

ART-CRAFT SOFRA CAMI ÜRETİM İŞLETMESİNDE ÖLÇÜM SİSTEM ANALİZİ UYGULAMASI

Uğur KAVİ
Sermin ELEVLİ

ÖZET

Kalite Güvence Sistemi içerisinde kalitenin iyileştirilmesi, verimliliğin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi çabaları çerçevesinde süreçle ilgili doğru ve etkin kararlar alınabilmesi, sürece özgü karakteristiklerin sistematik olarak ölçülmesine ve analizine bağlıdır. Bu nedenle, herhangi bir süreç değerlendirme veya iyileştirme çalışması öncesinde elde edilen ölçüm verilerinin güvenilir olup olmadığı belirlenmeli, diğer bir ifadeyle ölçüm sistemi analizi yapılmalıdır.

Bu çalışmada, ölçüm sistemi analiziyle ilgili cam sektörüne özel bir uygulama yapılması amaçlanmıştır. Özellikle cam üretim sürecinde yaşanan ve/veya yaşanabilecek hurda maliyetleri ve duruş kayıpları ile ilgili problemlerle doğrudan ilişkili olan cam şekillendirme makineleri parçalarının ölçümlerini içeren bu çalışmada, Ortalama-Aralık Metodu ve Varyans Analizi Metodu kullanılmıştır. İki ayrı kritik parametreye dönük ölçüm süreçleri ele alınmış ve bunlardan kalınlık ölçümü ile ilgili olan süreç için kullanılan ölçüm sisteminin yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

1. GİRİŞ

Kalite Yönetim Sistemlerinde süreç etkinliklerinin ölçümü, süreçler hakkında etkin analizlerin yapılabilmesi ve gerçekçi kararlar alınabilmesi açısından, ölçüm verileri günümüzün rekabete dayalı koşullarında sık ve değişik şekillerde kullanılmaktadır. Örneğin, bir üretim sürecinde ayarlama yapıp yapılmayacağına karar genellikle ölçüm verilerine dayandırılmaktadır. Ölçüm verileri veya bunlardan hesaplanan bazı istatistikler, sürecin istatistiksel kontrol sınırları ile karşılaştırıldığında, eğer karşılaştırma sürecin istatistiksel olarak kontrol dışına çıktığını gösterirse bir takım ayarlamalar yapılmaktadır. Öte yandan, eğer sürecin kontrol içinde olduğu tespit edilirse, sürecin ayarlama yapılmadan yürütülmesine izin verilmelidir. Bu nedenle sürecin gerçek değişkenliğini ortaya çıkarmak için, öncelikle ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenlik tanımlanmalı ve süreç değişkenliğinden ayrıştırılmalıdır.

Ölçüm verilerinin başka bir kullanımı da, iki değişken arasında belirli bir ilişki olup olmadığını belirlemektir. Örneğin, bir döküm parçasının önemli olarak kabul edilen bir boyutu ile döküm malzemesinin sıcaklığı arasında bir ilişki olduğundan şüphe duyulabilir. Bu olası ilişki üzerinde, kritik ebat ölçümlerini ve döküm malzemesinin sıcaklık ölçümlerini karşılaştırmak için, regresyon analizi olarak adlandırılan istatistiksel bir yöntem izlenerek çalışılabilir. Genelde bu tip analitik çalışmalar süreci etkileyen sebepler hakkında bilgiyi artırır. Analitik çalışmalar sürecin daha iyi anlaşılmasına yol açtıkları için, ölçüm verilerinin en önemli kullanım alanları arasındadırlar. Bir ölçüm sisteminin analizindeki amaç, sistemin ortaya çıkardığı sonuçları etkileyebilecek sapma kaynaklarını daha iyi anlamaktır.

Ölçüm Sistemi Analizi, bir süreç karakteristiğine ait verilerin etkili bir analizinin yapılabilmesi ve istatistiksel süreç kontrolü tekniklerinin uygulanabilmesi için, öncelikle elde edilen verilerin güvenilir olup olmadığının belirlenmesi ihtiyacından hareketle geliştirilmiştir. Ölçüm cihazından ve ölçüm

cihazının kullanımından doğan değişkenliği bulmak, mühendislik toleransı ile ölçüm değişkenliği miktarını karşılaştırmak ve ölçüm sürecini iyileştirerek toplam değişkenliği azaltmayı amaçlar. Böylece, kontrol altında olan bir sürece müdahale edilmesinden kaynaklanan I. tip hata ve kontrol altında olmayan bir sürece müdahale edilmemesinden kaynaklanan II. tip hata olasılıklarının azaltılması sağlanmış olur.

Ölçüm verilerinden yararlanılarak yapılan bu analitik çalışmalarda kullanılan yöntemler bazen “Ölçüm R&R” yöntemleri olarak adlandırılırlar. Çünkü çoğunlukla sadece tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik istatistiksel özelliklerini değerlendirmek için kullanılır. Ölçüm sistemi değişkenliğinin belirlenmesi için kullanılan sayısal teknik ne olursa olsun, her analizde grafik teknikleri kullanılmalıdır. Belirli bir ölçüm sisteminin analizinde en yüksek verimi sağlayacak istatistiksel araçlar değişkenliğin beklenen baskın kaynaklarına bağlıdır. Bununla beraber ölçüm sistemlerinin analizinde yararlı olabilecek çeşitli teknikler mevcuttur. Bu teknikler için ilk varsayım, ölçümün ölçülen parçaya etkide bulunmaması veya zarar vermemesidir.

2. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ

Kalite güvence sistemlerinde tasarım ve uygunluk kaliteleri ancak ölçme faaliyetleri sonucunda bir anlam kazanırlar. Ölçüm verilerinin kalitesi ise, kararlı koşullarda çalışan bir ölçüm sisteminden elde edilen çoklu ölçümlerin istatistiksel özellikleri ile ilgilidir. Düşük veri kalitesine sebep olan nedenlerden en önemlisi verilerde kaynağı bilinmeyen ve belirlenmemiş değişkenliğin fazla olmasıdır. Bu durum, verinin yorumlanmasını daha zor ve ölçüm sistemini daha az cazip konuma getirir. İşte bu noktada ölçüm sistem analizi uygulamalarıyla verilerdeki değişkenliğin ne kadarının ölçme işlemleri sonucu oluştuğu belirlenebilir.

Bir ölçüm sistemi değerlendirilirken üç temel nokta çözümlenmelidir [1];

1. Ölçüm sistemi yeterli ayırım yapma özelliğine sahip midir?
2. Ölçüm sistemi zamana göre istatistiksel olarak kararlı mıdır?
3. İstatistiksel özellikler beklenen aralık içinde tutarlı mıdır ve süreç analizi veya kontrolü için kabul edilebilir mi?

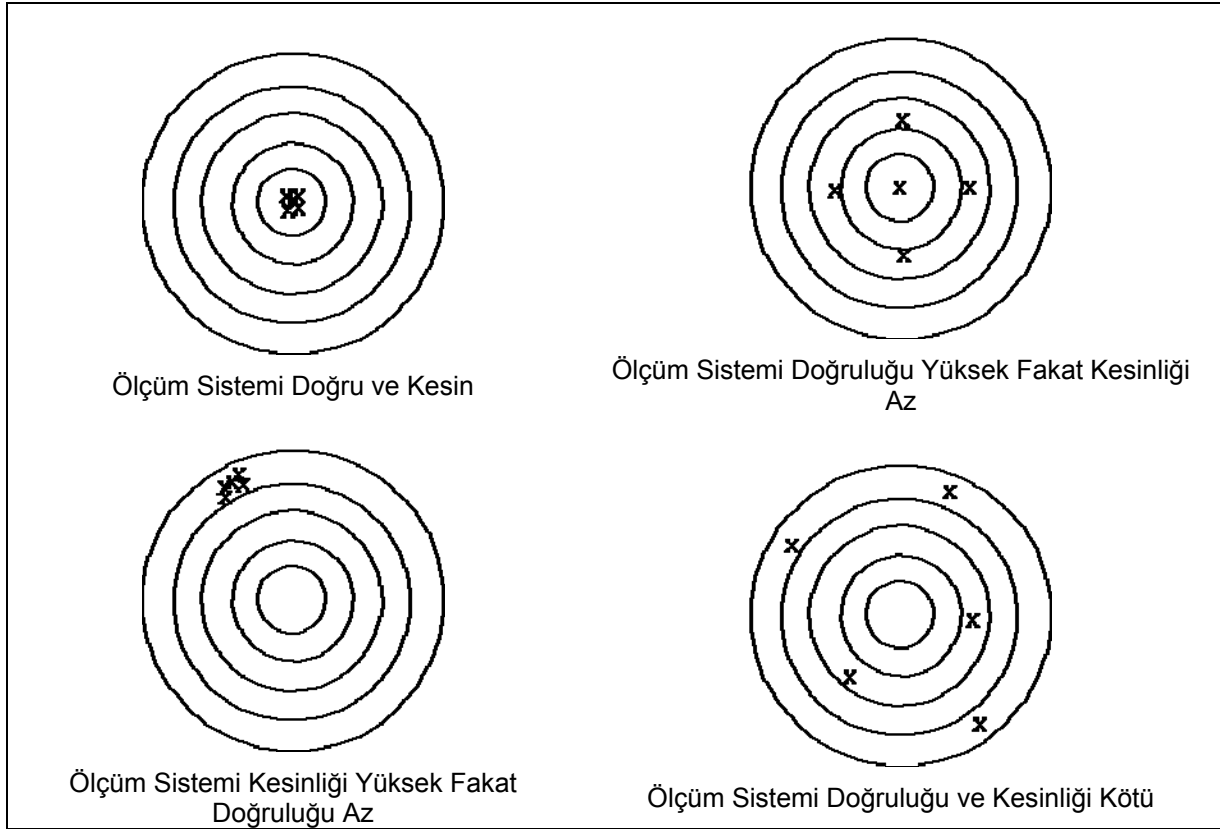
Bu belirlemeler en doğru şekilde süreç değişkenliğine göre yapılır. Ölçüm hatalarını sadece tolerans dağılımı olarak raporlama alışkanlığı, sürekli süreç gelişiminin önem kazandığı pazar rekabeti için yetersizdir [2].

2.1. Ölçüm Sistemi Değişkenlik Çeşitleri

Çoğu kez ölçümlerin hatasız olduğu kabul edilir. Analiz ve sonuçlar bu varsayıma dayandırılır. Fakat gerçek süreç değişkenliğine odaklanabilmek için öncelikle ölçüm sisteminden gelen değişkenlik belirlenmeli ve süreç değişkenliğinden ayrıştırılmalıdır. Ölçüm sistemi değişkenliği ana olarak iki kategoriye ayrılabilir;

1. Doğruluk: Ölçüm değeri ve ilgili parçanın gerçek değeri arasındaki farktır.
2. Kesinlik: Bir parça aynı ölçüm cihazıyla tekrar tekrar ölçüldüğünde gözlemlenen varyasyondur.

