

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TASARIM AŞAMASINDAKİ TAŞIT PARÇALARINDA
VARYASYON SİMULASYON ANALİZİ (VSA) İLE
TOLERANSLARIN BOYUTSAL DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuna KAYA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Mühendisliği Programı

ARALIK, 2016

**TASARIM AŞAMASINDAKİ TAŞIT PARÇALARINDA
VARYASYON SİMULASYON ANALİZİ (VSA) İLE
TOLERANSLARIN BOYUTSAL DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tuna KAYA
(503131720)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. Kubilay YAY

ARALIK, 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503131720 numaralı Yüksek LisansÖğrencisi **Tuna KAYA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TASARIM AŞAMASINDAKİ TAŞIT PARÇALARINDA VARYASYON SİMULASYON ANALİZİ (VSA) İLE TOLERANSLARIN BOYUTSAL DEĞERLENDİRMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Öğr. Gör. Dr. Kubilay YAY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doc. Dr. Tarkan Sandalcı**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Murat Ereke
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 16 Ocak 2017
Savunma Tarihi : 16 Aralık 2016





Caner Candaş'ın anısına



ÖNSÖZ

Tezimde akademik olarak, benden hiçbir desteği esirgememiş olan tez danışmanım, saygıdeğer hocam Öğr. Gör. Dr. Kubilay Yay’a, motivasyon olarak hep yanımda olan biricik ablam Tuba Kaya’ya sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenim sürem boyunca bilgi kokan kitaplarından ve sıcak ortamından çokça yararlandığım Mustafa İnan Kütüphanesi’ne büyük bir mutlulukla bırakacağım bu dökümanın geleceğin parlak mühendislerine ilham kaynağı olmasını dilerim.

Ocak 2017

Tuna KAYA
Makine Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 GD&T'ye Genel Bakış.....	2
1.1.1 Ölçüm metodolojisi.....	5
1.1.2 İmalat yöntemi ve malzemeye göre tolerans değerleri	5
1.2 Tezin Amacı	6
1.3 Literatür Araştırması	6
2. TEORİ.....	9
2.1 GD&T'de Matematiksel Yaklaşımlar	9
2.1.1 En kötü duruma göre hesaplama (Worst Case).....	10
2.1.2 İstatistiki metodlar ile hesaplama.....	10
2.1.3 “6sigma” İstatistik Metodu	12
2.2 Varyasyon Simulasyon Programlarında 6σ Dağılım Eğrilerinin Elde Edilmesi	20
3. ÖRNEK UYGULAMA-EGR SİSTEMİ	21
3.1 Paketin İncelenmesi.....	21
3.2 Problemin Tanımı.....	22
3.3 Yapılacak Olan Çalışmanın Amacı	23
3.4 Tolerans Hesaplaması İle Ele Alınması Gereken Kritik Noktalar	23
4. VİS-VSA İLE TOLERANS HESAPLAMASI	29
4.1 Sınır Koşulları ve Varsayımlar	29
4.2 Modelin Oluşturulması.....	29
4.2.1 Cad modelin seçilmesi	30
4.2.2 Karakteristik elemanların tayini.....	32
4.2.3 Karakteristik elemanlara toleransların tanımlanması.....	32
4.2.4 Montaj yönteminin belirlenmesi	32
4.2.4.1 Montaj hattında uygulanan yöntem.....	33
4.2.4.2 Vis-VSA modelinde uygulanan yöntem	40
4.3 Vis-VSA'da Ölçüm	43
4.3.1 EGR çıkış tüpü.....	44
4.3.2 Hava kanalı	47
4.3.3 EGR'nin klepe bağlantısı	50
4.3.4 EGR'nin kollu bağlantısı	51

4.3.5 EGR çıkış tüpünün flanş bağlantıları	52
4.3.6 Hava kelebeği braketleri.....	54
4.3.7 Hava kelebeği.....	55
4.4 Sonuçların Değerlendirilmesi	56
4.4.1 Değerlendirme kriterlerinin tanımlanması	57
4.4.2 Normal dağılım eğrilerinin elde edilmesi.....	59
4.5 Problem Tespit Edilen Alanlarda Problemin Çözümü	62
4.5.1 EGR tüpünde tasarım değişikliği	63
4.5.2 Turbocharger'ın montaj yönteminin değiştirilmesi.....	64
4.5.3 Hava kelebeği braketinde tasarım değişikliği	65
4.5.4 Hava kelebeğinde tasarım, hava kelebeği braketinde tolerans değişikliği	66
4.5.5 Katalizörde tasarım ve tolerans değişiklikleri	69
4.5.6 Değişiklikler sonrasında elde edilen sonuçlar	71
5. EL HESABI İLE TOLERANS KONTROLÜ	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	81
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	129

KISALTMALAR

VSA	: Varyasyon Simulasyon Analizi (Variation Simulation Analysis)
GD&T	: Geometrik Boyutlandırma ve Toleranslandırma (Geometrical Dimensioning & Tolerancing)
Op	: Montaj operasyonu
USL	: Üst Spesifikasyon Limiti
LSL	: Alt Spesifikasyon Limiti
AKL	:Alt Kontrol Limiti
UKL	: Üst Kontrol Limiti
RSS	: Karelerin toplamının kare kökü (Root Sum Square)
WC	: Mühendislikte- sayısal olarak en kötü durum (Worst Case)
HLM	:Maksimum-Minimum-Ortalama değer (High Low Median
EGR	: Egzoz Gazı Geridönüşümü (exhaust gas recirculation)



SEMBOLLER

ΔX	: İki nokta arasında, tolerans sapmaları nedeniyle, X eksenine göre öngörülen maksimum mesafe
ΔY	: İki nokta arasında, tolerans sapmaları nedeniyle, Y eksenine göre öngörülen maksimum mesafe
ΔZ	: İki nokta arasında, tolerans sapmaları nedeniyle, Z eksenine göre öngörülen maksimum mesafe
R	: Öngörülen maksimum radyal sapma miktarı
D_1	: Delik çapı
D_2	: Pim Çapı
C_p, C_{pk}	: Proses kontrol katsayıları
μ	: Ortalama değer (mean)
σ	: Standart sapma (sigma)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Cp değerine bağlı olarak spec limitlerinin dışında kalan parça sayısı değişir.....	18
Çizelge 4.1 :Normal dağılım eğrilerinden elde edilen sonuçlar.	59
Çizelge 4.2 :EGR çıkış tüpü ve hava kanalı için elde edilen ölçüm sonuçları.	60
Çizelge 4.3 :Düzeltilmeler sonrasında normal dağılım eğrilerinden elde edilen sonuçlar.	71
Çizelge 4.4 :Düzeltilmeler sonrasında normal dağılım eğrilerinden elde edilen sonuçlar.	73
Çizelge 5.1 :EGR çıkış tüpünün flanş bağlantıları için yapılan hesaplamalar aşağıdaki gibidir.	76
Çizelge 5.2 :Farklı matematiksel modeller ile hava kelebeğinin hava kelebeği braketine montajı hesaplanmıştır.	76
Çizelge 5.3 :Farklı matematiksel modeller ile EGR'nin katalizöre montajı (kollu bağlantı) hesaplanmıştır.	77
Çizelge 5.4 :Hava kelebeği braketinin silindir kafasına montajında el hesabının yapılması.	78



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 :Delik ve pim çifti içeren iki parça	2
Şekil 1.2 :Delik ve pim çifti içeren iki parçanın montajlı hali (idealde)	2
Şekil 1.3 :Delik ve pim çifti içeren iki parçanın montajlı hali(gerçek hayatta).....	3
Şekil 1.4 :GD&T sembolleri.....	4
Şekil 1.1 :GD&T’de geometrik karakter tipleri.....	5
Şekil 2.1 :Bir boyutlu montaj modeli	10
Şekil 2.2 :Worst Case, RSS, Reality [13]	12
Şekil 2.3 :Normal dağılım eğrileri	14
Şekil 2.4 :Normal dağılım eğrilerinde standart sapma(σ)	15
Şekil 2.5 :Farklı parametrelere sahip normal dağılım eğrileri.	17
Şekil 2.6 :Farklı C_{pk} değerinesahip olan iki ayrı normal dağılım eğrisi	19
Şekil 3.1 :EGR paketi	21
Şekil 3.2 :İlk örnek montajı sırasında tespit edilen problemler	22
Şekil 3.3 :EGR çıkış tüpünün esnemesi gerekir	24
Şekil 3.4 :EGR ile katalizör arasındaki bağlantı elemanları.....	25
Şekil 3.5 :Klepeli bağlantı (Kesit görünüş)	25
Şekil 3.6 :Kollu bağlantı	26
Şekil 3.7 :EGR tüpünde flanşlı bağlantı	26
Şekil 3.8 :Hava kelebeği braketinin silindir kafasına iki civata ile bağlanır.	27
Şekil 3.9 :Hava kelebeğinin hava kelebeği braketine montajı.....	27
Şekil 4.1 : VSA modelinin oluşturulma aşamaları	30
Şekil 4.2 :Montaj akış şeması	31
Şekil 4.3 :“VA Element” Sekmesi.....	32
Şekil 4.4 :Montaj sırası	33
Şekil 4.5 :Silindir bloğunda merkezleme pimi (dowel).....	34
Şekil 4.6 :Op 010_silindir kafasına saplamaların montajı.....	34
Şekil 4.7 :Hava kelebeği braketinin montajı.....	34
Şekil 4.8 :Egzoz manifoldunun montajı	35
Şekil 4.9 :Turbocharger’a saplamaların montajı	35
Şekil 4.10 :Aşırı doldurma ünitesinin montajı.....	36
Şekil 4.11 :Saplamaların montajı.....	36
Şekil 4.12 :Katalizörün montajı.....	37
Şekil 4.13 :EGR’nin montajı	37
Şekil 4.14 :Hava kanalının hava kelebeğine montajı.....	38
Şekil 4.15 :Hava kelebeğinin montajı.....	38
Şekil 4.16 :EGR çıkış tüpünün EGR’ye montajı	39
Şekil 4.17 :EGR çıkış tüpünün hava kelebeğine montajı	39
Şekil 4.18 :Delik ve pimin eksen eksene çakışık olması durumu.....	40
Şekil 4.19 :Pimin yerçekimi etkisi ile deliğin içinde aşağıya doğru düşmesidurumu.....	41
Şekil 4.20 :Pimin delik içinde rastgele kayması (float)	41

Şekil 4.21 :Montaj sırasının önemi	42
Şekil 4.22 :Vis-VSA'da montaj operasyonları	43
Şekil 4.23 :Vis-VSA'da ölçüm alma	44
Şekil 4.24 :EGR ile hava kelebeği flanşları arasındaki açı.....	45
Şekil 4.25 :Hava kelebeğindeki geri dönüşüm gazı giriş kanalına ait merkez noktası	45
Şekil 4.26 :EGR'deki gaz çıkış kanalının merkez noktası.....	46
Şekil 4.27 :EGR ve hava kelebeği arasındaki ölçümler.....	46
Şekil 4.28 :EGR ve hava kelebeği arasındaki ölçümler.....	47
Şekil 4.29 :Turbocharger ve hava kelebeğinin iki paralel yüzeyi arasındaki mesafe	48
Şekil 4.30 : Turbocharger ve hava kelebeğinde hava kanallarının merkez noktaları	49
Şekil 4.31 :Turbocharger ve hava kelebeğinde arasındaki ölçümler	49
Şekil 4.32 :EGR ve hava kelebeği arasındaki ölçümler.....	50
Şekil 4.33 : Delik ve pim ikilisi arasındaki boşluk	51
Şekil 4.34 : Kollar arasındaki boşluk	51
Şekil 4.35 :Kollar arasındaki boşluğun değişimini hesaplamak için VSA'da alınan ölçümler	52
Şekil 4.36 : Delik ve pim ikilisi arasındaki boşluk	52
Şekil 4.37 :Delik ve pim ikilisi arasındaki boşluk	53
Şekil 4.38 :EGR çıkış tüpü sabitleyen civata bağlantıları için VSA'da alınan ölçümler	53
Şekil 4.39 :EGR çıkış tüpü flanşını, EGR'ye sabitleyen civata bağlantısında ölçüm	53
Şekil 4.40 :EGR çıkış tüpü flanşını, hava kelebeği'ne sabitleyen civata bağlantısında ölçüm.....	54
Şekil 4.41 :Hava kelebeği braketini silindir kafasına sabitleyen civata bağlantıları için VSA'da alınan ölçümler.....	55
Şekil 4.42 :Hava kelebeği braketini silindir kafasına sabitleyen civata bağlantıları için VSA'da alınan ölçümler.....	55
Şekil 4.43 :Hava kelebeğini, hava kelebeği braketine sabitleyen civata bağlantıları için VSA'da alınan ölçümler.....	56
Şekil 4.44 :Vis-VSA'da ölçüm sonuçlarının değerlendirilme süreci	57
Şekil 4.45 :Vis-VSA'da değerlendirme(sınır koşulları)	58
Şekil 4.46 : Dayanım analizinde elde edilen, EGR çıkış tüpüne ait, düşey esneme kabiliyeti.....	61
Şekil 4.47 :Hava kelebeğinin klepeli bağlantısında tolerans	62
Şekil 4.48 :Problem çözümünde uygulanabilecek yöntemler.....	63
Şekil 4.49 :EGR çıkış tüpünde tasarım değişikliği	64
Şekil 4.50 :EGR çıkış tüpünün dayanım analizi	64
Şekil 4.51 :Turbocharger montajında fixtür kullanımının sonuçlara etkisi	65
Şekil 4.52 :Hava kelebeği braketinde girişim problemi	66
Şekil 4.53 :Hava kelebeği braketinde tasarım değişikliği.....	66
Şekil 4.54 : Hava kelebeği braketinde tolerans güncellemesi	67
Şekil 4.55 :Hava kelebeği braketinde tolerans güncellemesinin sonuçlara etkisi	67
Şekil 4.56 : Hava kelebeğinde tasarım değişikliği (delik çaplarının değiştirilmesi) .	68
Şekil 4.57 :Katalizörde tolerans iyileştirmesi	69
Şekil 4.58 :Katalizörde tolerans iyileştirmesinin sonuçlara etkisi	69
Şekil 4.59 :Dairesellik (circularity) toleransı, datum-E'ye göre diklik toleransı olarak değiştirilmiştir	70
Şekil 4.60 :Katalizör kolundaki açıklık 28.6mm'den 29.2mm'ye çıkartılmıştır.	71
Şekil 4.61 :Katalizör kolunda dayanım analizi	72

TASARIM AŞAMASINDAKİ TAŞIT PARÇALARINDA VARYASYON SİMULASYON ANALİZİ (VSA) İLE TOLERANSLARIN BOYUTSAL DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Parçalar bilgisayar ortamında tasarlanırken ideal koşullara göre tasarım gerçekleştirilir. Fakat gerçek hayatta parçaları nominal (ideal) boyutlarında üretmek mümkün olmamaktadır. Ortam sıcaklığının, elektrik frekansının, hızın değişmesi, parça işlemede kullanılan takımların toleransının olması, kalıptan çıkan parçanın soğurken çekme yapması veya preslenen parçalarda kalıptan çıkarken çarpılma olması gibi pek çok nedenden dolayı parçaların boyutlarında sapma yaşanır. Dolayısı ile parça yüzeylerinde pürüzlülük ve form değişimi görülürken, deliklerde konumsal açısal ve form olarak değişimler gözlemlenir. Pim veya şaft gibi parçaların ise tam olarak yuvarlak forma sahip olmadığı ve eksenlerinin tam olarak düzgün olmadığı ölçümlerle gözlemlenebilir.

Parçaların üzerindeki her bir delik, pim, şekilli yüzey (veya profil), paralel iki yüzey, oluklu delik gibi elemanlara karakteristik eleman adı verilir. Karakteristik elemanlar boyut (size) toleransının yanı sıra form, profil, oryantasyon, konum ve run-out yönünden de sapma gösterir. Bütün bu sapmaları kontrol altında tutmak, üretimin kabul edilebilir düzeyde olduğunu teyit etmek adına parçaların teknik resimlerine ASME ve ISO gibi kuruluşların yayınladığı GD&T dili kullanılarak kontrol sembolleri tanımlanır.

İmal edilen ürünler teknik resimde belirtilen GD&T sınırlarını sağlayabiliyor ise kabul edilebilir seviyedir. GD&T sınırlarını sağlayamıyorsa hurdaya ayrılmalıdır. Çünkü, parçaların takılabilirliği, sızdırmazlık gerektiren bağlantılarda sızdırmazlığın sağlanması, dinamik parçalarda gürültü düzeyinin kontrol altında tutulması GD&T ile doğrudan ilişkilidir.

Bu dökümanda, taşıtlara ait montaj paketlerinde tolerans sapmaları nedeniyle meydana gelen tolerans bindirmesi sorunları ve bu sorunların çözümü için uygulanan yöntemler ele alınmıştır. Tolerans bindirmesi etkilerinin parçaların teknik resimlerinde belirtilen GD&T tanımlamalarına göre analizi yapılmıştır.

Tolerans bindirmesi hesaplamalarında sıklıkla üç ayrı yöntemin tercih edildiğini söyleyebiliriz. Bu yöntemleri “en kötü duruma göre hesaplama (worst case)”, “istatistiki metod” ve “6 sigma ve monte carlo metodu” olarak sınıflandırabiliriz. Bir ve iki boyutlu hesaplamalarda çoğunlukla en kötü duruma göre hesaplama metodu veya istatistiki metod tercih edilirken üç boyutlu hesaplamalarda sıklıkla 6 sigma ve Monte Carlo metodu kullanılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında yapılan uygulama ile bir EGR paketi ele alınmıştır. EGR paketinin montajı sırasında yaşanan problemler tolerans bindirmesi hesaplamaları ile doğrulanmıştır. Ardından, tasarım değişiklikleri, tolerans iyileştirmeleri,

parçaların teknik resminde bulunan karakteristik kontrol sembollerinin düzenlenmesi, montaj yönteminin değiştirilmesi yolları ile yaşanan problemin kalıcı olarak çözüme kavuşturulması amaçlanmıştır. Son olarak ise ilk örnek montajları ile yapılan çalışmanın uygunluğu kontrol edilmiştir.

Tolerans bindirmesi hesaplamaları üç boyutlu olarak Vis-VSA programı aracılığı ile yapılmıştır. Daha sonrasında farklı hesaplama yöntemleri ile elde edilen sonuçlarkarşılaştırılmıştır. Sonuçların tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma göstermiştir ki tolerans hesaplamalarının seri üretim kalıpları yapılmadan önce tasarım aşamasındayken tamamlanması yüksek müşteri memnuniyeti ve düşük maliyet sağlamak açısından büyük bir gereksinimdir. Tolerans bindirmesi hesaplama yazılımları ile yapılan üç boyutlu varyasyon simulasyon analizleri, tolerans hesaplamalarının hızlı bir şekilde gerçekleşmesini, hata oranının düşürülmesini ve optimize edilmiş sonuç elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu tez çalışması, EGR paketinde yer alan “EGR çıkış tüpü” ve “hava kanalı” gibi elastik parçaların (boru) tolerans hesaplamasının da yapılabileceğini göstermiştir.





DIMENSIONAL ANALYSIS OF VEHICLE COMPONENTS IN DESIGN PHASE VIA VARIATION SIMULATION ANALYSIS(VSA)

SUMMARY

Dimensions of components in computer aided design phase are defined according to ideal conditions. However, it is not possible to produce components in their nominal (ideal) dimensions in reality. Dimensions of components changes due to uncontrollable reasons like variation of ambient temperature, electrical frequency, speed and distortions on casting and forging parts as they are taken out of the mold/stamp. As a result of this, form, roughness variation occurs on part surfaces. Position, angularity and form variations occur on holes. Parts such as pins or shafts are also not exactly rounded and their axes are not perfectly smooth. This situation can easily be observed by measurements.

Each element on the part is called a characteristic element, such as a hole, a pin, shaped surfaces (or profile), two parallel surfaces, a slotted hole. In addition to size tolerance, geometry of characteristic elements also vary according to their form, profile, orientation, position and run-out. In order to keep all these deviations under control and to confirm that the production is acceptable, control symbols are defined using the GD&T language issued by organizations such as ASME and ISO for the technical drawings of the parts.

Tolerances are assigned to each characteristic elements of components. Size tolerances can be defined as $\pm$ on characteristic elements. Tolerances would also be defined on characteristic elements by using feature control frames that include control symbols. Details are transferred to the technical drawings in accordance with GD&T standards. Thus, both designers, manufacturers, quality and maintenance units would ensure that they all use the same language. This document refers to ASME standards.

If manufactured products can fulfill GD&T limits specified in technical drawings, they are acceptable. Otherwise, products should be scrapped. Because, it directly depends on the GD&T, which ensures that parts can be assembled, assemblies are safely sealed, and the noise level controlled in dynamic parts.

In this document, tolerance stack problems caused by tolerance deviations in assembly packages of vehicles and methods applied to solve these problems are discussed. Tolerance stack-up effects are analyzed according to the GD&T definitions given in the technical drawings of parts.

We can simply predict why we need GD&T by considering the assembly of the two parts containing the hole and the pin pairs. In the ideal design condition, the hole and the pin are concentric and mating faces (surfaces) of the two parts are a hundred percent in contact with each other. But, in real life, the hole and the pin can not be positioned exactly concentrically. Certainly, there is some misalignments. Mating surfaces also do not contact perfectly with each other. Therefore, problems occur

due to deviations arise from misalignments. Moreover, tolerance stack accumulation occurs in the case of large group of components are assembled.

Tolerance sensitivity varies depending on manufacturing method of components. For example, a component produced with an injection mold has more sensitive tolerances than a component produced with sand molding method. Tolerances of a machined part, produced with turning or milling method, will be more sensitive than cast parts. Similarly, different tolerancing results can be obtained depending on the material and part shape. For this reason, engineers that apply tolerance analysis should be aware of the manufacturing method of components where tolerance analysis applied. It is a necessity for automotive companies to make an optimized design considering the tolerance sensitivity, cost and function of each components depending on the manufacturing method.

Quality control is often applied on mass-production parts such as automotive components with the help of gauges and control fixtures. The critical characteristic elements on the component are generally measured by using specific measuring instruments or three-dimensional CMM measurement machines. The measurement methods and criteria are determined according to the tolerances in the technical drawings. Therefore, the measurement methodology for accurate GD&T identification is required to be known by the tolerance analyst.

It is possible to apply one, two or three dimensional tolerance calculation depending on the part design. If components of an assembly package are assembled side by side in a queue (linear assembly), it is possible to define only $\pm$ tolerances. Thus, it would be possible to apply one dimensional calculation by reducing tolerance values to a size. If it is not possible to control components with only $\pm$ dimensional tolerances, it is necessary to perform two dimensional tolerance calculation even if the assembly package is linear. As a result, characteristic element control symbols are also needed. In some cases, position of components are angular to each other and there are too many tolerance deviations in different directions in three dimensions. In this case, three-dimensional analysis is needed. Automotive parts often have three-dimensional shapes in a complex structure. For this reason, three-dimensional tolerance calculations are often required.

We can say that there are three different methods mostly used in tolerance stack calculations. We can classify these methods as "worst case method", "statistical method" and "6 sigma & Monte Carlo method". In the case of one and two dimensional calculations, "worst case" and "statistical" methods are mostly preferred. In the case of tree dimensional calculations, 6 sigma and Monte Carlo method generally becomes the first choise.

With the aid of the Monte Carlo mathematical model, which is one of the probability computation methods, random numbers are assigned to each characteristic element existing on the part. Random numbers vary in the tolerance range defined to the characteristic element. Distribution of random numbers should be in a normal distribution form. Random number assignment is repeated in each simulation and a different stack result is obtained each time. Stack results, obtained via repeated action by defining random numbers, generates a distribution curve. The result obtained with this distribution curve represents uncontrollable dimensional differences that occur during manufacturing. Thus, the total effect occures in an assembly process is simulated.

