

## ÜRETİMDE İSTATİSTİK METODLAR YARDIMIYLA SPESİFİKASYON VE TOLERANSLARIN BULUNMASI

Doç. Dr. Musa ŞENEL

### I, SPESİFİKASYONLAR

#### A) Spesifikasyon anlamı :

Spesifikasyon anlam olarak üretilen mamullerin, müşteri ile üretici arasındaki dengeyi sağlayan, özellikleridir<sup>1</sup>. Genellikle spesifikasyon, mamulün boyutları ve kalitesi olmak üzere iki esas üzerinden saptanır.

a) Boyutlar temel alınarak birbirinden farkları ele alınıp, bu farkları minimum düzeyde tutabilecek bir ölçü bulunur.

b) Kalite yönünden spesifikasyon saptanırken, üretilen mamulün dayanıklılığı, ne kadar arayla onarılması gerektiği gibi kalite özellikleri belirlenir.

#### B) Spesifikasyon çeşitleri :

Spesifikasyonlar *kullanma* ve *saptanma* yönünden iki bölüme ayrılır :

a) Kullanma yönünden spesifikasyonlar dört bölüme ayrılır. Bunlar sırasıyla aşağıdaki gösterildiği şekilde açıklanabilir.

aa) Mamul spesifikasyonları : Bu spesifikasyonlar mamulün bünye ve ayırıcı özelliklerini belirler.

---

(1) IRESON, W. Grant, GRANT, Eugene; *Handbook of Industrial Engineering and Management*; Prentice-Hall; Englewood Cliffs 1962; s. 968, 969.

bb) Üretim spesifikasyonları :

Bu spesifikasyonlar hangi üretim tekniğiyle hangi mamulün üretilebileceğini belirler.

cc) Paketleme spesifikasyonları :

Bu spesifikasyonlar, üretilen birimlerin hangi paketleme usulüyle zarar görmeden müşteriye iletilebileceğini belirler.

dd) Kabul spesifikasyonları :

Numune alma teknikleriyle kabul için gerekli olan ölçüler belirlenir. Bu ölçülere kabul spesifikasyonları denir<sup>2</sup>.

b) Spesifikasyonlar saptanma yönünden iki bölüme ayrılır.

aa) Proje spesifikasyonları :

Mamulün veya hammaddenin üretime başlamadan tasarlanan özellikleridir.

bb) Muayene sonucunda bulunan spesifikasyonlar :

Burada, tasarlanan spesifikasyonlar ile muayene sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılır ve sonuçta mamulün gerçek özellikleri belirlenir<sup>3</sup>.

## II. TOLERANSLAR

### A) Tolerans anlam ve gereği :

Farzedelim ki, bir müşteri 1,5 cm çapında, (20) cm uzunluğunda 5000 demir çubuk yapımı için sipariş versin. İşletme bu çubukların boyutlarını tam olarak tutturmaya kalksa, fiziksel imkânsızlıklar nedeniyle bunda başarıya ulaşamaz. Bu bakımdan üretici müşteriden vermiş olduğu boyutlardan aşağı ve yukarı olmak üzere iki limit arasında üretimi gerçekleştirir. Limitlerin verilen boyutlardan farklarına «Tolerans aralığı» denir<sup>4</sup>.

---

(2) IRESON, W. Grant, GRANT, Eugene L.; A.g.e; S. 968, 969.

(3) GRANT, E.L.; *Statistical Quality Control*; McGraw-Hill; London 1964; s. 299, 300.

(4) BROOM, H.N.; *Production Management*; Richard D. Irwin; Home-wood 1962; s. 472, 473.

Şu noktayı da belirtmek gerekir ki, verilen ölçülere tam olarak uyan mamulün üretilmesine çalışılması halinde, bu mamulün maliyeti çok artmış olur. Maliyetin artmasının en önemli nedenleri, verilen spesifikasyon tam olarak tutturmak için üretimin hızının azalması ve hatalı birim sayısının çoğalmasındır. Bu bakımdan işletmeler, belli bir tolerans aralığında spesifikasyonları gerçekleştirip müşteriye sunmak isterler.