Şekil 2.1’ de ölçüm sisteminde doğruluk ve kesinlik açısından karşılaşılabilecek durumlar gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Doğruluk ve Kesinlik Açısından Karşılaştırılabilir Durumlar

Ölçüm sistem analizi açısından doğruluk ve kesinlik şu şekilde alt elemanlara ayrılarak incelenilir;

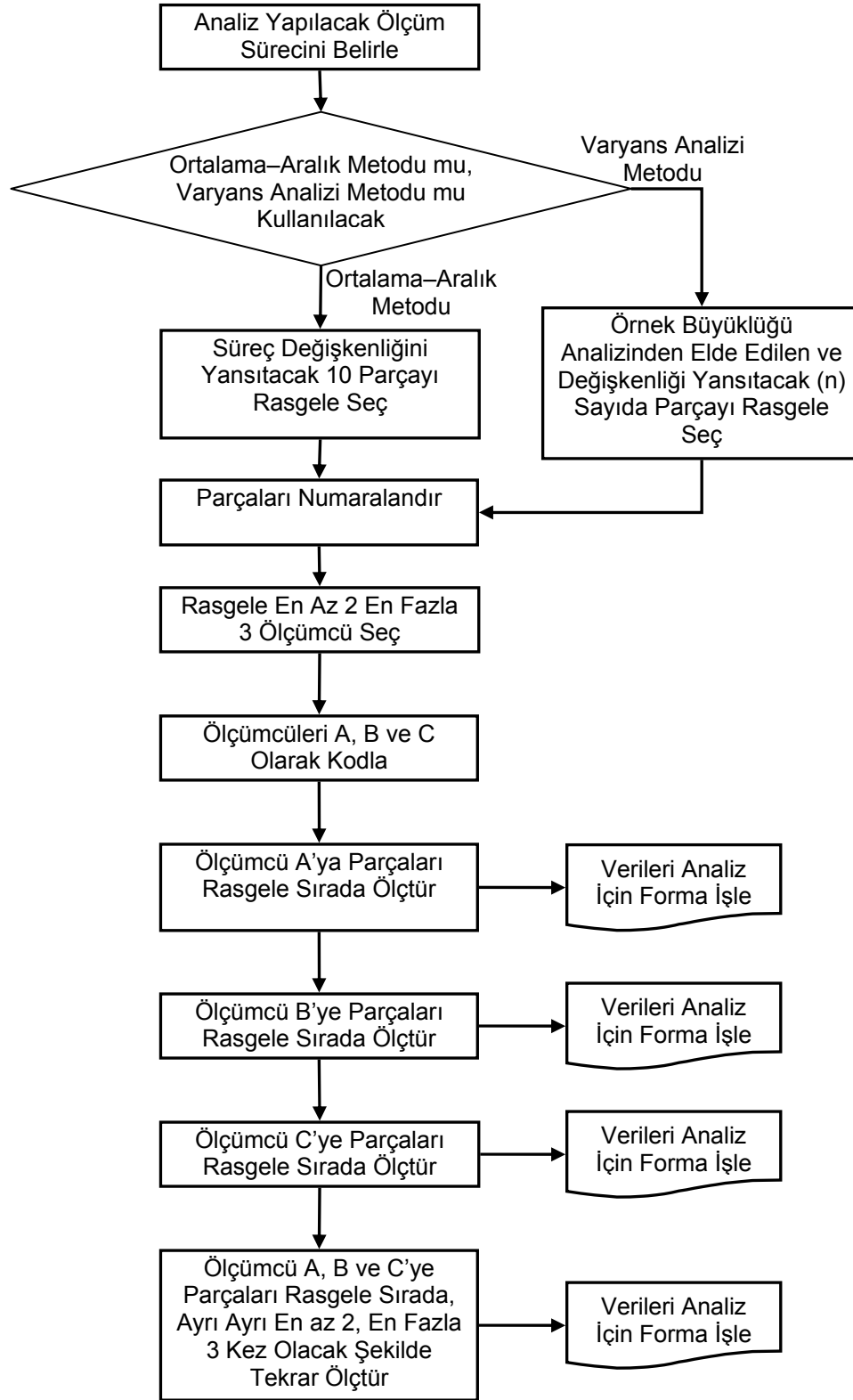
1. Doğruluk
 - Kararlılık,
 - Eğilim,
 - Doğrusallık.
2. Kesinlik
 - Tekrarlanabilirlik,
 - Tekrar yapılabilirlik,

Ölçüm sistemi çalışmasının amaçlarından biri, ortam şartlarıyla etkileşim içinde olan ölçüm sistemlerinin ölçüm değişkenliği miktarı ve çeşitleriyle ilgili bilgi elde etmektir. Tekrarlanabilirlik ve eğilimi tanımlamak ve bunlar için kabul edilebilir limitler belirlemek, çok yüksek tekrarlanabilirliğe sahip aşırı kesin ölçüm aletleri sağlamaktan daha pratik olduğu için bu bilgi değerlidir. Böyle bir çalışma aşağıdaki yararları sağlar [3]:

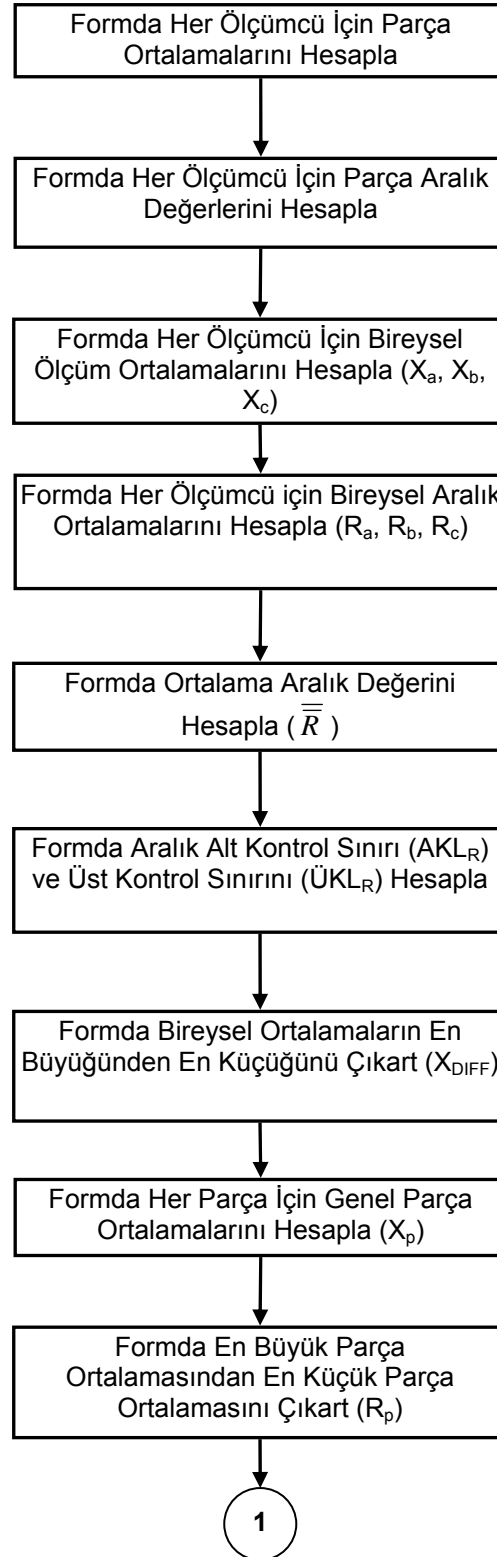
1. Yeni ölçüm ekipmanını kabul etmek için kriterler.
2. Bir ölçüm cihazını diğeriyle karşılaştırma olanağı.
3. Yetersiz olduğu düşünülen bir ölçüm cihazının değerlendirilmesi.
4. Ölçüm aletinin tamir öncesi ve sonrası durumlarının karşılaştırılması.
5. Bir üretim süreci için, süreç değişkenliğini ve kabul edilebilirlik seviyesini hesaplamak için gerekli bilgi.

3. UYGULAMA

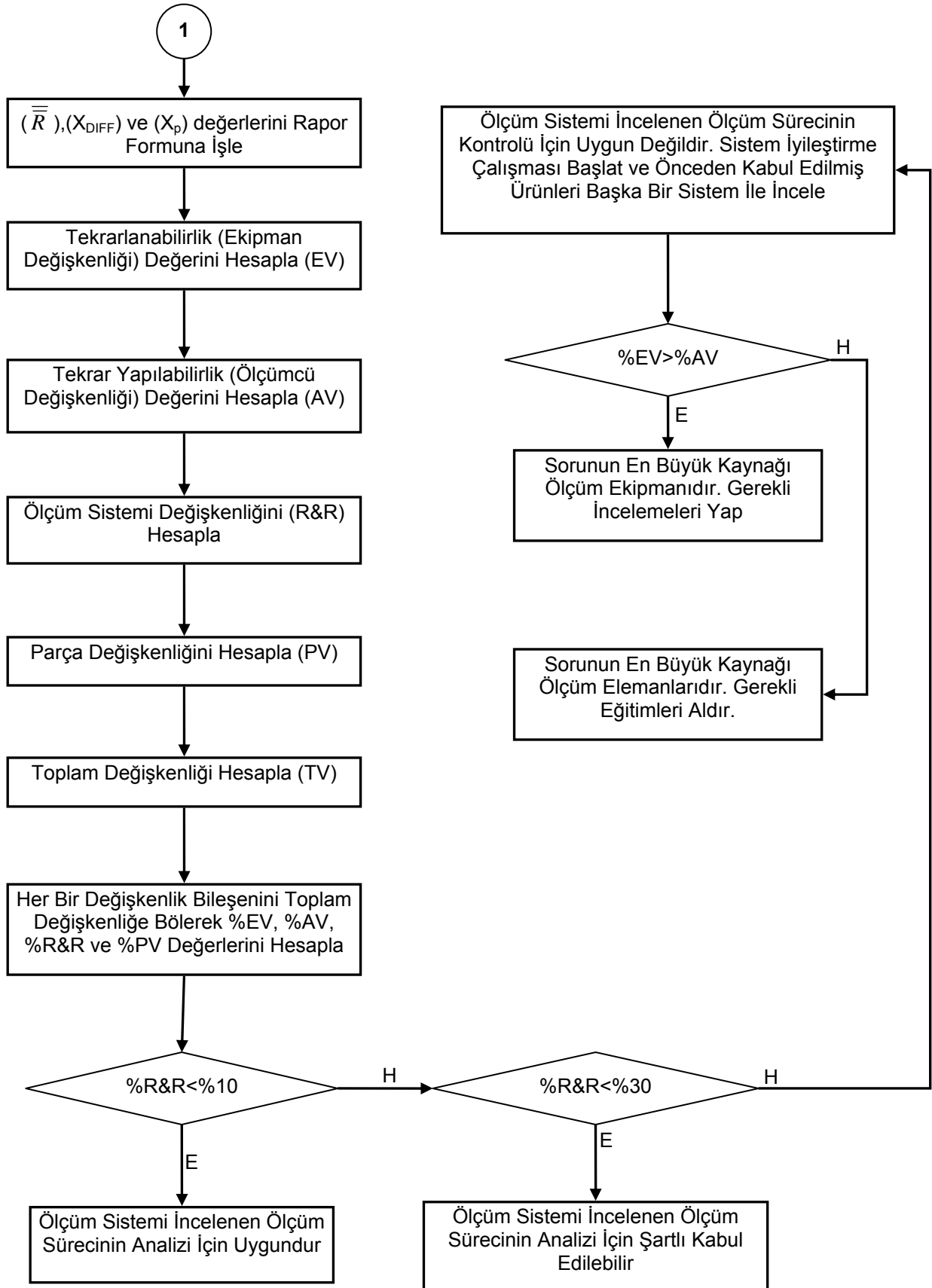
3.1. Nicelik Verileri Açısından Uygulama İçin Geliştirilen Analiz Modeli



