşteri tarafından belirlenmiş olan tolerans değerlerinden de herhangi bir sapma mevcut değildir. Profile PNT108, deliklere göre daha kararlı bir yapıda oldukları için hata olasılıkları daha azdır. Mevcut duruma UCL-LCL değer aralığı daha çok daraltılmış ve bu duruma göre de kontrol sınırları dâhilindedir. İlerleyen dönemlerde hata çıkma ihtimali çok düşüktür.

PNT-108 Capability Analysis; Şekil 7'de görüldüğü üzere mevcut Cpk değeri $1,92 > 1$ değerinin çok üzerinde hesaplanmıştır. Bu değere göre süreç kontrol altındadır. Aynı zamanda PPM değerlendirme tablosunu da dikkate alındığında, mevcut durumda milyondaki hata oranı 0,02 olan PPM değerinin, sürecin ilerleyen aşamalarında sıfıra düşeceği öngörülmektedir.

4. Sonuç

Havacılık ve uzay sanayinde üretilen A400M Kargo Tipi Uçağın iskelet parçası üzerine yapılmış olan çalışmada 1 yıllık, 80 adet veri ile istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinden I-MR chart (Individual –Moving Range Chart) ve Capability Analysis – Normality Test yöntemleri uygulanmış ve sonuçlarında şu neticelere varılmıştır;

Hole incelemeleri için; I-MR chart ile yapılan incelemelerde Hole-1, Hole-2, Hole-5 süreçleri UCL-LCL kontrol sınırları ve müşteri tarafından belirlenen sınırlar dışında veri gözlemlenmemiştir. Ancak Hole-3 sürecinde $UCL=0,4$ sınırına çok yakın ve Hole-4 sürecinde LCL sınırına çok yakın veriler gözlemlenmiştir. Ancak ilgili değerlerin tolerans içerisinde olması yeterli bir verimlilik değildir. İlerleyen zamanlarda süreçte tolerans dışı değerlerin oluşabileceğinin habercisidir. Kontrol limitlerinin amacı, süreci kontrol altında tutmak ve ilerleyen zamanlarda oluşabilecek hataları öngörmek ve öncesinde önlem alabilmektir. Bu nedenle Hole-3 ve Hole-4 noktaları olası hata nedenlerini saptamak üzere gözlem altına alınmıştır. Sürecin uzun vadede kontrol dışına çıkması önlenmiştir. Bunun yanı sıra kontrol altında giden süreçlerde uzun vadelerde, kontrol limitlerinin dışına çıkması ile anlık tezgâh, kişi, zaman, İş emri temelli hataların yakalanması, araştırılması ve hataların tekrarlanarak sürecin uzun vadede kontrol dışına çıkması engellenmiş olmaktadır.

Capability Analysis – Normality Test incelemelerinde ise; bütün hollerdeki Cpk değerleri 1'in altında gözlemlenmiştir. Bu noktalarda iyileştirme çalışmaları yapılarak mevcut duruma göre, öngörülen milyondaki hata oranlarının düşürülmesi hedeflenmiştir.

Profil incelemeleri için; I-MR chart ile yapılan incelemelerde PNT40, PNT44, PNT97, PNT99, PNT103, PNT108 süreçleri UCL-LCL kontrol sınırları ve müşteri tarafından belirlenen sınırlar dışında veri gözlemlenmemiştir.

Capability Analysis – Normality Test incelemelerinde ise; bütün yüzeylerin Cpk değerleri 1'in üstünde gözlemlenmiştir. Hatasız denebilecek kadar az miktarda sorunla karşılaşılmış bu mevcut duruma göre, öngörülen milyondaki hata oranlarının daha da düşeceği tespit edilmiştir. PNT40 ve PNT 44 yüzeylerinde milyondaki hata oranlarının mevcut duruma göre ileride artacağı tespiti edilmiştir ve bunun için çalışmalar yapılmış ve olası hatalar engellenerek süreç kontrol altına alınmıştır. Profillerden PNT108 Cpk; 1,92 ve milyonda 0,02 olan mevcut hata oranının Sıfıra ulaşacağı saptanmıştır ve en kusursuz nokta olarak belirlenmiştir.

Kesme işleminde kullanılan soğutma sisteminin her parça için ayrı noktalardan soğutmaya alınması, her nokta için eş soğukluk ayarlanamadığı için parçalar üzerinde olumsuz etkiye sebep olmaktadır. Bu sorunun çözümü için tüm tesise aynı anda ve aynı derecede soğutma yapılabilmesi için tesise kapalı devre soğutma sistemi kurulmuştur.

Bu sistemin işletmeye maliyeti; yurt dışından tedarik edilerek 75.000\$'a mâl olmuştur. Düşük maliyetle, büyük miktarda iyileşme sağlanacağı düşünüldüğü için teklif kabul edilmiştir. Eski sisteme göre zaman, işgücü ve performans açısından büyük iyileşmeler sağlanmış ve çok büyük oranda mali kazançlar elde edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmamın yürütülmesini sağlayan, hazırlanma sürecinin her aşamasında değerli bilgilerini esirgemeyerek her fırsatta çalışmamla yakından ilgilenen saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Taner Ersöz'e, her türlü bilgi ve desteğiyle yardımcı olan saygıdeğer hocam Prof.Dr. Filiz Ersöz'e ve işletmesinin kapısını bilimsel çalışmaya açan Küçükpazarlı Uzay ve Havacılık şirket sahibi Sefa Küçükpazarlı'ya, çalışmalarımı uygulamam sırasında gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı işletme kalite müdürü Uğur Safkan'a ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan AİLEME sonsuz teşekkürler.

Kaynaklar

- Bircan, H. ve S. Özcan. "Otomotiv Yan Sanayinde Uygulanabilen İstatistiksel Süreç Kontrol Teknikleri ve Bir Uygulaması." 2. Ulusal Araştırmalar Sempozyumu (2001).
- Hamurkaroğlu, C. ve Ö. İlknur "İstatistiksel Kalite Kontrolünde Çok Boyutlu Ölçekleme Analizinin Kullanımı ve Uygulaması" Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi (2002).
- <https://kpa.com.tr/default.aspx>, 15 Nisan 2017'de erişildi.
- İşığışok, Erkan "Toplam kalite yönetimi bakış açısıyla istatistiksel kalite kontrol", 2. basım, Star Ajans Reklam Basım Ezgi Kitapevi Dağıtım, s.412, (2012).
- İmai, Masaaki, Kazien (Japonya'nın rekabetteki başarısının anahtarı), 6. basım, Elma Teknik Basım Yayın Dağıtım, s.266, (2014).
- Michael K. "Kalite, değer ve müşteri memnuniyetinin hizmet ortamlarındaki tüketici davranışsal niyetlerine etkilerini değerlendirmek", Perakende dergisi, 2000.
- Pekdemir, I. "İşletmelerde Kalite Yönetimi, Kavramlar, Kalite İyileştirme Süreci Vakalar" Beta Basım Yayın Dağıtım, İstanbul, 1992.

- Pekmezci, A. “İstatistiksel kalite kontrol yöntemleri ve uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 243 (2005).
- Rungasamy, “Critical success factors for SPC implementation in UK small and medium enterprises: some key findings from a survey”, 2002.
- Tikici, M. “Toplam kalite yönetim tekniği olarak kıyaslama”, Nobel Yayınları, Ankara, 2004.