**B) Proje spesifikasyonu için tasarlanan toleranslarının uygulanmasında ortaya çıkabilecek zorluklar :**

İşletmelerde tolerans uygulamalarının kısa aralıklarla tekrar gözden geçirilmesi gereklidir. Mühendisin proje olarak belirlediği tolerans limitleri, muayenede geniş ve ustabaşı seviyesinde daha da geniş tutulabilir. Burada tolerans üç değişik açıdan görülüyor demektir. Toleranslar mühendis için bir tasarı, muayene eden için kabul edilebilir bir kalite seviyesinin korunması anlamındadır. Ustabaşı ise, çok miktarda mamul üretmek durumunda olduğundan, toleranslara pek önem vermeyebilir. Bu üç unsur koordine edilmezse, çıkan mamulün kalitesi çok bozuk olacaktır<sup>5</sup>.

**C) Dikkatsizce hazırlanan tolerans limitlerinden dolayı meydana gelebilecek kötü sonuçlar :**

Bazen üretilecek mamulün spesifikasyonu için proje yapanlar, ortaya çıkacak sonuçları düşünmeden tolerans limitlerini belirlerler. Zaman ve bilgi yetersizliği nedeniyle, proje yapanlar tolerans limitlerini dar tutarak kendilerini emniyete almak isterler. Bazen de, en azından gerekli görülen limitlerde kalabilmek için dar tolerans aralığı politikası güdülebilir. Bu politikanın istenmeyen bir sonucu; üretim ve muayene personelinin tolerans aralığının dar tutulma nedenini bilmediklerinden, toleransları tutturamadıklarında endişeye düşmeleridir. Bunun sonucu olarak üretimin hızı azalır ve hatalı mamul sayısı çoğalır. Böylece üretimde maliyetler aşırı derecede artmış olur.

Bazı işletmelerin ürettikleri mamulleri satın alan müşteriler, satın almada çoğu zaman ölçme yapmazlar. İşletme yöneticisi, müşteriler ölçme yapmadan mamulü kabul ediyorlar diye, normal to-

---

(5) GRANT, E.L.; A.g.e.; s. 300, 301.

lerans yerine daha yüksek tolerans kabul ederse, söz konusu işletme bundan dolayı kâr edebilir.

Fakat, toleransların geniş tutulması işletme için şu sorunları yaratacaktır :

a) Müşteriler uzun devrede üretilen malın hatasını anlayacaklardır. Bu bakımdan geniş tolerans aralığı politikası, işletme için uzun devrede iyi sonuç vermeyecektir.

b) Toleransların geniş tutulması nedeniyle, işletmenin departmanları arasında şikâyetler başlayacaktır.

c) İşletme personeli, geniş tolerans aralığı politikasından yararlanıp mamulün kalitesini daha da bozabilir<sup>6</sup>.

#### **D) İyi belirlenmiş tolerans limitlerinin özellikleri :**

İyi belirlenmiş tolerans limitlerinin şu özellikleri sağlaması gerekir :

a) Belirlenen tolerans limiti, mamulü kullanacak müşterinin ihtiyacını karşılamalıdır.

Proje yapanlar, tolerans limitlerini belirlemeden önce, müşterilerin ihtiyacını saptamalıdır. Söz konusu saptama işlemi zor ve masraflıdır. Bu bakımdan, müşterilerin ihtiyaçlarının belirlenmesi için istatistik sondaj metodlarıyla test yapıp sonuca varılabilir.

b) Konulan tolerans limitleri üretim tekniğine ve eldeki hammaddeye uygun olmalıdır.

Genellikle proje yapanların elinde hammaddeyle ilgili veriler vardır. Üretim tekniği hakkında gerekli olan bilgilerin de projeyi yapanlara verilmesi gerekir. Böylece, verilen bilgilerden yararlanılarak belirlenen tolerans limitleri gerçeğe daha yakın olur.

c) Tolerans limitleri mamulün kalite değeri ile kalite maliyetini dengeye getirmelidir.

Proje yapanlar çoğu zaman mamulün tolerans aralığını dar tutarlar. Tolerans aralığının dar tutulmasıyla iyi kalitede mal üretilir. Fakat, iyi kaliteli mamulün maliyeti çok yüksektir.