Effect of each characteristic element on the calculation result would be obtained with the help of HLM (high low median) graphs. HLM graphs show the contribution effect of each element on the tolerance stack result in percentage. This simulation is performed systematically to each characteristic element by applying the maximum, minimum and average tolerance values. The effect of the applied maximum, minimum and average values are reported as an output in the form of an HLM graph. HLM calculation is handled as a separate measurement operation in the computer programs in which the variation analysis is performed.

The more number of components in the assembly increases, the less probability of worst case conditions occur. That is, assembly probability of components that would all together have maximum or minimum dimension in the same assembly case, decreases. Therefore, it can be predicted that there will be some improvement in the results obtained depending on the number of components. This situation would be mathematically predicted with the help of statistical methods. When dealing with the statistical methods, it is necessary to have knowledge about terms such as “normal distribution curve” and “sigma distributions”, “spec limits”, “process capability analysis”, “out of specification”.

Tolerance problems would generally solved by changing design, changing the assembly method or improving the tolerance. Changing the assembly order of components, using the dowel pin, or using the mounting fixture considerably alters the assemblability of components. Changes in the manufacturing process or changes in the material may improve the tolerances of the parts. Tolerance problems can be solved by making design improvements such as a change in the hole dimension to be able to align the part according to tolerance variations. Changing the constraints or using elastic connection elements in areas where huge tolerance variation occurs, would also be the design solution.

Package of an EGR system was chosen as an example application of this thesis study. In the first step, problems encountered during the installation of prototypes of the EGR package analysed and verified by tolerance stack-up calculations. In the second step, permanent solution of problems found by changing design, improving tolerance, changing characteristic control symbols in the technical drawings of the parts, and changing the mounting method. In the end, improvements were verified via prototype testing and hand calculations.

Vis-VSA programme was used for 3D assessment of tolerance stack calculations. Later, a comparison was applied with results obtained by using different calculation methods. Comparison shown that the results obtained via Vis-VSA are consistent.

This study showed that the completion of the tolerance stack calculations while in the design phase before the creation of serial production tools is a necessity in terms of high customer satisfaction and low cost requirements. Additionally, we can say that variation simulation analysis applied with tolerance stack calculation softwares, decreases calculation errors, provides time saving and optimum results.

This thesis study has shown that tolerance stack calculations of elastic parts (pipes) such as "EGR outlet tube" and "air duct" in the EGR package is possible.



1. GİRİŞ

Tolerans sorunları genel olarak deliklerin birbiri ile hizalanamaması, yüzeylerin birbiri ile temas etmemesi (özellikle sızdırmazlık ve sürtünme gerektiren yüzeylerde sızdırmazlık veya yeterince sürtünmenin sağlanmaması), parçaların takılamaması, hareketli parçaların çalıştırıldıktan bir süre sonra birbirine çarparak kırılması şeklinde meydana gelmektedir. Bu sıkıntıların baş göstermesi halinde üretim hatlarının durması, sistemin gerekli performansı gösterememesi, yüksek maliyetli üretimlerin yapılması (gereksiz hassas üretim gibi), parçaların yeniden tasarlanması dolayısı ile fazlaca mühendislik saatinin harcanması, milyon dolarlık kalıpların yeniden yapılması gibi kayıplar meydana gelmektedir. Dolayısı ile benzer olası sıkıntıların oluşmasını önlemek amacıyla, daha seri üretime geçmeden önce parça ve sistemler arasında tolerans hesaplamalarının yapılması vazgeçilmez bir gereksinim haline gelmiştir.

Tolerans hesaplamaları sayesinde, henüz prototipleme aşamasına bile gelmeden, yeni tasarlanan parçaların montajında yaşanabilecek problemlerin, üretimde çıkabilecek olası hataların engellenmesi mümkün olmaktadır. Bu sayede üretim maliyetlerinin düşürülmesi, imalat süresinin kısaltılması, üretimde ıskarta yüzdesini azaltılması, ürün kalitesini arttırılması sağlanır. Kısacası, üretimde maksimum verimlilik eldesi sağlanır.

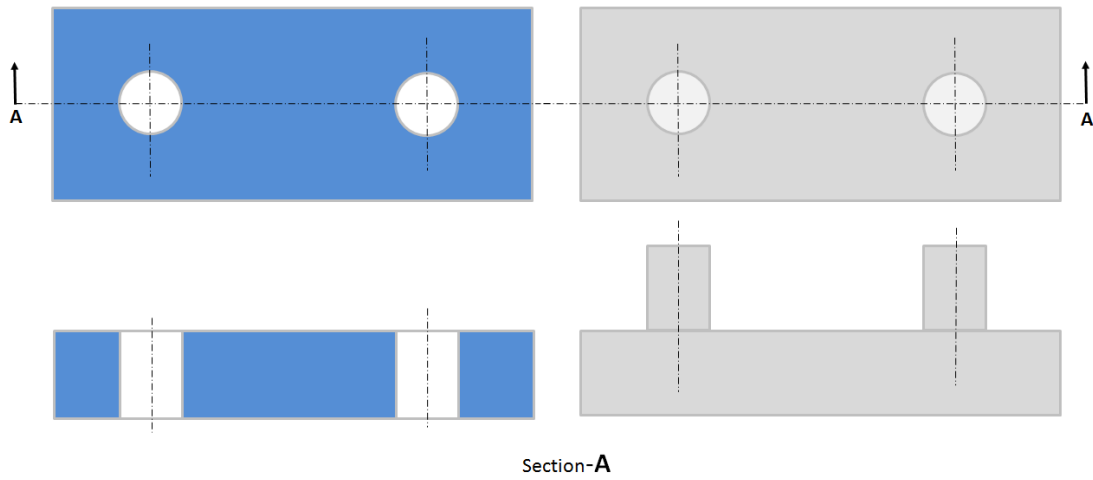
“Geometrik boyutlandırma ve toleranslandırma analizi” yapan programlar, toleranslandırma konusunda kullanılan bilgisayar yazılımlarından olup otomotiv ve havacılık sektöründe etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe çoğunlukla “Cetol 6σ”, “Vis-VSA”, “Enventive” ve “3DCS” programlarından faydalanılmaktadır. Bu dökümanda ise “Vis-VSA” aracılığı ile yapılan hesaplamalar göz önüne alınacaktır.

Vis-VSA programı, tolerans hesaplamalarının daha verimli bir şekilde simule edilebilmesi amacı ile hazırlanmış bir programdır. Bu program sayesinde tolerans problemlerinin çözüm süreci kısaltmakta ve ana nedenlerin tespit edilmesini

kolaylaşmaktadır. Montajda çarpışma olup olmadığını (iki parçanın birbiri ile teması), montajın yapılabilme oranını, parçaların sızdırmazlık kontrollerini, sürtünme kuvveti ile birbirine bağlanan yüzeylerin düzgün bir şekilde alın altına temasının sağlanabildiğini görme imkânı vermektedir. Aynı zamanda hesaplamaların el hesabına göre çok daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesine imkân tanımaktadır.

1.1 GD&T'ye Genel Bakış

Aşağıdaki şekilde gösterilen delik ve pim çifti içeren iki parçanın montajını ele alarak GD&T'ye neden ihtiyaç duyduğumuzu basitçe öngörebiliriz:



Şekil 1.1 : Delik ve pim çifti içeren iki parça

İdeal koşullarda aşağıdaki gibi bir montajın gerçekleşmesini bekleriz.

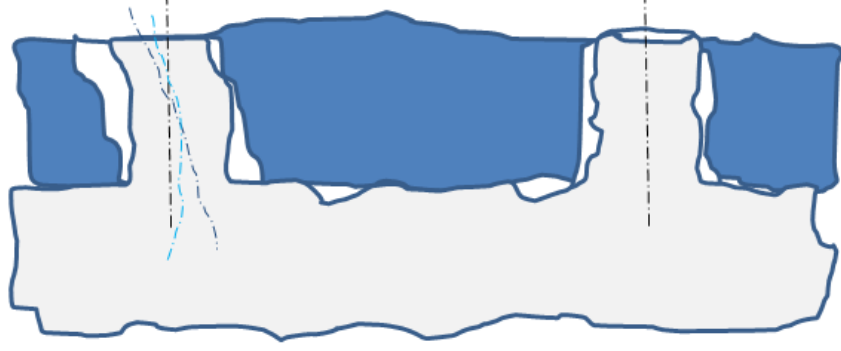


Şekil 1.2 : Delik ve pim çifti içeren iki parçanın montajlı hali (idealde)

- Delik ve pim eş merkezlidir,
- İki parçanın oturma yüzeyleri mükemmel bir şekilde alın altına temas halindedir.

- Delik çapının pim çapına eşit olması bile montaj için yeterlidir. (pim kolayca delikten geçebilir.)
- İki parça arasında konumsal olarak kayma yoktur.

Ancak gerçek hayatta parçalar ideal boyutlarda üretilemez. Gerçek hayatta gerçekleşen montaj aşağıdaki gibidir:



şekil 1.3 : Delik ve pim çifti içeren iki parçanın montajlı hali(gerçek hayatta)

- Delik ve pim merkezleri her zaman eş merkezli olmaz,
- İki parçanın oturma yüzeylerinin mükemmel bir şekilde temas etmesi beklenmez
- Delik çapının pim çapından çok az büyük olması bile montaj için yeterli olmayabilir. (Pim eksenel sapmalardan dolayı delikten geçemeyebilir. Dahası, delik ve pim çapları tüm eksen boyunca aynı değerde değildir.)
- İki parça arasında konumsal olarak kayma söz konusudur.

Torna takım ucunun zamanla aşınması, sıcaklığın üretim sırasında değişmesi, parçaların malzemesinin iri taneli, sünek veya gevrek gibi çeşitli özellikler göstermesi nedeni ile talaş kaldırırken yüzey pürüzlülüklerinin oluşması ve daha birçok sebepten ötürü üretilen parçaların geometrik olarak şekillerinde sapmalar meydana gelir. Bu nedenle, parçaların ideal şekillerinden ne kadar saptıklarını kontrol altına almak ve bu sapmaları belirli toleranslar altında tutmak gerekir. Bu noktada GD&T devreye girmektedir.

Parçalara tanımlanan GD&T değerlerinin ve sembollerin farklı dilleri konuşan kişiler tarafından bile anlaşılabilir olması gerekir. Bu nedenle, teknik olarak kullanılan semboller ve gösterim şekillerini standartlaştırmak gerekir. ISO (DIN) ve ASME

standartlaştırma amacıyla oluşturulan kuruluşlardır. Bu dokumanda ASME standartları referans alınacaktır.

ASME standartlarında kullanılan genel GD&T semboller aşağıdaki gibidir:

SYMBOL	CHARACTERISTIC	5 TYPES	KIND OF FEATURE
	Flatness	FORM	INDIVIDUAL
	Straightness		
	Circularity (Roundness)		
	Cylindricity		
	Profile of a Line	PROFILE	INDIVIDUAL OR RELATED
	Profile of a Surface		
	Perpendicularity (Squareness)	ORIENTATION	RELATED
	Angularity		
	Parallelism		
	Circular Runout	RUNOUT	
	Total Runout		
	Position	LOCATION	
	Concentricity		
	Symmetry		
	Maximum Material Condition MMC		
	Regardless of Feature Size RFS*		
	Least Material Condition LMC		
	Projected Tolerance Zone		
	Tangent Plane		
	Diametrical (Cylindrical) Tol Zone or Feature		
	Free State		
	Basic, or Exact, Dimension		
	Datum Feature Symbol		
	Feature Control Frame		
	Datum Target		

Şekil 1.4 : GD&T sembolleri

Parçalar üzerindeki karakteristik elemanlara (yüzey, delik, pim, paralel iki yüzey, vs.) veya bu elemanların boyutlarını gösteren ölçüm değerlerine karakteristik elemanı kontrol kutusu (feature control frame) atanarak toleranslar tanımlanır.

İhtiyaç duyulan geometric karakter tipine uygun olarak da sembollerin seçilmesi gerekir. Geometrik karakter tipleri aşağıdaki belirtilmiştir.

1. FORM tolerance—A form tolerance states how far an actual surface or feature is permitted to vary from the desired form implied by the drawing.
2. ORIENTATION tolerance—An orientation tolerance states how far an actual surface or feature is permitted to vary relative to a datum or datums.
3. PROFILE tolerance—A profile tolerance states how far an actual surface or feature is permitted to vary from the desired form on the drawing and/or vary relative to a datum or datums.
4. RUNOUT tolerance—A runout tolerance states how far an actual surface or feature is permitted to vary from the desired form implied by the drawing during full (360°) rotation of the part on a datum axis.
5. LOCATION tolerance—A location tolerance states how far an actual size feature is permitted to vary from the perfect location implied by the drawing as related to a datum, or datums, or other features.

Şekil 1.1 : GD&T’de geometrik karakter tipleri

Yukarıdaki şekilde gösterildiği üzere geometrik karakter tipleri beşe ayrılır.

1.1.1 Ölçüm metodolojisi

Parçalara tanımlanan GD&T değerleri çoğunlukla daha önce üretilmiş parçaların geometrik olarak ölçüm aparatları yardımıyla ölçülmesi sonucunda kontrol edilmektedir. Aynı zamanda, seri üretimi yapılan parçaların boyutlarının doğruluğu yine ölçüm aparatları ve ölçüm fiktürleri aracılığı ile kontrol edilmektedir. Bu nedenle ölçüm metodlarının incelenmesi tolerans bindirme hesaplamalarında temel bakış açısını yakalayabilmek için bilinmesi gereken bir konudur.

1.1.2 İmalat yöntemi ve malzemeye göre tolerans değerleri

Tolerans bindirme hesaplaması sonucunda problem öngörülen kısımlarda tasarımsal düzeltmelere ihtiyaç duyulabilir. Bu düzeltmeler çoğu zaman delik ve slot boyutlarının büyütülmesi ve küçültülmesi, tolerans değerlerinin azaltılması şeklinde gerçekleşmektedir. Ancak, tolerans değerleri parçanın malzemesi, üretim yöntemi, tedarikçinin üretim kabiliyeti ile orantılıdır. Tabii ki tolerans değerleri belirli değerlerin altına indirilememektedir. Bu nedenle imalat yöntemi ve malzemeye bağlı olarak parçalara tanımlanabilecek tolerans aralıklarını bilmek tolerans bindirme problemlerini çözebilmek için gerekli olan öncelikli gereksinimlerdenidir. Özellikle aşağıda bahsedilen imalat yöntemlerinde genel olarak toleransların hangi aralıklarda olduğunu bilmek varyasyon simulasyon analizleri sonrasında tespit edilen problemleri çözerken daha sağlıklı kararlar verilmesini sağlayacaktır.

- Enjeksiyon kalıbıyla üretilen plastik parçaların toleransları
- Enjeksiyon kalıbıyla üretilen alüminyum parçaların toleransları
- Kum kalıba döküm’de tolerans aralıkları
- Takım ile işlenmiş döküm malzemede toleranslar
- Matkap ile açılan delikler için standartmatkap çaplarını bilmek +/- size tolerance’ı belirlerken lazım oluyor.
- Soğuk preslerle üretilen sac parçalarda toleranslandırma.

1.2 Tezin Amacı

Daha tasarım aşamasındayken parçaların toleransları matematiksel olarak incelenebilir ve montaj sırasında yaşanabilecek olan parça takılamama problemleri tasarım güncellemeleri ile önlenir.

Özellikle, yüksek adetlerde üretilen ve yüksek kalıp maliyeti olan parçaların kalıpları hazırlandıktan sonra tasarımını değiştirmek büyük maliyet getirmektedir. Yaşanan montaj problemleri de çoğu zaman parça tasarımının güncellenmesi yoluyla çözüme kavuşmaktadır. Buna bağlı olarak yüksek maliyetli kalıpların, ilave yatırımlar yapılarak modifiye edilmesi veya yeniden yapılması zorunluluğu ortaya çıkıyor.

Bu tez, tasarım aşamasındaki otomotiv parçalarında ve montajı yapılmış paketlerde uygulanan üç boyutlu tolerans analizi yöntemini incelemektedir. Özellikle aşırı bağlı parçalarda üç boyutlu montajın gerçekleştirilmesi ve elastik tüp bağlantılarında elastik bağlantı sınırları ele alınmaktadır.

1.3 Literatür Araştırması

Lütfen şüphesiz ki parçaların toleranslarının doğru şekilde belirlenmesi ve parçaların henüz tasarım aşamasındayken tolerans analizlerinin yapılması firmalara, mali açıdan, en büyük katkıyı sağlayan mühendislik konularından biridir. [1] Ürünlere tanımlanan toleranslar müşteri memnuniyetini, ürün kalitesini, imalat, montaj ve tasarımı ciddi şekilde etkilemektedir. [2] Montaj ve imalat sırasında hurdaya çıkarılan, tekrar işlenerek düzeltilen ya da garanti iadesi yapılan ürünlerin temel nedenleri arasında yanlış tanımlanmış toleranslar olduğunu söyleyebiliriz. [3]

Altparçalara toleransın nasıl tanımlandığı ve bunun sonucunda bu parçalara ait imalat kabiliyetinin(C_p , C_{pk}) nasıl değiştiği çok iyi irdelenmelidir.[4][5]Her bir alt parçanın tolerans sapmalarının ve imalat kabiliyetinin incelenmesi, montaja uygunluğunu saptanması gerekir. Bu nedenle, imalatçı tarafından“proses yeterlilik analizi” (Comformability Analysis) adı verilen yönteme başvurulur.[6] İmalatçı, proses yeterlilik analizi verilerinden faydalananarak, “proses kabiliyet haritası” oluşturur.Tasarım ekibi de “proses kabiliyet haritası”ndan faydalananarak teknik resimlere tolerans ataması gerçekleştirir.[12] İmalat açısından, özellikle zaman kaybı ve maliyet riski içeren toleransların, PFMEA (Production Failure Mode Effect Analysis) uygulaması ile kontrol altına alınması sağlanır. [11]

Montaj paketinde, montaj paketine ait imalat kabiliyetinin(C_p , C_{pk}) nasıl değiştiği de çok iyi şekilde irdelenmeli ve daha tasarım aşamasındayken doğru tolerans sınırlarında çalışıldığı kontrol edilmelidir. [4] [5] Bunun için öncelikle parçalar arasındaki fonksiyonellik göstermesi gereken (kritik) boşlukların belirlenmesi ve ihtiyaç duyulan performans kriterinin çıkarılması gerekir. Ardından, uygun matematiksel model seçilerek montaj paketindeki tolerans bindirmesi etkisi hesaplanmalıdır. Son olarak ise tolerans değerlerinin her bir alt parçaya uygun şekilde dağıtılması (tolerance allocation) gerekmektedir. [1]

Uygun toleransların belirlenmesi en zorlu mühendislik işlerinden biri olarak karşımıza çıkar.[2] Daha da kötüsü, parçalar seri üretime geçmeden hanüz tasarım aşamasında iken tolerans tanımlamasına ihtiyaç vardır ve bu aşamada henüz üç boyutlu tasarım bile tamamlanmamış olabilir. Dolayısı ile çoğu zaman henüz kesinleşmemiş veriler üzerinden tanımlamaların yapılması gerekli olur.[7] Toleransların doğru tatbiki çoğunlukla aşağıdaki faktörlere bağlı olarak gerçekleştirilir: [11]

- Tolerans yığılmasına etki eden alt parça sayısı
- Montaj paketinden beklenen performans koşulu
- Her bir alt parçanın imalat üretim kabiliyeti
- Parçaların takılabilirliği
- Alt parça imalatçısından alınan bilginin güvenilirliği
- Tolerans hesaplama yöntemi

Toleranslar, parçanın üretim yönteminin belirlenmesine ve parçaların montajının yapılabilirliğine etki etmektedir. [9] Tolerans hesaplamasında öncelikli olarak ürünün beklenen fonksiyonelliği sağlayacağından emin olmak için yapılır. İkincil olarak ise müşteri memnuniyetinin sağlanmasında etkili bir faktördür. [10] Sonuç olarak tolerans tanımlamalarının ve hesaplamalarının tasarım aşamasının vazgeçilmez bir parçası olduğu söyleyebiliriz. [11]



2. TEORİ

Tolerans hesaplamalarında uygulanan matematiksel yöntemlerin teorisini üç ana başlıkta inceleyebiliriz.

2.1 GD&T'de Matematiksel Yaklaşımlar

Tolerans hesaplamalarını parça tasarımına bağlı olarak bir, iki veya üç boyutlu olarak yapmak gerekebilir. Montajı gerçekleştirilen pakette alt parçalar, sıralı bir şekilde yan yana dizilerek(lineer) monte ediliyor ise parçalara sadece +/- boyut toleransı tanımlanabilir. Böylece değerleri bir boyuta indirgeyerek hesaplama yapmak mümkün olur. Bir montaj paketi linner olduğu halde parçaların kontrolü sadece +/- boyut toleransı mümkün olmuyorsa ve karakteristik eleman kontrol sembolleri ile de sınırlandırılması gerekiyorsa tolerans hesaplamasını iki boyutta gerçekleştirmek gerekir. Bazı durumlarda ise alt parçalar birbirine göre açılı olarak konumlandırılır ve üç boyutlu olarak farklı yönlere çok fazla tolerans sapması olur. Bu durumda da üç boyutlu analize ihtiyaç duyulur. Otomotiv parçaları çoğu zaman karmaşık yapıdaki üç boyutlu şekillere sahiptir. Bu nedenle de sıklıkla üç boyutlu tolerans hesaplamalarına ihtiyaç duyulur.

Tolerans bindirmesi hesaplamaları yapılırken sıklıkla tercih edilen üç ayrı yöntem olduğunu söyleyebiliriz:

1. En kötü duruma göre hesaplama (Worst Case)
2. İstatistiki metodlar
 σ metodu, RSS (Root Sum Square), iyileştirilmişRSS
3. 6 sigma ve Monte Carlo Metodu

Bir ve iki boyutlu hesaplamalarda en kötü duruma göre hesaplama metodu veya istatistiki metot kullanılırken üç boyutlu hesaplamalarda 6 sigma ve Monte Carlo metodu kullanılmaktadır.

2.1.1 En kötü duruma göre hesaplama (Worst Case)

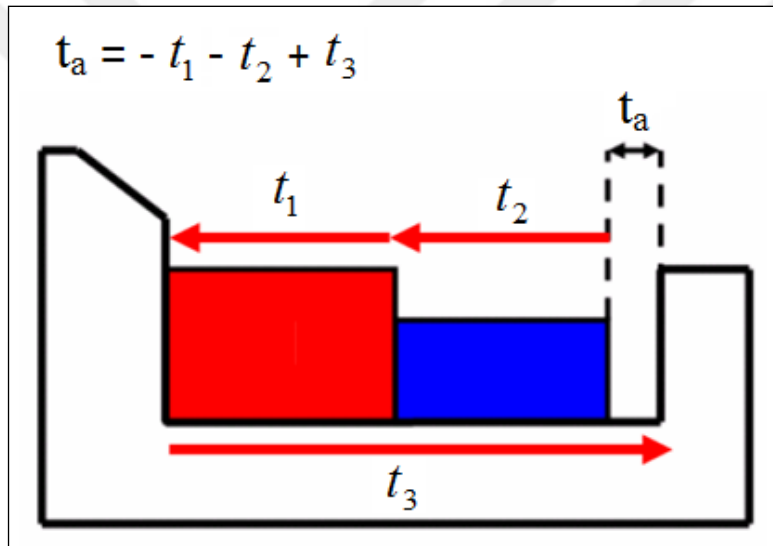
Tüm alt parçalarda boyutların maksimum veya minimum değerlerde olduğu varsayılır. Toplama-çıkarma işlemleri ile toplam boyut ve +/- tolerans elde edilir. Bu yöntem denklem 2.1 ile gösterilir.

$$\sum_{i=1}^n t_i \leq t_a \quad (2.1)$$

t_i : i. alt parçanın boyutu

t_a : Montaj paketindeki toplam tolerans değeridir.

Denklem 2.1’de belirtilen formülü Şekil 2.1 ile basitçe örnekleyebiliriz.



Şekil 2.1 : Bir boyutlu montaj modeli

Yukarıda görüleceği üzere, montajın emniyetli gerçekleşmesini sağlayacak minimum t_a değeri bu hesaplama ile çıkarılabilir.