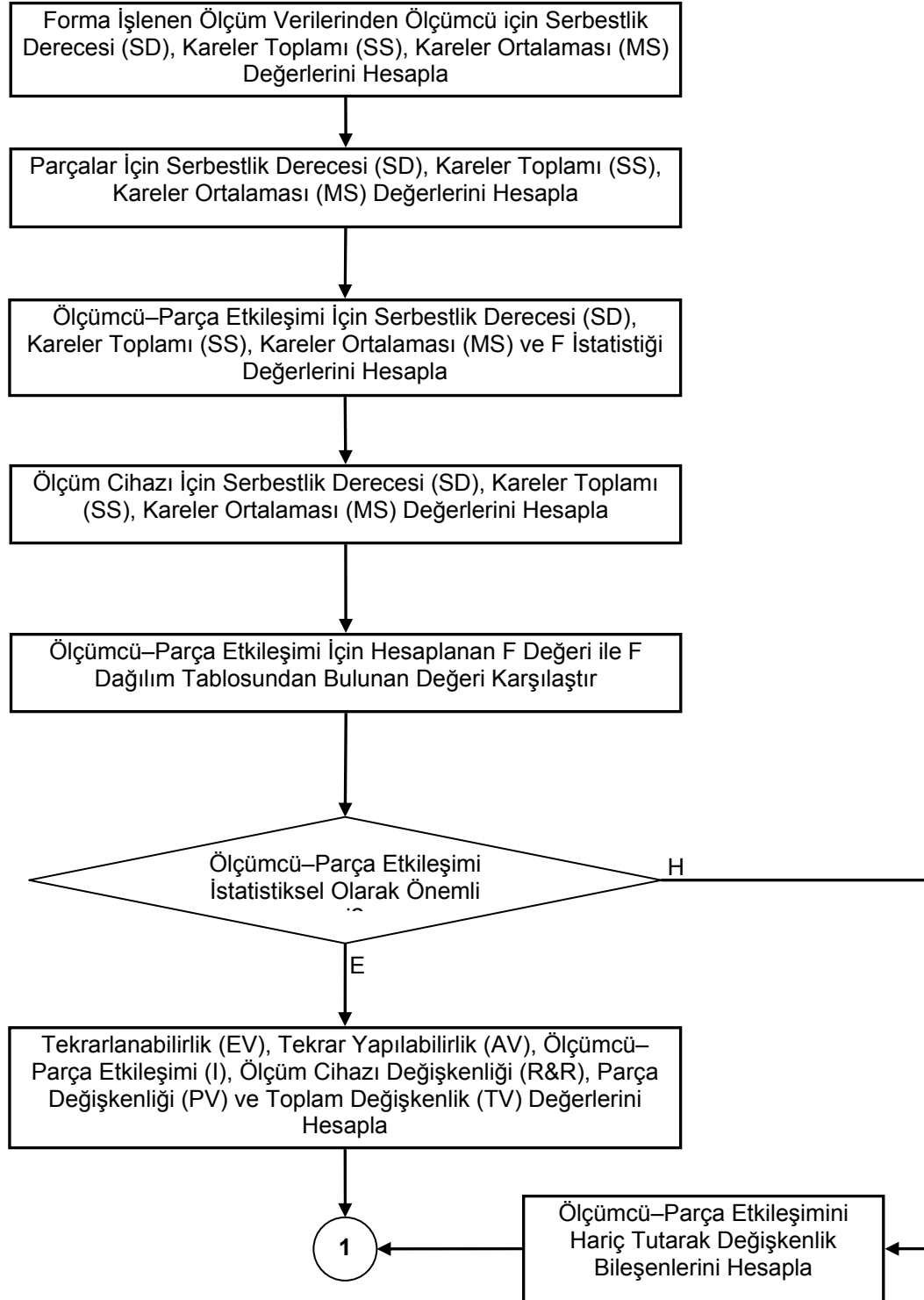
Şekil 3.1 Analiz İçin Veri Toplama Süreci



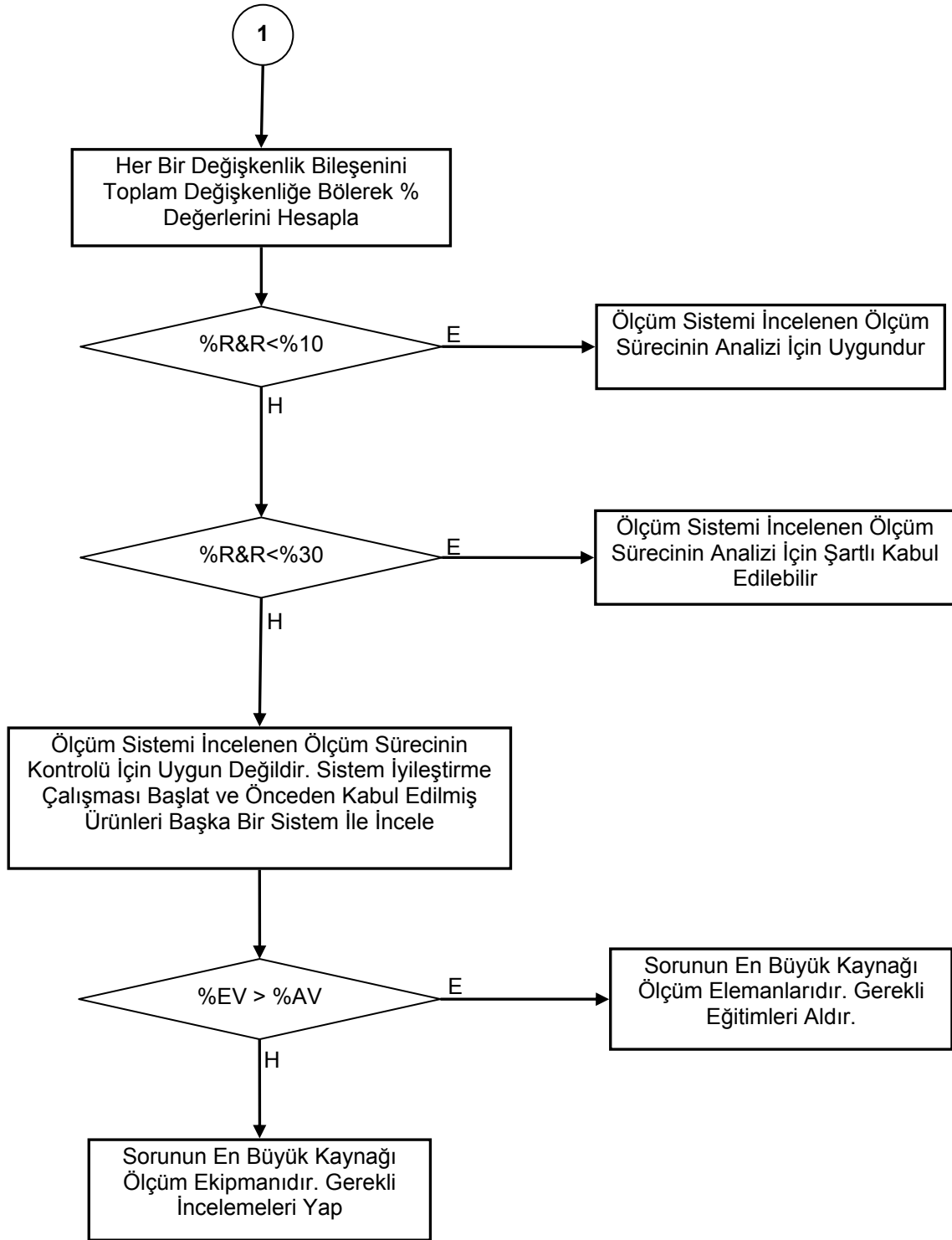
Şekil 3.2 Ortalama–Aralık Metodu ile Analiz Süreci



Şekil 3.2 Ortalama–Aralık Metodu ile Analiz Süreci (devam)



Şekil 3.3 Varyans Analizi Metodu ile Analiz Süreci

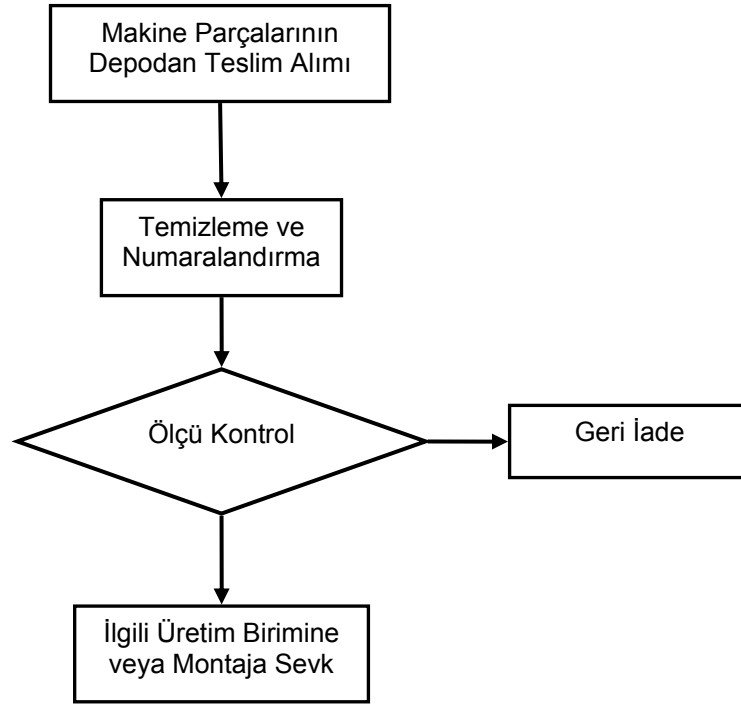


Şekil 3.3 Varyans Analizi Metodu ile Analiz Süreci (devam)

3.2. Metot

Bu çalışmada, cama nihai şeklin verildiği şekillendirme makineleri için temin edilen parçaların, Şekil 4.3' de gösterildiği şekilde niceliksel ölçümünün yapıldığı Ölçü Kontrol Biriminde R&R analiz çalışması yapılmıştır. İmalat makinelerinde kullanılan parçaların istenilen spesifikasyonlara uygun olması kullandıkları cam şekillendirme makinelerinin en iyi şekilde çalışabilmeleri açısından kritik bir unsur

olduğundan çalışma açısından bu sürecin incelenmesi kararlaştırılmıştır. Ayrıca, ISO 9001:2000 Kalite Yönetim Sistemleri için Şartlar kısmında Madde 7.6' da yer alan "Kullanılan ölçme cihazlarının uygunluğunu sağlamak üzere bir süreç oluşturulmalı, kalibrasyon ve doğrulama sağlanmalı" paragrafları sadece Kalibrasyon sürecini değil, aynı zamanda Ölçüm Sistem Analizini de kapsamakta olduğundan bu durum da analiz kararının alınmasında ikinci derecede etkili olmuştur.



Şekil 3.4 Kontrol Süreci Genel Akış Diyagramı

Ölçü kontrol biriminde çalışan elemanlardan üçü rastgele olarak seçilmiş ve bu üç kişiye, kontrole gelen parçalardan rastgele sayılar tablosu kullanılarak seçilen parçalar ölçtürülmüş, elde edilen okuma verileri kaydedilerek Ölçüm Sistem Analizi yapılmıştır. Analiz için veri toplama aşamasında kalibrasyonu yeni yapılmış cihazlar seçildiğinden dolayı, eğilim ve doğrusalılık halihazırda kalibrasyon süreci ile zaten kontrol edildiğinden tekrar yapılmamıştır.