---

(6) FEIGENBAUM, A.V.; *Total Quality Control*; McGraw-Hill; New York 1961; s. 474, 475, 476 GRANT, E.L.; A.g.e.; s. 302.

d) Konulan tolerans limitleri açık olmalıdır.

Açık bir şekilde belirlenmeyen tolerans limitleri, yanlış anlamadan dolayı daha fazla problem çıkarırlar. Yanlış uygulanan tolerans limitlerini düzeltmek kolaydır. Fakat, açık bir şekilde belirlenmeyen tolerans limitlerine, üretim personeli tarafından anlaşılmasından dolayı önem verilmeyebilir<sup>7</sup>.

**E) Proje yapanların spesifikasyonları ve toleransları iyi bir şekilde belirleyebilmeleri için çözümlenmesi gereken problemler :**

Proje yapanların üretilen mamulün önceki paragrafta sayılan iyi spesifikasyon ve tolerans özelliklerini belirleyebilmeleri için, aşağıdaki problemleri çözümlenmesi gerekir :

a) Tasarlanan mamulün ölçülerek özelliklerinin belirlenip rakamlandırılması gerekir.

b) Mamulün belirlenen özelliklerini etkileyen etkenlerin saptanması gerekir.

c) Üretim ameliyesinin, belirlenecek mamul spesifikasyonunu ve toleranslarını gerçekleştirme yeteneği saptanmalıdır.

d) Küçük parçaların toleranslarını belirlemek gerekir.

e) Küçük parçaların birleşmesinden meydana gelen mamulün toleransını belirlemek gerekir.

f) Üretim sonunda belirlenen spesifikasyonun ve tolerans limitlerinin gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol etmek gerekir.

Bu çalışmada yukarıda sayılan problemlerin çözümlenebilmesi için, istatistik metodların nasıl kullanılacağı gösterilecektir.

### III. İSTATİSTİK METODLARIN TOLERANSLARIN SAPTANMASINDA KULLANILMASI

İstatistik metodların toleransların saptanmasında kullanıldıkları yerler sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

**A) Üretilen mamullerin her çeşidi için tolerans limitlerinin belirlenmesi :**

İşletmede birden fazla çeşitte üretim yapılabilir. Her üretim çeşidi için ayrı ayrı tolerans limitleri belirlenir. Her üretim çeşidi

---

(7) JURAN, J.M.; *Quality Planning and Analysis*; McGraw-Hill; New York 1970; s. 249, 250 BROOM, H.N.; A.g.e.; s. 473, 474.

için alt ve üst olmak üzere iki tolerans limiti belirlenmişse, bu limitlere «çift tolerans limitleri» denir. Çift tolerans limitleri, ana kütle parametrelerinin ( $\bar{X}$  ve  $\sigma'$ ) belli bir aralıkta tutulması için saptanır. Bu aralığa (daha önce de açıklandığı gibi) tolerans aralığı denir.

Tolerans aralığı,

$$\bar{X} \pm k \sigma'$$

formülüyle belirlenir. Formüldeki ( $\sigma'$ ) hedef olarak alınan ana kütlelenin gerçek veya tahmini standart sapmasıdır. Eğer  $\sigma'$  bilinmiyorsa, istatistik metodlarla tahmin edilebilir<sup>8</sup>.

Q : Numunenin alındığı ana kütlede bulunması istenen kusursuz birimlerin oranı,

$\gamma$  : Ana kütle içindeki kusursuz birimlerin oranının (Q) olması için, kabul edilen güven seviyesi,

n : Numunedeki birim sayısı,

olsun. Formüldeki (k) faktörü Q,  $\gamma$  ve n değerlerinin bir fonksiyonudur. Q,  $\gamma$  ve n değerlerinden yararlanarak (k) faktörünün yaklaşık değeri, Albert H. Bowker tarafından bulunan,

$$k = Z_Q \left( 1 + \frac{Z \gamma}{\sqrt{2n}} + \frac{5Z^2 \gamma + 10}{12 n} \right)$$

formülüyle hesaplanabilir. Formülde,

$Z_Q$  = Normal eğri cetvelinde (Q) ihtimalinin karşısındaki (z) değerini,

$Z\gamma$  : Normal eğri cetvelinde ( $\gamma$ ) güven seviyesinin karşısındaki (z) değerini, göstermektedir<sup>9</sup>.

