



**TÜBİTAK**

# OTOBÜS YEDEK PARÇA ÜRETİMİNDE ÖLÇÜM SİSTEM ANALİZİ UYGULAMASI



# İÇİNDEKİLER

---

## ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

- Ölçüm Sistemleri Kullanım Alanları
- Ölçüm Sistemleri Analizi
- Ölçüm sistemleri analizi terminolojisi
- Nicel MSA metodları
- Gage R&R Yöntemleri
- Gage R&R Adımları
- Gage R&R Kriterleri
- Gage R&R Metotları
- Gage R&R Hesaplanması ve Parametreleri

- UYGULAMA
- SONUÇ
- BULGULAR VE ÖNERİLER
- KAYNAKÇA
- KAPANIŞ

# GİRİŞ

---

“Otomotiv sektöründe, yalnızca 0.01 mm’lik bir ölçüm sapması; parça uyumsuzluklarına, üretim hatalarına ve binlerce liralık mali kayıplara yol açabilmektedir.” Bu kadar küçük bir sapmanın büyük sonuçlar doğurabilmesi, bize şunu açıkça göstermektedir: Kalite, tesadüflere bırakılamaz. Günümüzün yoğun rekabet ortamında, özellikle otomotiv gibi hassas toleranslarla üretim yapılan sektörlerde kalite ve verimlilik, işletmelerin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

---

Ölçemediğiniz hiçbir şeyi  
kontrol edemezsiniz,  
Kontrol edemediğiniz hiçbir  
şeyi yönetemezsiniz.



YUNUS EMRE GÜNEL

PETER F. DRUCKER

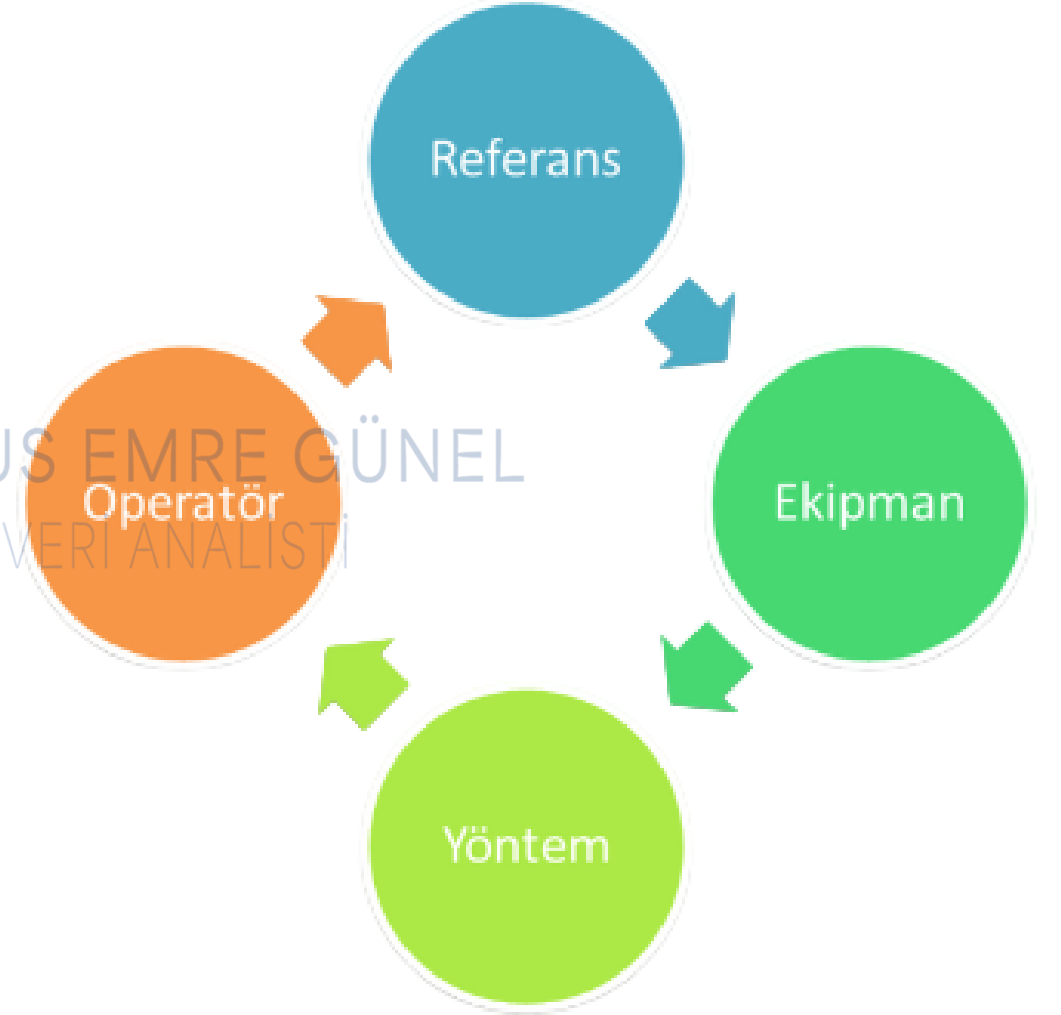


# ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ

Ölçüm Sistemleri Analizinde,

- birden fazla operatör,
- birden fazla parçanın aynı özelliğini
- birden çok kez ölçer.

Bu sayede, ölçüm sonuçlarının operatöre bağlı olarak **tutarlılık** gösterip göstermediği değerlendirilir.

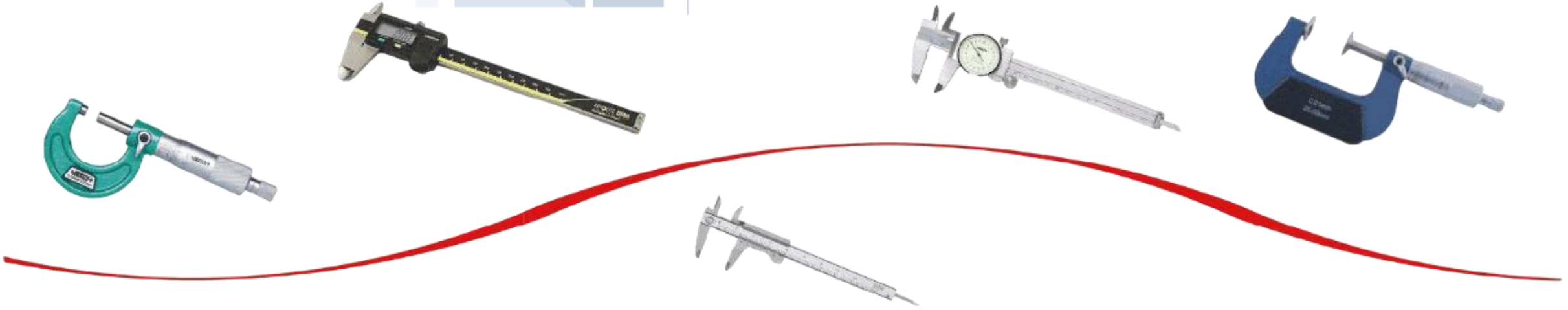


# ÖLÇÜM SİSTEMİ KULLANIM ALANLARI

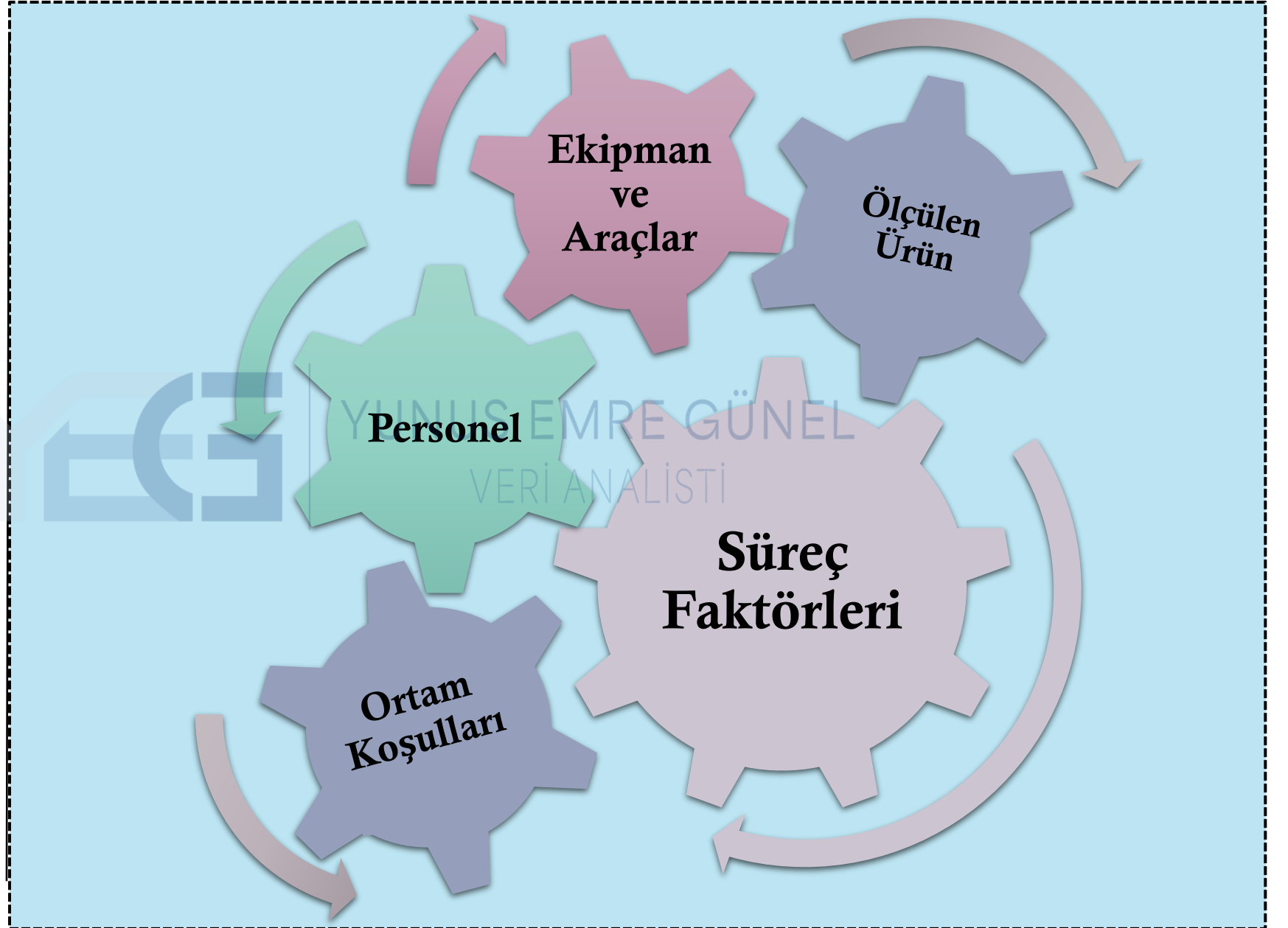
---

1. Ölçüm Hatalarını Tespit Etmek,
2. Süreç Kararlarının Doğruluğunu Artırmak,
3. Toplam Varyans İçindeki Ölçüm Payını Belirlemek,
4. Kalite Kontrol Sistemini Güçlendirmek,
5. Uygun Ölçüm Ekipmanlarını Seçmek.