Analizler, hem Ortalama–Aralık hem de Varyans Analizi (ANOVA) yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.1' de hem Ortalama–Aralık, hem de Varyans Analizi Metotlarında kullanılmak üzere verilerin nasıl toplanacağı, Şekil 3.2'de Ortalama–Aralık Metodu kullanılarak analiz çalışmasının nasıl yürütüleceği, Şekil 3.3'de Varyans Analizi Metodu ile analiz çalışmasının nasıl yürütüleceği akış şemaları halinde verilmiştir. Her ne kadar uygulama aşamasında Varyans Analizi Metodu için de genel olarak kabul gören 10 parçalık [4] örnek büyüklüğü kullanılmış ise de, bu kabulün her zaman geçerli olmayacağını göstermek amacıyla örnek büyüklüğü tespit analizi (Gözlem Yeterlilik Testi) yapılmıştır. Hem grafiksel analiz için hem de varyans analizi hesaplamaları için günümüzde, bilhassa ölçüm sistemi analizinde yaygın olarak kullanılan MINITAB istatistiksel analiz paket programından yararlanılmıştır.

3.3. Kalınlık Ölçüm Analizi

Değerlendirilecek birinci ölçüm cihazı kalınlık ölçümü için kullanılan mikrometredir. Sürecin değişkenliğini temsil edecek on parça ve üç ölçümcü rasgele seçilmiştir. Zaman bir sınırlama olarak getirildiği için sadece iki deneme gerçekleştirilmiştir. Veri toplama ve analiz 2. bölümde anlatılan esaslar

çerçevesinde yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 3.1' de, bu verilerin analizi ve analiz raporu Çizelge 3.2' de verilmiştir. Bu aşamada aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

1. İlk olarak ölçüm cihazı çalışmasından toplanan verilerden bireysel ölçümlerin ortalamaları (\bar{X}_a , \bar{X}_b , \bar{X}_c) ve aralık ortalamaları (\bar{R}_a , \bar{R}_b , \bar{R}_c), her ölçümcü için hesaplanmıştır. Ayrıca, bireysel parça ortalamaları ve bunlardan yararlanılarak (\bar{X}_p) hesaplanmıştır.
2. Daha sonra, ölçümcü ortalamalarının aralığı (\bar{X}_{DIFF}), ölçümcü ortalamaları ortalaması ($\bar{\bar{X}}$), ölçümcü aralıklarının ortalaması ($\bar{\bar{R}}$) ve parça ortalamalarının aralığı (R_p) hesaplanmıştır.

$$\bar{X}_a = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r X_{nr}}{n \times r} = \frac{0.65 + 0.60 + \dots + 0.60 + 0.70}{10 \times 2} \Rightarrow \bar{X}_a = 0.8275mm.$$

$$\bar{X}_b = \frac{0.55 + 0.55 + \dots + 0.55 + 0.50}{10 \times 2} \Rightarrow \bar{X}_b = 0.7675mm.$$

$$\bar{X}_c = \frac{0.50 + 0.55 + \dots + 0.85 + 0.80}{10 \times 2} \Rightarrow \bar{X}_c = 0.8275mm.$$

$$\bar{R}_a = \frac{0.05 + 0.00 + \dots + 0.00 + 0.10}{10} \Rightarrow \bar{R}_a = 0.045$$

$$\bar{R}_b = \frac{0.00 + 0.10 + \dots + 0.05 + 0.05}{10} \Rightarrow \bar{R}_b = 0.045$$

$$\bar{R}_c = \frac{0.05 + 0.05 + \dots + 0.00 + 0.05}{10} \Rightarrow \bar{R}_c = 0.030$$

3. R Kontrol Grafiği için üst kontrol limiti (UKL_R) ve alt kontrol limiti (AKL_R) Çizelge 3.1' de gösterildiği gibi hesaplanır. Veriler Tekrarlanabilirlik Aralık Kontrol Grafiğine çizilebilir.
4. Bir sonraki basamak parça ölçümcü ortalama grafiği için üst kontrol limiti (UKL_x) ve alt kontrol limitinin (AKL_x) hesaplanmasıdır.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_p}{n} = \frac{0.567 + \dots + 0.667}{10} \Rightarrow \bar{\bar{X}} = 0.8075$$

$$UKL_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \times \bar{\bar{R}} = 0.8075 + 1.880 \times 0.04$$

$$UKL_x = 0.8827$$

$$AKL_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \times \bar{\bar{R}}$$

$$AKL_x = 0.8075 - 1.880 \times 0.04$$

$$AKL_x = 0.7323$$

Tablo 3.1 Kalınlık Ölçüm Verileri

ÖLÇÜMCÜ/ DENEME #	PARÇA										ORTALAMA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. A 1	0.65	1.00	0.85	0.85	0.55	1.00	0.95	0.85	1.00	0.60	0.83
2. 2	0.60	1.00	0.80	0.95	0.45	1.00	0.95	0.80	1.00	0.70	0.825
3. 3											
4. Ort.	0.625	1.000	0.825	0.900	0.500	1.000	0.950	0.825	1.000	0.650	$\bar{X}_a = 0.8275$
5. R	0.05	0.00	0.05	0.10	0.10	0.00	0.00	0.05	0.00	0.10	$\bar{R}_a = 0.045$
6. B 1	0.55	1.05	0.80	0.80	0.40	1.00	0.95	0.75	1.00	0.55	0.785
7. 2	0.55	0.95	0.75	0.75	0.40	1.05	0.90	0.70	0.95	0.50	0.75
8. 3											
9. Ort.	0.550	1.000	0.775	0.775	0.400	1.025	0.925	0.725	0.975	0.525	$\bar{X}_b = 0.7675$
10. R	0.00	0.10	0.05	0.05	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	$\bar{R}_b = 0.045$
11. C 1	0.50	1.05	0.80	0.80	0.45	1.00	0.95	0.80	1.05	0.85	0.825
12. 2	0.55	1.00	0.80	0.80	0.50	1.05	0.95	0.80	1.05	0.80	0.83
13. 3											
14. Ort.	0.525	1.025	0.800	0.800	0.475	1.025	0.950	0.800	1.050	0.825	$\bar{X}_c = 0.8275$
15. R	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	$\bar{R}_c = 0.030$
16. Parça Ort. (\bar{X}_p)	0.567	1.008	0.800	0.825	0.458	1.017	0.942	0.783	1.008	0.667	$\bar{X} = 0.8075$ $R_p = 0.559$
17.	[($\bar{R}_a = 0.045$) + ($\bar{R}_b = 0.045$) + ($\bar{R}_c = 0.03$)] / (Ölçümcü Sayısı= 3) =										$\bar{R} = 0.04$
18.	(Max $\bar{X} = 0.8275$) - (Min $\bar{X} = 0.7675$) =										$\bar{X}_{DIFF} = 0.06$
19.	($\bar{R} = 0.04$) x ($D_4 = 3.27$) =										UKL _R = 0.13
20.	($\bar{R} = 0.04$) x ($D_3 = 0$) =										AKL _R = 0.00
2 deneme için $D_4=3.27$ ve 3 deneme için $D_4=2.58'$ dir. 7 denemeye kadar $D_3=0'$ dir. UKL _R , bireyin R' sinin (Aralığının) üst limitini temsil eder. Bu limitin üzerinde olanları daire içine alın, nedenini tespit edin ve düzeltin. Bu okumaları aynı ölçümcüyü ve birimi kullanarak tekrarlayın veya bu değerleri iptal edip, geri kalan gözlemlerden Ortalama Aralık ve limit değerleri tekrar hesaplayın.											
Notlar: _____											

Tablo 3.2 Kalınlık Ölçümü Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Analiz Raporu

Parça No ve İsmi: xxxx			Cihaz İsmi: Mikrometre		Ölçümcü A: X	
Karakteristik: Kalınlık			Cihaz No: xxxx		Ölçümcü B: Y	
Tanım: 0.5-1.1 mm.			Cihaz Tipi: 0.00-10.00 mm		Ölçümcü C: Z	
$\bar{\bar{R}}$	\bar{X}_{DIFF}	R_p	Deneme Sayısı (r)	Parça Sayısı (n)	Ölçümcü Sayısı (k)	Tarih
0.04	0.06	0.559	2	10	3	Mayıs 2007

Ölçüm Analizi				% Toplam Değişkenlik (TV)	
Tekrarlanabilirlik – Ekipman Değişkenliği (EV)					
EV	$= \bar{\bar{R}} \times K_1$ $= 0.04 \times 4.56$ $= 0.18$	Deneme	K₁	% EV	$= 100 (EV/TV)$ $= 100 (0.18 / 0.93)$ $= \%18.7$
		2	4.56		
		3	3.05		
Tekrar Yapılabilirlik – Ölçümcü Değişkenliği (AV)					
AV	$= \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / n \cdot r)}$ $= \sqrt{(0.06 \times 2.70)^2 - [0.18^2 / (10 \cdot 2)]}$ $= 0.16$	Ölçümcü	2	% AV	$= 100 (AV/TV)$ $= 100 (0.16 / 0.93)$ $= \%16.8$
			3		
		K₂	3.65		
Tekrarlanabilirlik & Tekrar Yapılabilirlik (R & R)					
R & R	$= \sqrt{EV^2 + AV^2}$ $= \sqrt{0.18^2 + 0.16^2}$ $= 0.24$	Parça S	K₃	% R&R	$= 100 (R\&R/TV)$ $= 100 (0.16 / 0.93)$ $= \%25.2$
		2	3.65		
		3	2.70		
Parça – Parçaya Değişkenliği (PV)					
PV	$= R_p \times K_3$ $= 0.559 \times 1.62$ $= 0.90$	4	2.30	% PV	$= 100 (PV/TV)$ $= 100 (0.90 / 0.93)$ $= \%96.8$
		5	2.08		
		6	1.93		
		7	1.82		
		8	1.74		
Toplam Değişkenlik (TV)					
TV	$= \sqrt{R \& R^2 + PV^2}$ $= \sqrt{0.24^2 + 0.90^2}$ $= 0.93$	9	1.67	Farklı Kategori Sayısı (ndc)	$ndc = 1.41 (PV/R\&R)$ $= 1.41 (0.90 / 0.24)$ $= 5$
		10	1.62		

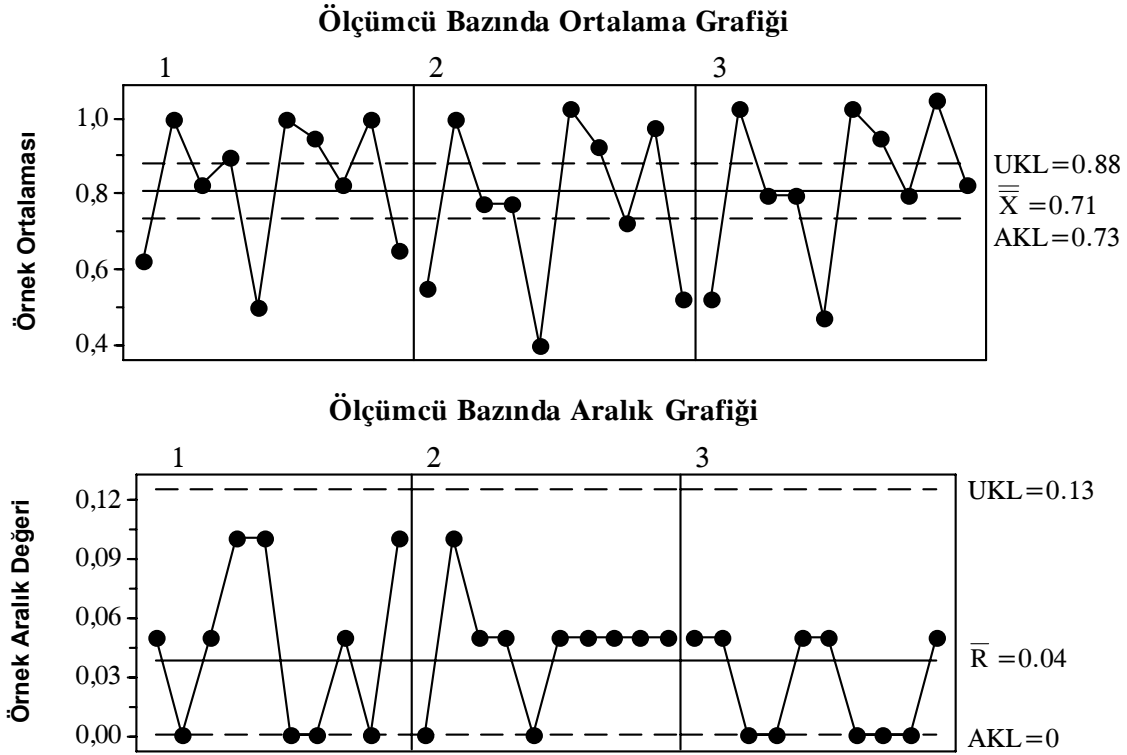
Bütün hesaplamalar 5.15 sigma tahminine dayalıdır (Normal dağılım eğrisinin altında kalan alanın % 99' u)

K₁: 5.15/d₂^{*} ye eşittir. d₂^{*}, deneme sayısına (m) ve (parça sayısı x ölçümcü sayısı)' na (g) bağlıdır ve bu değer 15' den büyük olarak kabul edilmiştir.