---

(8) Ana kütlede alınan numunelerden bulunacak standart sapma veya değişim aralıklarının dağılımından yararlanıp. ( $\sigma$ ) nün tahmini değerinin bulunması için bkz: COWDEN, DUBLEY J.; *Statistical Methods in Quality Control*; Prentice-Hall; Englewood Cliffs 1957; s. 76, 77, 78.

(9) COWDEN, DUBLEY. J.; A.g.e.; s. 217, 218; DIXON, WILFRID J.; MASSEY FRANK J.; *Introduction to Statistical Analysis*; McGraw-Hill; New York 1957; s. 130.

Misal :  $Q = 0,99$ ,  $\gamma = 0,95$  ve  $n = 100$  olsun. Bu verilerden (k) faktörünün değeri,

$$k = 2,576 \left( 1 + \frac{1,645}{\sqrt{200}} + \frac{5(2,706) + 10}{1200} \right)$$

$$k = 2,926$$

olarak hesaplanmış olur.

Uzun hesaplamalardan kurtulmak için (Q), ( $\gamma$ ) ve (n) in çeşitli değerlerine göre (k) faktörü hesaplanmış ve bir cetvel haline getirilmiştir.

### **B) Toplam tolerans ve parçaların toleransları arasındaki ilişki :**

Çoğu zaman bir parça birden çok küçük parçanın birbirine monte edilmesiyle meydana gelir.

Büyük parçanın nominal boyutu, küçük parçaların nominal boyutları toplamına eşittir. Tesadüfi bir seçimle birbirine monte edilen küçük parçaların birleşmesinden meydana gelen parçanın toleransı, küçük parçaların toleransları toplamına eşit değildir.

Küçük parçaların birleşmesinden meydana gelen parçanın toleransını hesaplamak için, istatistik tolerans hesabı bakımından önemli olan üç teoremi açıklamakta yarar vardır.

**Teorem 1.** Birden çok bağımsız değişkenin toplamından meydana gelen yeni değişkenin varyansı, bağımsız değişkenlerin varyansları toplamına eşittir. Bu teoremi formülle,

$$\sigma_{\text{Toplam}}'^2 = \sigma_1'^2 + \sigma_2'^2 + \sigma_3'^2 + \dots \dots \sigma_N'^2$$

şeklinde gösterilebilir. Bağımsız değişkenlerin varyansları eşitse veya eşit olduğu farzedilirse,

$$\sigma_{\text{Toplam}}'^2 = N \sigma_1'^2$$

formülü bulunur. Bu formülden, toplam varyans belli olunca, her değişkenin varyansı,

$$\sigma_1'^2 = \frac{\sigma_{\text{Toplam}}'^2}{N}$$

formülü ile bulunur.

**Teorem 2.** İki bağımsız değişkenin farkından meydana gelen yeni değişkenin varyansı, bağımsız değişkenlerin varyansları toplamına eşittir. Teoremi formülle,

$$\sigma_{1-2}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$$

şeklinde gösterilebilir.

**Teorem 3.** Tolerans limitleri genel olarak aritmetik ortalama-  
dan  $\mp 6\sigma'$  uzaklıkta alınmaktadır. Tolerans aralığı ise, iki limit arasındaki fark olduğundan  $12\sigma'$  olarak belirlenir. Teorem : 1 ve Teorem : 2 den tolerans aralığı için,

$$T_{\text{Toplam}}^2 = T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_N^2$$

formülü yazılır<sup>10</sup>.

Yukarıda açıklanan teoremlerden yararlanıp, parçaların toleransları ile bu parçaların birleşmesinden meydana gelen bütünün toleransı arasındaki ilgi iki şekilde kurulur.

a) Küçük parçaların toleransları sabit olup, bu parçaların monte edilmesinden meydana gelen mamulün toleransının bulunması :

Tesadüfi bir seçimle birbirine monte edilen birimin toleransının bulunmasında Teorem 1. den yararlanılacaktır. Durumu bir misal ile açıklayalım.