2.1.2 İstatistikî metodlar ile hesaplama

Montajı yapılan parça sayısının artması ile beraber, montajı gerçekleştirilen tüm alt parçaların hepsinin birden en kötü koşulu gerçekleyecek şekilde maksimum veya minimum boyutlarda denk gelme ihtimali azalmaktadır. Dolayısı ile alt parça sayısına bağlı olarak elde edilen sonuçlarda bir miktar iyileşme olacağı öngörülebilir. Bu öngörü istatistikî metodlar kullanılarak sayısallaştırılabilir.

- σ metodu, en kötü durum hesaplaması ile elde edilen tolerans değerinin uygun görülen $\% \sigma$ katsayısı ($0 < \sigma < 1$) ile çarpılması şeklinde ifade edilebilir.

- RSS (Root Sum Square)metodu ise toleransların herbirinin karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilir. Bu yöntem denklem 2.2 ile gösterilir.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \right]^{0.5} \leq \sigma_a \quad (2.2)$$

σ_i : i. alt parçanın maksimum ve minimum (+/-) toleransı

σ_a : Montaj paketindeki toplam tolerans değeri

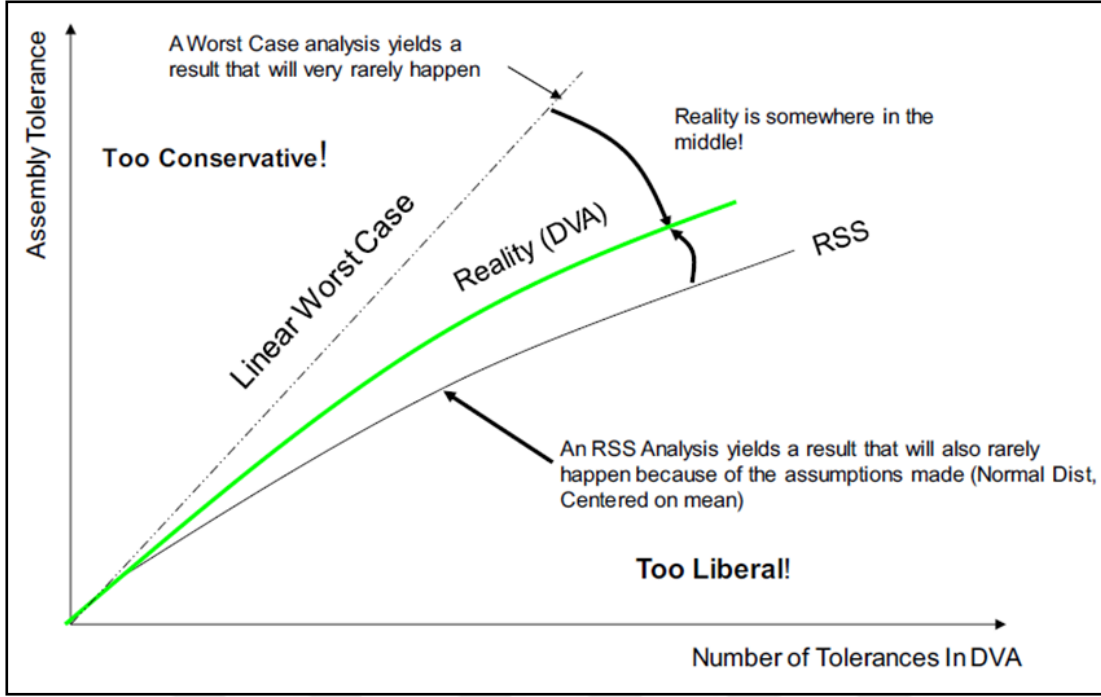
- İyileştirilmiş RSS modelinde ise standart sapma etkisi de göz önüne alınır. RSS metodunda parçalardaki tolerans etkisinin nominal değerin etrafında simetrik olarak dağıldığı (normal dağılım gösterdiği) varsayılırken gerçek hayatta meydana gelebilecek olan nominalden sapma durumu nominalden sapma çarpanı ile hesaplamaya dahil edilir. Bu yöntem denklem 2.2 ile gösterilir. [13]

$$z_a \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{z_i} \right)^2 \right]^{0.5} \leq t_a \quad (2.3)$$

z_i :i. alt parçanın nominalden sapma çarpanı

z_a : montaj paketindeki toplam nominalden sapma çarpanı

Aşağıdaki şekil, farklı metodlar ile elde edilen verilerin gerçekleşen değere ne kadar yakın sonuçlar sağladığını gözlemlemek açısından faydalı olacaktır.



Şekil 2.2 : Worst Case, RSS, Reality [13]

Yukarıdaki şekilde (Şekil 2.2) görüleceği üzere tolerans sayısı arttıkça “en kötü durum” yöntemi aşırı emniyetli sonuçlar vermektedir. İstatistiki yöntem “RSS” ise gerçek hayatta gözlemlediğimiz değerlere (grafikteki yeşil eğri) daha fazla benzerlik göstermektedir. Fakat, eğrinin altında kalmaktadır. Dolayısı ile RSS yönteminde bir miktar hurda parça ortaya çıkacaktır. Dahası toplam toleransa etki eden karakteristik eleman sayısı arttıkça hurda sayısı da artacaktır. Bu sorunların üstesinden gelmek amacıyla “iyileştirilmiş RSS” ve “6sigma istatistik metodu”na başvurulur.

2.1.3 “6sigma” İstatistik Metodu

6 sigma bir tür istatistiksel kalite kontrol yöntemidir.

Pratikte “sıfır” hata ile üretim mümkün değildir. Bütün prosesler; makine, takım, yöntem, malzeme, operatör, bakım, titreşim, sıcaklık, nem, gerilim dalgalanması, çevrevb. şartlardan kaynaklanan değişime uğrarlar. Hiçbir zaman iki ürün veya ürünün herhangi bir özelliği aynı olamaz.

İşlenen parçaların ölçüleri ve özellikleri arasında küçük de olsa mutlaka birbirine göre fark vardır. Bu durum spesifikasyonların niçin toleransları olduğunu açıklar. Birçok küçük kaynaktan oluşan ve her proseste tesadüfi olarak her an değişik seviyelerde bulunan bu değişimler önceden tahmin edilebilir. Değişimlerin ürünler

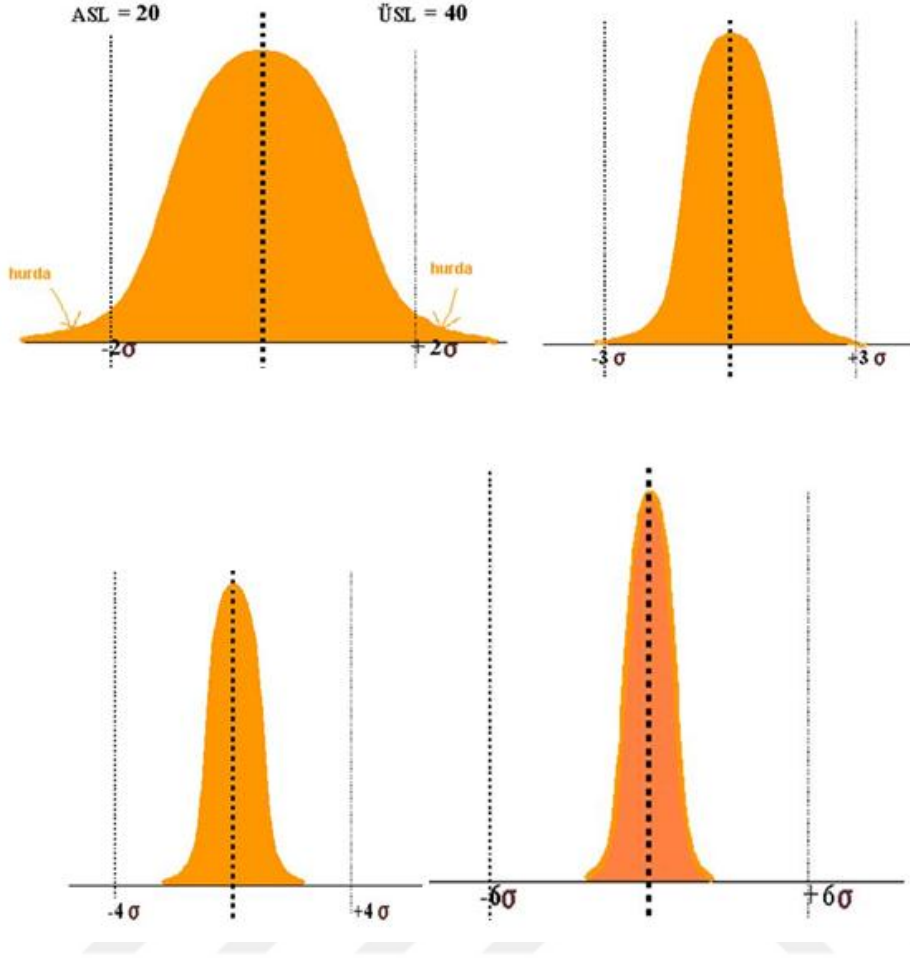
üzerindeki etkisiz zamanla kararlı bir dağılım gösterdiklerinden bu sebeplerinde azaltılması yoluna gidilir.

Ürünler üzerinde rastgele tekrarlanan belli sayıdaki ölçüm veya gözlemlerin (bir üretim hattından alınan metal çubukların uzunluğu gibi) ortalaması alınır ve bu işlem zaman içinde tekrarlanırsa bir dizi ortalama elde edilir. Bu ortalamaların dağılımına bakıldığında normal dağılım olarak adlandırılan olasılık modeline uygun bir dağılım sergiledikleri görülür. Merkezi limit teoremi olarak bilinen bu özellik, klasik istatistik biliminin en önemli yapıtaşı olup veri analizini ve yorumunu kolaylaştırır.

Daha matematiksel bir anlatımla:

- 1σ kalitesinde üretim yapan bir firmada üretilen bin üründen 318'i hatalıdır ve hurdaya çıkarılır.
- 2σ kalitesinde üretim yapan bir firmada üretilen bin üründen 46'sı hatalıdır ve hurdaya çıkarılır.
- 3σ kalitesinde üretim yapan bir firmada ise üretilen bin üründen 3'ü hatalıdır ve hurdaya çıkarılır.
- 6σ kalitesinde üretim yapan bir firmada ise üretilen ürünlerin tamamı kullanılabilir durumdadır. Sıfır hata (hiç ıskarta ürün yok) ile üretim vardır.

Aşağıda verilen normal dağılım eğrileri üretim kabiliyetlerinin $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$, $\pm 4\sigma$ ve $\pm 6\sigma$ koşullarında nasıl değiştiğini görebilmemiz için iyi bir örnek teşkil ediyor. $\pm 6\sigma$ kapasitesinde üretim yapılan bir işletmede sıfır hurda var iken $\pm 2\sigma$ kapasitesinde üretim yapan bir işletmede hurda miktarının ne kadar arttığını (ASL ve USL dışında üretim) iyi bir şekilde gözlemleyebilirsiniz.



Şekil 2.3 : Normal dağılım eğrileri

GD&T hesaplamaları en kötü duruma göre yapılırsa ve ürünlerin toleransı bu hesaplamada elde edilecek sonuca göre yeterince sıkı tanımlanabilirse, ürünlerin birbirine montajı sıfır hata (6σ) ile gerçekleştirilebilir. Fakat bu durumda toleranslar çok sıkı ve düşük olmaktadır. Dolayısı ile toleransları tutturmak için daha pahalı ve hassas üretim yapılması gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Dolayısı ile üretim maliyetlerini düşürmek ve üreticilerin üretim kabiliyetlerine uyumlu parçalar tasarlayabilmek adına hesaplamalar uygun sigma değerine göre yapılmalıdır.

Ele alınan örnek VSA hesaplamasında ürünlerin üretim ve montaj kalitesinin $\pm 6\sigma$ değil $\pm 3\sigma$ mertebesinde gerçekleşeceği öngörülmektedir. Bu nedenle 6σ mantığının tezde incelenmesi ve aşağıda listelenen ve normal dağılım eğrilerinde kullanılan terimlerin bilinmesi gerekecektir.

Nominal:

İdeal tasarım koşulunda tanımlanmış olan değer.

Ortalama değ r (Mean)(μ):

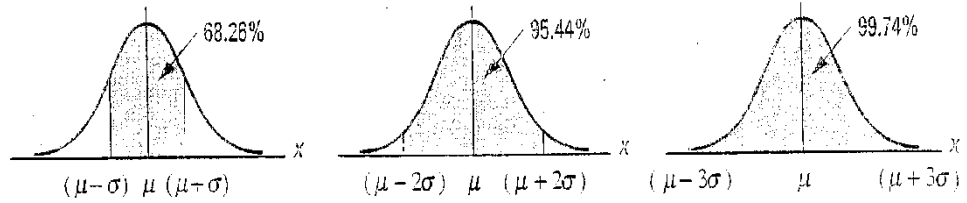
Üretim sonrasında gerçekleşen değerlerin ortalamasıdır.

(μ = “Değerlerin toplamı”/ “Adedi”)

Standart sapma(σ):

Normal dağılıma sahip bir kitlede ortalama değerden 1σ kadar uzakta oluşan değerdir. Ortalamanın sağında ve/ya solunda belirli bir σ miktarı kadar gidildiğinde kaplanan alan (yani olasılık) aynıdır.

Aşağıdaki şekilde görüleceği üzere standart sapma değişkenliği arttıkça normal dağılım eğrisinin altında kalan alanın toplam alana oranı artış gösterir.



Şekil 2.4 : Normal dağılım eğrilerinde standart sapma(σ)

Bir başka deyişle ($\mu - \sigma$, $\mu + \sigma$) aralığında gözlemlerin % 68’i bulunur. Buna kısaca bir standart sapma değişkenliği denilebilir.

($\mu - 2\sigma$, $\mu + 2\sigma$) aralığında ise gözlemlerin % 95’i d  er. Buna ise iki standart sapma değişkenliği denir. (Eğer normal dağılıma sahip bir veri kümesinin $N(\mu, \sigma^2)$ dağılım modeline uygun olduğu biliniyorsa bu kümeden rasgele alınan bir gözlemin iki standart sapma değişkenliği dışında kalması olasılığı ancak % 5’tir.)

($\mu - 3\sigma$, $\mu + 3\sigma$) aralığına gözlemlerin % 99,74’  d  er. Buna göre normal dağılıma sahip bir kitleden rasgele seçilen herhangi bir gözlemin    standart sapma değişkenliği dışına d  mesi olasılığı sadece binde    (% 0.3) tür.

Alt spesifikasyon limiti (LSL):

Kabul edilebilir en düşük üretim değeridir.

Üst spesifikasyon limiti (USL):

Kabul edilebilir en yüksek üretim değeridir.

Alt kontrol limiti (AKL):

Normal dağılıma sahip bir eğride $\pm 1\sigma$ limiti ile çalışan bir işletmede ($\mu - \sigma$) değerine, $\pm 3\sigma$ limiti ile çalışan bir işletmede ($\mu - 3\sigma$) değerine, $\pm 4\sigma$ limiti ile çalışan bir işletmede ($\mu - 4\sigma$) değerine denk gelir.

Üst kontrol limiti (UKL):

Normal dağılıma sahip bir eğride $\pm 1\sigma$ limiti ile çalışan bir işletmede ($\mu + \sigma$) değerine, $\pm 3\sigma$ limiti ile çalışan bir işletmede ($\mu + 3\sigma$) değerine, $\pm 4\sigma$ limiti ile çalışan bir işletmede ($\mu + 4\sigma$) değerine denk gelir.

Tanım içi (inside the specification):

Spesifikasyon limitlerinin arasında (içinde) kalan değerler tanım içi olarak kabul edilir.

Örneğin, (AKL > LSL) veya (UKL < USL) ise üretim değerleri kararlıdır.

Başka bir deyiş ile tanım içinde kalan değer sayısı arzu edilen seviyededir.

Tanım dışı (out of specification):

Spesifikasyon limitlerinin dışında kalan değerler tanım dışı olarak kabul edilir.

Örneğin, (AKL < LSL) veya (UKL > USL) ise üretim değerleri kararsızdır.

Başka bir deyiş ile tanım dışında kalan değer sayısı arzu edilenden fazladır.

C_p ve C_{pk} :

“İstatistiksel proses kontrol” işlemlerinde üretim kabiliyetinin değişkenliğini göstermek ve üretim kabiliyetinin yeterli olup olmadığını anlamak amacı ile, C_p ve C_{pk} katsayıları kullanılır.

C_p üretim-yetenek katsayısı olup, üretim kabiliyetinin dağılımı hakkında bilgi verir.

$$C_p = (\text{Spesifikasyon limit aralığı}) / (\text{Kontrol limit aralığı})$$

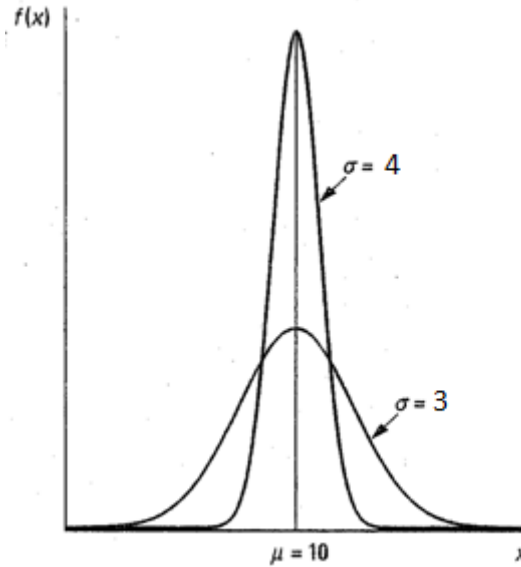
$$C_p = (USL - LSL) / (UKL - AKL)$$

Üretim kabiliyetleri, genelde maksimum 1000'de 3 hata eldesi için, ortalama değerin (mean), 3σ altından veya üstünden kontrol edilirler. Üretim kabiliyeti, ortalama değerden $\pm 3\sigma$ (toplam 6σ) ile kontrol ediliyor ise:

$$C_p = (USL - LSL) / 6\sigma$$

- $C_p > 1.33$ ise üretim kabiliyeti yeterlidir. Yani kabul edilebilir seviyededir.
- $C_p = 1$ üretim-yetenek katsayısı minimum koşuldur. Bu durumda, üretimin her an kontrol dışına çıkması mümkündür.
- $C_p < 1$ koşulu için $(1 - C_p)$ değeri üretim sürecinde ortaya çıkan spesifikasyon dışı hurda ürün oranını göstermektedir.
- C_p değeri arttıkça prosesin yeterliliği artmaktadır. Bu nedenle, imalatçılar C_p değerlerini sürekli olarak iyileştirmeye, hatta 1.33 den de öteye, sırası ile 1.67, 2.0 ve 3.0 seviyelerine ulaştırmaya çalışır.

Aşağıdaki şekilde belirtilen örnek ile C_p değerini anlamamız daha kolay olacaktır. 3σ ve 4σ kabiliyetlerindeki iki ayrı üreticide üretilmiş aynı ürün için 4σ kabiliyetinde çalışan üreticinin ürünleri daha kararlı olacaktır. Aşağıdaki örnekte görüleceği üzere 4σ eğrisi 3σ eğrisine göre daha dar ve uzundur. Dolayısı ile ortalama değere (μ) yakın olan değer sayısı 4σ eğrisinde daha fazladır. Bu da C_p 'nin artmasını sağlar.



Şekil 2.5 : Farklı parametrelere sahip normal dağılım eğrileri.

Proses spesifikasyonlari çindeyken ve normal olarak dağıldığında dışa düşenler çizelge 2.1’de gösterildiği gibidir:

Çizelge 2.1 : Cp değerine bağlı olarak spec limitlerinin dışında kalan parça sayısı değişir.

C _p	10 ⁶ parçadan kaç tanesi spec limitlerinin dışına düşer?
0.50	133,614
0.75	24,449
1.00	2,700
1.10	967
1.20	318
1.30	96
1.40	27
1.50	7
1.60	2
1.70	0.34
1.80	0.067
1.90	0.012
2.00	0.0018

C_{pk} hem prosesin dağılımı hem de üretim kabiliyeti hakkında bilgi verir. Bazen prosesin dağılımı simetrik değildir. (Normal dağılım grafiğinde μ değerinin sağında ve solunda kalan eğrilerin simetrik olmaması durumudur.) Simetrik olmayan durumlarda kontrol limitlerinin aşılma riski daha fazladır, çünkü dağılımın yaslandığı taraf kontrol limitine daha yakındır. C_{pk} şu şekilde ifade edilir :

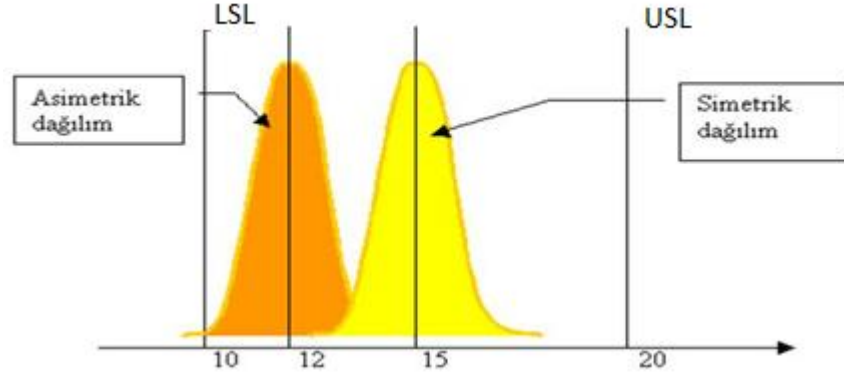
$$C_{pk} = (USL - \text{Mean}) / 3 \sigma$$

veya

$$C_{pk} = (\text{Mean} - LSL) / 3 \sigma$$

(hangi ifade pozitif ise o seçilir)

Aşağıdaki turuncu ve sarı eğriler için C_p=2.5’ tir. Ancak sarı eğri için C_{pk}=C_p=2.5 iken, turuncu eğri için C_{pk}=1.0’dır. Her iki eğrinin yayılımı eşit olduğu için C_p değerleri de eşittir. Fakat, turuncu eğri (mean) merkezden (nominal) kaçıktır ve LSL dışına çıkma olasılığı sarı eğriye kıyasla daha fazladır. Merkezden kaçıklık arttıkça C_{pk} değeri hızla düşer. Bu örnekte açıkça görüldüğü üzere, C_{pk} düştükçe üretim yeteneği de kötüleşmektedir.



Şekil 2.6 : Farklı C_{pk} değerine sahip olan iki ayrı normal dağılım eğrisi

Yukarıda bahsettiğimiz terimleri örnek bir proses yeterlilik analizi üzerinde daha iyi anlayabiliriz. (Proseste doğal varyasyonun ölçümü proses yeterlilik analizi ile yapılır. Proses yeterlilik analizinde proses varyasyonunu ve spesifikasyonları karşılaştırmak için C_p ve C_{pk} değerleri incelenir.)

$USL = 65$, $LSL = 55$ olan bir parçadan 20 ölçüm alalım. Ölçüm sonuçları da aşağıdaki gibi olsun:

62 62 60 59 61 64 57 62 64 59 60 61 60 63 59 58 60 56 60 56

Hesaplamayacak olursak:

$$n = 20, \text{ortalama} = 60.15,$$

$$\text{standart sapma} = 2.3232,$$

$$\text{tolerans aralığı} = 65 - 55 = 10$$

$$6\sigma = 6 \times 2.3232 = 13.9392$$

$$C_p = \frac{10}{13.9392} = 0.72$$

$$C_{pk} = C_{pu} = 0.70$$

$$C_{pk} = C_{pu} = \frac{USL - \text{ortalama}}{3\sigma} = \frac{65 - 60.15}{3 \times 2.3232} = 0.70$$

$$C_{pl} = \frac{\text{ortalama} - LSL}{3\sigma} = \frac{60.15 - 55}{3 \times 2.3232} = 0.74$$

2.2 Varyasyon Simulasyon Programlarında 6 σ Dağılım Eğrilerinin Elde Edilmesi

Olasılık hesaplama yöntemlerinden biri olan Monte Carlo matematik modeli yardımıyla parçalar üzerinde tanımlanmış olan her bir karakteristik elemana rastgele sayı ataması yapılır. Bu rastgele sayılar, karakteristik elemana tanımlanmış olan tolerans aralığında ve normal dağılım eğrisi oluşturacak şekilde oluşturulur. Rastgele sayı atama işlemi her bir simulasyonda tekrarlanır ve her bir tekrarda farklı bir ölçüm değeri elde edilir. Simulasyon sonucunda elde edilen ölçüm değerleri bir dağılım eğrisi oluşturur. Bu dağılım eğrisi ile elde edilen sonuç, imalat sırasında kontrol dışı oluşan boyutsal farklılıkları temsil etmektedir. Böylece bir montaj prosesindeki total etki simüle edilmiş olur.