AV – Eğer karekök içindeki sayı negatif ise, ölçümcü değişkenliği (AV) sıfır (0) olarak alınır.

K₂: 5.15/d₂^{*} ye eşittir. d₂^{*}, ölçümcü sayısı (m) ve (g)' ye bağlıdır (sadece bir aralık hesaplaması olduğundan g=1)

K₃: 5.15/d₂^{*} ye eşittir. d₂^{*}, parça sayısı (m) ve (g)' ye bağlıdır (sadece bir aralık hesaplaması olduğundan g=1)



Şekil 3.5 Kalınlık Ölçüm Sonuçlarının Grafikselleştirilmesi

Şekil 3.5’ de ölçüm verilerinden yararlanılarak çizdirilen Ortalama–Aralık Grafiği görülmektedir. Aralık grafiğine bakıldığında, aralıkların kontrol altında olduğu görülebilir. Bu durum, bütün ölçümcülerin tutarlı olduğunu ve ölçüm cihazını hemen hemen aynı şekilde kullandıklarını gösterir.

Veriler, parça ölçümcü ortalama grafiğine (Şekil 3.5) işaretlendiğinde ve kontrol sınırları dışına düşen parça ortalamalarının sayısına bakıldığında, Kontrol Grafiği parça ortalamalarının büyük bir kısmının kontrol sınırlarının dışına düştüğünü gösterir. Bunun anlamı parça değişkenliğinin ölçüm sistemi değişkenliğine göre daha büyük olduğudur. Bu nedenle, ölçüm sistemi parça değişkenliği belirleme açısından yeterlidir. Ölçüm sisteminin süreç kontrolü için yeterli olup olmadığı, Farklı Veri Kategorileri Sayısı hesaplanarak kontrol edilebilir;

$$\frac{PV}{R \& R} \times 1.41 = \frac{0.90}{0.24} \times 1.41 \cong 5$$

Görüldüğü üzere bu çalışmada %R&R, %25.2 ve Farklı Veri Kategorileri Sayısı 5’ dir. % R&R %10 ile %30 arasında yer aldığından bu ölçüm sistemi süreç değişkenliğini ölçmek için marjinal olarak kabul edilebilir. Farklı Veri Kategorileri Sayısı 5 olduğundan dolayı bu ölçüm sistemi süreç kontrolü için yeterlidir denilebilir.

Seçilen işletmede kalınlık ölçümleri açısından Ortalama ve Aralık metodu ile yapılan analiz için kullanılan veriler, ANOVA yöntemi kullanılarak tekrar değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ölçüm verileri Çizelge 3.1’ de, bu veriler yardımıyla oluşturulan MINITAB ANOVA tablosu Çizelge 3.3’ de ve her iki yöntem (Ortalama–Aralık Metodu ve ANOVA Metodu) ile bulunan değerlerin karşılaştırıldığı tablo Çizelge 3.4’ de yer almaktadır.

Sonuçlar karşılaştırıldığında, ortalama ve aralık yöntemi kullanılarak hesaplanan ekipman değişkenliği 0.18 iken, bu değer ANOVA yöntemi kullanıldığında 0.19 bulunmuştur ki her iki değer de birbirine

yakındır. Burada dikkati çeken bir nokta R&R değerlerinin birbirinden olan farkıdır. Ortalama ve Aralık yöntemi kullanılarak bulunan değer 0.24 iken, ANOVA yöntemi ile bulunan değer 0.34'dür. Bunun sebebi ortalama ve aralık metodunda doğal olarak hesaba alınamayan ölçümcü-parça etkileşiminin ANOVA metodunda dikkate alınmasıdır. Ölçümcü-parça etkileşimi için hesaplanan $F_{op}=4.45 > F_{0.05,18,30}=1.99$ olduğundan ölçümcü-parça etkileşimi önemlidir. Bu durum Çizelge 3.3' de yer alan "p" değerine bakılarak da görülebilir. Hesaplanan "p=0" değeri, analiz için kabul edilen " $\alpha=0.05$ " güven değerinden küçük olduğundan etkileşim önemlidir.

Buradan çıkarılacak sonuç bu üç ölçümcünün kalınlık ölçümleri ve mikrometre kullanımı üzerine bir eğitimden geçirilmesi gerektiğidir. Ayrıca bu ölçüm sistemi kullanılarak kabul edilmiş olan parçalar aynı işleve sahip başka bir mikrometre ile tekrar kontrol edilmelidir. Bu ölçüm sistemi ile kabul gören parçaların cam şekillendirme makinelerinde kullanılması makine çalışmasını olumsuz etkileyecek arızalara, dolayısıyla duruşlara ve üretim kaybına sebep olabilecektir. Eğer Varyans Analizi Yöntemi kullanılmamış olsaydı bu tür bir iyileştirme fırsatı gözden kaçırılabilirdi.

Tablo 3.3 Kalınlık Ölçüm Sistemi MINITAB Varyans Analizi Tablosu

Source	DF	SS	MS	F	P
Parça	9	2.05871	0.228745	39.7178	0.000
Ölçümcü	2	0.04800	0.024000	4.1672	0.033
Parça * Ölçümcü	18	0.10367	0.005759	4.4588	0.000
Repeatability	30	0.03875	0.001292		
Total	59	2.24913			
Gage R&R					
Source	VarComp		%Contribution(of VarComp)		
Total Gage R&R	0.0044375		10.67		
Repeatability	0.0012917		3.10		
Reproducibility	0.0031458		7.56		
Ölçümcü	0.0009120		2.19		
Ölçümcü*Parça	0.0022338		5.37		
Part-To-Part	0.0371644		89.33		
Total Variation	0.0416019		100.00		
Source	StdDev(SD)	5.15*SD	(%SV)		
Total Gage R&R	0.066615	0.34306	32.66		
Repeatability	0.035940	0.18509	17.62		
Reproducibility	0.056088	0.28885	27.50		
Ölçümcü	0.030200	0.15553	14.81		
Ölçümcü*Parça	0.047263	0.24340	23.17		
Part-To-Part	0.192781	0.99282	94.52		
Total Variation	0.203965	1.05042	100.00		

Tablo 3.4 Kalınlık Ölçümü İçin ANOVA ve Ortalama–Aralık Metodu Karşılaştırma Tablosu

Metot	EV	AV	I	R&R	PV	TV	%R&R	%EV	%AV	%PV
Ortalama–Aralık	0.18	0.16	-	0.24	0.90	0.93	%25.2	%18.7	%16.8	%96.8
ANOVA	0.19	0.16	0.24	0.34	0.99	1.05	%32.7	%17.6	%14.8	%94.5

Varyans Analizi Metodu kullanılarak yapılan analiz için örnek büyüklüğünün yeterliliğini değerlendirmek istenilirse, işlem şu şekilde gerçekleştirilir:

1. Söz konusu ürün için süreç değişkenliği, ölçüm sistemi değişkenliği ve bu ikisinden faydalanılarak gerçek değişkenlik hesaplanır. Ölçü Kontrol Birimi'nde daha önce yapılmış olan kontrollerden faydalanılarak bu ürün için süreç değişkenliği 0.04 olarak bulunmuştur:

$$\sigma_{\bar{x}} = 0.2$$

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = 0.04$$

$$\sigma_m^2 = 0.00443$$

$$\sigma_m = 0.0666$$

$$\sigma_g^2 = \sigma_{\bar{x}}^2 - \sigma_m^2 = 0.04 - 0.00443 \Rightarrow \sigma_g^2 = 0.0356$$

$$\sigma_g = 0.189$$

2. Hesaplanan gerçek değişkenlik ve ölçüm sistemi değişkenliği yardımıyla r oranı bulunur:

$$r = \frac{\sigma_g}{\sigma_m} = \frac{0.189}{0.0666} \Rightarrow r \cong 3$$

3. Alt Spesifikasyon Sınırı (ASS), Üst Spesifikasyon Sınırı (ÜSS) ve nominal değer (μ) yardımıyla k_1 ve k_2 hesaplanır. Bu parça için belirlenmiş olan ASS=0.5 mm, ÜSS=1.1 mm ve $\mu=0.8$ mm'dir.

$$k_1 = \frac{(\mu - ASS)}{\sigma_g} = \frac{(0.8 - 0.5)}{0.189} \Rightarrow k_1 \cong 1.5$$

$$k_2 = \frac{(\text{ÜSS} - \mu)}{\sigma_g} = \frac{(1.1 - 0.8)}{0.189} \Rightarrow k_2 \cong 1.5$$

$$k_1 = k_2 = k$$

4. Art–Craft firmasında test sınırları spesifikasyon sınırları ile aynı olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla $b=0$ olacaktır. Bulunan tüm değerler yardımıyla, H.R. Singh tarafından hazırlanmış olan "Test ve Spesifikasyon Sınırlarının Çeşitli Değerleri İçin Üretici ve Tüketici Riskleri ve Ölçüm Hataları" isimli tablodan [5] $\alpha=0.0558$ ve $\beta=0.0268$ olarak bulunur.
5. Art–Craft firmasında bu parça için kabul edilebilir hatalı oranı $p_1=0.01$ ve kabul edilemez hatalı oranı $p_2=0.10$ olarak belirlenmiştir.

6. p_1 , p_2 , α ve β değerleri için z değerleri “z Dağılımı Tablosu”ndan sırasıyla 2.33, 1.28, 1.59 ve 1.93 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla örnek büyüklüğü (n) aşağıdaki gibi bulunur:

$$n = \left(\frac{z_\alpha + z_\beta}{z_{p_1} - z_{p_2}} \right)^2 = \left(\frac{1.59 + 1.93}{2.33 - 1.28} \right)^2 \Rightarrow n \cong 11$$

Ölçüm Sistem Analizinde genel olarak kullanılan örnek büyüklüğü olan 10 ile büyük bir fark olmadığından bu analizde kullanılan örnek büyüklüğü yeterli bulunmuştur.

3.4. Uzunluk Ölçüm Analizi

Ölçü Kontrol Biriminde tedarikçiden temin edilen başka bir parçanın kritik boyutunun (uzunluk) ölçülmesi amacıyla rasgele seçilen 10 parça, yine rasgele seçilen 3 ölçümcüye, 0.01 hassasiyetli dijital kumpas ile 3 defa ölçtürülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 3.5’ de verilmiştir. Ölçüm sonuçları yardımıyla yapılan hesaplamaların yer aldığı rapor sayfası Çizelge 3.6’ da verilmiştir.