YUNUS EMRE GÜNEL  
VERİ ANALİSTİ

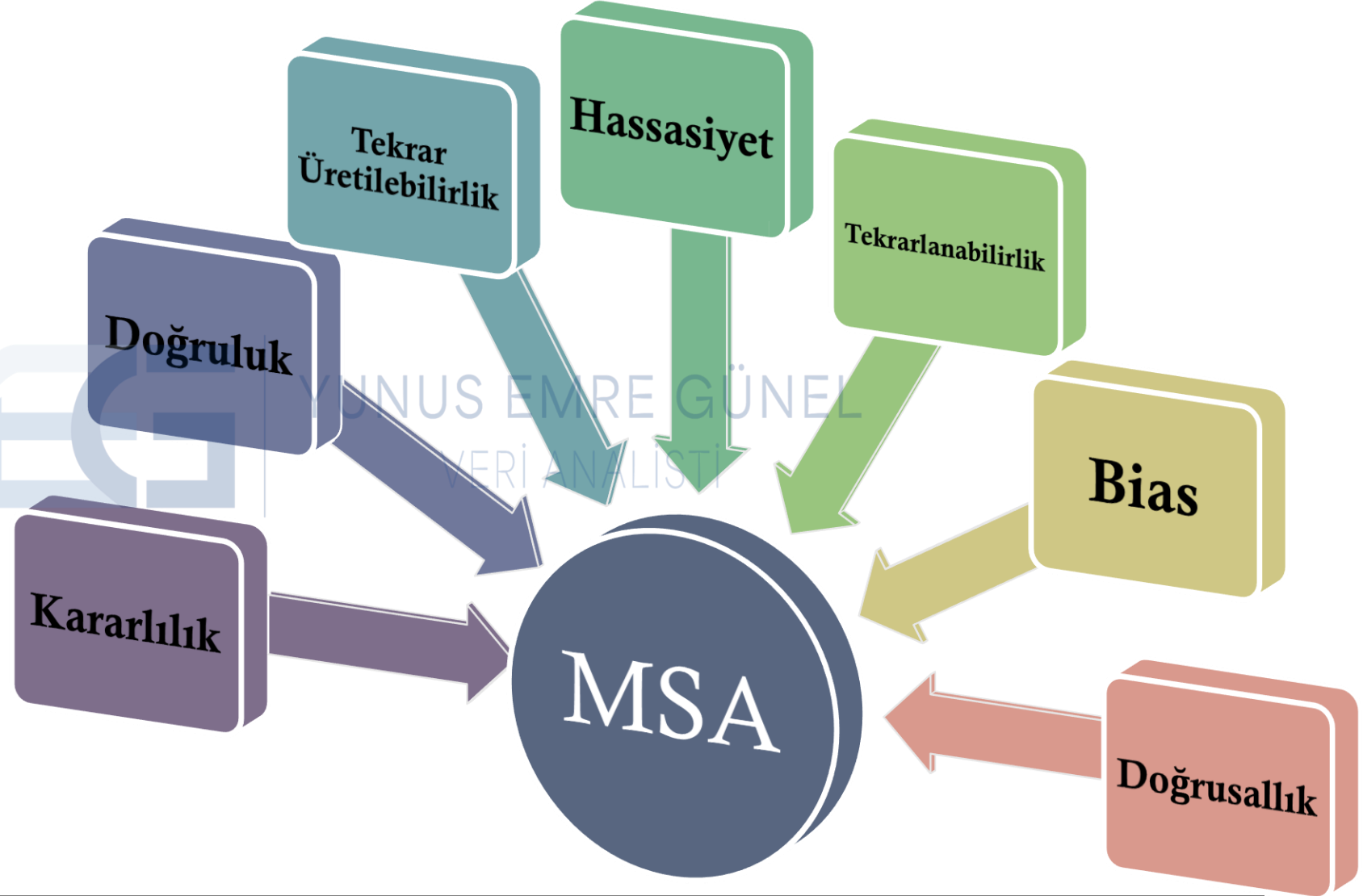


# MSA UYGULARKEN KARŞILAŞILABİLE CEK PROBLEMLER

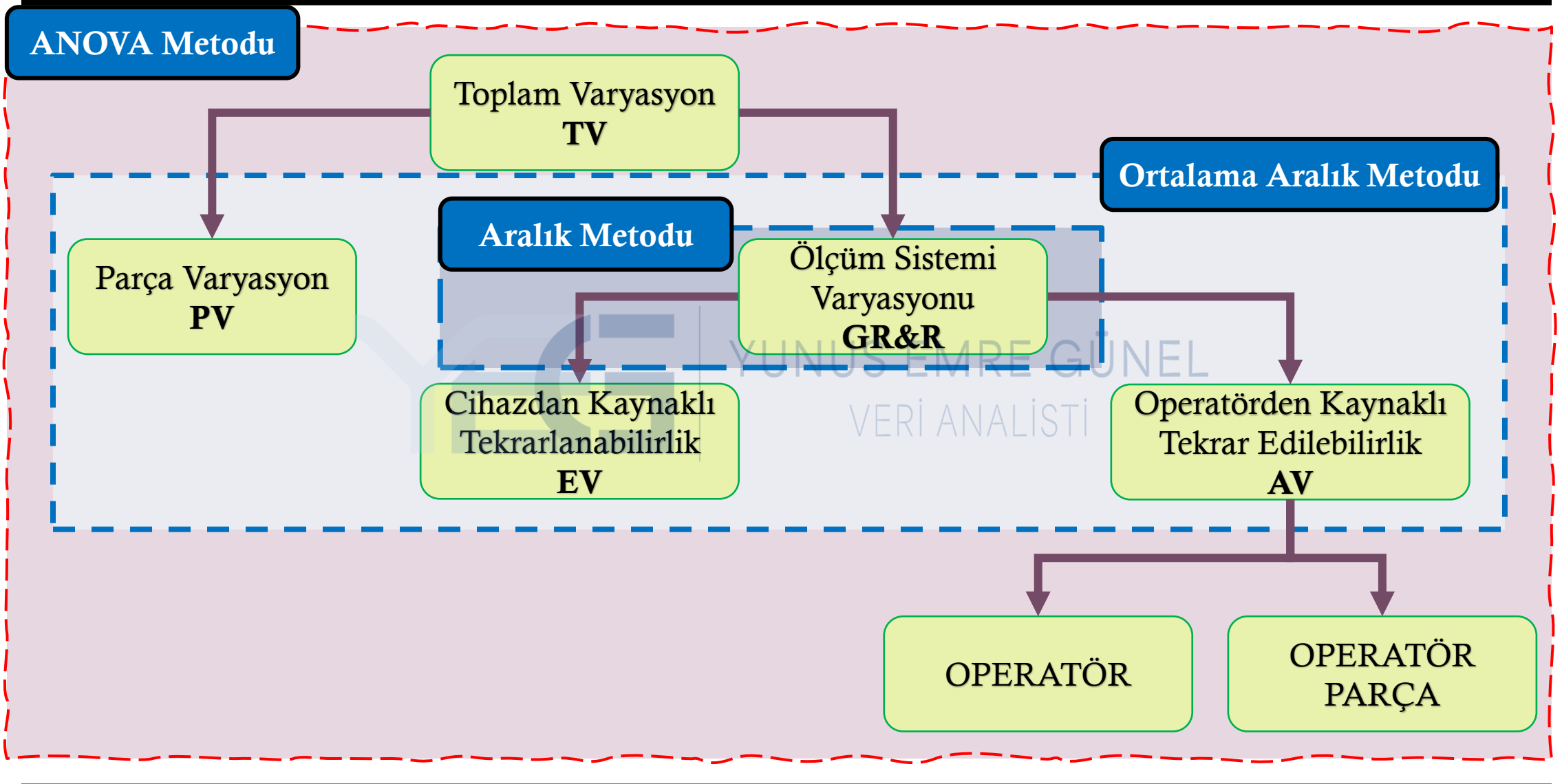


# ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ TERMİNOLOJİSİ

Ölçüm, cihaz ve aletlerin daha iyi kullanılması için anlaşılması gereken belirli terminolojiler vardır.



# NİCEL MSA METODLARI



# HASSASİYET VE DOĞRULUK

## Hassasiyet (Precision)

Hassasiyet ölçüm sonuçlarının birbirlerine yakınlıklarıdır

- Repeability
- Reproducibility



Bad accuracy but good precision

## Doğruluk (Accuracy)

Doğruluk, yapılan ölçümün gerçek ya da kabul edilen referans değere ne kadar yakın olduğunu ifade eder.

- Bias
- Linearity
- Stability



Good accuracy and good precision

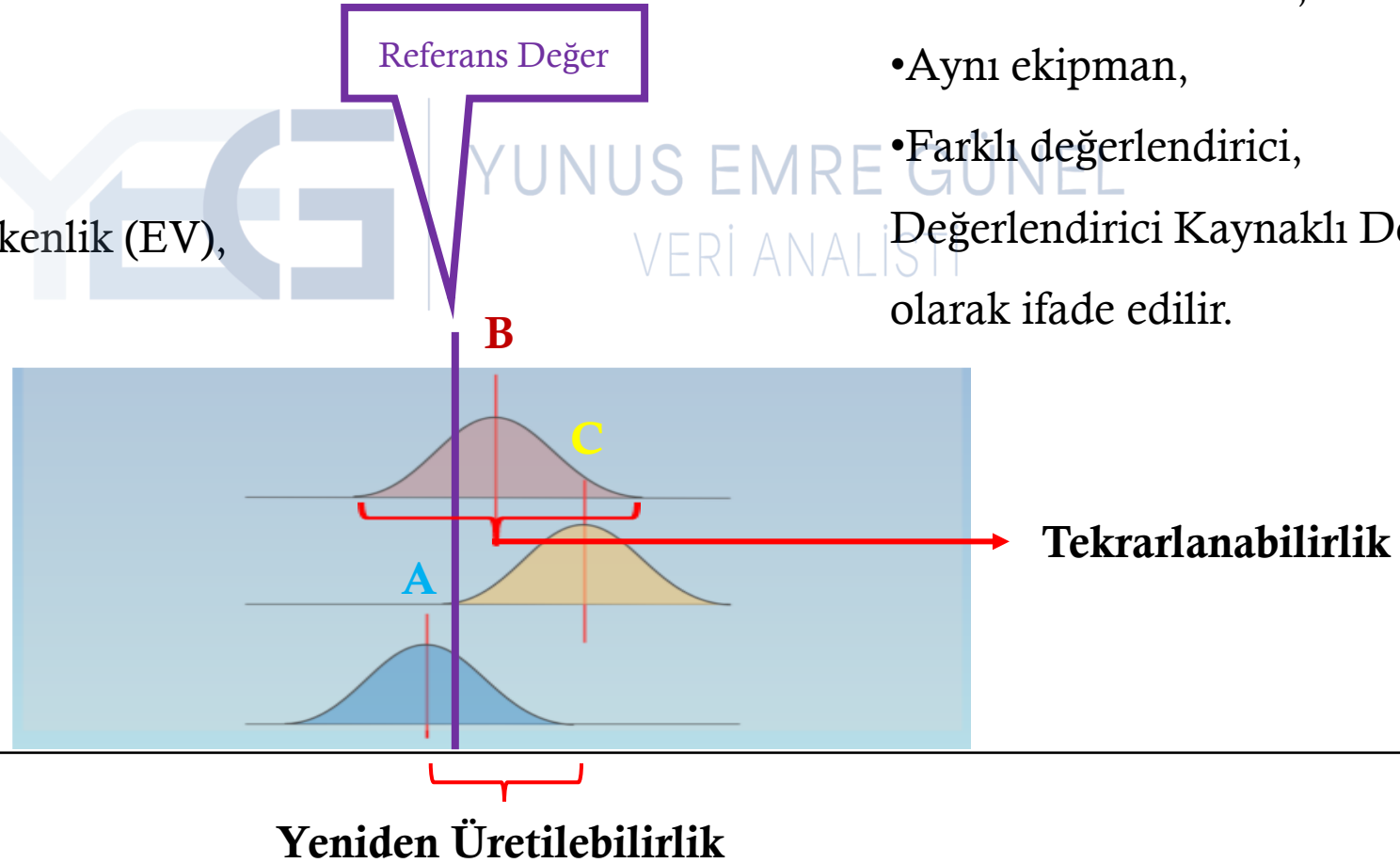
# HASSASİYET (REPEATABILITY – REPRODUCIBILITY)

## Tekrarlanabilirlik (Repeatability)

- Aynı parça,
  - Birden fazla deneme,
  - Aynı ekipman,
  - Aynı değerlendirici,
- Ekipman Kaynaklı Değişkenlik (EV),  
olarak ifade edilir.