HLM (high Low Median) grafikleri ile her bir karakteristik elemanın ve tanımlanan toleransın elde edilen ölçüm sonucuna etkisi gösterilir. Elemanların elde edilen sonuca % olarak etkisi gösterilir. Bu simulasyon, her bir karakteristik elemana sistematik olarak maksimum, minimum ve ortalama tolerans değerlerinin uygulanması ile elde edilir. Uygulanan maksimum, minimum ve ortalama değerlerin etkisi program içinde ayrı bir ölçüm operasyonu olarak ele alınır ve HLM grafiği şeklinde bir çıktı ile raporlanır.

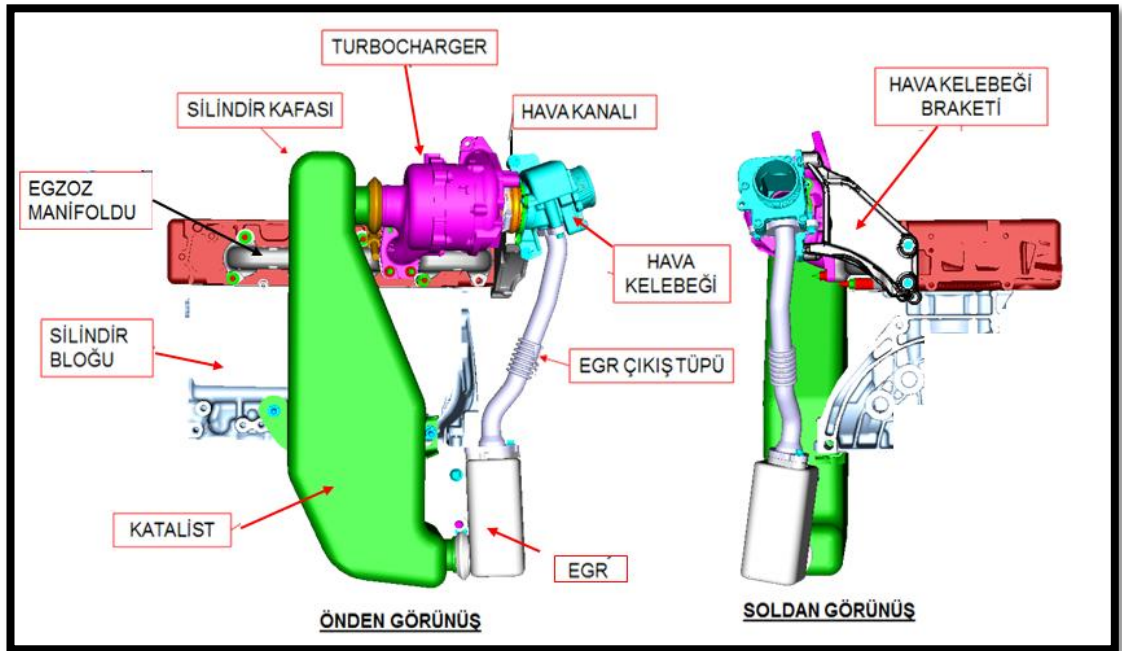
3. ÖRNEK UYGULAMA-EGR SİSTEMİ

Tez çalışması kapsamında yapılan uygulama ile bir EGR paketi ele alınmıştır. EGR paketinin montajı sırasında yaşanan problemler, tolerans bindirmesi hesaplamaları ile doğrulanmıştır. Ardından, tasarım değişiklikleri, tolerans iyileştirmeleri, parçaların teknik resminde bulunan karakteristik kontrol sembollerinin düzenlenmesi, montaj yönteminin değiştirilmesi yolları ile yaşanan problemin kalıcı olarak çözüme kavuşturulması amaçlanmıştır. Son olarak ise ilk örnek montajları ile yapılan çalışmanın uygunluğu kontrol edilmiştir.

Tolerans bindirmesi hesaplamaları üç boyutlu olarak Vis-VSA programı aracılığı ile yapılmıştır. Daha sonrasında farklı hesaplama yöntemleri ile elde edilen sonuçlarkarşılaştırılmıştır. Sonuçların tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

3.1 Paketin İncelenmesi

Aşağıda gösterilen “Egzoz Gazı Geri Dönüşüm (EGR) Paketi”, VSA analizinde ele alınacak olan parçaları ve bu parçaların montajlı halini göstermektedir.



Şekil 3.1 : EGR paketi

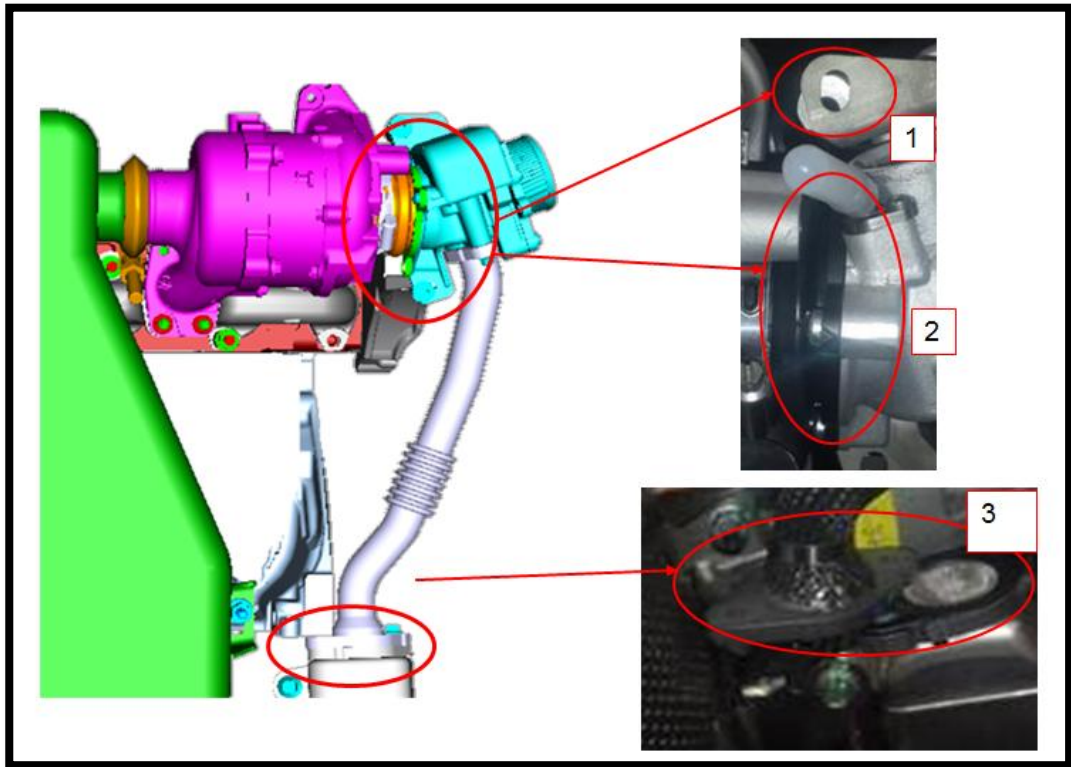
Yukarıdaki şekil’de belirtilen EGR paketinin çalışması şu şekilde gerçekleşmektedir:

Yanma odasını terk eden egzoz gazları sırası ile egzoz manifoldundan, Turbocharger’ın (aşırı doldurma ünitesinin) türbin tarafından ve katalistten(katalitik dönüştürücüden) geçerek egzoz boruları aracılığı ile atmosfere bırakılır. Bu sırada katalistten geçen egzoz gazlarının bir kısmı EGR’ye aktarılır. EGR’de soğutulan gazlar çıkış tüpü aracılığı ile gaz kelebeğine aktarılır. Yanmamış temiz hava ile gaz kelebeğinde karışan egzoz gazları, hava kanalı aracılığı ile turbocharger’ın kompresör tarafına aktarılır.

Yukarıda belirtildiği üzere içinden sıcak gaz geçen bir paket ele alınmaktadır. Dolayısı ile parçaların sıcaklığa dayanıklı malzemelerden yapılması gerekmektedir. Ayrıca, sızdırmazlık gerektiren bağlantılarda boyutsal sapmaların etkisi ile gaz kaçağı meydana gelmemesi önemli bir gereksinimdir.

3.2 Problemin Tanımı

Tasarım aşaması devam ederken, ilk örnek olarak üretilen parçaların montajı gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada EGR sistemi ile ilgili aşağıda belirtilen problemler ortaya çıkmıştır:



Şekil 3.2 : İlk örnek montajı sırasında tespit edilen problemler

Problem-1: Hava kelebeğini hava kelebeği braketine bağlayan civata deliklerinde hizalama sorunu saptanmıştır. (Yaklaşık olarak 4mm lik sapma ölçülmüştür.)

Problem-2:Hava kanalında aşırı deformasyon.(Turbocharger ve hava kelebeği arasına sıkışıyor.)

Problem-3: EGR çıkış tüpü düşey yönde sıkışıyor veya kısa kalıyor. Düşey yöndeki bu sapma yaklaşık olarak 10mm'yi bulabiliyor.

Montajların % 82 sinde, yukarıda belirtilen problemler meydana gelmiştir.İlave olarak, aşağıdaki değerlendirmelerin yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur:

Problem-4:Katalist ve EGR'nin birbirine montajı boyutsal olarak değerlendirilmelidir.

Problem-5:Hava kelebeği braketinin silindir kafasına montajı boyutsal olarak değerlendirilmelidir.

Problem-6:EGR çıkış tüpünün flanş bağlantıları boyutsal olarak değerlendirilmelidir.

3.3 Yapılacak Olan Çalışmanın Amacı

Yeni tasarlanmakta olan pakette, boyutsal değişim ve tolerans bindirmesi etkilerinin kabul edilebilir düzeye indirilmesi amaçlanmaktadır.

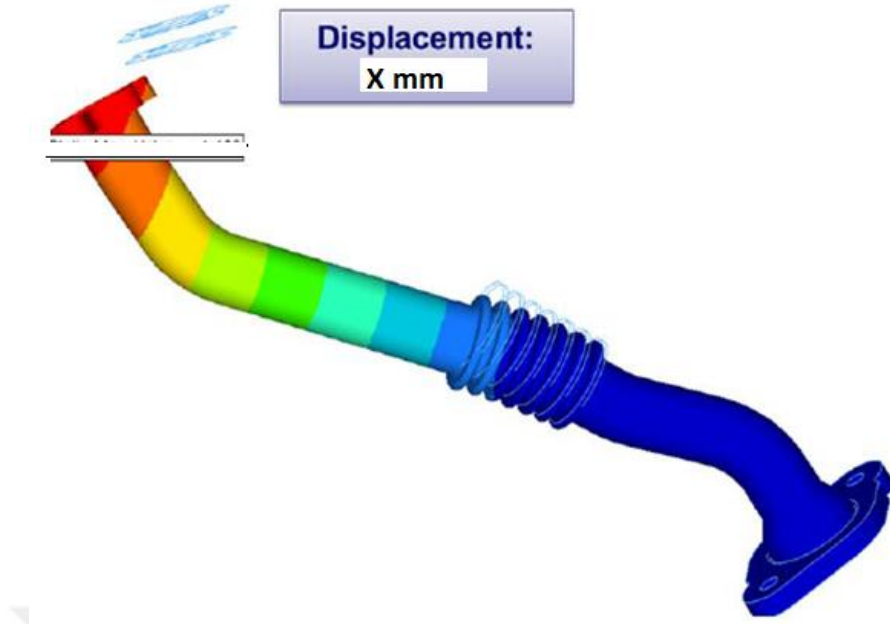
Kabul edilebilirlik şartı aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- ➔ Parçaların $\pm 3\sigma$ sınırında, $C_{pk} > 1$ koşulunda montajının yapılabilmesi.
- ➔ Gerekli görülen durumlarda parçaların tasarımlarında değişiklik yapılarak,tolerans bindirmesinden doğan negatif etkilerin telafi edilmesi

3.4 Tolerans Hesaplaması İle Ele Alınması Gereken Kritik Noktalar

a. EGR çıkış tüpünün EGR ile hava kelebeği flanşları arasındaki mesafeye sığacak şekilde düşey ve radyal yönde yeteri kadar esnemesi gerekmektedir.

(Henüz tasarım aşamasında olunması dolayısı ile parçanın esneme kabiliyeti, aşağıdaki şekilde belirtilen örneğe benzer şekilde, dayanım hesabı ile elde edilebilir.)



Şekil 3.3 : EGR çıkış tüpünün esnemesi gerekir

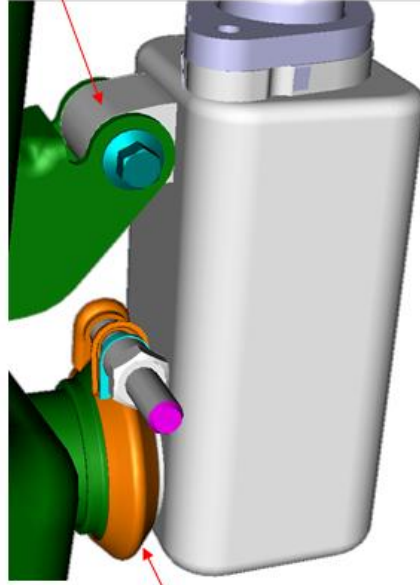
b. EGR ile hava keleşi flansları arasındaki düşey ve radyal yöndeki boyutsal sapmaların minimize edilmesi gerekiyor.

c. Hava kanalının içinden geçen havanın akışını korumak amacıyla hava kanalındaki deformasyonlar mümkün olduğunca minimize edilmelidir.

d. EGR ve katalist arasındaki klepli bağlantıda gaz kaçağı olmamalıdır. Bu bölgede sızdırmazlığın garanti altına alınmasını sağlayacak şekilde toleransların incelenmesine ihtiyaç vardır.

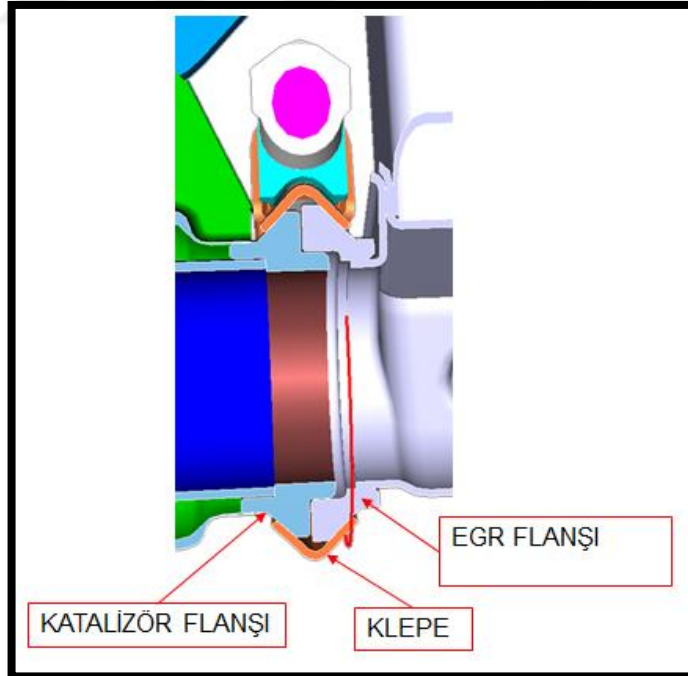
(Aşağıdaki iki şekil klepli bağlantıyı anlatmaktadır.)

EGR'DE KOLLU
BAĞLANTI



KLEPE

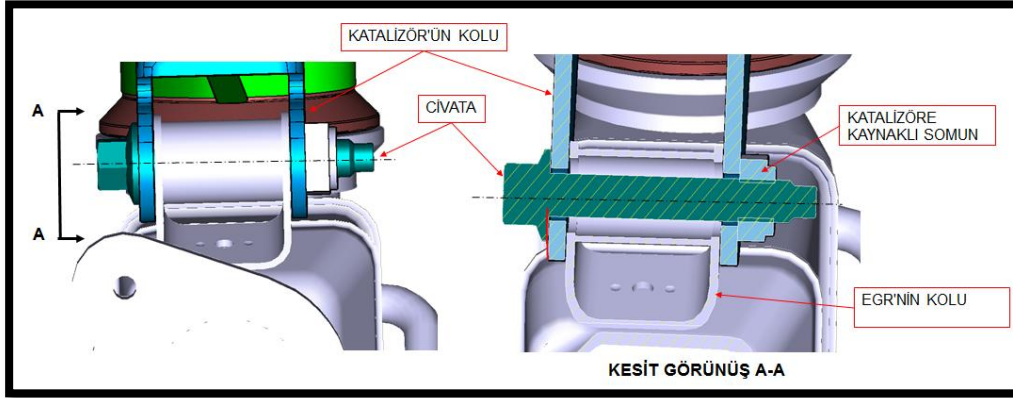
Şekil 3.4 : EGR ile katalizör arasındaki bağlantı elemanları



Şekil 3.5 : Klepeli bağlantı (Kesit görünüş)

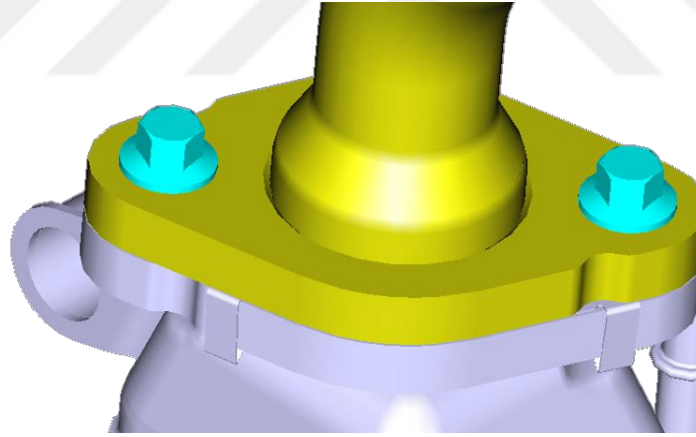
e. EGR'yi katalizöre bağlayan kolda girişim sorunu olmamalıdır.

(EGR ve katalizör arasındaki kollu bağlantı aşağıdaki gösterilmiştir.)



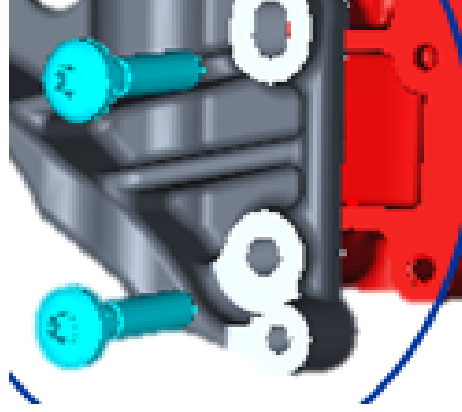
Şekil 3.6 : Kollu bağlantı

f. EGR ve hava kelebeğine bağlanan EGR çıkış tüpünün flanş bağlantıları kontrol edilmelidir. Aşağıdaki şekilde görüleceği üzere EGR çıkış tüpü flanşlarında ikişer delik bulunur. Civatalar yardımı ile EGR flanşına ve hava kelebeği flanşına sabitlenirler. Flanş bağlantılarındaki civata-delik (pim-delik) bağlantısında üretim toleransları nedeni ile girişim sorunu yaşanmamalıdır.



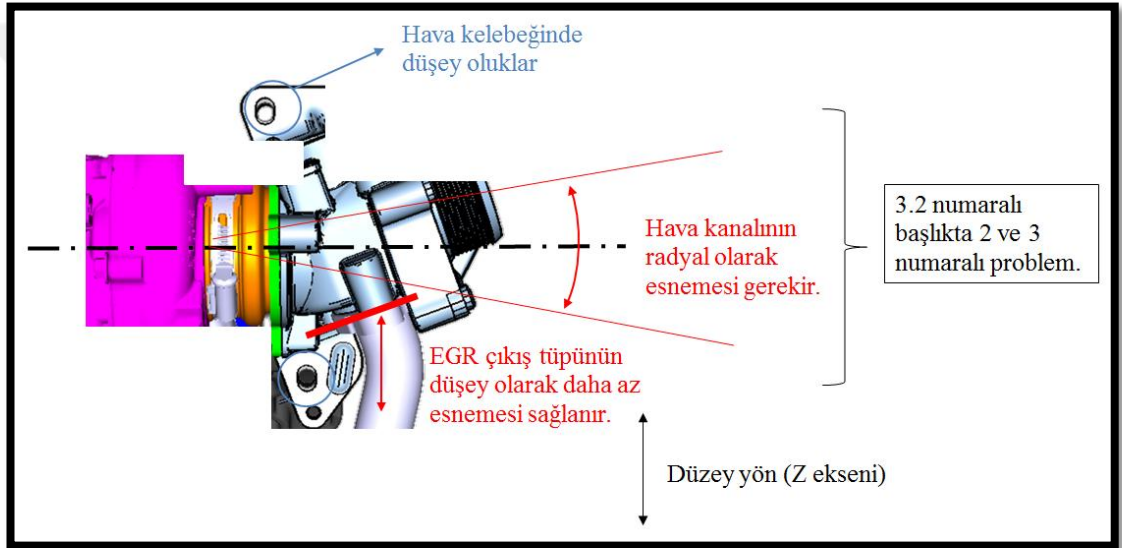
Şekil 3.7 : EGR tüpünde flanşlı bağlantı

g. Aşağıda belirtilen hava kelebeği braketinin silindir kafasına montajı boyutsal olarak kontrol edilmelidir.



Şekil 3.8 : Hava keleşi braketinin silindir kafasına iki civata ile bağlanır.

h. Hava keleşini hava keleşi braketine bağlayan delikler kontrol edilmelidir.



Şekil 3.9 : Hava keleşinin hava keleşi braketine montajı

Hava keleşi, üzerindeki iki boyuna oluktan civata ile hava keleşi braketine sabitlenmektedir. Hava keleşi, tolerans etkilerini göz ardı etmek için yukarıya/aşağıya doğru düşey olukların müsaade ettiği kadar kayabilir. Fakat, hava keleşinin hareketi, hava kanalının radyal yönde daha fazla deforme olmasına neden olur. Kısıtlı alan nedeni ile hava keleşinde tasarımsal güncellemeler yapmak pek mümkün görünmemektedir. Bu nedenle, daha VSA analizine başlamadan düşey olukların deliklerle değiştirilmesine karar verilmiştir. Deliklere tanımlanan boyutların ise VSA uygulaması sırasında kontrol edilmesi gerekecektir.



4. VİS-VSA İLE TOLERANS HESAPLAMASI

Bu bölümde EGR paketinin GD&T yönünden değerlendirmesi yapılacaktır. Parçaların GD&T uyumsuzlukları nedeni ile çıkabilecek hataların tespit edilmesi ve bu hataların çözümü için uygun yöntemlerin seçilmesi gerekecektir.