Yapılan çalışmada, toplanan veriler yardımıyla bireysel ölçümlerin ortalamaları (\bar{X}_a , \bar{X}_b , \bar{X}_c) ve aralık ortalamaları (\bar{R}_a , \bar{R}_b , \bar{R}_c) her ölçümcü için hesaplanır. Daha sonra,

- Ölçümcü ortalamalarının aralığı (\bar{X}_{DIFF}),
- Ölçümcü ortalamalarının ortalamaları ($\bar{\bar{X}}$),
- Ölçümcü aralıklarının ortalaması ($\bar{\bar{R}}$),
- Parça ortalamalarının aralığı (R_p) hesaplanır.

Bir sonraki basamak parça ölçümcü ortalama grafiği için üst kontrol limiti (UCL_x) ve alt kontrol limitinin (LCL_x) hesaplanmasıdır.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_p}{n} = \frac{91.63 + \dots + 107.26}{10} \Rightarrow \bar{\bar{X}} = 99.6814$$

$$UCL_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \times \bar{\bar{R}} = 99.6814 + 1.023 \times 1.0370$$

$$UCL_x = 100.74$$

$$LCL_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \times \bar{\bar{R}}$$

$$LCL_x = 99.6814 - 1.023 \times 1.0370$$

$$LCL_x = 98.62$$

Tablo 3.5 Uzunluk Ölçüm Verileri

ÖLÇÜMCÜ/ DENEME #	PARÇA										ORTALAMA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. A 1	92.45	99.96	97.65	105.79	108.74	87.21	96.63	99.84	105.30	107.39	100.10
2. 2	90.81	99.83	98.60	107.30	109.44	87.52	97.66	99.21	105.49	107.15	100.30
3. 3	91.88	99.04	96.35	106.25	108.01	85.54	96.22	99.01	106.64	107.88	99.68
4. Ort.	91.71	99.61	97.53	106.45	108.73	87.76	96.84	99.35	105.81	107.47	$\bar{X}_a = 100.0263$
5. R	1.64	0.92	2.25	1.51	1.43	1.98	1.44	0.83	1.34	0.73	$\bar{R}_a = 1.41$
6. B 1	91.14	99.53	97.80	105.70	107.36	86.50	96.59	98.19	105.34	107.21	99.54
7. 2	92.17	99.23	97.76	106.89	107.55	86.22	96.61	97.77	104.09	107.15	99.54
8. 3	92.23	100.21	97.81	107.57	108.66	86.26	96.52	98.43	104.74	107.01	99.94
9. Ort.	91.85	99.66	97.79	106.72	107.86	86.33	96.57	98.13	104.72	107.12	$\bar{X}_b = 99.6747$
10. R	1.09	0.98	0.05	1,87	1.30	0.28	0.09	0.66	1.25	0.20	$\bar{R}_b = 0.78$
11. C 1	90.86	98.57	97.86	106.09	108.32	87.19	96.79	97.83	105.17	107.28	99.60
12. 2	91.00	98.34	96.03	105.70	107.66	85.84	96.51	98.70	105.46	106.97	99.22
13. 3	92.17	98.39	96.44	106.03	106.65	86.35	96.18	97.84	104.78	107.30	99.21
14. Ort.	91.34	98.43	96.78	105.94	107.54	86.46	96.49	98.12	105.14	107.18	$\bar{X}_c = 99.3433$
15. R	1.31	0.23	1.83	0.39	1.67	1.35	0.61	0.87	0.68	0.33	$\bar{R}_c = 0.93$
16. Parça Ort. (\bar{X}_p)	91.63	99.23	97.37	106.37	108.04	86.51	96.63	98.54	105.22	107.26	$\bar{\bar{X}} = 99.6814$ $R_p = 21.53$
17.	[($\bar{R}_a = 1.41$) + ($\bar{R}_b = 0.78$) + ($\bar{R}_c = 0.93$)] / (Ölçümcü Sayısı = 3) =										$\bar{\bar{R}} = 1.0370$
18.	(Max $\bar{X} = 100.0263$) - (Min $\bar{X} = 99.3433$) =										$\bar{X}_{DIFF} = 0.683$
19.	($\bar{\bar{R}} = 1.0370$) x ($D_4 = 2.58$) =										UCL _R = 2.6755
20.	($\bar{\bar{R}} = 1.0370$) x ($D_3 = 0$) =										LCL _R = 0
<p>2 deneme için $D_4=3.27$ ve 3 deneme için $D_4=2.58$' dir. 7 denemeye kadar $D_3=0$' dır. UCLR, bireyin R' sinin (Aralığıının) üst limitini temsil eder. Bu limitin üzerinde olanları daire içine alın, nedenini tespit edin ve düzeltin. Bu okumaları aynı ölçümcüye ve birimi kullanarak tekrarlayın veya bu değerleri iptal edip, geri kalan gözlemlerden Ortalama Aralık ve limit değerleri tekrar hesaplayın.</p>											

Tablo 3.6 Uzunluk Ölçümü Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik Raporu

Parça No ve İsmi: xxx		Cihaz İsmi: Kumpas		Ölçümcü A: xxx		
Karakteristik: xxx		Cihaz No:		Ölçümcü B: xxx		
Tanım: 101±15		Cihaz Tipi: 0–150mm. (0.01mm Aralıklı)		Ölçümcü C: xxx		
\bar{R}	\bar{X}_{DIFF}	R_p	Deneme Sayısı (r)	Parça Sayısı (n)	Ölçümcü Sayısı (k)	Tarih
1.0370	0.683	21.53	3	10	3	Haziran 2007

Ölçüm Analizi				% Toplam Değişkenlik (TV)	
Tekrarlanabilirlik – Ekipman Değişkenliği (EV)					
EV	= $\bar{R} \times K_1$ = 1.0370 x 3.05 = 3.1628	Deneme	K₁	% EV	= 100 (EV/TV) = 100 (3.1628 / 35.0655) = %9
		2	4.56		
		3	3.05		
Tekrar Yapılabilirlik – Ölçümcü Değişkenliği (AV)					
AV	= $\sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / n \cdot r)}$ = $\sqrt{(0.683 \times 2.70)^2 - [10.0033 / (10 \cdot 3)]}$ = 1.7514	Ölçümcü	2	% AV	= 100 (AV/TV) = 100 (1.7514 / 35.0655) = %5
		K₂	3		
		3.65	2.70		
Tekrarlanabilirlik & Tekrar Yapılabilirlik (R & R)					
R & R	= $\sqrt{EV^2 + AV^2}$ = $\sqrt{3.1628^2 + 1.7514^2}$ = 3.6153	Parça S	K₃	% R&R	= 100 (R&R/TV) = 100 (3.6153 / 35.0655) = %10.3
		2	3.65		
		3	2.70		
Parça – Parçaya Değişkenliği (PV)					
PV	= $R_p \times K_3$ = 21.53 x 1.62 = 34.8786	4	2.30	% PV	= 100 (PV/TV) = 100 (34.8786 / 35.0655) = %99.5
		5	2.08		
		6	1.93		
		7	1.82		
		8	1.74		
Toplam Değişkenlik (TV)					
TV	= $\sqrt{R \& R^2 + PV^2}$ = $\sqrt{3.6153^2 + 34.8786^2}$ = 35.0655	9	1.67	Farklı Kategori Sayısı (ndc)	ndc = 1.41 (PV/R&R) = 1.41 (34.8786 / 3.6153) = 14
		10	1.62		

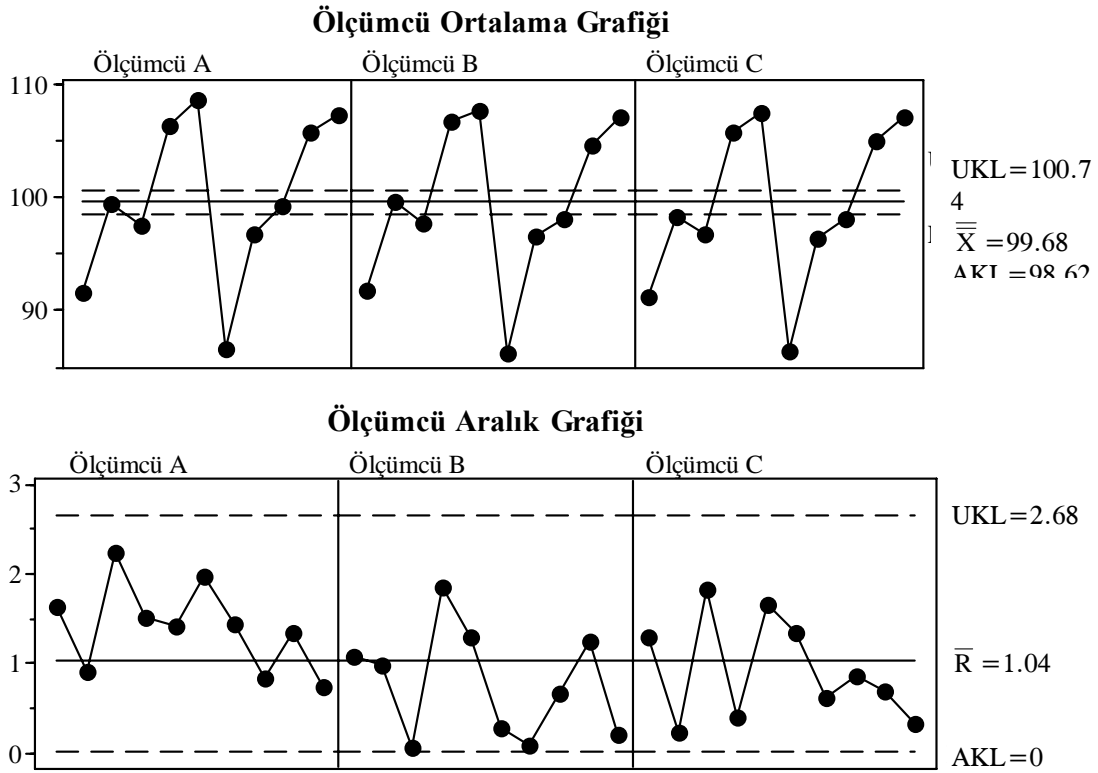
Bütün hesaplamalar 5.15 sigma tahminine dayalıdır (Normal dağılım eğrisinin altında kalan alanın % 99' u)

K₁: 5.15/d₂^{*}, ye eşittir. d₂^{*}, deneme sayısına (m) ve (parça sayısı x ölçümcü sayısı)' na (g) bağlıdır ve bu değer 15' den büyük olarak kabul edilmiştir.

AV – Eğer karekök içindeki sayı negatif ise, ölçümcü değişkenliği (AV) sıfır (0) olarak alınır.

K₂: 5.15/d₂^{*}, ye eşittir. d₂^{*}, ölçümcü sayısı (m) ve (g)' ye bağlıdır (sadece bir aralık hesaplaması olduğundan g=1)

K₃: 5.15/d₂^{*}, ye eşittir. d₂^{*}, parça sayısı (m) ve (g)' ye bağlıdır (sadece bir aralık hesaplaması olduğundan g=1)



Şekil 3.6 Uzunluk Ölçüm Sonuçları Grafikselsel Analizi

Şekil 3.6' da yer alan Ortalama grafiğine bakıldığında, ölçümcü ortalamalarının büyük çoğunluğunun kontrol sınırları dışında olduğu görülmektedir. Bu, parça değişkenliğinin ölçüm sistemi değişkenliğinden daha büyük olduğunu ve bu sebeple de bu ölçüm sisteminin parça değişkenliğindeki değişimleri kolaylıkla belirleyebileceğini gösterir.