## Yeniden Üretilirlik (Reproducibility)

- Aynı parçalar,
  - Birden fazla deneme,
  - Aynı ekipman,
  - Farklı değerlendirici,
- Değerlendirici Kaynaklı Değişkenlik (AV),  
olarak ifade edilir.



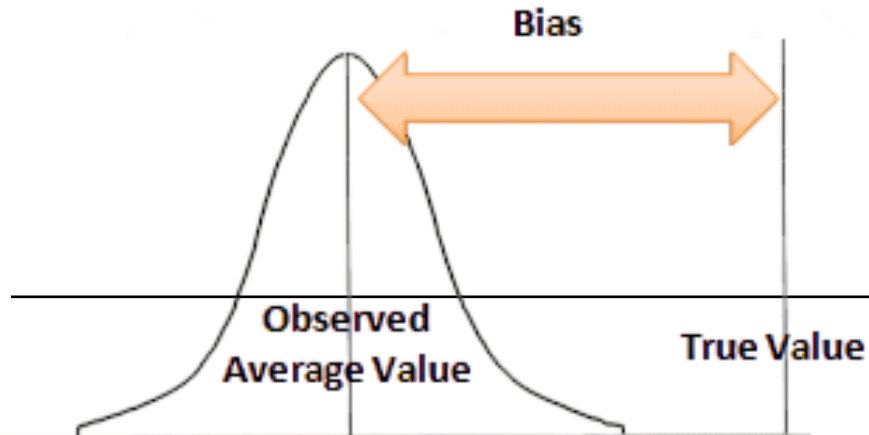
# ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ



## A. BIAS SEBEPLERİ

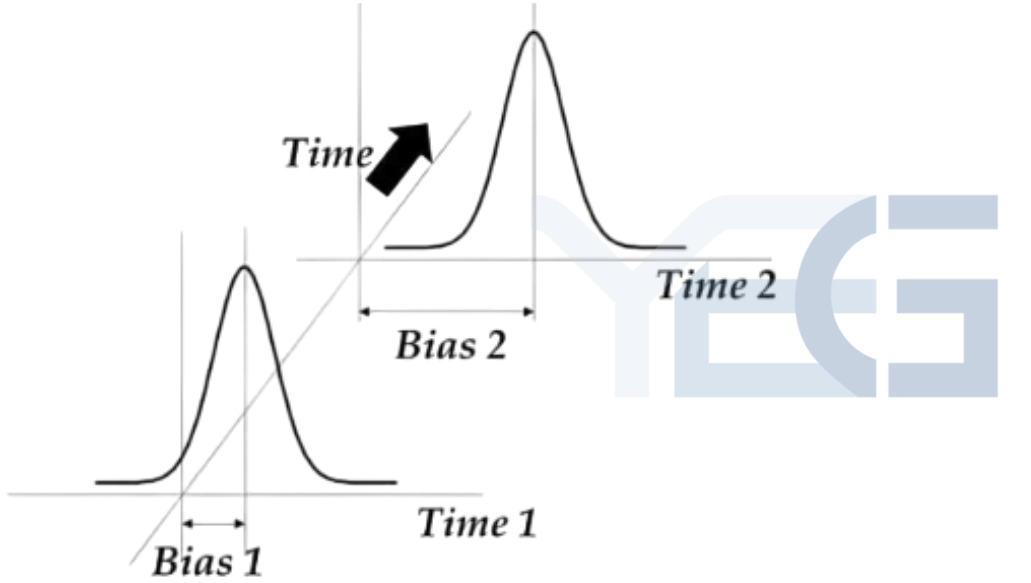
Bias, ölçülen ortalama değerin bilinen doğru değerden ne kadar saptığını ifade eder.

- Kalibrasyon
- Yıpranmış Cihaz Kullanımı
- Uygunsuz Kalibrasyon Yapılması
- Düşük Kaliteli Alet Kullanımı
- Uygunsuz Ölçüm Aleti Kullanımı
- Bozulmalar (cihazda yada parçada)
- Çevresel Faktörler
- Uygulamalarda Hata



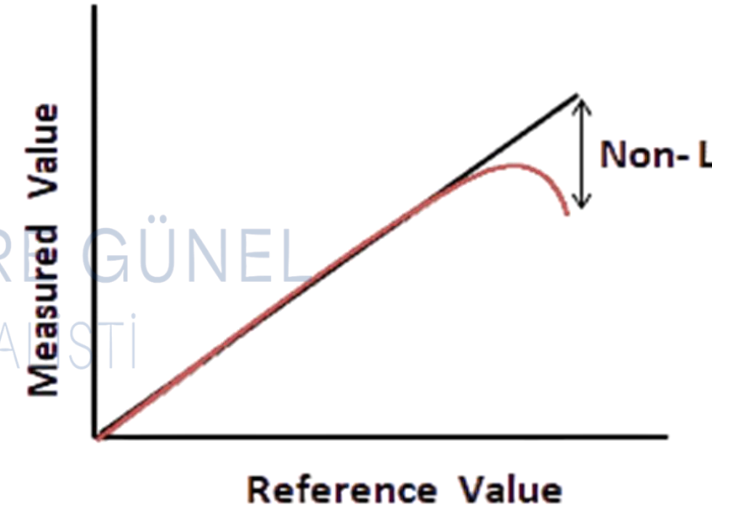
# ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ

## B. STABILITY



Kararlılık, aynı parça üzerinde, uzun bir zaman diliminde, aynı ekipman ve aynı operatörle yapılan ölçümlerin birbirine ne kadar yakın olduğunu gösterir.

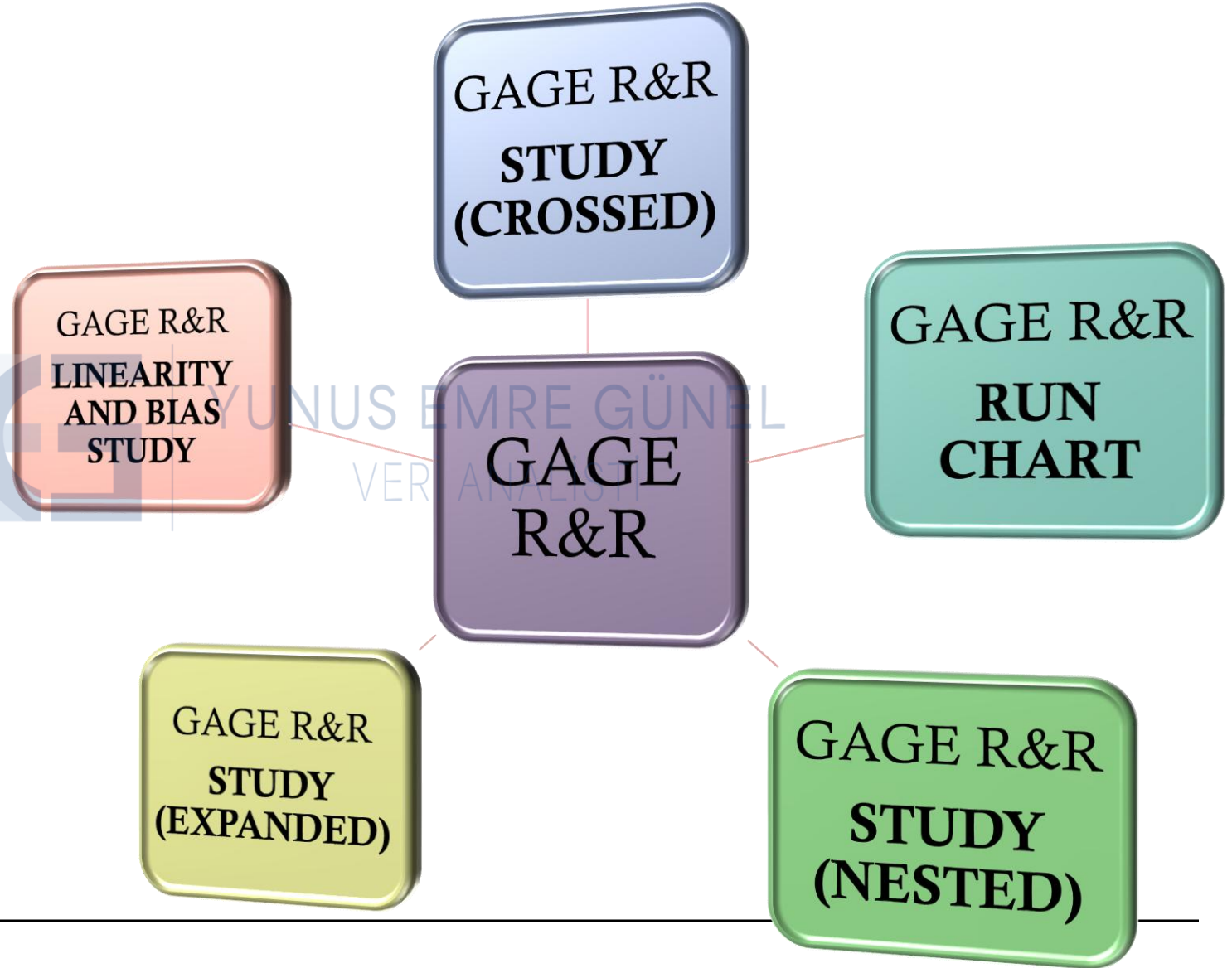
## C. LINEARITY



Bir ölçüm cihazının ölçüm aralığı boyunca tutarlı doğrulukta sonuç verip vermediğini değerlendiren bir kriterdir.

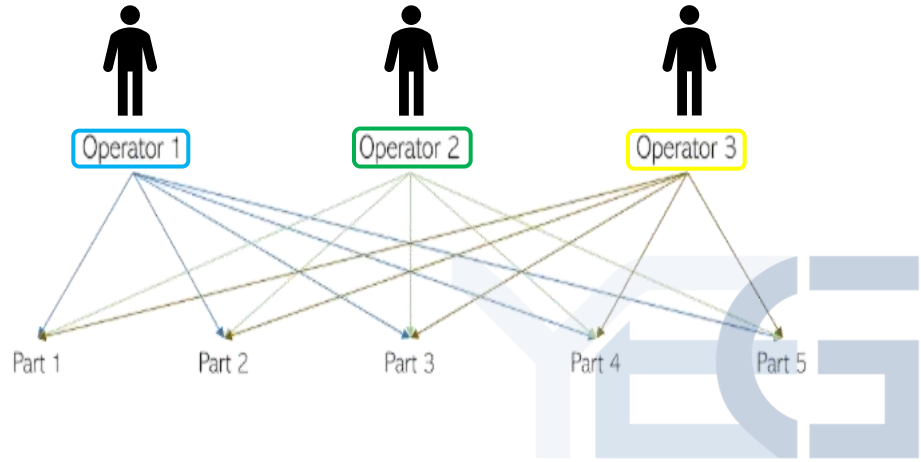
# GAGE R&R YÖNTEMLERİ

Gage R&R analizinin 5 farklı yöntemi bulunmaktadır.