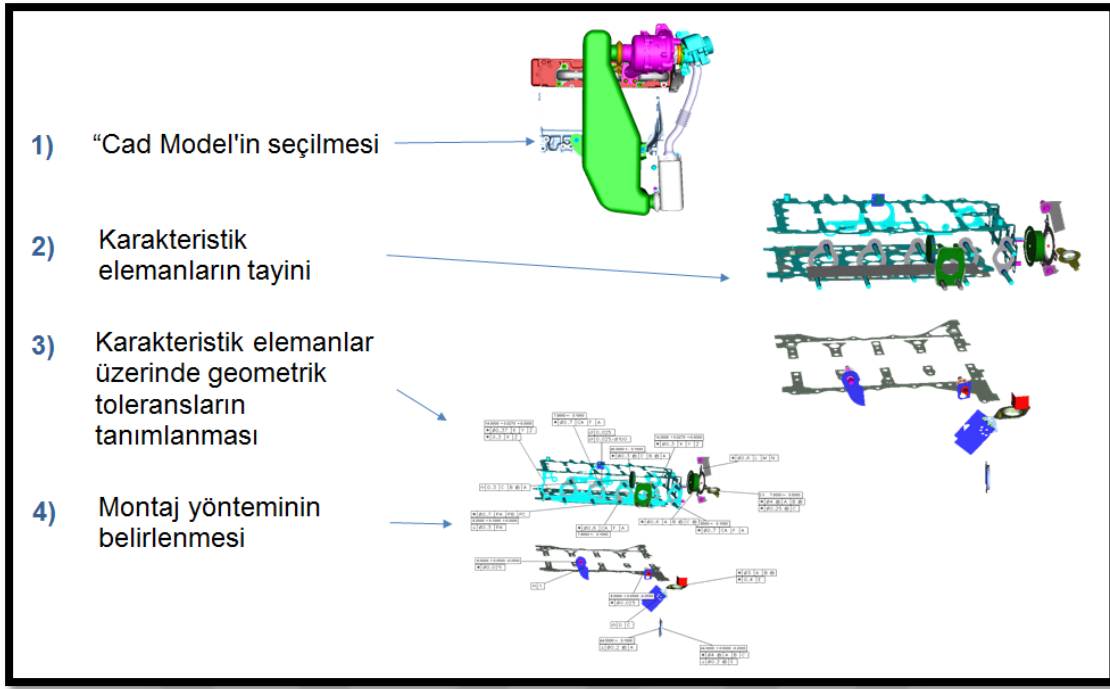
Tolerans bindirmesi etkileri değerlendirilirken Vis-VSA programından yararlanılacaktır.

4.1 Sınır Koşulları ve Varsayımlar

- a. Aksi belirtilmedikçe bütün parçalar rijittir.
- b. Bütün parçalar $\pm 3\sigma$ koşulunda imal edilmektedir.
- c. Vis-VSA hesaplaması sonucu elde edilen sonuçlar $\pm 3\sigma$ koşuluna göre değerlendirilecektir.
- d. Toleranssal değişimler normal dağılım göstermektedir ve dağılımın merkezi nominal tasarım değeri ile çakışktır. ($C_p=1,33$ & $C_{pk}=1$)
- e. Teknik resimde belirtilen toleranslar gerçek imalat koşulu ile bire bir uyumludur.
- f. Hesaplamalarda parçaların 20000 defa montajının gerçekleştirildiği kabul edilecektir.
- g. Parçaların montajı sırasında yerçekimi etkisinin olmadığı kabul edilmiştir.
- h. Aksi belirtilmedikçe, boşluklu geçme durumunda, tüm delik-pim bağlantılarında kayma sözkonusudur ve bu kayma rastgele gerçekleşmektedir.
- i. Toleranslandırma ASME Y14.5M-2009'a uygun olarak yapılmıştır.

4.2 Modelin Oluşturulması

Aşağıdaki şekilde belirtildiği gibi VSA modeli 4 aşamada oluşturulmaktadır.



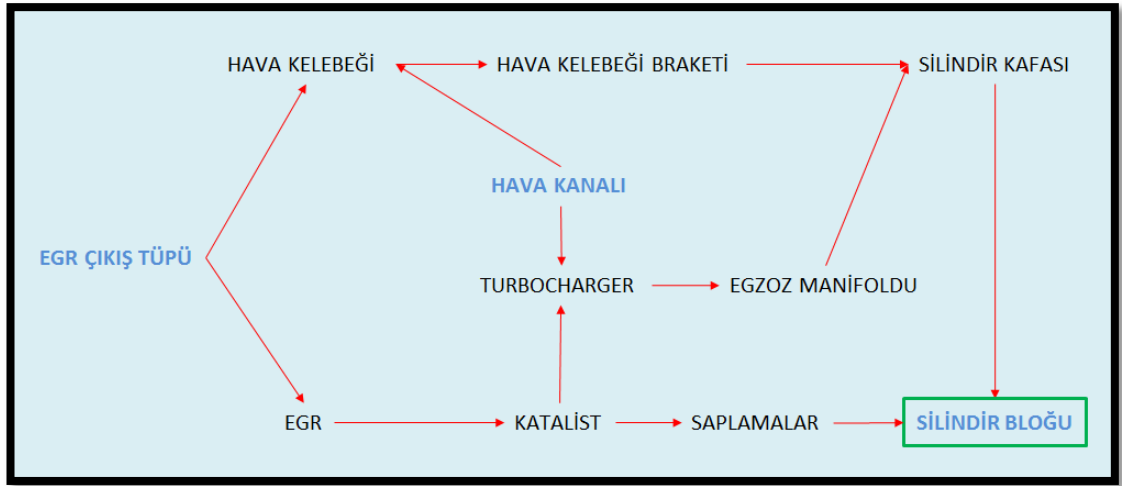
Şekil 4.1 : VSA modelinin oluşturulma aşamaları

Ele alınan örnek çalışma için bu aşamaların uygulanışı 4.2.1'den 4.2.4'e kadar olan alt başlıklarda belirtilmiştir.

4.2.1 Cad modelin seçilmesi

Aşağıdaki şekilde belirtilen montaj akış şeması, ele alınan örnek çalışmada, parçaların nereye bağlandığını incelememizi sağlamaktadır. Bu şemada okların yönü hangi parçanın nereye bağlandığını göstermektedir. Örneğin hava kelebeği, hava kelebeği braketine bağlanmaktadır. Hava kelebeği braketini ise silindir kafasına bağlanmaktadır.

Montaj akış şemasından faydalanarak tüm paketi taşıyan ana parçayı bulabiliriz. Aşağıdaki şekli incelediğimizde sadece silindir bloğunun hiçbir parçaya bağlanmadığını gözlemleyebiliriz. Silindir bloğu, diğer parçaların tümünü taşıyan ana parçadır. Bu nedenle, ana parçadan başlayarak montaj akış şemasında belirtilen tüm parçaların CAD modeli VSA çalışmasında ele alınmalıdır.



Şekil 4.2 : Montaj akış şeması

Montaj akış şemasında dikkat edilmesi gereken ikinci önemli nokta, EGR çıkış tüpü, hava kanalı ve katalistin iki ayrı parçaya birden bağlanıyor olmasıdır.

- ➔ Katalistin X, Y, Z yönlerindeki öteleme hareketi ve X, Z eksenlerindeki dönme hareketi Turbocharger bağlantısı ile sağlanırken Y eksenindeki dönme etkisi silindir bloğuna dayanan yüzeylerden gerçekleşmektedir. Dolayısı ile iki ayrı parçaya bağlanan katalist'in altı serbestlik derecesinde montajı sağlanmaktadır.
- ➔ EGR çıkış tüpü ilk önce düşük basınçlı EGR'ye bir yüzey yüzeye bağlantı ve iki civata-delik bağlantısı ile sabitlenmektedir. EGR çıkış tüpünün EGR'ye montajı sırasında altı serbestlik derecesi kırılmakta ve montaj gerçekleşmektedir. Fakat EGR çıkış tüpü ilave olarak hava kelebeğine de iki cavata-delik bağlantısı ve bir yüzey yüzeye bağlantı ile sabitlenmektedir. Dolayısı ile parça aşırı bağlıdır ve hava kelebeği ve EGR arasında, tolerans bindirmesi etkisiyle, oluşan konum farkı kadar esnemek zorundadır. Aksi halde montaj mümkün olmayacaktır. (EGR çıkış tüpünün Z ekseninde düşey olarak esnemesi, uzayıp kısalması gerekmektedir. İlave olarak Z ve Y eksenlerinde radyal olarak esnemesi gereklidir.)
- ➔ Hava kanalı ilk önce hava kelebeği'ne üç civata ile sabitlenmektedir. Hava kanalının hava kelebeğine montajı sırasında altı serbestlik derecesi kırılmakta ve montaj gerçekleşmektedir. Fakat, hava kanalı ilave olarak turbocharger'a

sıkı geçme bir hortum olarak sabitlenmektedir. Dolayısı ile parça aşırı bağlıdır ve hava kelebeği ile turbocharger arasında, tolerans bindirmesi dolayısı ile oluşan, konum farkı kadar esnemek zorundadır. Aksi halde montaj mümkün olmayacaktır. (Hava kanalının X ve Y ekseninde radyal olarak esnemesi gerekmektedir.)

4.2.2 Karakteristik elemanların tayini

Vis-VSA’de karakteristik elemanlar seçilirken aşağıda belirtilen “VA Element” sekmesinden faydalanılır.



şekil 4.3 : “VA Element” Sekmesi

Delik, pim, yarıklı delik, düzlemsel yüzey, nokta, tab, genel yüzey(düz olmayan, kavisli yüzey) karakteristik eleman olarak seçilebilir.

X,Y,Z ve A,B,C datumlarına ilave olarak montaj sırasında parçaların birbiri ile etkileşim halinde olacağı tüm karakteristik elemanların VSA modeli olarak seçilmesi gerekir.

4.2.3 Karakteristik elemanlara toleransların tanımlanması

Ele alınan örnek çalışmada belirlenen karakteristik elemanlar ve bu elemanlara tanımlanan toleranslar ekler bölümünde (EK-A ve EK-B) paylaşılmıştır.

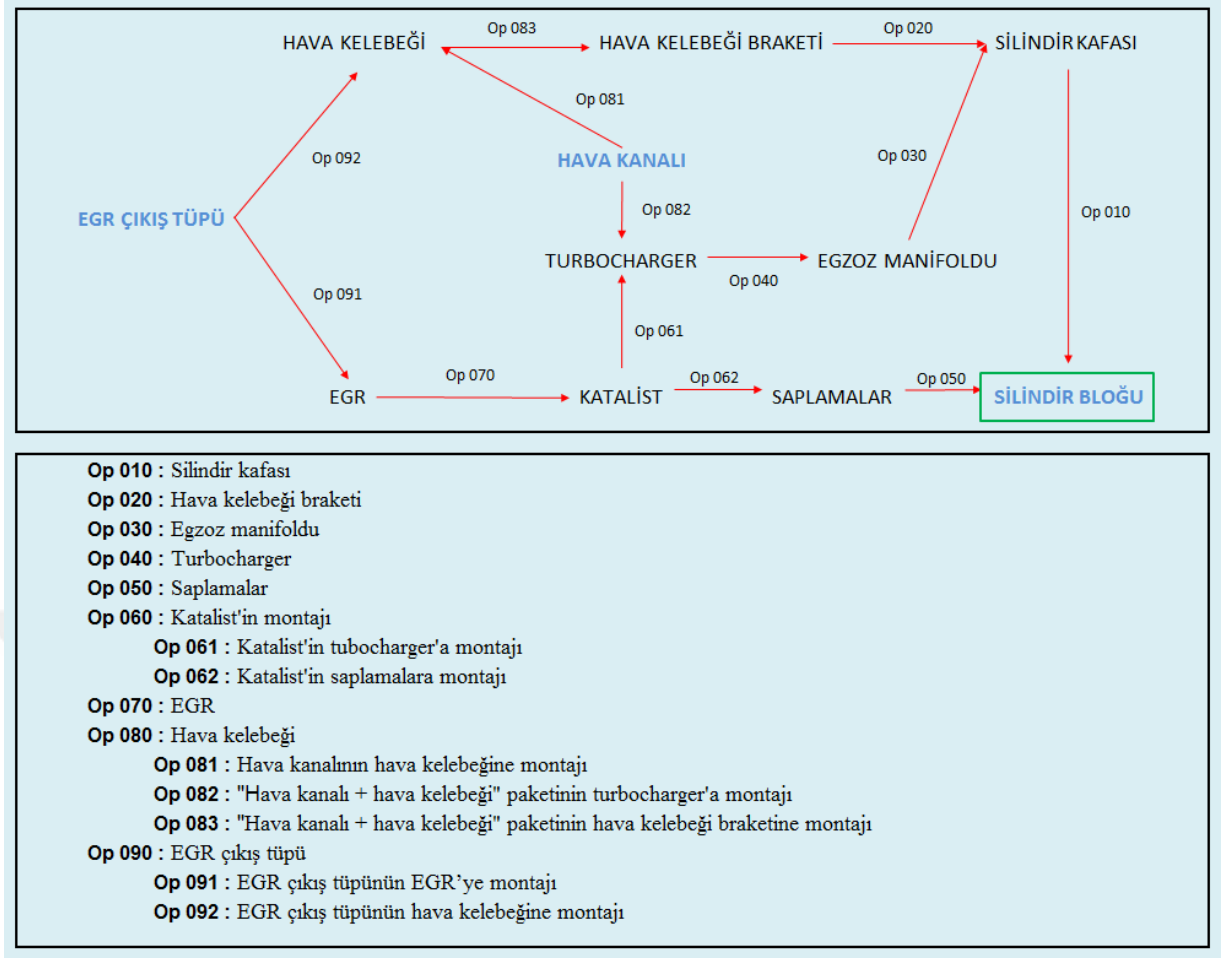
Karakteristik elemanları çıkarılan ve toleransı tanımlanan parçalarda imalatınınretim kabiliyetinin de tanımlanmış olması gerekmektedir. Bu çalışmada, tüm parçalar için imalatçının üretim kabiliyeti $\pm 3\sigma$ olarak belirlenmiştir.

4.2.4 Montaj yönteminin belirlenmesi

Montaj işlemi “Op 010”dan “Op 090”a doğru sıra ile gerçekleştirilmektedir.

**** Op=** (Montaj operasyonu) olarak gösterilecektir.

Aşağıda, montaj sıralaması belirtilmiştir.

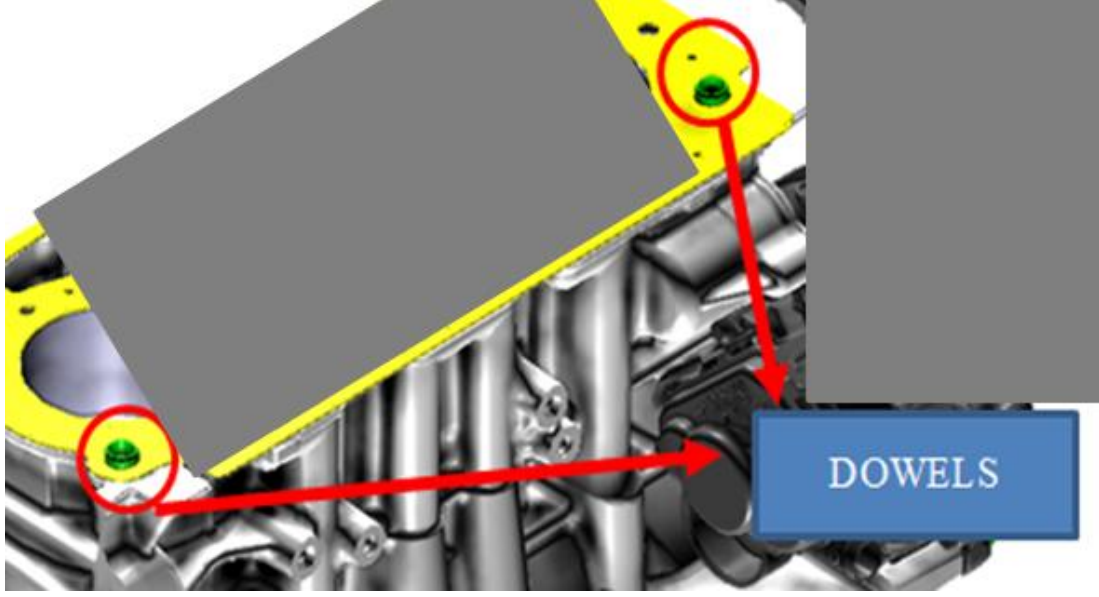


Şekil 4.4 : Montaj sırası

4.2.4.1 Montaj hattında uygulanan yöntem

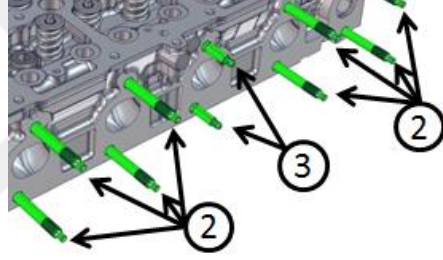
Op 010 : Silindir kafası

- ✓ Silindir kafasını, aşağıdaki şekilde gösterilen şekilde, silindir bloğuna çakılan merkezleme pimi (klavuz pim) aracılığı ile silindir bloğuna konumla
- ✓ Silindir kafasını civatalar yardımı ile silindir bloğuna sabitle



Şekil 4.5 : Silindir bloğunda merkezleme pimi (dowel)

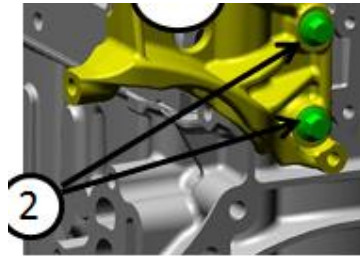
- ✓ Aşağıda belirtilen 2 ve 3 numaralı saplamaları silindir kafasına sabitle



Şekil 4.6 : Op 010_silindir kafasına saplamaların montajı

Op 020: Hava keleşęi braketı

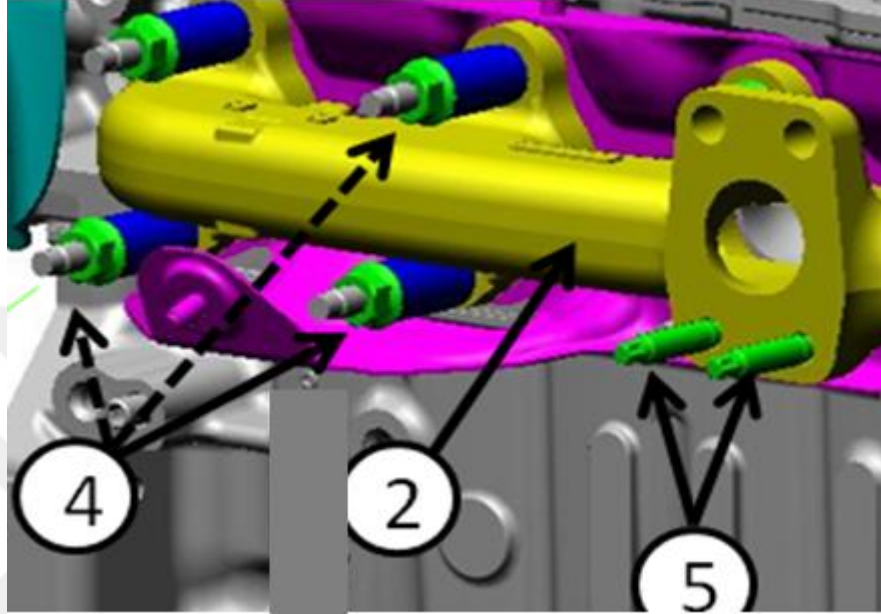
- ✓ Gaz keleşęi braketını silindir kafasına konumla. Bunun için aşığıda belirtilen 2 numaralı civataları el ile sık.



Şekil 4.7 : Hava keleşęi braketının montajı

Op 030: Egzoz manifoldu

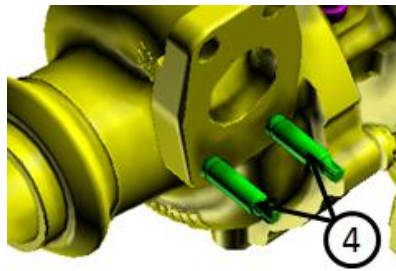
- ✓ Egzoz manifoldunu (aşağıdaki şekilde gösterilen 2 numaralı parça) civatalar yardımıyla silindir kafasına konumla.
- ✓ 5 numaralı iki saplamayı egzoz manifolduna bağla.



Şekil 4.8 : Egzoz manifoldunun montajı

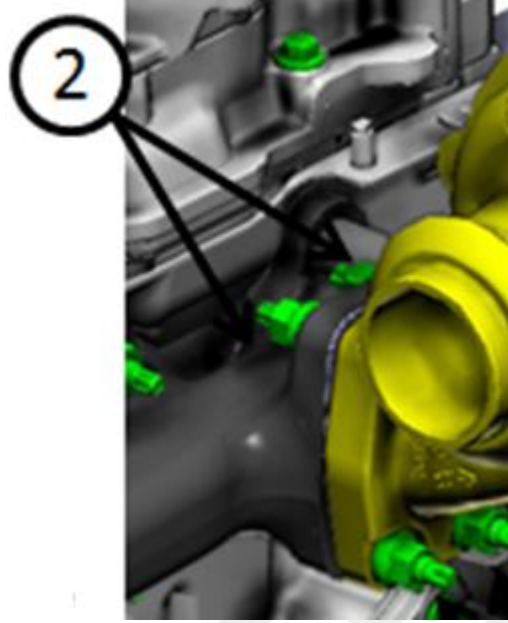
Op 040:Turbocharger

- ✓ Turbocharger 'a aşağıda 4 numara ile gösterilen iki saplamayı sabitle.



Şekil 4.9 : Turbocharger'a saplamaların montajı

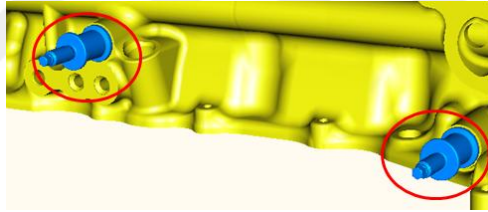
- ✓ Turbocharger'ı, egzoz manifoldu üzerine, aşağıdaki şekilde gösterilen 4 adet saplama-somun bağlantısını kullanarak konumla.
- ✓ Somunları sık.



Şekil 4.10 : Aşırı doldurma ünitesinin montajı

Op 050: Saplamlar

- ✓ Aşağıda gösterilen iki saplamayı da silindir bloğuna sık.



Şekil 4.11 : Saplamların montajı

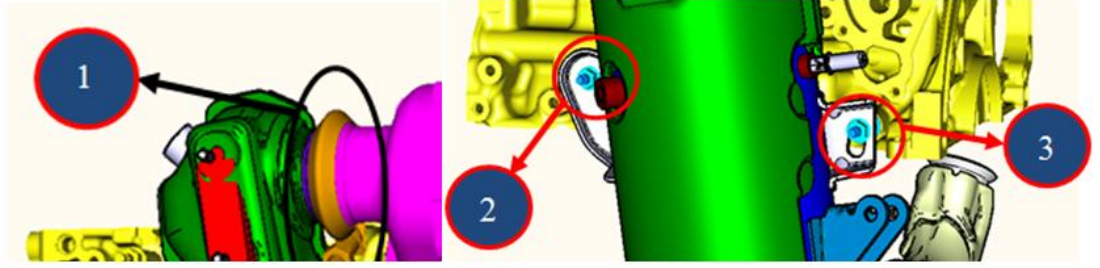
Op 060: Katalist

Op 061: Katalist'in turbocharger'a montajı

Op 062: Katalist'in saplamalara montajı

- ✓ 1 numaralı klepeyi el ile sıkarak katalisti turbocharger üzerine konumla.
- ✓ 2 ve 3 numaralı somunları saplamalar üzerine el ile sık.
- ✓ 1 numaralı klepeyi tork uygulayarak sık
- ✓ 2 ve 3 numaralı somunları tork uygulayarak sık.