Misal : Aşağıdaki şemada, küçük parçaların monte edilmesinden meydana gelen mekanik bir montaj görülmektedir.

| A                  | B                  | C                  |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1,450 $\mp$ 0,0040 | 0,865 $\mp$ 0,0032 | 1,170 $\mp$ 0,0028 |

Her parça çeşidinin üretim anında istatistik kontrolden geçirildiği ve bu parçaların alındığı ana kütlenin aritmetik ortalaması

---

(10) Teoremlerin ispatları yerli ve yabancı kaynaklarda bulunabilir. Bu bakımdan teoremlerin ispatları burada verilmemiştir.



ile standart sapmasının saptandığı varsayılacaktır. Her parça çeşidi için, istatistik kontrol sonucunda saptanan aritmetik ortalama ve standart sapma aşağıda gösterilmiştir.

| Parça Çeşidi | $(\bar{X})$ | $\sigma$ |
|--------------|-------------|----------|
| A            | 1,450 cm    | 0,0010   |
| B            | 0,865 cm    | 0,0008   |
| C            | 1,170 cm    | 0,0007   |

İşletmede üst ve alt tolerans limitlerinin aritmetik ortalama-  
dan ( $\mp 4\sigma'$ ) kadar uzaklıkta olmasını istemektedir<sup>11</sup>.

Parçaların toleranslarından, basit toplama esasına göre montajın toleransının bulunması istenirse, iyi bir sonuca varılamaz. Çünkü, tesadüfen alınan parçalardan meydana gelen bir montajda, parçaların boyutlarının minimum (veya maksimum) limitlerin dışında olma ihtimali küçükse, montajın boyutlarının da minimum (veya maksimum) tolerans limitinden küçük olma ihtimali çok daha az olacaktır.

A, B ve C parçalarının boyutlarının alt tolerans limitinin altında olma ihtimalinin % 1 olduğunu varsayalım. Parçaların üretimi bağımsız ve seçimleri tesadüfi ise, parçaların birleşmesinden meydana gelen montajın boyutunun alt tolerans limitinin altında olma ihtimali, ihtimallerin çarpım kuralına göre,

$$\frac{1}{100} \times \frac{1}{100} \times \frac{1}{100} = \frac{1}{1000\ 000}$$

olarak bulunur. Milyonda bir ihtimalle alt tolerans limitinin altında bulunan üç parçanın birleşmesinden meydana gelen montajın boyutu alt tolerans limitinin altında olacaktır.

Toplama metodunun aksine, istatistik metodlarla parçaların toleranslarından, parçalardan meydana gelen montajın boyutları için tolerans limitleri bulunabilir.

(11) İşletmeler güttükleri tolerans politikasına göre, tolerans limitlerini ( $\mp 4\sigma'$ ) veya  $\mp 6\sigma'$  almaktadırlar. Eğer, üretilen mamulün özelliği dar toleransı gerektiriyorsa,  $\mp 4\sigma'$  alınmaktadır.

Teorem : 1 den,

$$\sigma'_{\text{Toplam}} = \sigma_A'^2 + \sigma_B'^2 + \sigma_C'^2$$

formülü yazılır. Formülden yararlanıp,

$$\begin{aligned}\sigma'_{\text{Toplam}} &= \sqrt{(0,0010)^2 + (0,0008)^2 + (0,0007)^2} \\ &= 0,0015\end{aligned}$$

değeri bulunur. Montaj için tolerans limitlerinin aritmetik ortalamadan  $\mp 4\sigma'$  uzaklıkta olmasının istendiğini farzedelim. Buradan tolerans limitleri,

$$3,485 \mp 0,0060$$

olarak saptanır. Montajın üst tolerans limiti 3,491 cm ve alt tolerans limiti 3,479 cm. olarak bulunur.