# GAGE R&R YÖNTEMLERİ

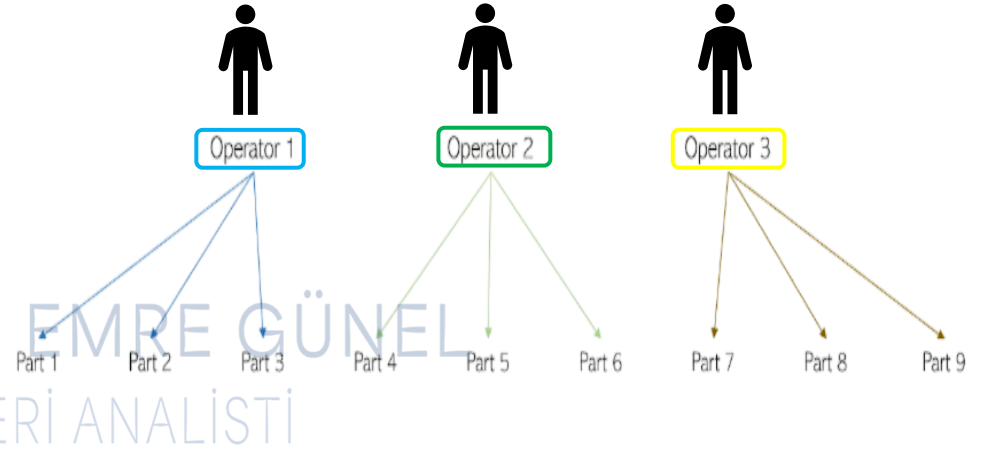
## I. STUDY (CROSSED)



Tahribatsız senaryolarda kullanılır.

Parçalar ölçüm sırasında tahrip edilmez ve iki kez ölçüm yapılabilir

## II. STUDY (NESTED)



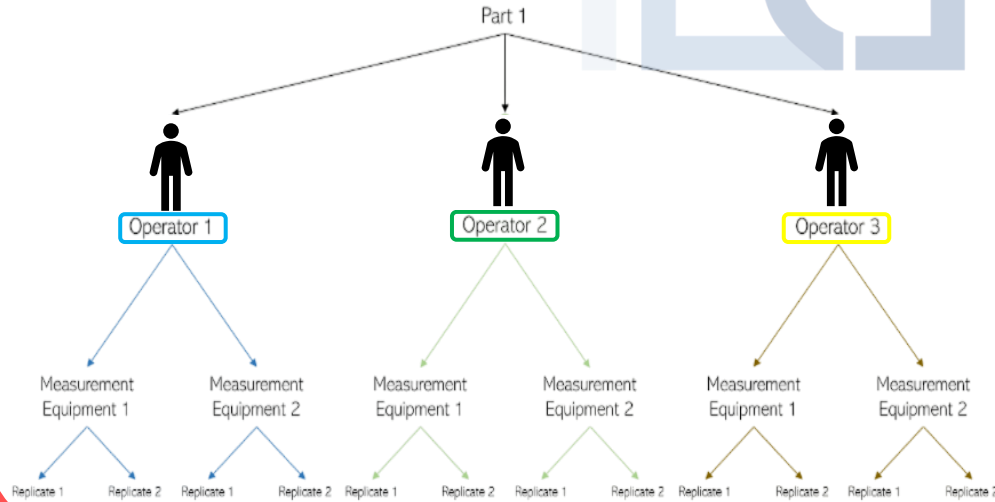
Her gözlemci farklı parça setlerini ölçer.

Aynı parçalar farklı gözlemciler tarafından ölçülmez.

# GAGE R&R YÖNTEMLERİ

## III. STUDY (EXPANDED)

Sadece operatör, parça ve ölçüm cihazı ile sınırlı kalmaz; ekstra faktörleri de modele katarak ölçüm sisteminin çok daha geniş bir yelpazede değerlendirilmesini sağlar.



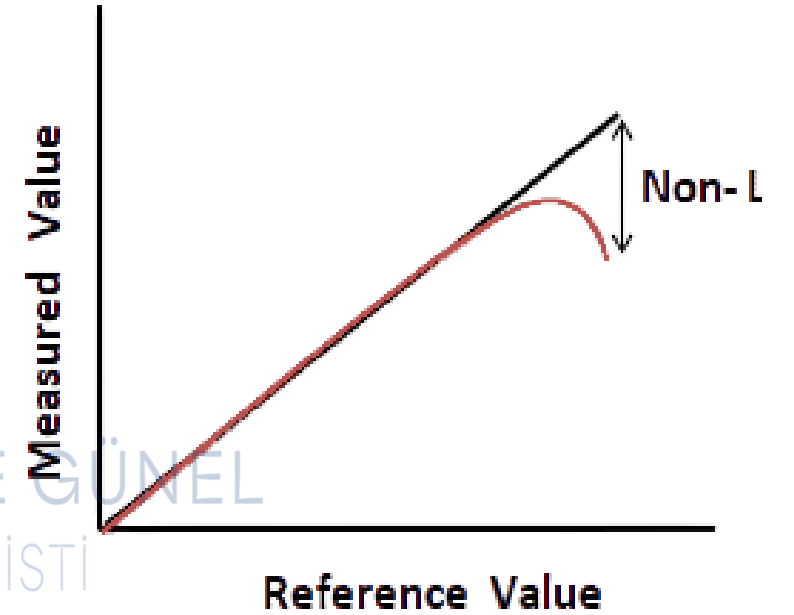
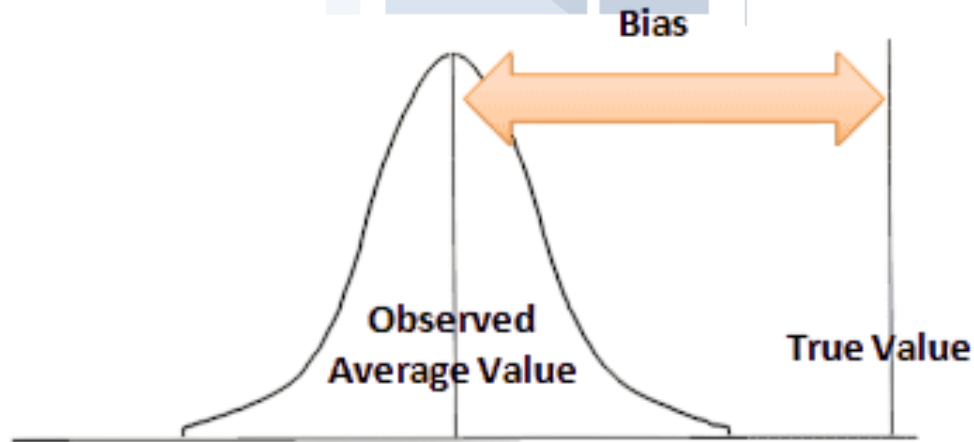
## IV. RUN CHART

Ölçüm sisteminin zaman içindeki kararlılığını ve sistematik hataları değerlendirmek için kullanılan grafik türüdür.

# GAGE R&R YÖNTEMLERİ

## V. LINEARITY & BIAS

Cihazın ölçüm sonuçlarının ne kadar gerçek değerlere yakın olduğunu (**bias**) ve bu sapmanın ölçüm aralığı boyunca değişip değişmediğini (**linearity**) ortaya koyar.



# GAGE R&R ADIMLARI

## PLANLAMA

Gage R&R çalışması öncesinde analiz kapsamı net olarak belirlenmelidir.

- Hangi ölçüm cihazı değerlendirilecek,
- kaç operatör,
- kaç parça ve
- kaç tekrar yapılacağı gibi parametreler planlanır.



## VERİ TOPLAMA

Belirlenen plana uygun şekilde, seçilen parçalar

- farklı operatörler tarafından ve
- belirlenen sayıda tekrar edilerek ölçülür.
- Ölçümler, rastgele ve
- tarafsız bir sırada yapılmalı; kayıtlar dikkatli ve standartlaştırılmış şekilde tutulmalıdır.



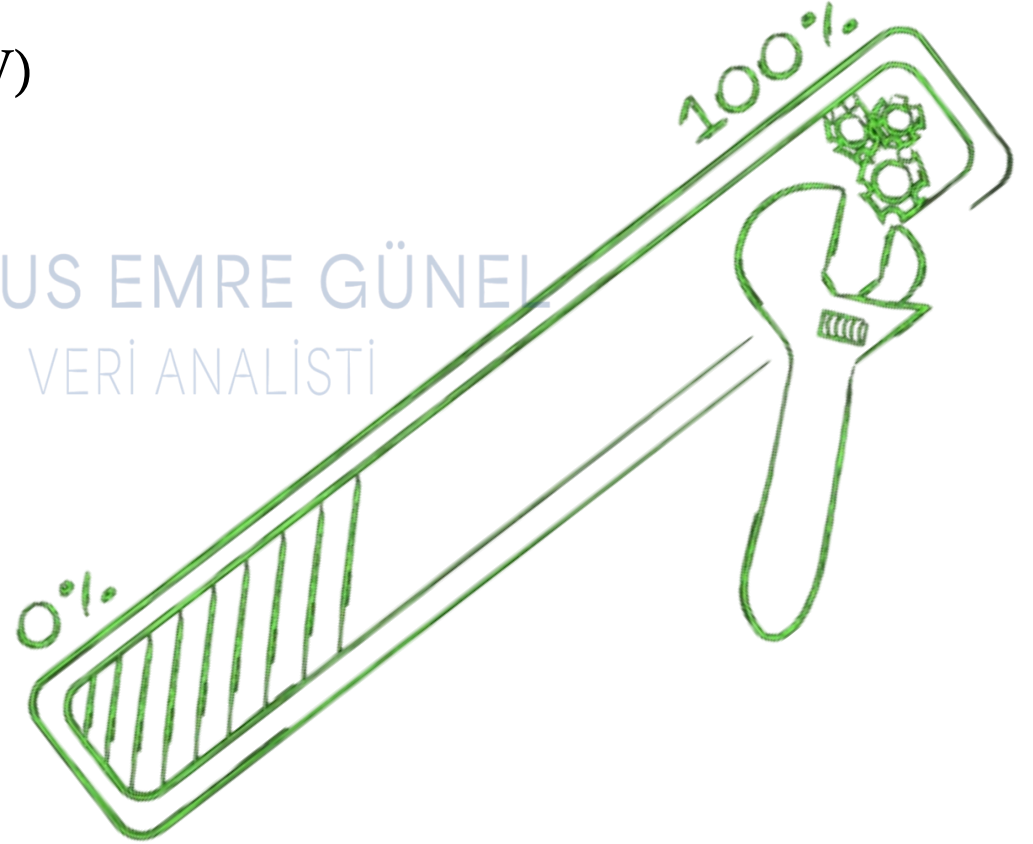
## İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Toplanan veriler, **Ortalama-Aralık (Average Range)** veya **ANOVA** gibi yöntemlerle analiz edilir.