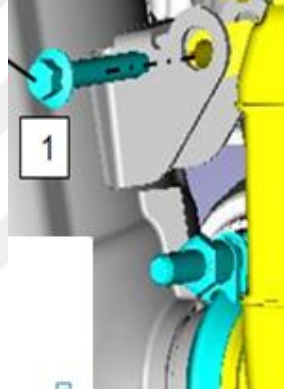
1 numaralı klepe, 2 ve 3 numaralı somun aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.12 : Katalizörün montajı

Op 070: EGR

- ✓ Aşağıda gösterilen 1 numaralı civatayı el ile sık.
- ✓ EGR'yi klepe yardımı ile konumla ve klepeyi tork uygulayarak sık.
- ✓ Aşağıda gösterilen 1 numaralı civatayı tork uygulayarak sık.

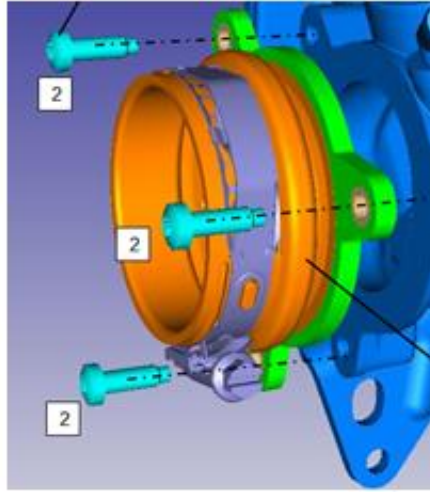


Şekil 4.13 : EGR'nin montajı

Op 081: Hava kanalının hava kelebeğine montajı

- ✓ 2 numaralı 3 civata yardımıyla hava kanalını gaz kelebeğine konumla ve civataları sık.

2 numaralı civatalar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:

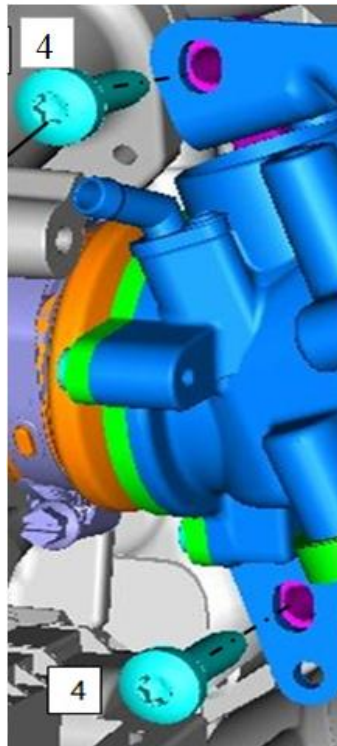


Şekil 4.14 : Hava kanalının hava keleşine montajı

Op 082: "Hava kanalı + hava keleşi" paketinin turbocharger'a montajı

Op 083: "Hava kanalı + hava keleşi" paketinin hava keleşi braketine montajı

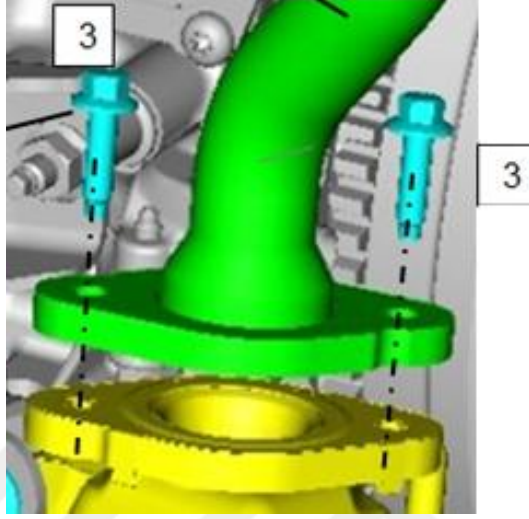
- ✓ Detaylı Turbo kompresör giriş borusuna hava kanalını sabitle.
- ✓ Hava keleşini, aşağıda gösterilen 4 numaralı iki civata ile hava keleşi braketine konumla ve civataları sık.



Şekil 4.15 : Hava keleşinin montajı

Op 091: EGR çıkış tüpünün EGR'ye montajı

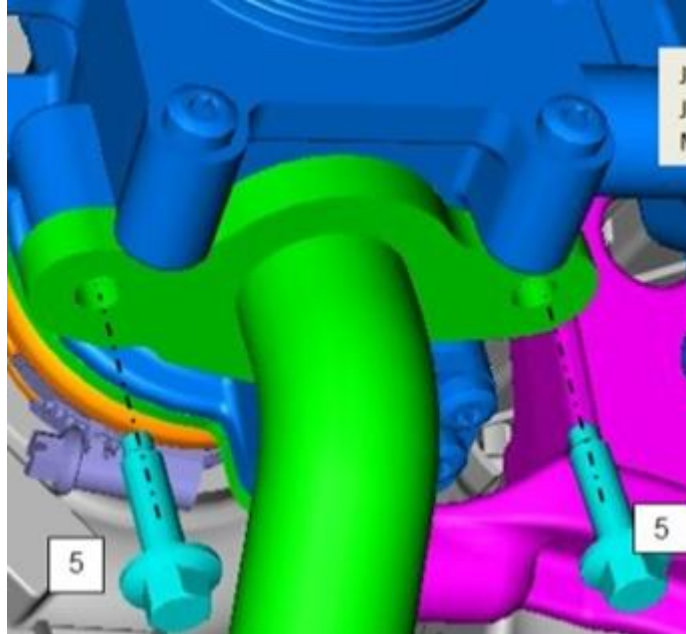
- ✓ Aşağıda gösterilen 3 numaralı civatalar yardımıyla EGR çıkış tüpünü EGR flanşına konumla ve civataları sık.



Şekil 4.16 : EGR çıkış tüpünün EGR'ye montajı

Op 092: EGR çıkış tüpünün hava kelebeğine montajı

- ✓ Aşağıda gösterilen 5 numaralı iki civata yardımı ile EGR çıkış tübünün flanşını gaz kelebeğine konumla ve civataları sık.

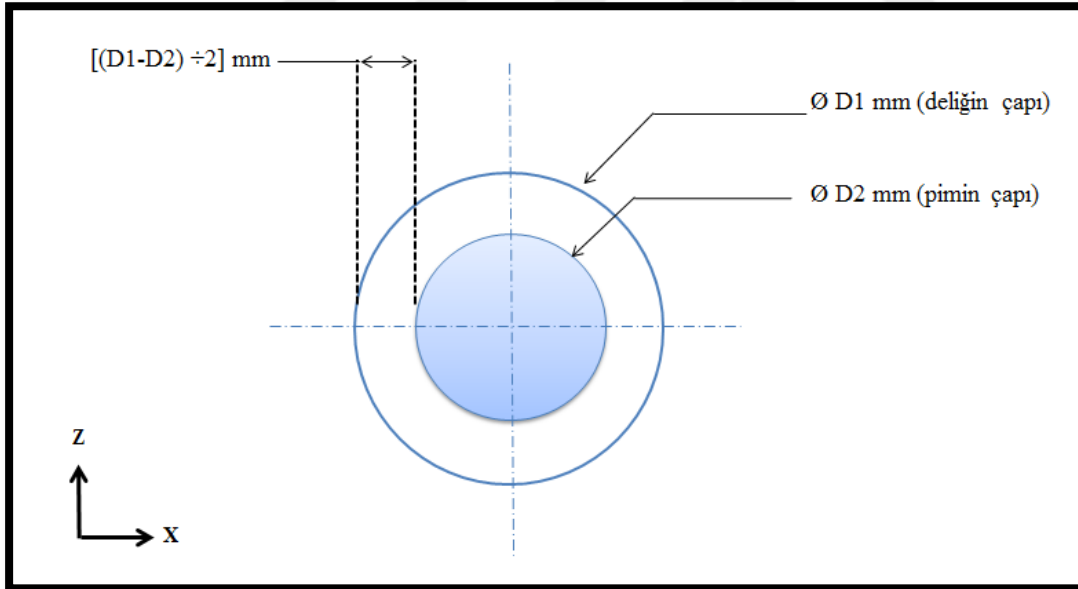


Şekil 4.17 : EGR çıkış tüpünün hava kelebeğine montajı

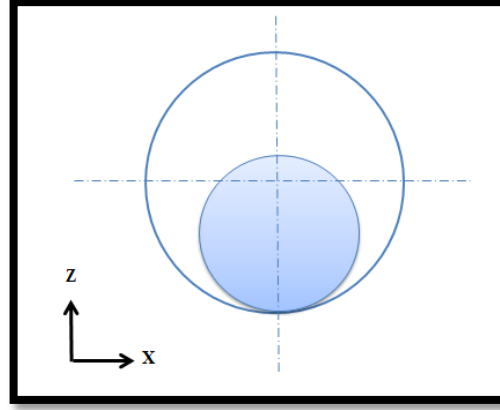
4.2.4.2 Vis-VSA modelinde uygulanan yöntem

Teoride 6 serbestlik derecesinin kırılması için bir yüzey-yüzeye bağlantı ve ikidelik-pim bağlantısı yeterli olmaktadır. Halbuki gerçek hayatta, çoğu zaman, delik-pim bağlantıları boşluklu geçmedir ve egzoz manifoldunun ikiden çok dahafazla civata ile sabitlenmesi gibi teoride aşırı bağlı sayılabilecek fakat uygulamada montajı mümkün olan bağlantı yapıları vardır. Dahası, düşey olarak bağlanan parçalar boşluklu geçme içeren delik-pim bağlantısına sahip ise yer çekiminin etkisi ile aşağıya doğru düşme (delikten daha dar olan pimin yer çekimine doğru düşey olarak delik içinde aşağıya doğru kayması) eğilimindedir. Yatay olarak bağlanan parçalarda ise boşluklu geçme durumunda kayma (float) etkisi oluşur. Boşluklu geçme durumunda (delik çapının pim çapından geniş olması durumu) gerçekleşen montaj koşullarını aşağıdaki üç şekil ile anlatmak mümkündür.

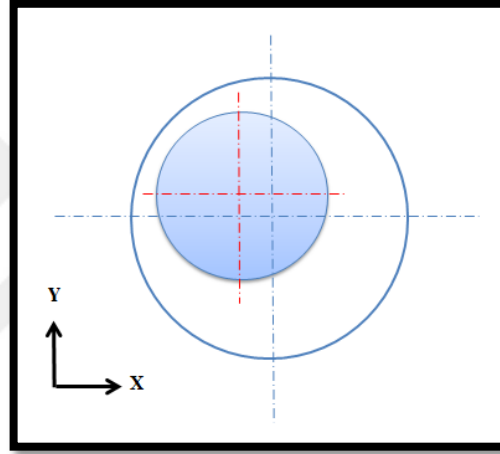
[Z eksenini düşey yani yerçekimine dik eksenini temsil etmektedir.]



Şekil 4.18 : Delik ve pimin eksen eksene çakışık olması durumu

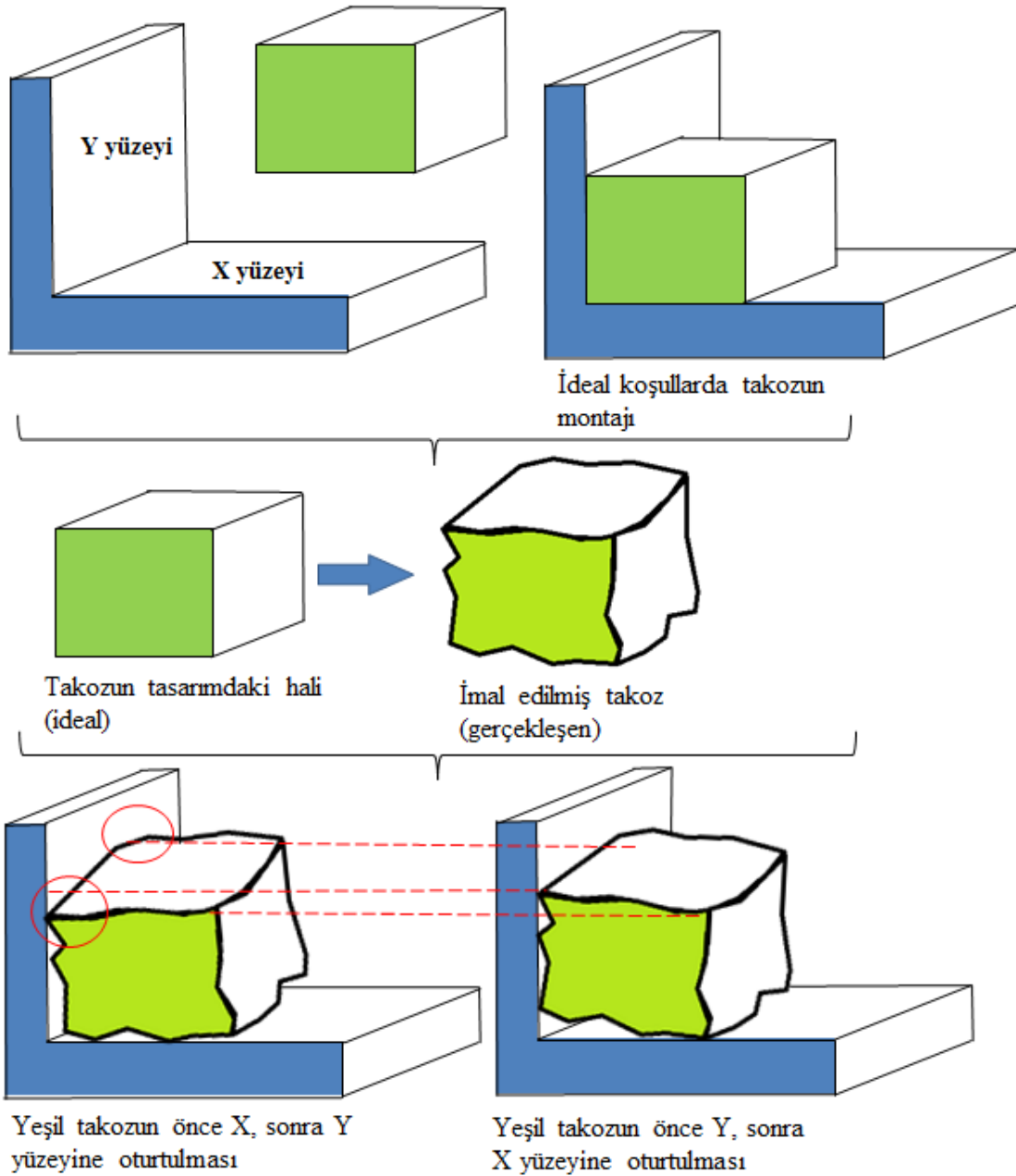


Şekil 4.19 : Pimin yerçekimi etkisi ile deliğin içinde aşağıya doğru düşmesi durumu



Şekil 4.20 : Pimin delik içinde rastgele kayması (float)

Montaj aşamasında uygulanan sıralama da çok önemlidir. Aynı iki parçayı farklı montaj sıralaması ile birbirine bağladığınızda elde edeceğiniz sonuç farklı olacaktır. Bunu aşağıdaki şekil ile anlatabiliriz:

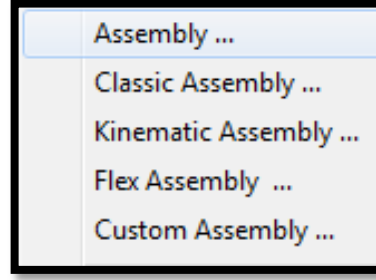


Şekil 4.21 : Montaj sırasının önemi

Yukarıdaki şekilde görüleceği üzere, imalat hatalarının etkisi direk montajayansımadır. Yeşil takoz mavi parçaya oturtulurken uygulanan pozisyonlama sırası takozun öne yada yana yatmasına neden olmaktadır.

Vis-VSA’da farklı montaj opsiyonları bulunmaktadır. Bu sayede ağırlık etkisiyle pimin geniş deliğin tabanına düşmesi durumunu, egzoz manifoldunun ikiden çok delik-pim bağlantısı ile bağlanması durumunu, pimin delik içinde kayması (float) durumunu veya yeşil takozun önce X veya Y eksenine oturtulması sonucu

oluşan konumsal yer değiştirmelerin farklı olduğu durumu simule edebileceğimiz seçenekler mevcuttur. Aşağıda, bu seçenekler gösterilmektedir.



Şekil 4.22 : Vis-VSA’da montaj operasyonları

Yukarıdaki şekilde belirtilen montaj operasyonlarından uygun olanlar seçilerek VSA modelinde montaj tanımlaması yapılır.

Ele alınan örnek VSA modelinde bölüm 4.2.4.1’de belirtilen sıralama ile montaj tanımlaması yapılmıştır. Tanımlanan montaj modüllerinde ağırlığın etkisi ihmal edilmiştir. Cıvata bağlantılarının yapıldığı yerlerde boşluklu geçme durumu pimin delik etrafında kaydığı (float) öngörüsü ile değerlendirme yapılmıştır.

4.3 Vis-VSA’da Ölçüm

Tolerans etkisi nedeni ile karakteristik elemanlar arasındaki mesafeler her bir simülasyon için değişim gösterecektir. Gerçekleşen her simülasyon için karakteristik elemanlar arasındaki bu mesafesel değişimi ölçebilirsek parçalar üzerindeki tolerans bindirmesi etkisini gözlemleyebilir ve yorum yapabiliriz. Dolayısı ile boyutsal simülasyonun gerçekleşmesi sırasında ölçüme ihtiyacımız olan karakteristik elemanları belirlemeye ve bu karakteristik elemanlar arasında yapacağımız ölçüm metodunu uygun şekilde seçmeye ihtiyacımız olacaktır.

Aşağıdaki şekilde, Vis-VSA’da ölçüm alma aşamaları belirtilmektedir.



Şekil 4.23 : Vis-VSA'da ölçüm alma

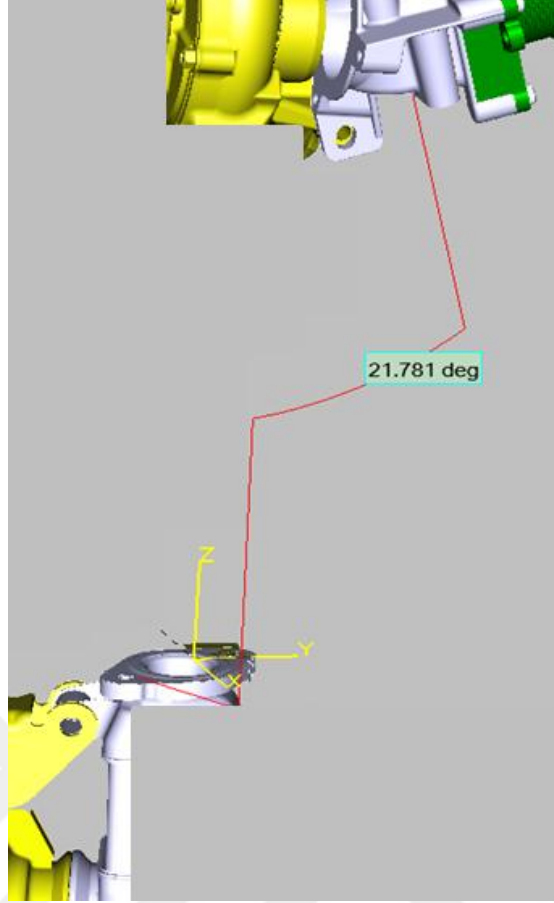
3.4 numaralı maddede belirtilen kritik noktalar VSA modelinden alınan ölçümler ile kontrol edilebilir ve olası problemler tespit edilebilir.

4.3.1 EGR çıkış tüpü

3.4.a ve 3.4.b'de belirtilen kritik nokta, aşağıdaki ölçüm metodu ile kontrol edilebilir:

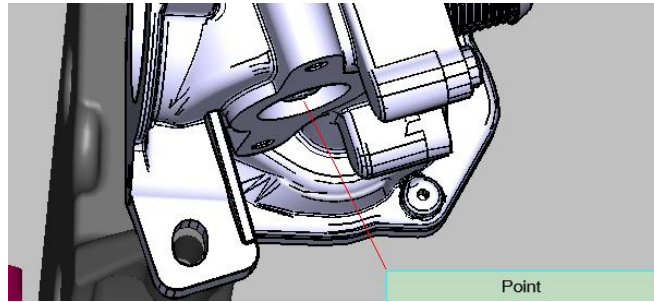
EGR çıkış tüpü, esnemek zorundadır. Çünkü, madde 4.2.1'de tespit edildiği üzere, hava kelebeği ile EGR arasında tolerans bindirmesi dolayısı ile konumsal ve açısal farklılıklar oluşmaktadır.

- ➔ İdeal tasarım koşullarında, EGR'nin gaz çıkış flanşı ile hava kelebeğindeki geri dönüşüm gazının giriş flanşı arasında 21.781 derecelik açısal fark bulunmaktadır. Bu açısal fark aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.24 : EGR ile hava kelebeği flanşları arasındaki açı

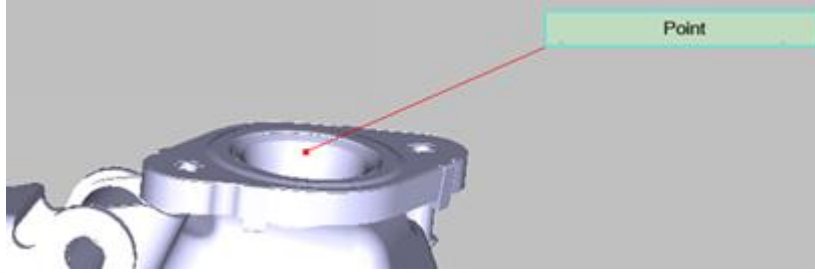
- Hava kelebeğindeki geri dönüşüm gazı giriş kanalına ait merkez noktası, ideal tasarım koşullarında, X/Y/Z koordinatlarına göre [42.642, 77.996, 292.236] mm olarak tespit edilmiştir. Merkez noktası aşağıdaki şekilde de gösterilmektedir.



Şekil 4.25 : Hava kelebeğindeki geri dönüşüm gazı giriş kanalına ait merkez noktası

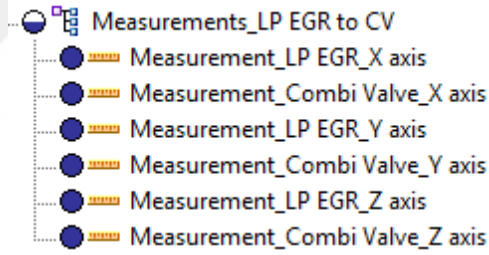
- EGR'deki gaz çıkış kanalının aşağıda gösterilen merkez noktası, ideal tasarım koşullarında, X/Y/Z koordinatlarına göre [8.551, -8.234, 1.22]mm olarak ölçülmüştür. Merkez noktası aşağıdaki şekilde de gösterilmiştir.

(Egzoz gazı geri dönüşüm kanallarının merkez noktaları, tolerans etkisi söz konusu olduğunda konumsal olarak yer değiştirecektir. Dolayısı ile konumsal yer değiştirme sonucunda bu iki merkez nokta arasında oluşacak konumsal fark, iki ayrı parçanın hava kanalları arasındaki radyal ve eksenel değişimi verecektir. Diğer bir deyişle, motorun montajı sırasında EGR çıkış tüpünde gerçekleşecek radyal ve eksenel deformasyon hesaplanabilecektir.)