Her parça için maksimum ve minimum tolerans limitleri ile tolerans aralıkları hesaplanarak aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

|        | Toleranslar        | Maksimum<br>Tolerans<br>Limiti | Minimum<br>Tolerans<br>Limiti | Tolerans<br>Aralığı |
|--------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| A      | 1,450 $\mp$ 0,0040 | 1,4540                         | 1,4460                        | 0,0080              |
| B      | 0,865 $\mp$ 0,0032 | 0,8682                         | 0,8618                        | 0,0064              |
| C      | 1,170 $\mp$ 0,0028 | 1,1728                         | 1,1672                        | 0,0056              |
| Toplam |                    | 3,4950                         | 3,4750                        | 0,0020              |

Basit toplama ile hesaplanan tolerans aralığı 0,0020 ve istatistik metodla hesaplanan tolerans aralığı 0,0012 dir. Burada toplama metodu ile hesaplanan tolerans aralığının daha geniş olduğu görülmektedir.

b) Son mamul toleransını sabit olarak, her bir üretim ameliyesindeki toleransları belirlemek :

Genellikle müşterilerin verdikleri spesifikasyonlar ve toleranslar üretimi tamamlanmış mamul içindir. Mamul birden çok ameliyeden geçerek üretilebilir. Burada problem, üretimi tamamlanmış birim için spesifikasyon ve tolerans sabit kabul edilip, bu toleransı sağlayabilmek için ara ameliyelerdeki toleransların belirlenmesidir.

Ara ameliyeler için tahmini limitler konulmuş ise, bu limitlerin birbiriyle uyuşmaması ihtimali doğabilir. Üretimin bir safhasında tolerans aralığı optimaline göre dar veya geniş tutulabilir. Bu gibi durumlarda üretimi tamamlanmış mamul müşterilerin istediği spesifikasyonu ve taleronun sağlamıyacaktır. Dolayısıyla hatalı mamul sayısı çoğalacaktır.

Üretimi tamamlanmış bir mamulün toleransı belli olunca, bu mamulün üretim safhalarındaki toleranslarının istatistik metodlar yardımıyla nasıl hesaplanacağı uygulamadan alınan bir misal ile açıklanacaktır.

Misal : Su altında kullanılan elektrik kabloları üretimi birçok safhadan geçtikten sonra tamamlanmaktadır. Meselâ, kullanılacak telleri, çekmek, çekilen telleri birleştirmek, suya dayanması için kaplamak gibi, Müşterinin spesifikasyonu ve kabul edeceği tolerans, üretimi tamamlanmış kablo içindir. Burada müşteri işletmeden  $0,750 \mp 0,025$  cm toleransı olan bir kablo talep etmektedir. Söz konusu kablonun üretimi (8) safhadan geçtikten sonra tamamlanmaktadır.

Müşterinin istediği toleranstan yararlanarak (8) inci safhadan başlayıp geriye doğru olmak üzere, her safha için tolerans limitleri hesaplanarak sonraki sayfada tablo halinde gösterilmiştir.

Tablonun açıklanması :

1) Üretimin her safhasında kablonun kalınlık artışına sebep olan etmen belirlenmiştir. Her safhada kablonun artışını etkileyen etmen farklı olduğundan, her safhadaki kalınlık artışı müstakil değişken olarak alınmıştır. Uzun bir devrede her safhada kalınlık artışına etki eden etmenler için, üretimden alınan numunelerden bulunan değerlerden ( $\bar{X}$ , R ve  $\sigma'$ ) ( $\bar{X}$ ) kontrol grafiği düzenlenerek kalınlık artışı için ( $3\sigma'$ ) limitleriyle kablonun ortalama kalındığı bulunmuştur.

Bulunan değerler tablonun (B) ve (C) sütunlarında gösterilmiştir.

2) Tablonun (D) sütununda her safha sonunda bitmiş mamulün ( $6\sigma'$ ) tolerans aralığı gösterilmiştir.