# GAGE R&R HESAPLANMASI VE PARAMETRELERİ

## Gage R&R'ın Parametreleri

1. Ekipman Değişkenliği (Equipment Variation – EV)
2. Operatör Değişkenliği (Appraiser Variation – AV)
3. Gage R&R
4. Parça Değişkenliği (Part Variation – PV)
5. Toplam Değişkenlik (Total Variation – TV)



# GAGE R&R HESAPLANMASI VE PARAMETRELERİ

## 1. Ekipman Değişkenliği

### Ekipman değişkenliği (Equipment Variation - EV)

- *Aynı* operatörün,
- *Aynı* parçayı ve
- *Aynı* yöntemle defalarca ölçmesi sonucu oluşan farkların ölçümüdür. Bu farklar, ölçüm cihazının kendi içinde ne kadar tutarlı olduğunu gösterir. Yani **cihaz kaynaklı hata payını** ortaya koyar.

$$EV = \bar{\bar{R}} \times K_1$$

$\bar{\bar{R}}$  = Toplam Ortalama Aralığı  
 $k_1 = 1/dx^*$   
\* $k_1$  ölçüm denemesi sayısına bağlı olan bir sabittir

# GAGE R&R HESAPLANMASI VE PARAMETRELERİ

## 2. Operatör Değişkenliği

Operatör değişkenliği (Appraiser Variation - AV),

- *Farklı* operatörlerin
- *Aynı* parçaları ve
- *Aynı* ekipmanı kullanarak yaptığı ölçümler arasındaki farklılardan kaynaklanan değişkenliktir. Bu değişkenlik, **ölçüm sonuçlarının kişiden kişiye ne kadar değiştiğini** gösterir ve ölçüm sisteminde insan faktörünün etkisini ortaya koyar.

$$AV = \sqrt{(\bar{x}_{diff} \times k_2)^2 - \frac{(EV)^2}{n \times r}}$$

Burada  $\bar{x}_{diff}$  ortalama maksimum operatör farkıdır.  
 $k_2$  ise kullanılan ölçümcü sayısına bağlı bir sabit olup  $d_2(m)$ 'nin tersidir.  
 $n$  : ölçülen parça sayısı ve  $r$  ise yapılan ölçüm sayısıdır.

# GAGE R&R HESAPLANMASI VE PARAMETRELERİ

## 3. Gage R&R

- Ekipman Değişkenliği (EV)
- Operatör Değişkenliği (AV)

Birleşiminden oluşmaktadır.

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

## 4. Parça Değişkenliği

Parçalarda çeşitli sebeplerden dolayı hatalar olabilir. Bunlar **kalıpla**, **hammadde** gibi etkenlerden dolayı olabilir.

$$PV = R_p \times K_3$$

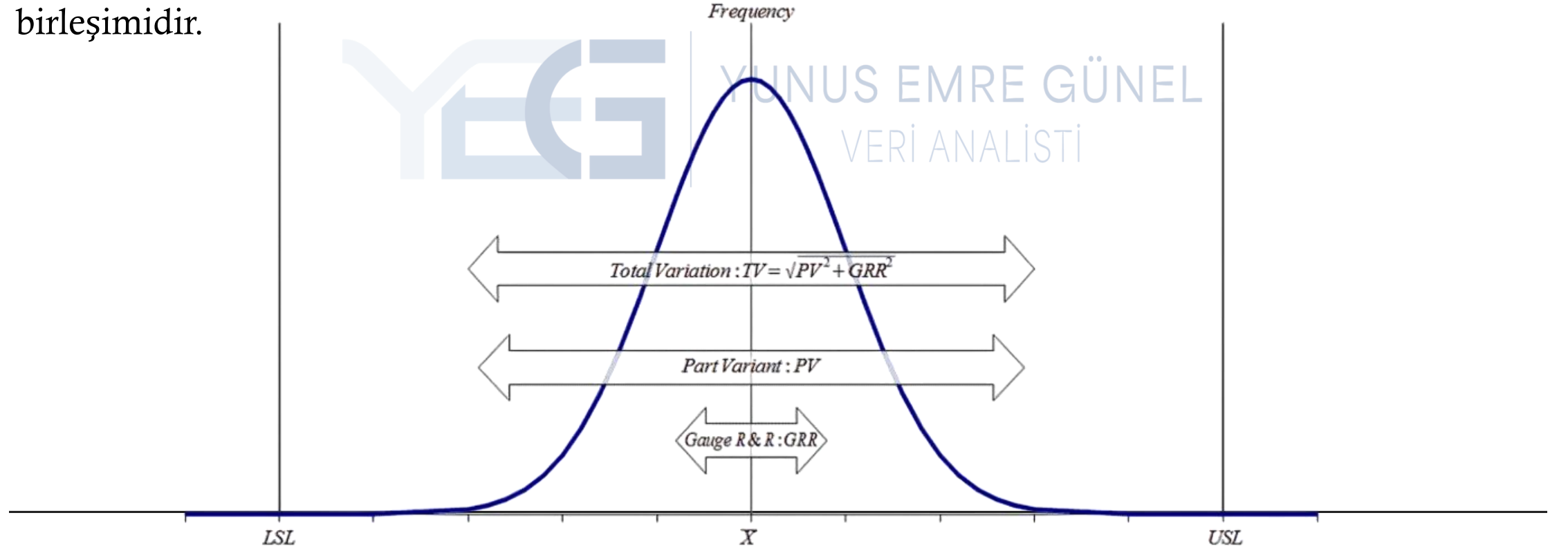
$R_p$  = parça ölçüm sonuç değerlerinin ortalama aralığı  
 $K_3$  = ölçüm yapılan parça sayısına bağlı bir sabittir

# GAGE R&R HESAPLANMASI VE PARAMETRELERİ

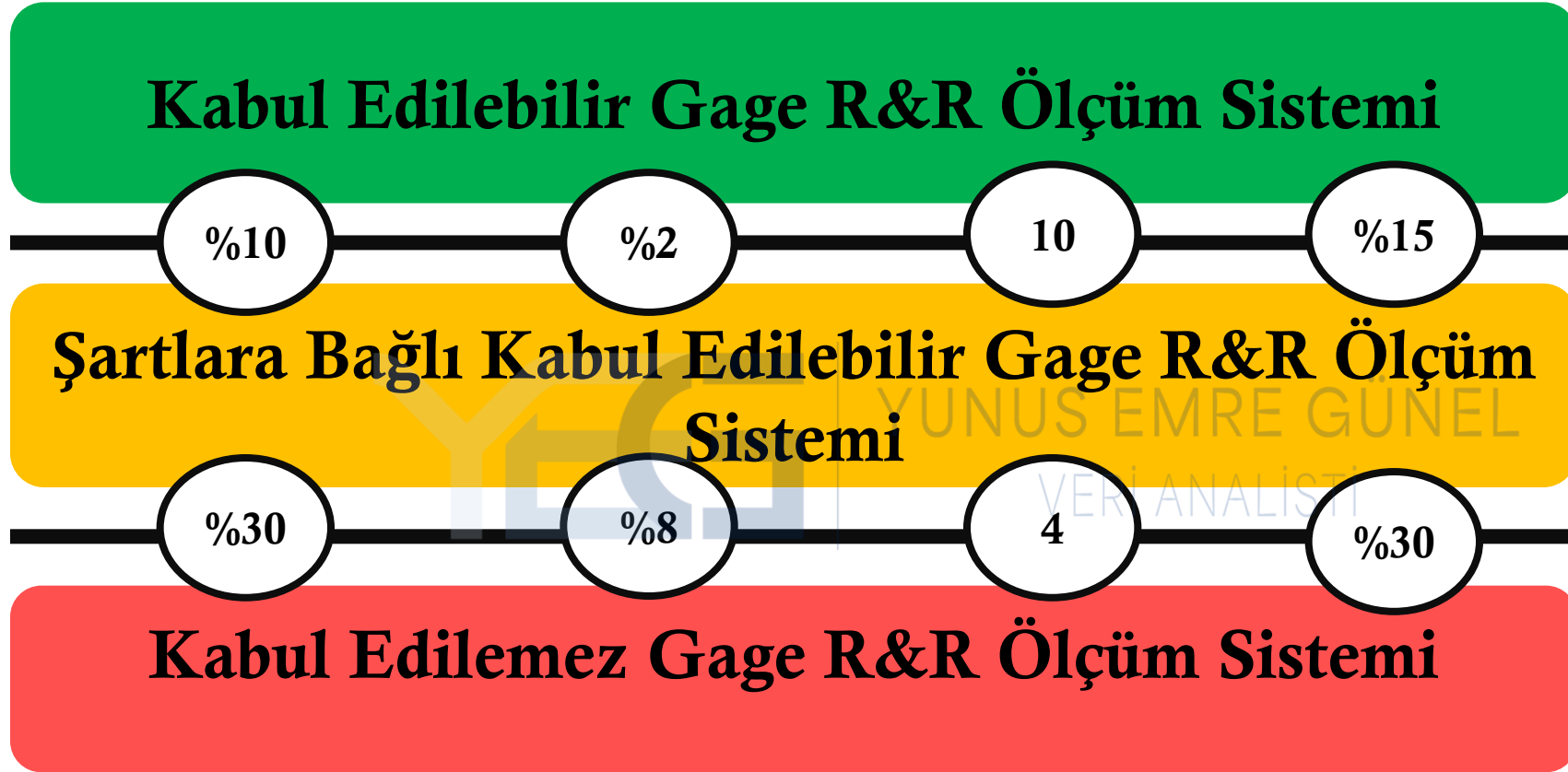
## 5. Toplam Değişkenlik

Toplam değişkenlik, Gage R&R analizinde ölçüm sonuçlarında gözlenen tüm sapmaların birleşimidir.

$$TV = \sqrt{(GRR^2) + (PV^2)}$$



# GAGE R&R KRİTERLERİ



R&R  
%Tolerance

R&R  
%Contribution

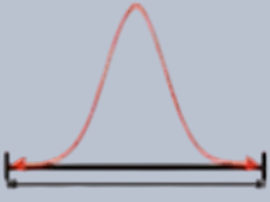
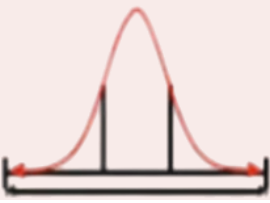
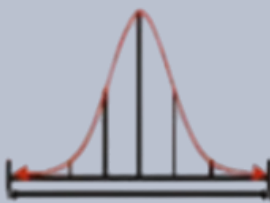
NDC

R&R %Study  
Variation

# NDC (NUMBER OF DISTINCT) HESAPLAMA

- Nicel MSA çalışmanın son faktörü ise ndc'dir. (*ayrık kategori sayısı*)
- Ölçüm cihazının çözünürlüğünü ifade etmektedir.
- Ölçüm cihazındaki ayırtırmayı sağlayan grup sayısıdır. (Bölüntü sayısı)
- Ndc değeri ne kadar büyük ise bir parçanın diğerlerinden ayırt edilme şansını arttırır.