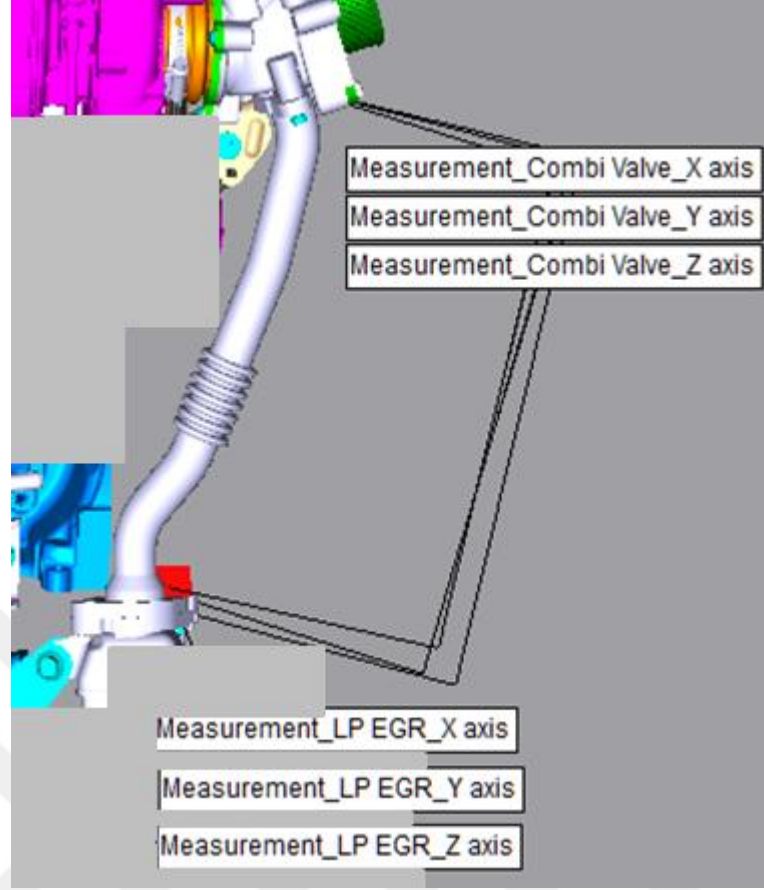


Şekil 4.26 : EGR'deki gaz çıkış kanalının merkez noktası

Vis-VSA programında merkez noktalarının konumundaki değişimi saptayabilmek için herbir eksen için ayrı ayrı ölçüm tanımlanmıştır. Tanımlanmış olan ölçümler aşağıdaki iki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.27 : EGR ve hava kelebeği arasındaki ölçümler



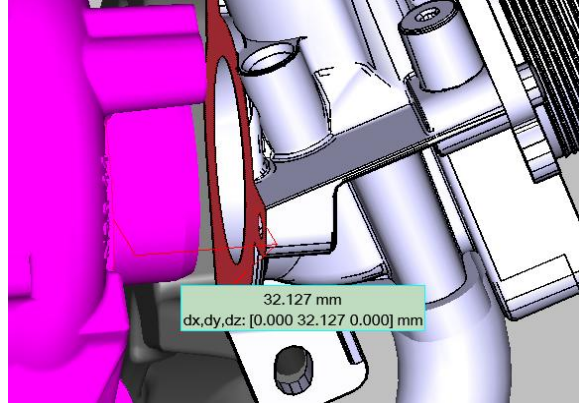
Şekil 4.28 : EGR ve hava kelebeği arasındaki ölçümler

4.3.2 Hava kanalı

3.4.c’de belirtilen kritik nokta, aşağıdaki ölçüm metodu ile kontrol edilebilir:

Hava kanalı, esnemek zorundadır. Çünkü, madde 4.2.1’de tespit edildiği üzere, hava kelebeği ile turbocharger arasında tolerans bindirmesi dolayısı ile konumsal ve açısal farklılıklar oluşmaktadır. Ayrıca madde 3.4.c’de belirtildiği üzere, hava kanalındaki deformasyonlar mümkün olduğunca minimize edilmelidir.

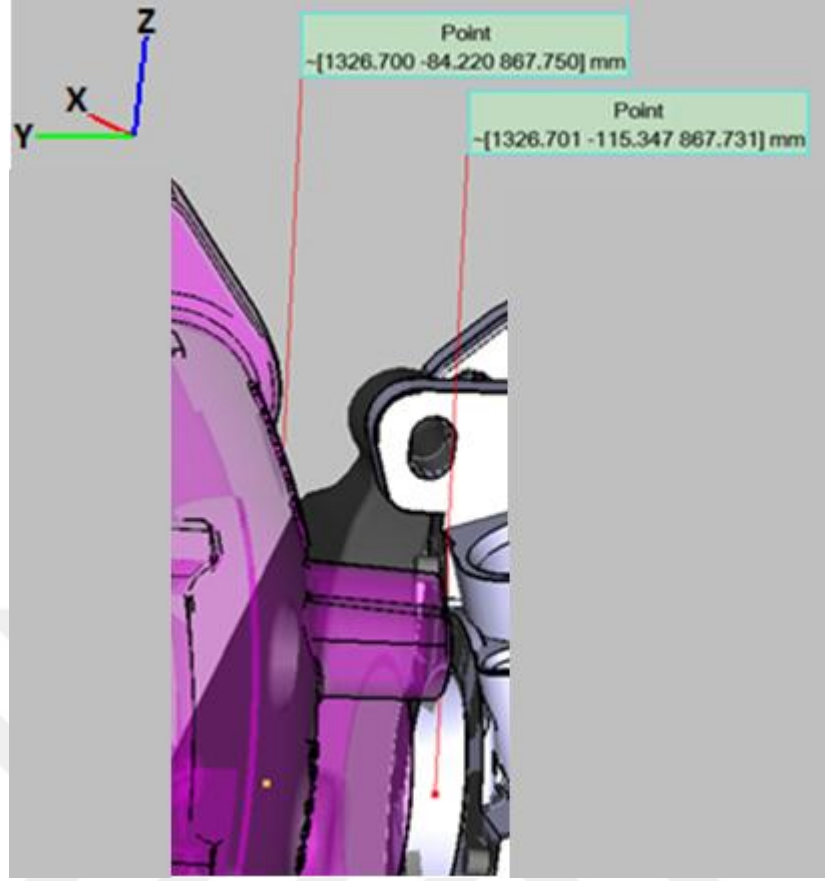
- ➔ Turbocharger ve hava kelebeğinin iki paralel yüzeyi arasındaki mesafe ideal tasarımda 32.127mm’dir. Bu mesafe aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.29 : Turbocharger ve hava kelebeğinin iki paralel yüzeyi arasındaki mesafe

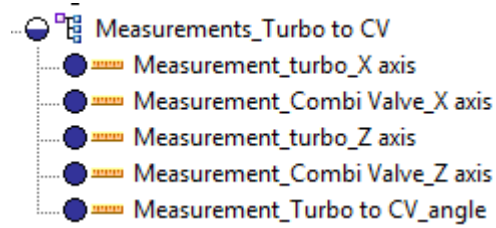
- ➔ Hava kelebeği kanalının merkez noktası, ideal tasarım koşullarında, X/Y/Z koordinatlarına göre [1326.701, -115.347, 867.731] konumundadır.
- ➔ Turbocharger'ın kompresör tarafındaki hava giriş kanalının merkez noktası, ideal tasarım koşullarında, X/Y/Z koordinatlarına göre [1326.700, -84.220, 867.750] konumundadır.

(Aşağıdaki şekilde gösterilen hava kanallarının merkez noktaları, tolerans etkisi söz konusu olduğunda konumsal olarak yer değiştirecektir. Dolayısı ile konumsal yer değiştirme sonucunda bu iki merkez nokta arasında oluşacak konumsal fark, iki ayrı parçanın hava kanalları arasındaki radyal değişimi verecektir. Diğer bir deyişle, hava kanalında gerçekleşecek radyal deformasyon hesaplanabilmektedir.)

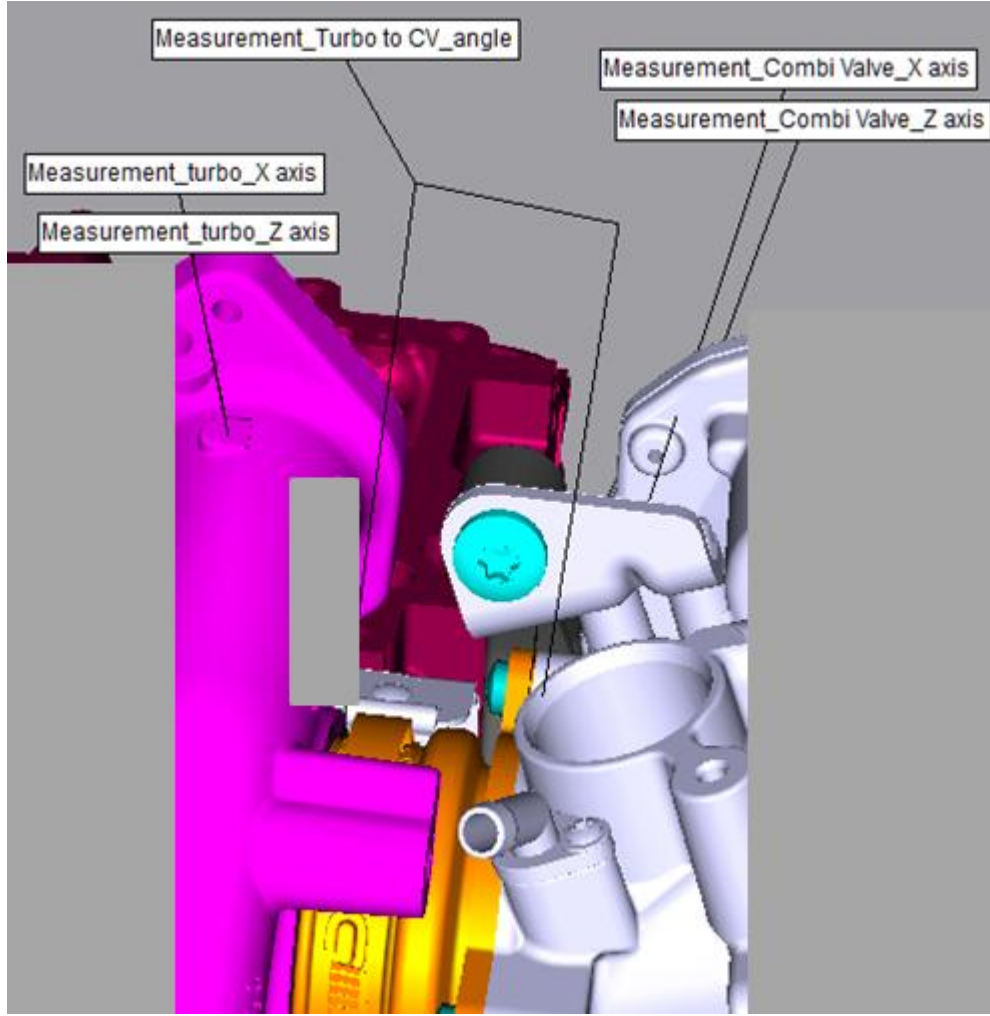


Şekil 4.30 : Turbocharger ve hava kelebeğinde hava kanallarının merkez noktaları

Vis-VSA programında merkez noktalarının konumundaki değişimi ve iki oturma yüzeyi arasındaki açısal değişimi saptayabilmek için her bir eksen için ayrı ayrı ölçüm tanımlanmıştır. Tanımlanmış olan ölçümler aşağıdaki iki şekilde gösterildiği gibidir:



Şekil 4.31 : Turbocharger ve hava kelebeğinde arasındaki ölçümler



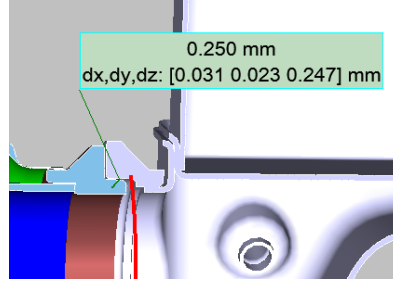
Şekil 4.32 : EGR ve hava keleşi arasındaki ölçümler

4.3.3 EGR'nin klepe bağlantısı

3.4.d'de belirtilen kritik nokta, aşağıdaki ölçüm metodu ile kontrol edilebilir:

EGR ve katalist arasındaki klepeli bağlantıda gaz kaçağı olmamalıdır. Bunedenle, her iki parçanın flanş yüzeyinin alın altına birleşmesi gerekir. Alın altına birleşmenin sağlanabilmesi için ise delik ve pim ikilisi arasında yeterince boşluk bırakıldığından emin olmak gerekir.

İdeal (nominal) koşullarda delik ve pim ikilisi arasındaki boşluk, aşağıda da görülebileceği üzere, 0.25mm'dir.



Şekil 4.33 : Delik ve pim ikilisi arasındaki boşluk

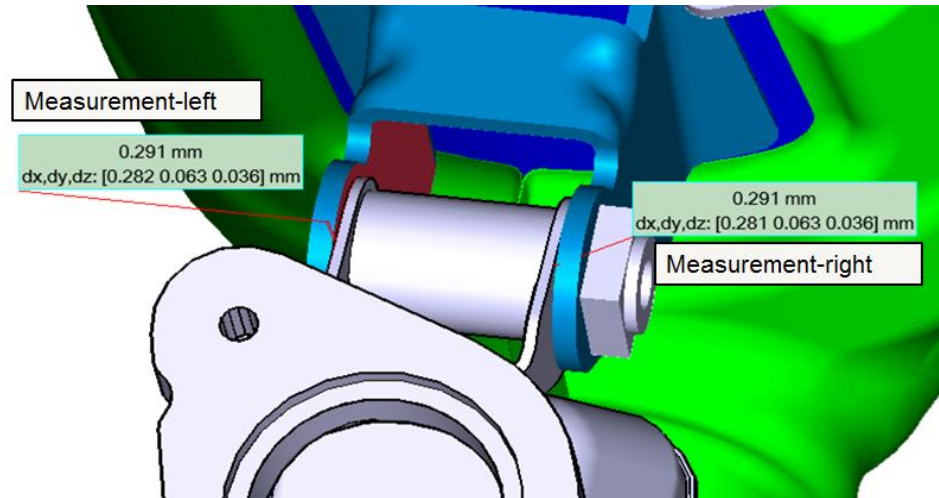
EGR'nin klepeli bağlantısı için Vis-VSA ölçümüne gerek görülmemiştir. Değerler el hesabı ile kolayca çözülebildiği için el hesabı ile kontrol gerçekleştirilmiştir. İlave olarak tolerans gösteriminde düzeltme yapılmıştır.

4.3.4 EGR'nin kollu bağlantısı

3.4.e'de belirtilen kritik nokta, aşağıdaki ölçüm metodu ile kontrol edilebilir:

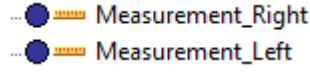
EGR kolunun katalizör koluna bağlandığı kısımda girişim sorunu olmamalıdır. Bu nedenle EGR kolu ile katalizör kolu arasında kabul edilebilir seviyede boşluk bırakılmalıdır. (Boşluk, üretim toleransları dolayısı ile girişim sorunu aşanmayacak kadar büyük olmalıdır. Fakat, EGR'nin klepeli bağlantı ekseninde dönmesini mümkün olduğunca minimize edecek şekilde de düşük olmalıdır. Kollar arasındaki boşluğun artması madde 4.3.1'de belirtilen ölçümlerin daha olumsuz sonuç vermesine neden olacaktır.) Bağlantı slot-tab bağlantısı olarak ele alınabilir.

Slot ve tab ikilisi arasındaki boşluk idealde (nominal tasarım) 0.291mm'dir. Aşağıda nominal ölçüm değerleri gösterilmiştir:



Şekil 4.34 : Kollar arasındaki boşluk

Vis-VSA'da slot ve tab arasındaki boşluğun değişimini gözlemlemek için ölçüm tanımlanmıştır. VSA'da oluşturulan ölçümler aşağıdaki gibidir:

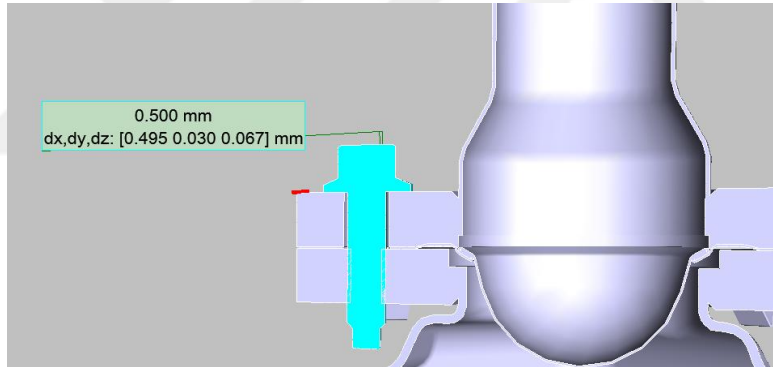


Şekil 4.35 : Kollar arasındaki boşluğun değişimini hesaplamak için VSA'da alınan ölçümler

4.3.5 EGR çıkış tüpünün flanş bağlantıları

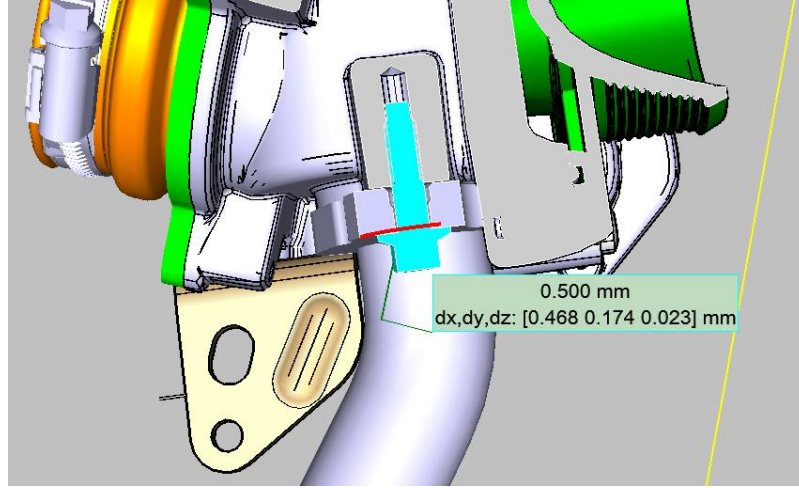
3.4.f'de belirtilen kritik nokta, aşağıdaki ölçüm metodu ile kontrol edilebilir:

EGR çıkış tüpünün flanş bağlantılarında gaz kaçağı olmamalıdır. Bu nedenle, flanş yüzeyinin alın altına birleşmesi gerekir. Alın altına birleşmenin sağlanabilmesi için ise delik ve pim ikilisi arasında yeterince boşluk bırakıldığından emin olmak gerekir. EGR çıkış tüpünün flanşı ile EGR flanşı arasındaki bağlantıda delik ve pim ikilisi incelenmelidir. Delik ve pim ikilisi arasındaki boşluk ideal tasarımda 0.5mm'dir. Aşağıdaki şekilde nominal ölçüm sonuçlarını görmek mümkündür.



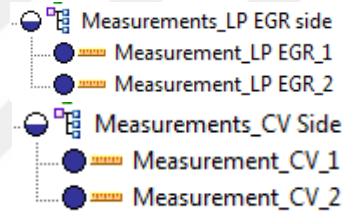
Şekil 4.36 : Delik ve pim ikilisi arasındaki boşluk

EGR çıkış tüpünün flanşı ile gaz kelebeği flanş arasındaki bağlantıda delik ve pim ikilisi incelenmelidir. Delik ve pim ikilisi arasındaki boşluk ideal tasarımda 0.5mm'dir. Aşağıdaki şekilde nominal ölçüm sonuçlarını görmek mümkündür.

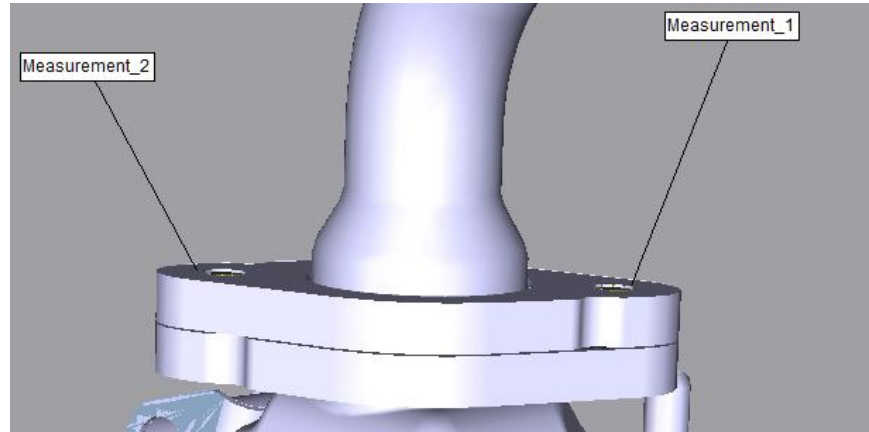


Şekil 4.37 : Delik ve pim ikilisi arasındaki boşluk

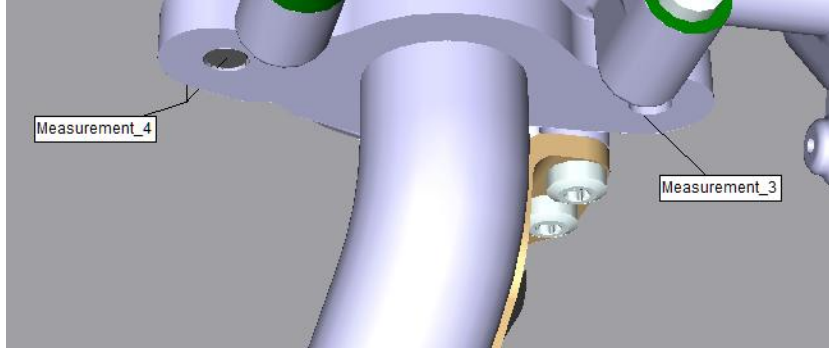
Vis-VSA’da delik ve pim arasındaki boşluğun değişimini gözlemlemek için ölçüm tanımlanmıştır. VSA’da oluşturulan ölçümler aşağıdaki üç şekil ile gösterilmektedir.



Şekil 4.38 : EGR çıkış tüpü sabitleyen civata bağlantıları için VSA’da alınan ölçümler



Şekil 4.39 : EGR çıkış tüpü flanşını, EGR’ye sabitleyen civata bağlantısında ölçüm



Şekil 4.40 : EGR çıkış tüpü flanşını, hava kelebeği'ne sabitleyen civata bağlantısında ölçüm

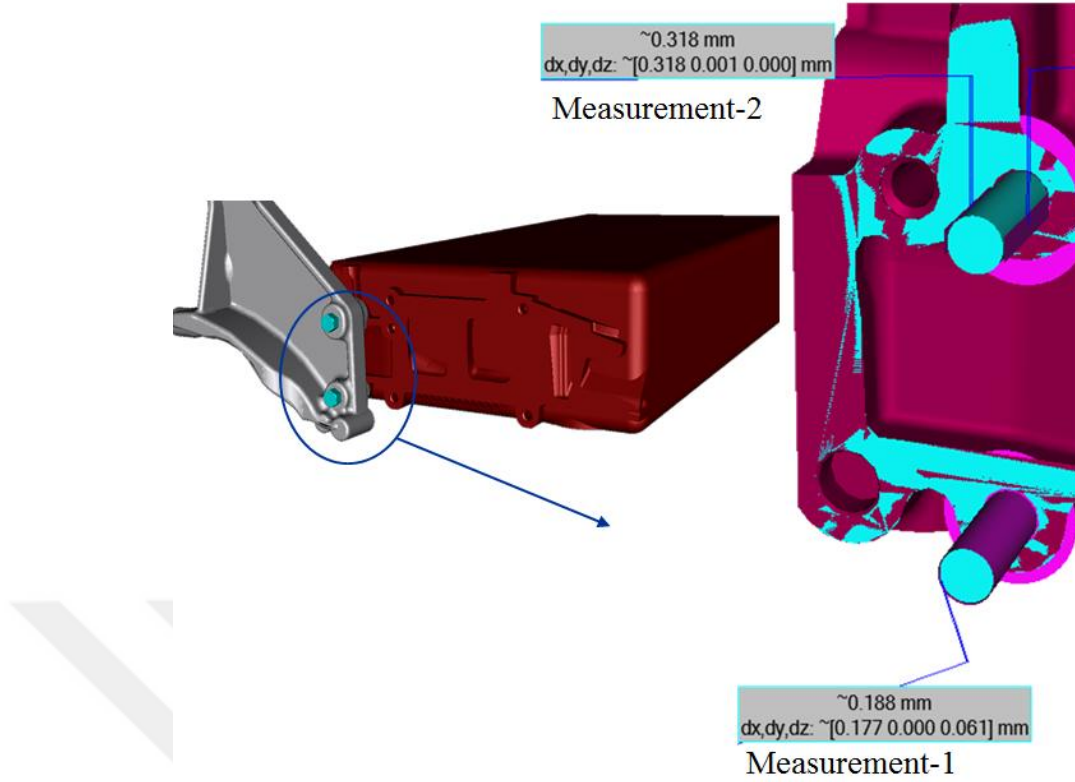
4.3.6 Hava kelebeği braket

3.4.g'de belirtilen kritik nokta, aşağıdaki ölçüm metodu ile kontrol edilebilir:

Hava kelebeği braketini silindir kafasına bağladığımız deliklerin doğru çap ve toleransta olduğundan emin olmalıyız. Burada amaç, braketin montajında problem yaşanmayacağından emin olmakla ilgilidir. Ayrıca, delik çapları mümkün olduğunca küçük tanımlanmalıdır ki bu brakete sabitlenen gaz kelebeğinin konumsal sapmaları minize edilebilsin. Bu nedenle delik ve pim (civata) ikilisi, arasındaki boşluğun incelenmesi gerekir.