Aralık Grafiğine bakıldığında, aralık değerlerinin kontrol altında olduğu (yani, UKL_R ve AKL_R arasında) görülmektedir. Bu, bütün ölçümcülerin tutarlı olduğunu gösterir. Fakat grafikler daha detaylı incelendiğinde 1. ölçümcünün diğerlerinden biraz daha farklı olduğu görülebilir. 1. ölçümcünün ölçtüğü parça aralığı çoğunlukla ortalamanın üstünde kalmaktadır.

Görüldüğü üzere bu çalışmada %R&R, %10 ve Farklı Veri Kategorileri Sayısı 14' dür. Bu nedenle ölçüm sistemi süreç değişkenliğini ölçmek için kabul edilebilir ve süreç kontrolü için yeterlidir denilebilir.

Yukarıda Ortalama ve Aralık metodu ile yapılan analiz, ANOVA metodu kullanılarak tekrarlanmıştır. Ölçüm verileri Çizelge 3.5' de, ölçüm verileri kullanılarak oluşturulan MINITAB ANOVA Tablosu Çizelge 3.7' de ve her iki yöntem ile elde edilen sonuçların karşılaştırıldığı tablo Çizelge 3.8' de verilmiştir.

Sonuçlar birbiriyle karşılaştırıldığında görülmektedir ki, Varyans Analizinde ölçümcü-parça etkileşimi istatistiksel olarak göz ardı edilebileceğinden, etkileşim sonuçlara dahil edilmemiş ve her iki analiz yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar birbirlerine yakın çıkmıştır.

Tablo 3.7 Uzunluk Ölçüm Sistemi MINITAB Varyans Analizi Tablosu

Source	DF	SS	MS	F	P
Parça	9	4113.63	457.071	1232.53	0.000
Ölçümcü	2	7.00	3.500	9.44	0.002
Parça * Ölçümcü	18	6.68	0.371	0.96	0.515
Repeatability	60	23.17	0.386		
Total	89	4150.47			
Two-Way ANOVA Table Without Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parça	9	4113.63	457.071	1194.72	0.000
Ölçümcü	2	7.00	3.500	9.15	0.000
Repeatability	78	29.84	0.383		
Total	89	4150.47			
Gage R&R					
Source	VarComp	%Contribution(of VarComp)			
Total Gage R&R	0.4865	0.95			
Repeatability	0.3826	0.75			
Reproducibility	0.1039	0.20			
Ölçümcü	0.1039	0.20			
Part-To-Part	50.7431	99.05			
Total Variation	51.2296	100.00			
Source	StdDev(SD)	5.15*SD	%SV		
Total Gage R&R	0.69748	3.5920	9.74		
Repeatability	0.61853	3.1854	8.64		
Reproducibility	0.32234	1.6601	4.50		
Ölçümcü	0.32234	1.6601	4.50		
Part-To-Part	7.12342	36.6856	99.52		
Total Variation	7.15748	36.8610	100.00		

Tablo 3.8 Uzunluk Ölçümü İçin ANOVA ve Ortalama–Aralık Metodu Karşılaştırma Tablosu

Metot	EV	AV	I	R&R	PV	TV	%R&R	%EV	%AV	%P V
Ortalama –Aralık	3.1628	1.751 4	-	3.6153	34.878 6	35.06 55	10.3	9	5	99. 5
ANOVA	3.1853	1.659 8	1.65 98	3.5921	36.685 5	36.86 09	9.7	8.6	4.5	99. 5

Varyans Analizi Metodu kullanılarak yapılan analiz için örnek büyüklüğünün yeterliliği değerlendirilecek olursa:

1. Söz konusu ürün için süreç değişkenliği, ölçüm sistemi değişkenliği ve bu ikisinden faydalanılarak gerçek değişkenlik hesaplanır. Ölçü Kontrol Birimi'nde daha önce yapılmış olan kontrollerden faydalanılarak bu ürün için değişkenlik 5.7014 olarak bulunmuştur:

$$\sigma_{\bar{x}} = 5.7014$$

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = 32.5060$$

$$\sigma_m^2 = 0.4865$$

$$\sigma_m = 0.6975$$

$$\sigma_g^2 = \sigma_{\bar{x}}^2 - \sigma_m^2 = 32.5060 - 0.4865 \Rightarrow \sigma_g^2 = 32.0195$$

$$\sigma_g = 5.6586$$

2. Hesaplanan gerçek üretim değişkenliği ve ölçüm sistemi değişkenliği yardımıyla r oranı bulunur:

$$r = \frac{\sigma_g}{\sigma_m} = \frac{5.6586}{0.6975} \Rightarrow r \cong 8$$

3. Alt Spesifikasyon Sınırı (ASS), Üst Spesifikasyon Sınırı (ÜSS) ve nominal değer (μ) yardımıyla k_1 ve k_2 hesaplanır. Bu parça için belirlenmiş olan ASS=86 mm, ÜSS=116 mm ve $\mu=101$ mm'dir.

$$k_1 = \frac{(\mu - ASS)}{\sigma_g} = \frac{(101 - 86)}{5.6586} \Rightarrow k_1 \cong 2.5$$

$$k_2 = \frac{(\text{ÜSS} - \mu)}{\sigma_g} = \frac{(116 - 101)}{5.6586} \Rightarrow k_2 \cong 2.5$$

$$k_1 = k_2 = k$$

4. Art–Craft firmasında test sınırları spesifikasyon sınırları ile aynı olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla $b=0$ olacaktır. Bulunan tüm değerler yardımıyla, H.R. Singh tarafından hazırlanmış olan "Test ve Spesifikasyon Sınırlarının Çeşitli Değerleri İçin Üretici ve Tüketici Riskleri ve Ölçüm Hataları" isimli tablodan [5] $\alpha=0.0021$ ve $\beta=0.0015$ olarak bulunur.

5. Art–Craft firmasında bu parça için kabul edilebilir hatalı oranı $p_1=0.01$ ve kabul edilemez hatalı oranı $p_2=0.15$ olarak belirlenmiştir.
6. p_1 , p_2 , α ve β değerleri için z değerleri “z Dağılımı Tablosu”ndan sırasıyla 2.33, 1.04, 2.87 ve 2.97 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla örnek büyüklüğü (n) aşağıdaki gibi bulunur:

$$n = \left(\frac{z_{\alpha} + z_{\beta}}{z_{p_1} - z_{p_2}} \right)^2 = \left(\frac{2.87 + 2.97}{2.33 - 1.04} \right)^2 \Rightarrow n \cong 20$$

Bu ölçüm sistemi Varyans Analizi Metodu kullanılarak analiz edildiğinde seçilmesi gereken örnek büyüklüğü 20 olmalıdır. Görüldüğü üzere, genel olarak kabul gören 10 adetlik örnek büyüklüğü, Varyans Analizi Metodunun kullanımı söz konusu olduğunda her zaman yeterli olmayabilir. Bu sebeple, 10 parçalık bir örnek daha alınmış ve Varyans Analizi Metodu ile ölçüm sistemi analizi tekrarlanmıştır. 20 parçanın ölçüm sonuçları Çizelge 3.9’da ve değişkenlik bileşenleri açısından MINITAB analiz çıktısı Çizelge 3.10’da verilmiştir.

10 adet örnek alınarak yapılan analizde ölçümcü–parça etkileşimi istatistiksel olarak önemsiz çıkmışken, 20 adet örnek alınarak yapılan analizde aynı etkileşim istatistiksel olarak önemli çıkmış ve analize dahil edilmiştir. % R&R, n=10 için % 9.7 iken, n=20 olduğunda % 9.87, % EV n=10 için % 8.6 iken, n=20 için % 9.19, % AV n=10 için % 4.5 iken, n=20 için % 3.61 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.9 Uzunluk Ölçüm Verileri (n=20)

Ölçümcü	A			B			C		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	92.45	90.81	91.88	91.14	92.17	92.23	90.86	91.00	92.17
2	99.96	99.83	99.04	99.53	99.23	100.21	98.57	98.34	98.39
3	97.65	98.60	96.35	97.80	97.76	97.81	97.86	96.03	96.44
4	105.79	107.30	106.25	105.70	106.89	107.57	106.09	105.70	106.03
5	108.74	109.44	108.01	107.36	107.55	108.66	108.32	107.66	106.65
6	87.21	87.52	85.54	86.50	86.22	86.26	87.19	85.84	86.35
7	96.63	97.66	96.22	96.59	96.61	96.52	96.79	96.51	96.18
8	99.84	99.21	99.01	98.19	97.77	98.43	97.83	98.70	97.84
9	105.30	105.49	106.64	105.34	104.09	104.74	105.17	105.46	104.78
10	107.39	107.15	107.88	107.21	107.15	107.01	107.28	106.97	107.30
11	92.07	92.17	91.00	90.81	91.15	91.88	92.17	92.45	91.98
12	99.23	98.39	98.34	99.83	99.89	99.04	99.23	99.96	99.14
13	97.76	96.54	96.03	98.60	97.34	96.35	97.76	97.65	96.25
14	106.89	106.13	105.70	107.30	106.80	106.25	106.89	105.89	106.15
15	107.55	106.75	107.66	109.44	107.75	108.01	107.55	108.74	108.10
16	86.22	86.35	85.84	87.52	87.25	85.54	86.22	87.21	85.75
17	96.61	96.18	96.51	97.66	96.85	96.22	96.61	96.63	96.05
18	97.77	97.84	98.70	99.21	98.84	99.01	97.77	99.84	99.10
19	104.09	104.78	105.46	105.49	105.38	106.64	104.09	105.30	106.24
20	107.15	107.30	106.97	107.15	106.83	107.88	107.15	107.39	107.98

Tablo 3.10 Uzunluk Ölçümü MINITAB Varyans Analizi Tablosu (n=20)

Gage R&R			
Source	VarComp	%Contribution(of VarComp)	
Total Gage R&R	0.4737	0.97	
Repeatability	0.4104	0.84	
Reproducibility	0.0633	0.13	
Ölçümcü	0.0051	0.01	
Ölçümcü*Parça	0.0583	0.12	
Part-To-Part	48.1682	99.03	
Total Variation	48.6419	100.00	
Source	StdDev(SD)	5.15*SD	(%SV)
Total Gage R&R	0.68827	3.5446	9.87
Repeatability	0.64061	3.2991	9.19
Reproducibility	0.25167	1.2961	3.61
Ölçümcü	0.07121	0.3667	1.02
Ölçümcü*Parça	0.24139	1.2432	3.46
Part-To-Part	6.94033	35.7427	99.51
Total Variation	6.97437	35.9180	100.00

4. SONUÇ

Üretim süreci istatistiksel olarak kararlı bir şekilde işlerken üretilen ürünlerin spesifikasyon sınırları içerisinde oluşma derecesini belirlemek için, ürünlerin kalite karakteristiklerinin ölçülmesi gerekli olmaktadır. Yapılan ölçümlerden, elde edilen veriler ile sürecin spesifikasyonları sağlama derecesi, süreç yeterlilik indeksleri ile belirlenebilir. Süreç yeterlilik indekslerinin güvenilir sonuçlar vermesi için, ölçümlerden elde edilen verilerin de güvenilir olması gereklidir. Ölçüm sonuçlarının güvenilir olması için de, ölçüm sisteminin analiz edilmesi önemli bir öğeyi oluşturmaktadır. Ölçüm sisteminin analizi için belirli bir sıklık önerilmemekle birlikte, incelenecek cihaz için, cihazın bir önceki kalibrasyonu ile takip eden kalibrasyonu arasında rutin olarak yapılabilir. Eğer, ölçüm sistemi ile elde edilen sonuçlardan ciddi bir kuşku söz konusu ise analiz rutinden bağımsız olarak mutlaka yapılmalıdır.