$$n d c = 1,41 \left( \frac{PV}{GRR} \right)$$

Kategori Sayısı	Kontrol	Analiz
 1 Veri Kategorisi	<p>Ancak şu şartlar altında kontrol amaçlı kullanılabilir</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Proses varyasyonu spesifikasyona göre küçükse,</li><li>• Kayıp fonksiyonu beklenen proses varyasyonu boyunca düzse,</li><li>• Varyasyonun ana kaynağı ortalama kaymasına neden oluyorsa.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Proses parametrelerinin kestirimi için kabul edilmez.</li><li>• Sadece proses uygun veya uygun olmayan parça ürettiğini gösterebilir.</li></ul>
 2-4 Veri Kategorisi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Proses dağılımına baz alınan yarı değişken kontrol teknikleri ile kullanılır,</li><li>• Hassas olmayan değişken kontrol grafikleri verilebilir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kaba bir kestirim yapılabildiği için proses parametresi tayini için kullanılmaz.</li></ul>
 5 veya daha fazla Veri Kategorisi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Değişken Kontrol Grafikleri ile kullanılır.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Önerilendir.</b></li></ul>

# VARYASYON NEDENLERİ

## GR&R > %10

- EV > AV

- Ölçüm ekipmanına bakım ihtiyacı
- Daha rijit ölçüm için ekipmanı/mastarı tekrar dizayn,
- Cihaz/Mastarın gevşek yerlerinin sıkılması ve merkezlenmesi,
- Ölçüm Cihazı/Mastarda aşırı varyasyon

**Ekipmana bakım onarım.**

- AV > EV

- Ölçümcülerin, cihazı kullanma ve okuma eğitim ihtiyacı,
- Cihaz göstergesi net olmayabilir

**Ölçümcülere yeniden eğitim.**

- PV

- PV < %90
- %90 < PV < %95
- %95 < PV < %99

Yeniden parametre,  
Kalıp iyileştirme,  
Makine ayarı

# GAGE R&R METOTLARI

---

Operatörlere ve parça numaralarına göre yapılan tüm ölçümlerin görselleştirildiği bir grafikdir. Farklı operatörlerin ve parçaların ölçüm sonuçları arasındaki tutarlılığı ve sapmaları karşılaştırmak için kullanılır.

Gage R&R Çalışması farklı tekniklerle yapılabilir. Genel olarak 3 farklı metot kullanılmaktadır. Bu metotlar yanda gösterilmiştir.



**ORTALAMA ARALIK**



**ANOVA**



**ARALIK**

# UYGULAMA

Günümüzün hızla gelişen ulaşım sektöründe, otobüslerin kesintisiz ve güvenli hizmet sunabilmesi, yüksek kaliteli yedek parçaların zamanında ve doğru üretimine bağlıdır.

# GAGE R&R UYGULAMA

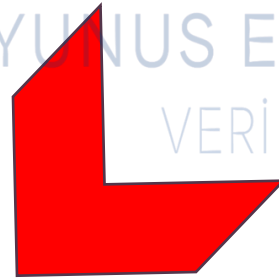
PROBLEM



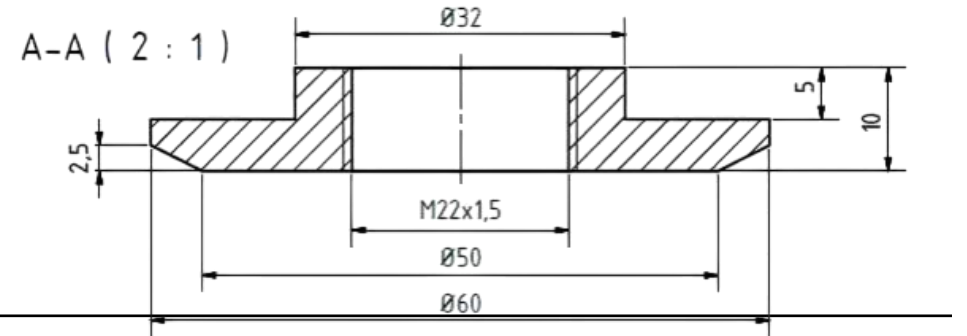
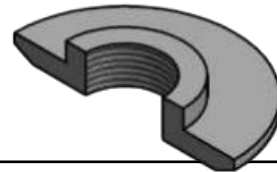
Motor kartel tapa rekoru incelemesi



YUNUS EMRE GÜNEL  
VERİ ANALİSTİ



Motor yağı boşaltılırken tapayı tutan, sızdırmazlık sağlayan ve gerektiğinde değiştirilmesine olanak tanıyan bağlantı elemanıdır.



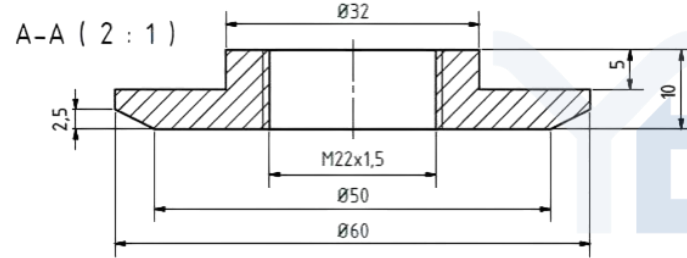
# GAGE R&R UYGULAMA VERİ SETİ

Tablo 3.1: Operatör-A Ölçümleri

Ölçüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	32,02	32,04	32,05	32,07	31,96	31,97	31,88	31,92	31,91	31,84
2	32,02	32,05	32,06	32,07	31,93	31,95	31,90	31,95	31,91	31,85
3	32,04	32,03	32,02	32,09	31,96	31,97	31,91	31,92	31,90	31,84



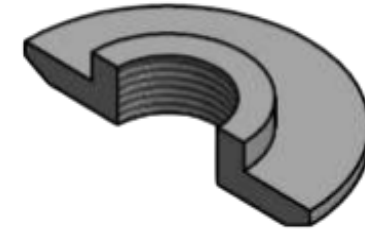
Tablo 3.2: Operatör-B Ölçümleri



Ölçüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	32,02	32,02	32,03	32,03	31,98	31,98	31,89	31,92	31,90	31,84
2	32,03	32,04	32,03	32,03	31,97	31,98	31,88	31,92	31,91	31,85
3	32,05	32,02	32,06	32,04	31,97	31,96	31,91	31,93	31,91	31,84

Tablo 3.3: Operatör-C Ölçümleri

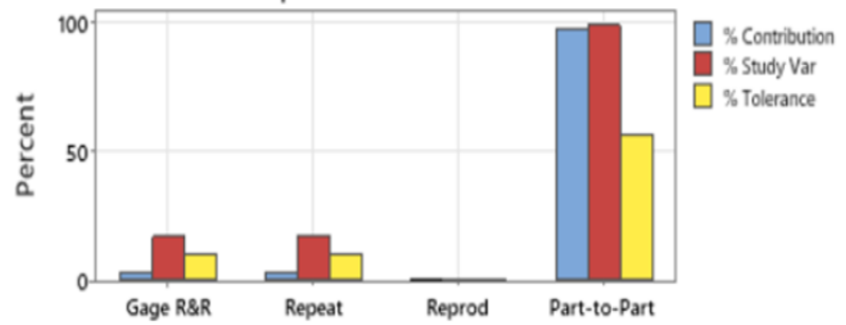
Ölçüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	32,03	32,01	32,03	32,06	31,95	31,95	31,91	31,90	31,89	31,83
2	32,02	32,05	32,04	32,05	31,96	31,96	31,90	31,90	31,91	31,85
3	32,04	32,04	32,05	32,04	31,99	31,98	31,92	31,91	31,85	31,85



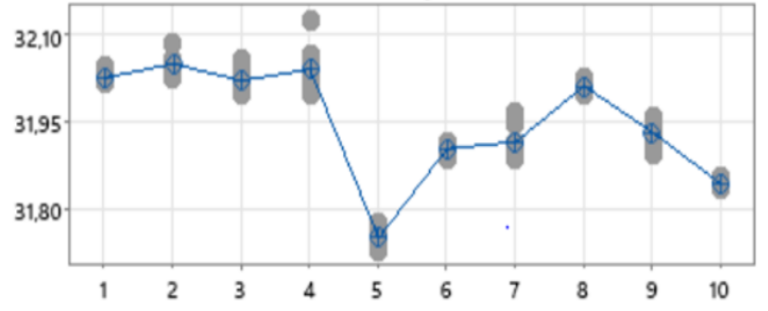
# GAGE R&R REPORT FOR MEASUREMENT

ORTALAMA – ARALIK

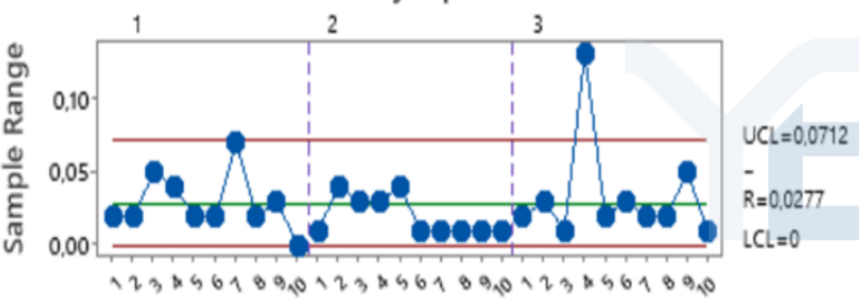
Components of Variation



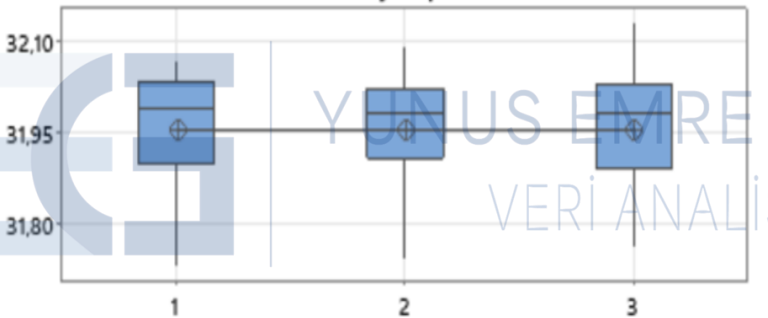
Olcum by Parts



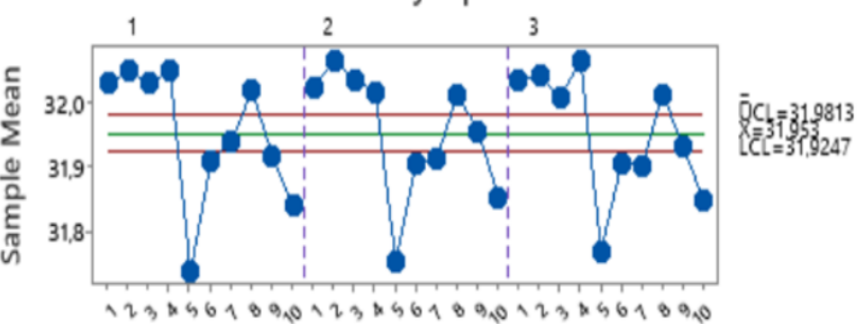
R Chart by Operators



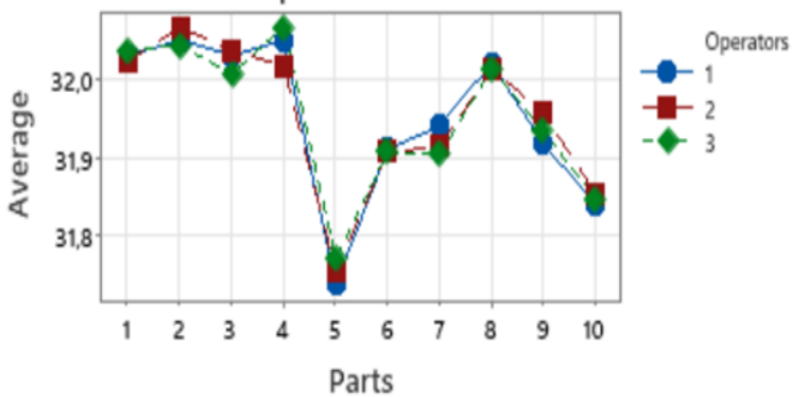
Olcum by Operators



Xbar Chart by Operators



Operators Parts \* Operators Interaction



# ORTALAMA –ARALIK YÖNTEMİ

## 1. VARYANSA BAĞLI GAGE R&R SONUÇLARI

### Toplam Gage R&R (%Katkı: 2,91)

Ölçüm sisteminin toplam varyansa katkısı çok düşüktür.