3) Teorem : 3 den,

$$T_{\text{Toplam}}^2 = T_1^2 + T_2^2$$

| A                | B                                 | C   | D  | E   | F        | G        |  |
|------------------|-----------------------------------|---|--|---|----------|----------|--|
| Ameliye Numarası | Her Ameliye Sonunda Ortalama çap. | Her ameliyede çapın artışı için tahminlerin ( $6\sigma'$ ) tolerans aralığı | Ameliye sonucunda bitmiş mamül için tesbit edilen tolerans aralığı (Max - Min) | Tesbit edilen tolerans aralığı karesi $D^2$ | $C^2$    | E - F    | Ameliye başlama-<br>dan önce hesap-<br>lanan tolerans<br>aralığı |
| 8                | 0,750                             | 0,016   | 0,050  | 0,002500                                    | 0,000256 | 0,002244 | 0,047  |
| 7                | 0,710                             | 0,021   | 0,047  | 0,002244                                    | 0,000441 | 0,001803 | 0,042  |
| 6                | 0,640                             | 0,018   | 0,042  | 0,001803                                    | 0,000324 | 0,001479 | 0,038  |
| 5                | 0,585                             | 0,017   | 0,038  | 0,001479                                    | 0,000289 | 0,001190 | 0,034  |
| 4                | 0,550                             | 0,015   | 0,034  | 0,001190                                    | 0,000225 | 0,000965 | 0,031  |
| 3                | 0,500                             | 0,013   | 0,031  | 0,000965                                    | 0,000169 | 0,000796 | 0,028  |
| 2                | 0,300                             | 0,012   | 0,028  | 0,000796                                    | 0,000144 | 0,000651 | 0,025  |
| 1                | 0,100                             | 0,010   | 0,025  | 0,000625                                    | 0,000100 | 0,000425 |  |
|                  |                                   |   |  |   |          |          | Ameliye başlangı-<br>cında hesaplanan<br>spesifikasyonlar.       |
|                  |                                   |   |  |   |          |          | 0,710 $\pm$ 0,023  |
|                  |                                   |   |  |   |          |          | 0,640 $\pm$ 0,021  |
|                  |                                   |   |  |   |          |          | 0,585 $\pm$ 0,019  |
|                  |                                   |   |  |   |          |          | 0,550 $\pm$ 0,017  |
|                  |                                   |   |  |   |          |          | 0,500 $\pm$ 0,015  |
|                  |                                   |   |  |   |          |          | 0,300 $\pm$ 0,014  |
|                  |                                   |   |  |   |          |          | 0,100 $\pm$ 0,013  |

$$T_1^2 = T_{\text{Toplam}}^2 - T_2^2$$

olduğundan, üretimi tamamlanmış mamulün (8) inci safha başlamadan önceki tolerans aralığı ile tolerans limitlerini belirlemek için şu işlem yapılmıştır : (D) sütündeki değerlerin karesi (E) sütununda ve (E-F) farkının kareleri alınarak (G) sütununda gösterilmiştir. (G) deki değer (8) inci ameliye başlamadan önceki kablunun kalınlığı için tolerans aralığını göstermektedir.

(H) sütununda her safha başlamadan önceki tolerans limitleri gösterilmiştir.

Her safha için aynı hesaplamalar yapılmış ve tabloda gösterilmiştir.

Böylece, müşterinin verdiği spesifikasyonu gerçekleştirmek için her safhada ne kadar tolerans aralığı verilmesi gerektiği belirlenmiştir.

### **C) Biri birine geçen parçalar arasındaki boşluk için tolerans limitleri hesaplaması :**

Kullanılan birçok aletlerde biri birinin içine geçen parçalar vardır. Burada önemli olan boyutlar, içe geçen parçanın dış çapı ile diğer parçanın içindeki deliğin iç çapıdır.

İki parça arasındaki boşluğun toleransı için nasıl bir uygulama yapılabileceği bir misal ile açıklanacaktır.

Misal : Biri birinin içine geçen iki parçadan birincisinin dış çapı için toleranslar  $0,5000 \mp 0,0006$  cm ve diğer parçanın içindeki delik için tolerans limitleri  $0,4995 \mp 0,0007$  cm dir. Burada iki parça için belirlenen toleransların bağımsız değişkenler olduğu farzedilmiştir. İki parça arasındaki boşluk için tolerans aralığını hesaplayalım :

$$T = (0,0012)^2 + (0,0014)^2 = 0,00184$$

$$T = 0,00184 \text{ olarak bulunur.}$$

İki parçanın biri birine uymaması ihtimali de ayrıca hesaplanabilir. Boşluk için standart sapma,

$$= 0,000307$$

bulunur Normal eğriye uygulamak için gerekli standart (Z) değeri,

$$Z = \frac{0 - 0,005}{0,000307} = - 1,63$$

bulunur. Normal eğri cetvelinden iki parçanın biri birine uymaması ihtimali % 5,2 olarak bulunur.