Ölçüm sistemlerinin değerlendirilmesi, mutlaka söz konusu ölçüm sisteminin kullandığı ürünün ölçülecek kalite karakteristiğine bağlı olarak yapılmalıdır. Çünkü bir parçanın herhangi bir kalite karakteristiği için yeterli olabilen bir ölçüm sistemi, bir başka parçanın farklı bir kalite karakteristiği için uygun olmayabilir.

Bu çalışmada, sofracı üreticisi olan Art–Craft firmasında, Ölçü Kontrol Birimi'nde uygulanan ve problem oluşturabileceği düşünülen iki ölçüm sürecinin analizi için bir model oluşturulmuştur. Çalışmada, Ölçüm Sistem Analizi için tavsiye edilen 10 adet parça kullanılmıştır. Fakat analiz Varyans Analizi Metodu kullanılarak yapılacak ise her zaman 10 adet parça seçilmesinin, değişkenliğin doğru tespit edilebilmesi için yeterli olmayabileceği bilhassa ikinci uygulamada kendini göstermiştir. Her ne kadar uzunluk ölçümü çalışmasında genel olarak kabul gören ve tavsiye edilen örnek büyüklüğü kullanılmış ise de daha sonra yapılan yeterlilik analizi sonucunda en az 20 adet parça seçilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu da göstermektedir ki Varyans Analizi Metodu kullanılacaksa, ölçüm sistemi analizine başlamadan önce örnek büyüklüğünün ne olması gerektiği saptanmalıdır.

Çalışmada ilk değerlendirme kalınlık ölçümü için kullanılan mikrometre ile yapılmıştır. Elde edilen ölçüm verileri hem Ortalama–Aralık metodu, hem de Varyans Analizi metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, ortalama ve aralık yöntemi kullanılarak hesaplanan ekipman değişkenliği 0.18 iken, bu değer ANOVA yöntemi kullanıldığında 0.19 bulunmuştur ki her iki değer de birbirine yakındır. Ölçümcü değişkenliği her iki yöntem ile 0.16 olarak bulunmuştur. Burada dikkati çeken bir nokta R&R değerlerinin birbirinden olan farkıdır. Ortalama ve aralık yöntemi kullanılarak bulunan değer 0.24 iken, ANOVA yöntemi ile bulunan değer 0.34'dür. Bunun sebebi ortalama ve aralık metodunda doğal olarak hesaba alınamayan ölçümcü–parça etkileşiminin ANOVA metodunda dikkate alınmasıdır. Ölçümcü–parça etkileşimi için hesaplanan $F_{op}=4.45 > F_{0.05,18,30}=1.99$ olduğundan ölçümcü–parça etkileşimi önemlidir. Bu durum Çizelge 5.3' de yer alan "p" değerine bakılarak da görülebilir. Hesaplanan "p=0" değeri, analiz için kabul edilen " $\alpha=0.05$ " güven değerinden küçük olduğundan etkileşim önemlidir.

Her iki metod da ölçüm sisteminde iyileştirme yapılması gereği sonucunu ortaya çıkarmıştır, fakat Ortalama–Aralık Metodu sistemin marjinal olarak kullanılabileceği sonucunu vermiştir. Varyans analizi sonuçlarına bakıldığında sistemin kabul edilemez olduğu ve kesinlikle iyileştirme yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, ölçüm cihazı değişkenliği (EV=0.19), ölçümcü değişkenliğine (AV=0.16) göre büyük olduğundan uygunsuzluğun en büyük sebebi ölçüm cihazıdır denilebilir. Bu sebeple ve ISO 9001:2000 Madde 7.6' da yer alan "İzleme ve ölçme cihazlarının şartlara uygun olmadığı anlaşıldığında, önceden yapılmış ölçüm sonuçlarının geçerliliği değerlendirilmeli, sonuçlar kayıt edilmeli ve uygun tedbirler alınmalıdır" paragrafının getirdiği sorumluluktan dolayı; aynı özelliklere sahip başka bir ölçüm cihazı ile daha önceden kabul edilmiş parçalar arasından rastgele olarak seçilen örneklerde yapılan kontrollerde, analizi yapılan ölçüm cihazı ile kabul edilen parçaların bir kısmının aslında belirlenen spesifikasyonlara uygun olmadığı tespit edilmiştir. Böylece spesifikasyonlara uygun olmayan malzeme yüzünden yaşanabilecek daha büyük arıza ve duruş kaybı dolayısıyla oluşabilecek maliyetlerin önüne geçilmiştir. Ek olarak ölçüm yapan elemanlara ölçüm ekipmanı kullanımı ve bakımı ile ilgili eğitim verilmiştir.

İkinci değerlendirme kumpas ile uzunluk ölçümü üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada da her iki niceliksel analiz metodu kullanılmıştır. Ekipman değişkenliği (EV), Ortalama–Aralık Metodu ile 3.1628, Varyans Analizi Metodu ile 3.1853 olarak hesaplanmıştır. Ölçümcü değişkenliği (AV), Ortalama–Aralık Metodu ile 1.7514, Varyans Analizi Metodu ile 1.6598 olarak bulunmuştur. Farklı Veri Kategorileri Sayısının 5'den büyük olması ile bu sistemin süreç kontrolü için de kullanılabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

Varyans Analizi Metodu kullanılarak yapılan analizde, ölçümcü–parça etkileşimi (I) için hesaplanan F değeri, F dağılımı tablosundaki değer ile karşılaştırıldığında, $F_{op}=0.96 < F_{0.05,18,60}=1.81$ olduğundan dolayı ölçümcü–parça etkileşiminin göz ardı edilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır. % R&R değeri Ortalama–Aralık Metodu kullanılarak yapılan analizde % 10.3, Varyans Analizi Metodu ile yapılan analizde ise % 9.7 çıkmıştır. Varyans Analizi Metodu açısından yapılan örnek yeterlilik analizi sonucu olması gereken örnek büyüklüğü 20 olarak tespit edildiğinden, 20 parça üzerinde analiz tekrarlanmış ve % R&R değeri % 9.87, Ekipman Değişkenliği % 9.19 ve Ölçümcü Değişkenliği % 3.61 olarak bulunmuştur. Ölçümcü–parça etkileşimi 10 parça kullanılarak yapılan analizde göz ardı edilebilir çıkarken, 20 parça ile tekrarlanan analizde ise önemli olarak çıkmıştır. % R&R değeri dikkate alındığında, incelenen ölçüm sisteminin süreç değişkenliğini doğru olarak tespit edebileceğinden dolayı uzunluk ölçümünde kullanılabileceği söylenebilir.

Bu tür bir analiz çalışması, ele alınan şirket gibi daha önce ölçüm sistem analizi yapmamış bir firmada uygulanmış ise bir sonraki adım, kalite yönetim sistemi içinde çalışmanın hangi aşamalarda yapılacağını anlatan yazılı dokümanların ve formların oluşturulması ve uygulamanın sürekliliğinin sağlanması olmalıdır. Bunun yanında, işletme tedarikçilerini de benzeri bir ölçüm sistem analizi uygulamasına teşvik etmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Pyzdek T., 2003, Quality Engineering Handbook, Marcel Dekker Inc, 714 p.
- [2] NIST, 2006, Engineering Statistics Handbook, www.itl.nist.gov/div898/handbook, 3118p.
- [3] Montgomery D. C., 2005, Introduction to Statistical Quality Control, 5th ed., John Wiley and Sons, 776 p.
- [4] Ford Motor Company, General Motors Corporation and Daimler Chrysler Corporation, 2002, MSA Reference Manual, 3rd Ed., 225 p.
- [5] Gelipgiden B., 2001, QS-9000 Kalite Güvence Sisteminin Referans Konularından Ölçüm Sistemleri Analizinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi ve Bir İşletmede Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Ana Bilim Dalı, 262 s.
- [6] Allen E. A., Burdick R. K. and Larsen G. A., 2002, Comparing Variability of Two Measurement Processes Using R&R Studies, Journal of Quality Technology, Vol. 34, No. 1, 97-105.
- [7] Breyfogle III F. W., 2003, Implementing Six Sigma, 2nd ed., John Wiley and Sons, 1229p.
- [8] Burdick R. K. and Larsen G. A., 1997, Confidence Intervals on Measures of Variability in R&R Studies, Journal of Quality Technology Vol. 29 No. 3, 261-273.
- [9] Burdick R. K., Borrer C. M. and Montgomery D. C., 2003, A Review of Methods for Measurement System Capability Analysis, Journal of Quality Technology, Vol. 35 No. 4, 115-135.
- [10] Burdick R. K. and Daniels L., 2005, Confidence Intervals in Gauge R&R Study with Fixed Operators, Journal of Quality Technology, Vol. 37 No. 3, 179-185.
- [11] Chambers J., Cleveland W., Kleiner B. and Tukey P., 1983, Graphical Methods for Data Analysis, Wadsworth, 336 p.
- [12] Deming W. E., 1982, Quality Productivity and Competitive Position, MIT Press, 373 p.
- [13] Duncan A. J., 1986, Quality Control and Industrial Statistics, 5th ed., Irwin, 1123p.
- [14] Ermer D. S., 2006(a), Improved Gage R&R Measurement Studies, Quality Progress, 77-79.
- [15] Ermer D. S., 2006(b), Appraiser Variation in Gage R&R Measurement, Quality Progress, 75-78.
- [16] Graham R. M., 2006(a), Four Steps to Ensure Measurement Data Quality Part 1 Quality Progress, 80-82.
- [17] Graham R. M., 2006(b), Four Steps to Ensure Measurement Data Quality Part 2 Quality Progress, 82-85.
- [18] Hoaglin D. C. and Mosteller F., Tukey J. W., 1991, Fundamentals of Exploratory Analysis of Variance, John Wiley and Sons, 448 p.
- [19] ISO, 1993, Guide to the Expression of Uncertainty of Measurement, International Organization for Standardization, 113p.
- [20] Juran J. M. and Godfrey A. B., 1999, Juran's Quality Handbook, 5th ed. McGraw-Hill, 1730p.
- [21] Mosteller F. and Tukey J., 1977, Data Analysis and Regression, Addison-Wesley, 608 p.
- [22] Voelkel J. G., 2003, Gauge R&R Analysis for Two Dimensional Data with Circular Tolerances, Journal of Quality Technology, Vol. 35 No. 2, 153-167.

ÖZGEÇMİŞLER

Uğur KAVİ

1973 yılı Ankara doğumludur. 1994 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 1994–1997 yılları arasında Planlama ve Kalite Kontrol konularında özel sektörde çalışmıştır. 2004 yılında San Francisco State University College of Business M.B.A. derecesini almış, 2008 yılında Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisansını bitirmiştir. 2004 yılından beri Art–Craft firmasında çalışmaktadır.

Sermin ELEVLİ

1994 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 1996 yılında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Maden İşletme ana bilim dalında yüksek lisansını ve 2003 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Maden İşletme ana bilim dalında doktorasını bitirmiştir. 1994–2002 yılları arasında Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak, 2002 – 2003 yılları arasında D.S.İ' de mühendis olarak çalışmıştır. 2003 yılından beri Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünde Yrd. Doç. olarak görev yapmaktadır.