### Tekrarlanabilirlik (%Katkı: 2,91)

Tüm ölçüm varyansı, operatörün aynı ekipmanla yaptığı tekrar ölçümlerden geliyor.

	Bileşen Varyansı	%Katkı
Toplam Gage R&R	0,0002671	2,91
Tekrarlanabilirlik	0,0002671	2,91
Tekrar Üretilbilirlik	0,0000000	0,00
Parça-Parça	0,0089000	97,09
Toplam Değişkenlik	0,0091670	100,0

### Parça-Parça Varyasyonu (%Katkı: 97,09)

Varyansın neredeyse tamamı ölçülen parçaların gerçek farklarından kaynaklanıyor.

# ORTALAMA –ARALIK YÖNTEMİ

## 2. STANDART SAPMAYA BAĞLI GAGE R&R SONUÇLARI

### Tekrarlanabilirlik (%R&R = 17,07)

Tüm ölçüm varyansı, aynı operatörün yaptığı tekrar ölçümlerden kaynaklanıyor.

### Tekrar Üretilirlik (%R&R = 0,00)

Farklı operatörler arasında hiçbir sapma gözlenmemiş.

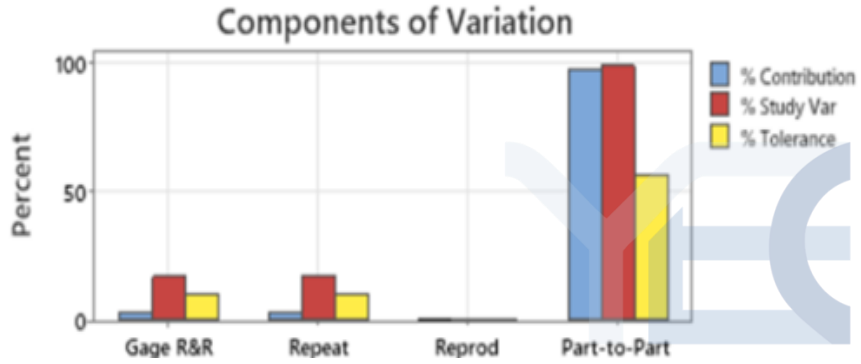
	Standart Sapma	6 x Std. Sapma	%R&R
Toplam Gage R&R	0,0163418	0,098051	17,07
Tekrarlanabilirlik	0,0163418	0,098051	17,07
Tekrar Üretilirlik	0,0000000	0,000000	0,00
Parça-Parça	0,0943396	0,566038	98,53
Toplam Değişkenlik	0,0957445	0,574467	100,0

### Parça-Parça Varyasyonu (%Katkı = 98,53)

Ölçüm sistemi, parçalar arasındaki gerçek farkları oldukça iyi ayırt ediyor.

# GAGE R&R SONUÇLARI

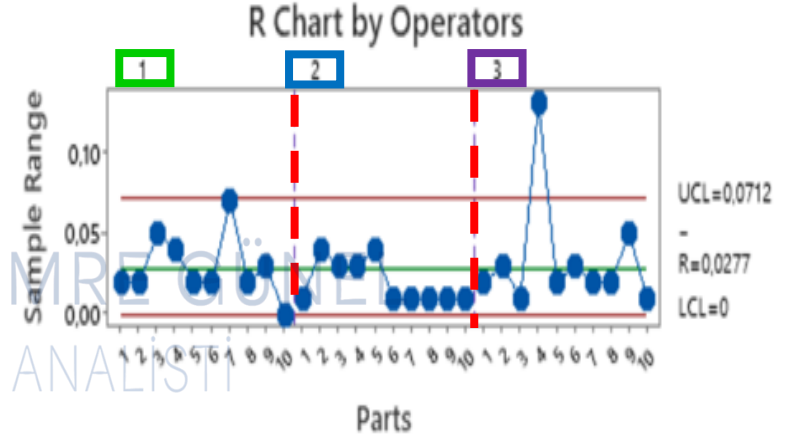
## 1. COMPONENTS OF VARIATION



'Components of Variation' grafiğinde varyasyonun sebebinin parçalardan kaynaklanması beklenmektedir.

*Gage R & R varyasyona katkısının %10'dan az olması istenir. Görüldüğü üzere varyasyonun sebebi parçalardan kaynaklanmaktadır.*

## 2. R CHART BY OPERATORS

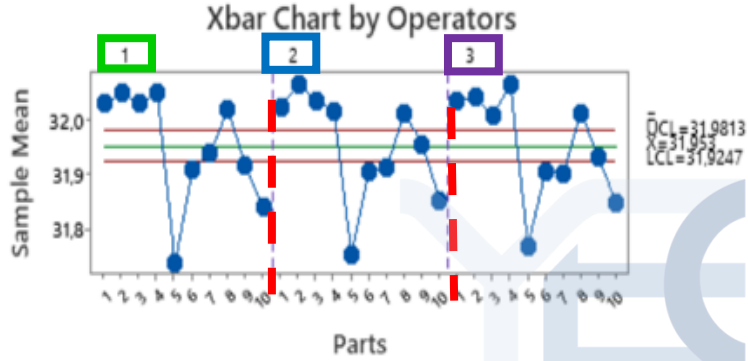


Aynı operatörün, aynı parça üzerindeki ölçümleri arasındaki farkların kontrol limitlerini aşıp aşmadığına dikkat edilir.

*Operatör 3'ün parçaları tutarsız olarak ölçtüğünü göstermektedir.*

# GAGE R&R SONUÇLARI

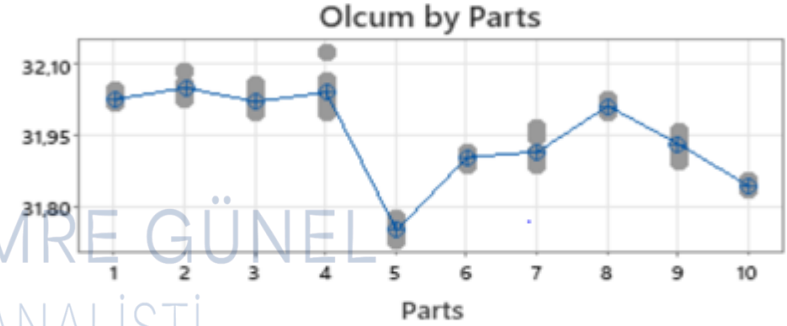
## 3. XBAR CHART BY OPERATORS



operatörlerin aynı parçayı üç kez ölçülerinin ortalamalarını göstermektedir.

*Operatöre göre X-bar Grafiğinde noktaların çoğu kontrol limitlerinin dışındadır. Bu nedenle, varyasyonun çoğu, parçalar arasındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.*

## 4. ÖLÇÜM BY PARTS



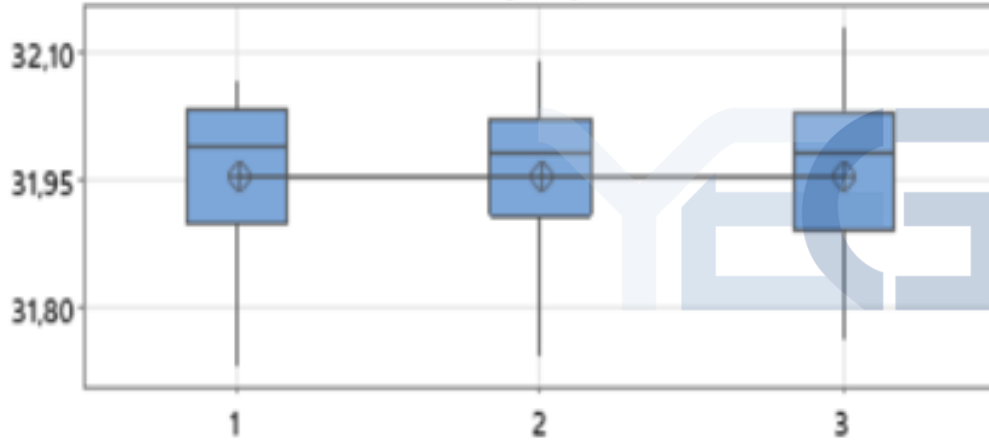
'Ölçüm by parça' grafiği, her bir parça için alınan 9 ölçümün dağılımlarını göstermektedir.

*Parçalar arasındaki farkların büyük olduğunu gösterir.*

# GAGE R&R SONUÇLARI

## 5. ÖLÇÜM BY OPERATÖR

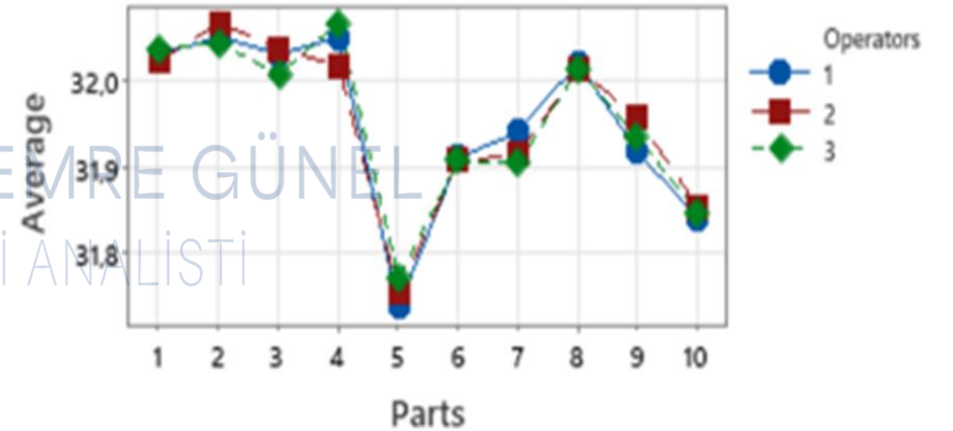
Olcum by Operators



*Ölçüm by operatör* grafiği, operatörlerin toplamda yaptıkları 30 ölçümün ortalamalarını ve dağılımlarını vermektedir.

## 6. OPERATÖR \* PARÇA INTERACTION

Parts \* Operators Interaction



*Operatör \* Parça interaction* grafiği, operatör ile parçaların etkileşimini göstermektedir. Operatörlerin ölçüm bilgilerini vermektedir.

# GAGE R&R SONUÇLARI

## 1. GAGE R&R ANOVA

İki yönlü ANOVA tablosu :

parça, operatör ve parça-operatör etkileşimi için terimler içerir.

Parçalar ve parça\*operatörlerin tek başına istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunduğu gözlenmektedir.

	df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	Pr(>F)
Operatör	2	0.002	0.00084	2.559	0.0808
Parça	24	4.296	0.17898	544.936	<2e-16***
Operatör:Parça	48	0.029	0.00060	1.832	0.0031**
Tekrarlanabilirlik	150	0.049	0.00033		
Anlamlılık kodları: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '' 1					

# GAGE R&R SONUÇLARI

## 2. VARYANS VE STANDART SAPMAYA BAĞLI GAGE R&R SONUÇLARI

Gage R&R sonuçları incelendiğinde ise, toplam %R&R değerinin 14,45 olduğu görülmekte olup, bu değer toplam sistem değişkenliğinin %14,45'inin ölçüm sisteminden kaynaklandığı şeklinde yorumlanması gerekmektedir

Ölçüm sistemi parçalar arasındaki farkı ayırt etmede oldukça iyidir

	Var	Katkı (%Var)	S.Sapma	5.15* S.Sapma	Katkı (% S.Sapma)
Toplam Gage R&R	4,23e-04	2,10	0,02056	0,10588	14,45
Tekrarlanabilirlik	3,28e-04	1,62	0,01812	0,09333	12,74
Tekrar Üretilirlik	9,42e-05	0,40	0,00971	0,04999	0,06
Operatör	3,19e-06	0,00	0,00178	0,00919	0,01
Operatör:Parça	9,10e-05	0,04	0,00954	0,04914	0,07
Parça-Parça	1,98e-02	97,9	0,14078	0,72503	98,9
Toplam Değişkenlik	2,02e-02	100	0,14228	0,73272	100,0

# GAGE R&R SONUÇLARI

## 2. VARYANS VE STANDART SAPMAYA BAĞLI GAGE R&R SONUÇLARI

- **% 12,74 tekrarlanabilirlik değeri, ölçümlerin aynı operatör tarafından yapıldığında bile belirli bir varyasyon içerdiğini göstermektedir.**  
Bu durum, kullanılan ölçüm cihazlarının kalibrasyonunun yeniden kontrol edilmesi, varsa aşınma ya da ölçüm tekniği farklarının değerlendirilmesi gerektiğini işaret eder. Gerekirse bakım ve kalite birimi ile iş birliği yapılmalıdır.

**% 0,06 tekrar üretilebilirlik değeri ile operatörler arası fark yok denecek kadar azdır.** Bu, tüm operatörlerin ölçüm prosedürüne uygun şekilde hareket ettiğini ve eğitimlerinin yeterli olduğunu göstermektedir. Mevcut uygulamalar bu açıdan oldukça başarılıdır.

**% 0,01 operatör etkisi ve % 0,07 operatör-parça etkileşimi çok düşüktür.** Bu, operatörlerin parça tipine bağlı olarak ölçüm yaklaşımında fark göstermediğini ve ölçüm prosedürünün tutarlı biçimde uygulandığını ortaya koyar. Sistem bu yönüyle güçlüdür.

# SONUÇ

---

Bu çalışma kapsamında otobüs motor karter tapasına yönelik gerçekleştirdiğimiz Gage R&R analizinde; ölçüm sistemimizin hem ekipman hem operatör bazında ne derece güvenilir olduğunu detaylı şekilde inceledik.

**Ortalama-aralık yöntemiyle elde ettiğimiz %2,91'lik toplam Gage R&R değeri,** ölçüm sistemimizin varyasyona katkısının son derece düşük olduğunu gösterdi.

**Standart sapmaya göre yapılan analizde de %14,45'lik toplam R&R değeri,** sistemimizin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını doğruladı. Özellikle **%97'nin üzerindeki parça-parça varyasyonu,** ölçüm sistemimizin parçalar arasındaki gerçek farkları ayırt etmekte oldukça başarılı olduğunu ortaya koydu.

---

# SONUÇ

---

**Operatörler arası sapmanın neredeyse sıfır (%0,06) olması**, uyguladığımız prosedürlerin tutarlılığını ve ekip eğitimlerinin yeterliliğini kanıtladı. Ancak %12,74'lük tekrarlanabilirlik oranı, **ölçüm ekipmanlarının veya tekniklerinin yeniden değerlendirilmesi gerektiğine dair önemli bir işaret** sundu. Gerekirse bu konuda bakım, kalibrasyon veya operatör destek süreçlerinin gözden geçirilmesi gereklidir.

Ayrıca Xbar-R grafiklerinden elde ettiğimiz bulgular, **özellikle Operatör 3'ün bazı parçalarda ölçüm tutarsızlığı yaşadığını** işaret etti. Bu da saha uygulamalarının gerçek zamanlı gözlemiyle desteklenmesi gerektiğini ortaya koydu.

---

# SONUÇ

---

**Sonuç olarak;** yaptığımız bu analiz, yalnızca ölçüm sistemimizin teknik güvenilirliğini değerlendirmekle kalmadı, aynı zamanda üretim ve kalite süreçlerimizde nerelerde iyileştirmeye ihtiyaç duyduğumuzu da gözler önüne serdi. Böylece hem ölçüm sistemimizin gücünü ortaya koyduk hem de sürekli iyileştirme anlayışıyla ilerlememiz gereken alanları net biçimde tespit etmiş olduk.

# BULGULAR VE ÖNERİLER

## 1. Tekrarlanabilirlik Sorununun Giderilmesi

**Öncelik Düzeyi:** Çok Yüksek

Ölçüm varyasyonunun büyük kısmı aynı operatörün tekrar ölçümlerinden kaynaklanmaktadır (%12,74).

### ✓ Eylem Önerileri:

Ölçüm cihazlarının hassasiyeti test edilmeli.

Kalibrasyon eksikliği olup olmadığı kontrol edilmeli.

Cihazların kullanımında oluşabilecek operatör kaynaklı varyasyonlar izlenmeli.

## 2. Cihaz Kalibrasyon ve Bakım Süreçlerinin Gözden Geçirilmesi

**Öncelik Düzeyi:** Çok Yüksek

Tekrarlanabilirlik sorunları cihaz kaynaklı olabilir.

### ✓ Eylem Önerileri:

Cihazlar için periyodik bakım planı hazırlanmalı.

Kalibrasyon protokolleri güncellenmeli, kalibrasyon sertifikaları takip edilmeli.

Aşınma ve yıpranma açısından cihazlar kontrol edilmeli.

# BULGULAR VE ÖNERİLER

Bileşen	Standart Sapma	%R&R Katkı (S.Sapma)
EV ( Tekrarlanabilirlik)	0,01812	%12,74
AV ( Tekrar Üretilirlik )	0,00971	%0,06

$$EV > AV$$

- Ölçüm ekipmanına bakım ihtiyacı
- Daha rijit\* ölçüm için ekipmanı/mastarı\*\* tekrar dizayn,
- Cihaz/Mastarın gevşek yerlerinin sıkılması ve merkezlenmesi,
- Ölçüm Cihazı/Mastarda aşırı varyasyon

**Ekipmana bakım onarım.**

\* Rijit = sert, sağlam, esnemeyen veya şeklin bozulmayan

\*\* Mastar = Ölçüm Cihazı

# BULGULAR VE ÖNERİLER

## 3. Ölçüm Prosedürlerinin Standartlaştırılması ve Eğitimler

### Öncelik Düzeyi: Yüksek

Operatörler arasında varyasyon çok düşük (%0,06) ancak uzun vadede sapma olmaması için prosedürler sabitlenmeli.

### ✓ Eylem Önerileri:

Yazılı ve görsel standart iş talimatları hazırlanmalı.  
Tüm operatörlere tekrarlayan ölçüm teknikleri eğitimi verilmeli.

## 4. Sürekli İyileştirme ve Denetim Döngüsü Kurulması

### Öncelik Düzeyi: Düşük-Orta

Gage R&R çalışmaları tek seferlik değil, tekrarlı olmalıdır.

### ✓ Eylem Önerileri:

PUKÖ (Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem Al) döngüsü kurulmalı.  
Ölçüm sistemine dair periyodik toplantılar düzenlenmeli.  
Birim sorumlulukları netleştirilmeli.

- [1] Breyfogle, F. W. (2003). *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*. New Jersey.
- [2] Montgomery, D. C. (2005). *Introduction to Statistical Quality Control*. Hoboken, NJ: John Wiley.
- [3] Spitzer, D. R. (2007). *Transforming Performance Measurement: Rethinking the Way We Measure and Drive Organizational Success*. New York, NY: American Management Association.
- [4] Burdick, R. K., Borror, C. M., & Montgomery, D. C. (2003). A review of methods for measurement systems capability analysis. *Journal of Quality Technology*, 35, 342–354.
- [5] Wang, J. (2004). *Assessing Measurement System Acceptability For Process Control And Analysis Using Gage R&R Study*. (Eksik yayın bilgisi.)
- [6] İlerler, A. (2015). *Dijital Radyografide Ölçüm Sistemleri Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Firuzan, A. R., Kuvvetli, Ü., & Gerger, A. (2012). Altı Sigma Metodolojisi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. *Journal of Yasar University*, 25(7), 4176-4188.
- [8] Measurement Systems Analysis (MSA) Work Group. (2010). *Measurement Systems Analysis Reference Manual (4th ed.)*. Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, & General Motors Corporation.
- [9] AIAG (2002). *Measurement System Analysis (3rd ed.)*. Automotive Industry Action Group.
- [10] Wang, ve Chien, (2010). Process-oriented basis representation for a multivariate gauge study.
- [11] AIAG (2010). *Measurement Systems Analysis*.

- [12] Montgomery, D. C. ve Rugner, G. C. (1993). "Gauge Capability and Designed Experiments. Part I: Basic Methods." *Quality Engineering*, 6(1), 115–135.
- [13] Quinn, G. P. ve Keough, M. J. (2002). *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press
- [14] [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/50674/mod\\_resource/content/1/13.%20HAFTA.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/50674/mod_resource/content/1/13.%20HAFTA.pdf)
- [15] <https://quality--one-com>.
- [16] Yapay Zeka
- [17] <https://www.spcforexcel.com/knowledge/measurement-systems-analysis-gage-rr/variable-measurement-systems-part-4-gage-rr/?utm>
- [18] <https://sixsigmastudyguide.com/repeatability-and-reproducibility-rr/?utm>
- [19] [https://asq.org/quality-resources/gage-repeatability?srsId=AfmBOopbfHH3RfhIP5bhgugl9OYWAR3WZJ7I\\_csX0\\_WGfMikQv4CJLNw&utm](https://asq.org/quality-resources/gage-repeatability?srsId=AfmBOopbfHH3RfhIP5bhgugl9OYWAR3WZJ7I_csX0_WGfMikQv4CJLNw&utm)
- [20] <https://asq.org/qualityresources/gagerepeatability>
- [21] <https://leanoutsidethebox.com/gage-rr/>
- [22] <https://www.qualitygurus.com/bias-linearity-and-stability-in-measurement-system-analysis/>

1881-1930

---

*Bir zamanlar gelir, beni unutmak veya unutturmak isteyen gayretler belirebilir. Fikirlerini inkâr edenler ve beni yerenler çıkabilir. Hatta bunlar, benim yakın bildiğim ve inandıkların arasından bile olabilir. Fakat, ektigimiz tohumlar o kadar özlü ve kuvvetlidirler ki bu fikirler, Hint'ten, Mısır'dan döner dolası gene gelir, verimli sonuçları kalpleri doldurur.*

---