Hava kelebeği braket ve silindir kafasına bağlanan civata arasındaki delik ve pim ilişkisi incelenmelidir. Delik ve pim ikilisi arasındaki boşluk ideal tasarımda 0.188mm'dir. Boyuna oluk(slot) ve pim ikilisi arasındaki boşluk ise ideal tasarımda 0.318mm'dir.

Vis-VSA'da delik-pim ve delik-slot (oluk şeklinde açılmış delik) arasındaki boşluğun değişimini gözlemlemek için ölçüm tanımlanmıştır. VSA'da oluşturulan ölçümler aşağıdaki iki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.41 : Hava kelebeği braketini silindir kafasına sabitleyen civata bağlantıları için VSA’da alınan ölçümler

..... Measurement_1
..... Measurement_2

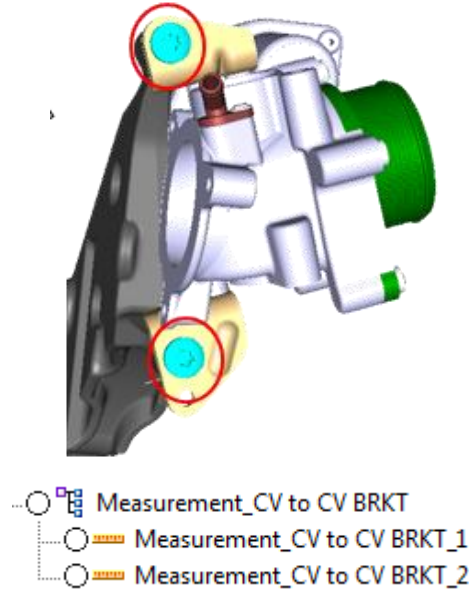
Şekil 4.42 : Hava kelebeği braketini silindir kafasına sabitleyen civata bağlantıları için VSA’da alınan ölçümler

4.3.7 Hava kelebeği

3.4.h’de belirtilen kritik nokta, aşağıdaki ölçüm metodu ile kontrol edilebilir:

Hava kelebeğini hava kelebeği braketine bağladığımız deliklerin doğru çap ve toleransta olduğundan emin olmalıyız. Delik çapları mümkün olduğunca küçük tanımlanmalıdır ki hava kelebeğinin konumsal sapmaları minize edilebilsin. Bu nedenle delik ve pim(cıvata) ikilisi, arasındaki boşluğun incelenmesi gerekir.

Vis-VSA’da delik-pim ilişkisini kontrol etmek amacıyla ölçüm tanımlanmıştır. VSA’da oluşturulan ölçümler aşağıdaki gibidir:



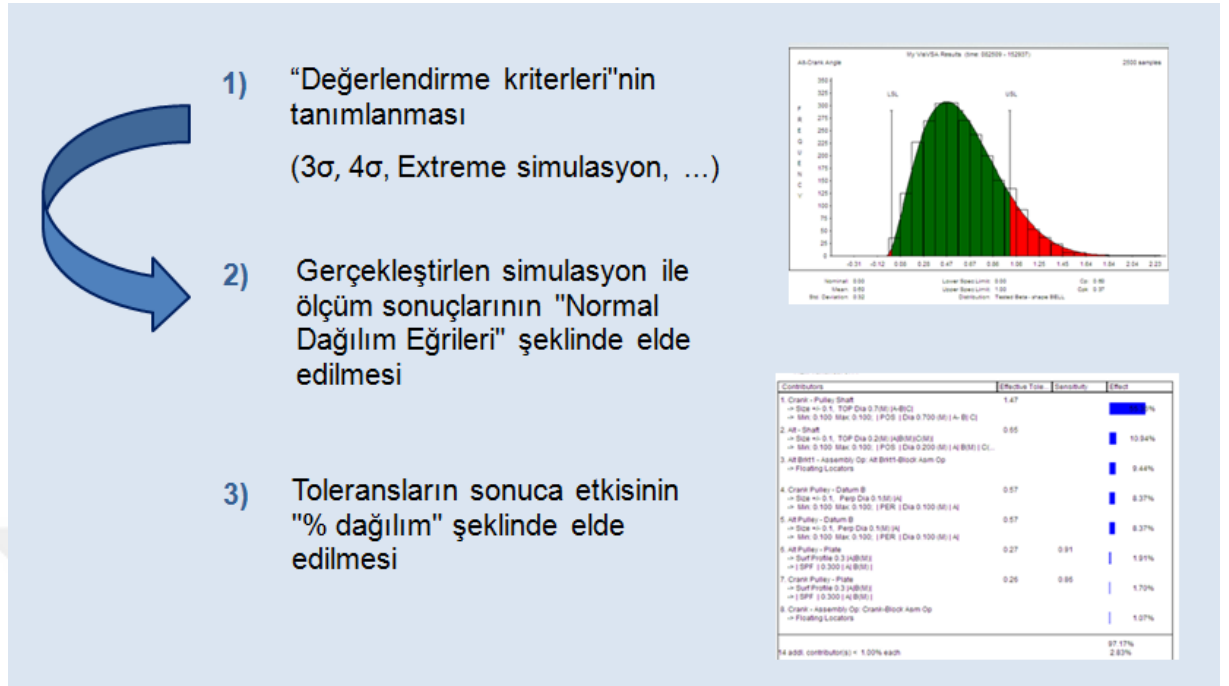
Şekil 4.43 : Hava kelebeğini, hava kelebeği braketine sabitleyen civata bağlantıları için VSA’da alınan ölçümler

4.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

Sonuçların elde edilmesi ve problem teşkil eden noktaların belirlenmesi üç aşamalı bir süreçte gerçekleştirilir:

1. Değerlendirme kriterlerinin VSA’ya girilmesi ve simulasyonun tamamlanması ile gerçekleştirilir.
2. İkinci aşama, simulasyon sonucunun normal dağılım eğrileri şeklinde elde edilmesi ve bu eğrilerin değerlendirilmesi olarak ifade edilebilir. İkinci aşamada, normal dağılım eğrilerinden yararlanarak, ölçüm alınan ilgili noktanın imalat için uygun olup olmadığı net bir şekilde tespit edilebilir. Spec limitlerinin dışında kalan değerler arzu edilen sigma koşulunu sağlayamıyorsa ve hedeflenen C_p / C_{pk} değerleri tutturulamıyorsa ölçümü alınan nokta problem teşkil ediyor demektir.
3. Problem tespit edilen ölçümler için HLM grafiklerinden yararlanılarak problemin ana kaynakları belirlenir. HLM grafikleri aracılığı ile hangi karakteristik elemanın ve toleransın problemin oluşmasına etki ettiği belirlenebilir. Dahası kritik etkiye sahip olan karakteristik elemanların sonuca ne kadar etki ettiği % olarak tespit edilir.

Değerlendirme süreci aşağıdaki gibi özetlenebilir:

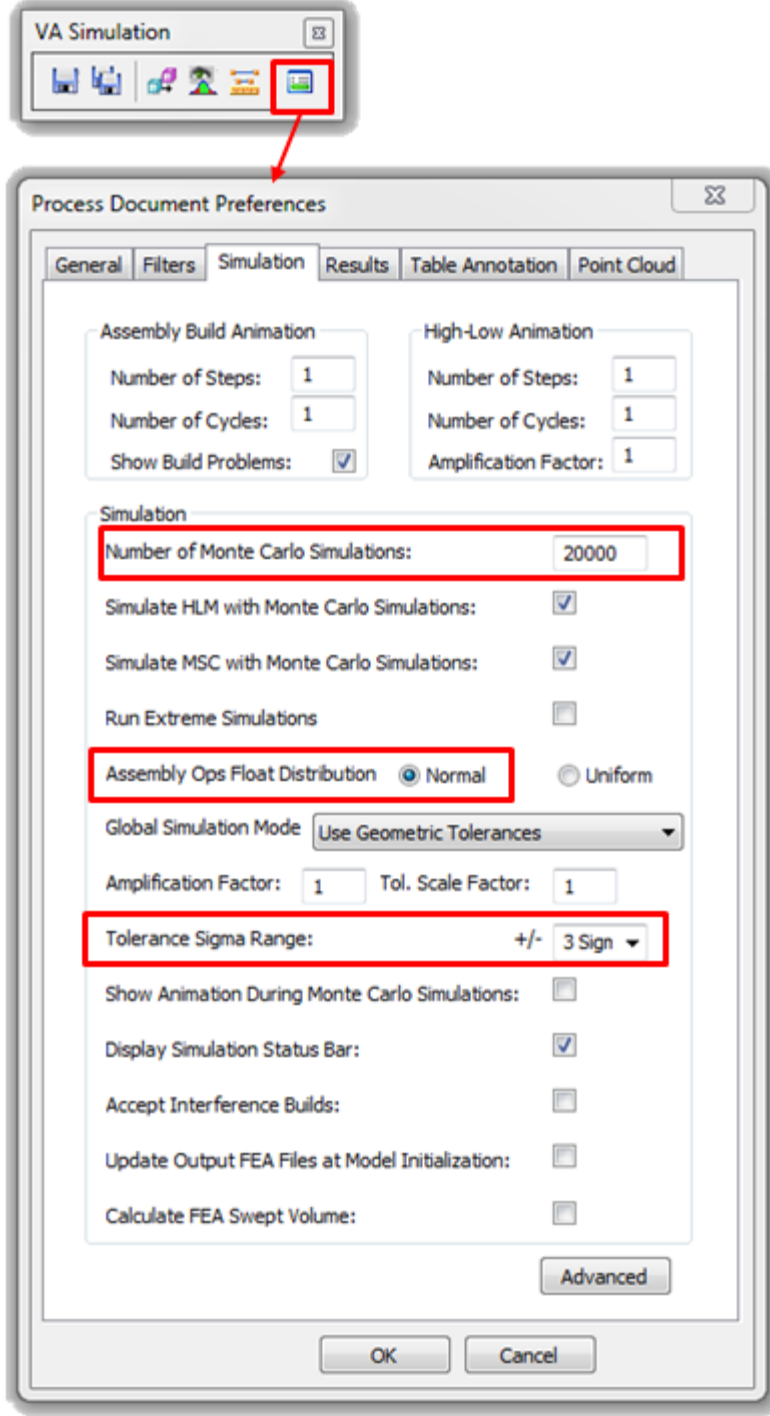


Şekil 4.44 : Vis-VSA’da ölçüm sonuçlarının değerlendirilme süreci

4.4.1 Değerlendirme kriterlerinin tanımlanması

3.4.g’de belirtilen kritik nokta, aşağıdaki ölçüm metodu ile kontrol edilebilir:

Bölüm 4.1’de tanımlanmış olan sınır koşulları VSA modeline aşağıdaki gibi girilmiştir.



Şekil 4.45 : Vis-VSA’da değerlendirme (sınır koşulları)

Parçaların $\pm 3\sigma$ koşulunda üretildiği ve montajının da $\pm 3\sigma$ koşulunda gerçekleştirileceği bilgisi ile ilerlenmiştir. Parçaların 20000 kere montajının yapılacağı varsayılarak 20000 simulasyon gerçekleştirilmiştir.

4.4.2 Normal dağılım eğrilerinin elde edilmesi

Simulasyon sonucunda elde edilen normal dağılım eğrileri “EKLER” kısmında “EK C” olarak paylaşılmıştır. Daha pratik bir anlatım olması amacıyla, ölçüm sonuçları incelenmiş ve gerekli kısımlar tablo haline getirilmiştir. Ölçüm sonuçları “process raporları” ve “HLM grafikleri” şeklinde elde edilmiştir. Process raporları, ölçüm sonuçlarını “normal dağılım eğrileri” şeklinde vermektedir. HLM grafikleri ise sonuca etki eden faktörlerin etkisini % dağılım şeklinde vermektedir ve bir sonraki başlıkta incelenecektir.

Simulasyon sonrasında “process” raporlarından elde edilen veriler çizelge 4.2’deki gibidir:

Çizelge 4.1 : Normal dağılım eğrilerinden elde edilen sonuçlar.

	Ölçüm	Nominal (mm)	C _{pk}	Est. Low (mm)	Est. Out of Spec. Limit (%)
Hava kelebeği braketinin silindir kafasına bağlanması	Measurement_1	0.1919	0.392	-0.1287	9.8407
	Measurement_2	0.317	1.124	0.0337	0.0463
EGR kolu ile katalizör kolu arasındaki boşluk	Measurement_Right	0.300	0.354	-0.551	11.812
	Measurement_Left	0.300	0.367	-0.520	13.568
EGR çıkış tüpünün flanş bağlantıları	Measurement_LP EGR_1	0.558	1.132	0.0465	0.0385
	Measurement_LP EGR_2	0.558	1.098	0.0355	0.0568
	Measurement_CV_1	0.500	1.169	0.0539	0.0257
	Measurement_CV_2	0.500	1.17	0.054	0.0235
Hava kelebeğinin hava kelebeği braketine montajı	Measurement_CV to CV BRKT_1	0.32	1.1506	0.0283	0.0223
	Measurement_CV to CV BRKT_2	0.32	0.5389	-0.1277	3.7185

Yukarıdaki tablo değerlendirilirken dikkat edilmesi gerekenler şu şekilde olmalıdır:

C_{pk} değeri hedeflenen değerin üzerinde olmalıdır. (bkz. madde 4.1.d)

“Est. Low” (estimated low / öngörülen en düşük değer) değeri sıfırdan büyük olmalıdır. “Est. Low”, ölçüm yapılan iki karakteristik eleman arasındaki mesafenin

minimumda alacağı değeri gösterir. Bu değer, belirlenen σ aralığına göre hesaplamaktadır.

“Est. Out of Spec. Limit %”(estimated out of specification / öngörülen spesifikasyon dışı ölçüm miktarı) 0.3 değerinden düşük olmalıdır. (bkz. madde 4.1.c / madde 3.1)

Buna göre “Measurement-1”, “Measurement_Right”, “Measurement_Left”, “Measurement_CV to CV BRKT_2” ölçümlerinde hedeflerin tutturulamadığı görülmektedir. Hedefleri sağlamayan ölçüm alanlarında “HLM grafikleri”nden yararlanarak iyileştirme yapılması gerekecektir.

Aşağıdaki tabloda ise esnekliğe sahip olan EGR çıkış tüpü ve hava kanalı için elde edilen simülasyon sonuçları bulunmaktadır.

Simülasyon sonrasında “process” raporlarından elde edilen veriler çizelge 4.3’deki gibidir:

Çizelge 4.2 : EGR çıkış tüpü ve hava kanalı için elde edilen ölçüm sonuçları.

	Ölçüm	Est.Low (mm)	Est. High (mm)	Est. Range (mm)
EGR çıkış tüpü için EGR ve hava kelebeği arasında alınan ölçümler	LP EGR(X axis)	3.8378	13.2431	9.4053
	Combi Valve (X axis)	42.0622	43.2974	1.2352
	LP EGR (Y axis)	-18.343	1.8585	20.2014
	Combi Valve (Y axis)	77.0888	79.1673	2.0785
	LP EGR (Z axis)	-2.7428	5.0824	7.8253
	Combi Valve (Z axis)	29.2191	294.1052	3.8861
Hava kanalı için Turbocharger ve hava kelebeği arasında alınan ölçümler	Turbo (X axis)	1325.6827	1327.6775	1.9948
	Combi Valve (X axis)	1325.7213	1327.5781	1.8568
	Turbo (Z axis)	864.4034	871.0641	6.6606
	Combi Valve (Z axis)	865.8839	869.5133	3.6294
	Turbo to CV (angle)	170.3471	179.9964	9.6393

Yukarıdaki tabloda gösterilen sonuçları yorumlayabilmek için ilave bir hesaplamaya ihtiyaç vardır.

➔ EGR çıkış tüpünde radyal sapma denklem 4.1 ile hesaplanmıştır:

$$R = 2 + \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \quad (4.2)$$

➔ Hava kanalında radyal sapma denklem 4.2 ile hesaplanmıştır:

$$R = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Z)^2} \quad (4.2)$$

R: Öngörülen maksimum radyal sapma miktarı (mm)

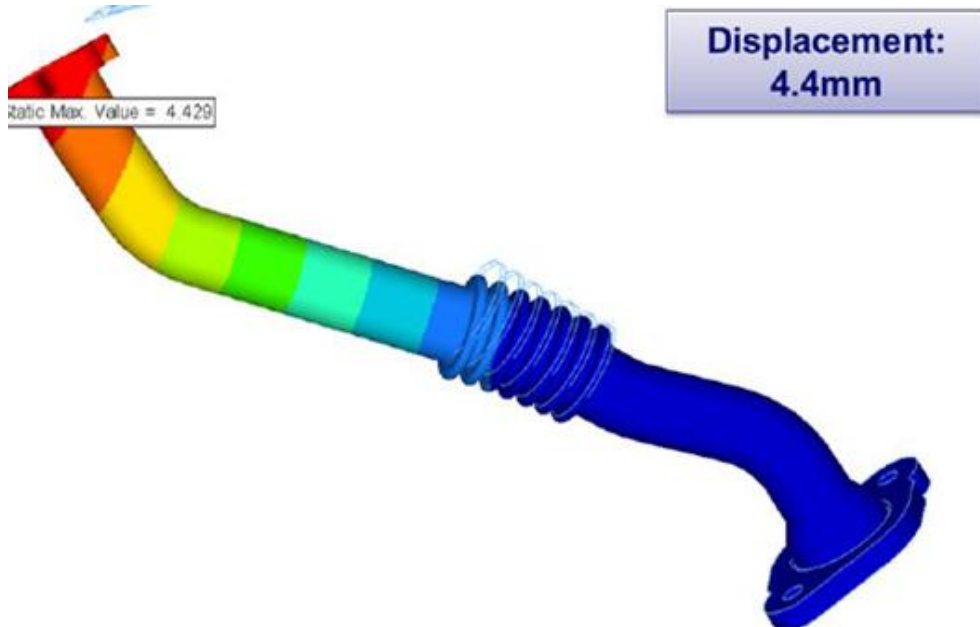
ΔX : Ölçülen iki nokta arasında X eksenine göre öngörülen maksimum mesafe

ΔY : Ölçülen iki nokta arasında Y eksenine göre öngörülen maksimum mesafe

ΔZ : Ölçülen iki nokta arasında Z eksenine göre öngörülen maksimum mesafe
(Öngörülen düşey sapmayı vermektedir.)

Buna göre, EGR çıkış tüpünde;

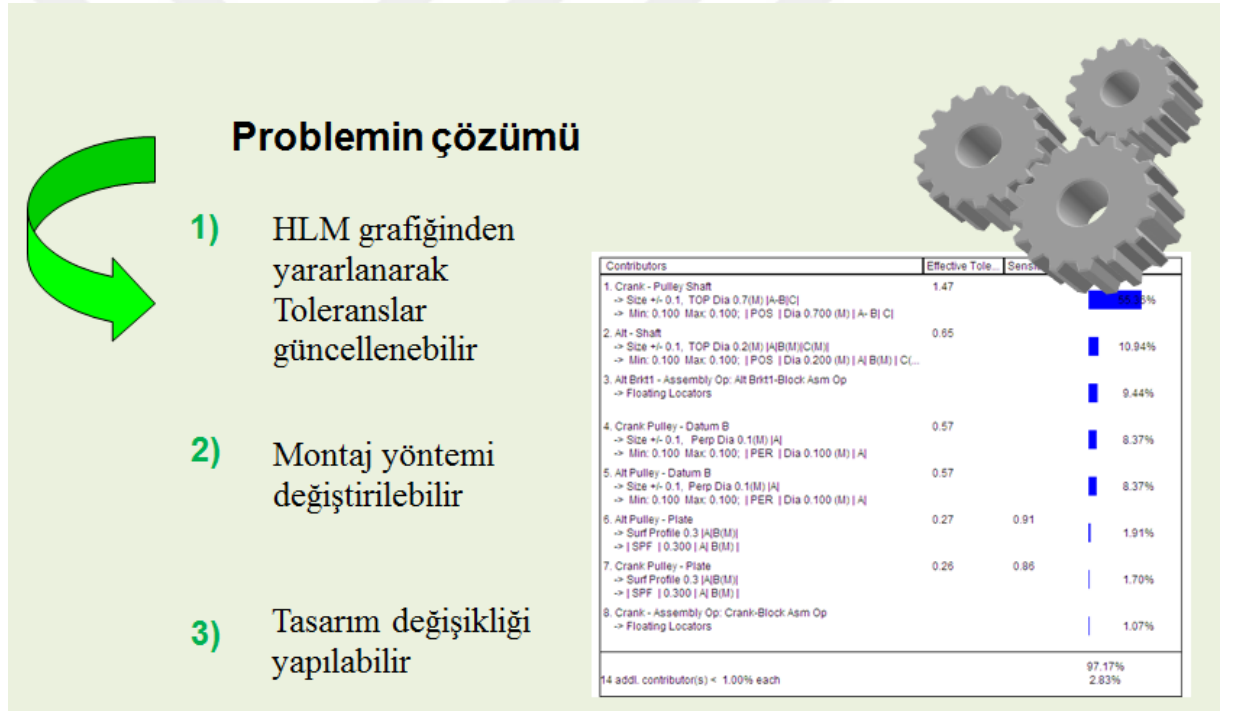
- ✓ $R = 14.5$ mm olarak hesaplanmıştır. Bu değer aynı zamanda mevcut tasarım için EGR çıkış tüpünün radyal olarak esnemesi gereken mesafeyi göstermektedir. Fakat, dayanım analizleri, bir operatörün mevcut EGR çıkış tüpünü maksimum 6mm esnetebileceğini göstermiştir.
- ✓ $\Delta Z = 11.71$ mm (± 5.85 mm) olarak hesaplanmıştır. Dayanım analizleri, bir operatörün mevcut EGR çıkış tüpünü maksimum 8.8mm (± 4.4 mm) esnetebileceğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, madde 7.2’de bahsedilen 1 ve 3 numaralı montaj problemlerini sayısal olarak tariflemektedir. Dayanım analizinden elde edilen ΔZ esneme kapasitesi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.46 : Dayanım analizinde elde edilen, EGR çıkış tüpüne ait, düşey esneme kabiliyeti

- ✓ HLM grafiklerinden yararlanarak karakteristik elemanların tolerans etkisini % olarak inceleyebilir ve buradan elde edilen çıktı ile toleranslarda değişikliğe gidilebilir.
- ✓ Montaj yönteminin ve sırasının önemini madde 4.2.4.2’de incelemiştik. Montaj yönteminde değişiklik yaparak elde edilen sonuçları iyileştirmek de mümkündür.
- ✓ Eğer tolerans ve montaj yöntemlerinde değişiklik yapmak imalat açısından uygun veya karlı değil ise tasarımda değişiklik yaparak iyileşme sağlamak da mümkündür. (bu arada montaj yönteminin değiştirilmesi çoğu zaman tasarımın da beraberinde değişmesi ile sonlanır.)

Problemlerin çözümü için uygulanan yöntemler özetle aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.48 : Problem çözümünde uygulanabilecek yöntemler

4.5.1 EGR tüpünde tasarım değişikliği

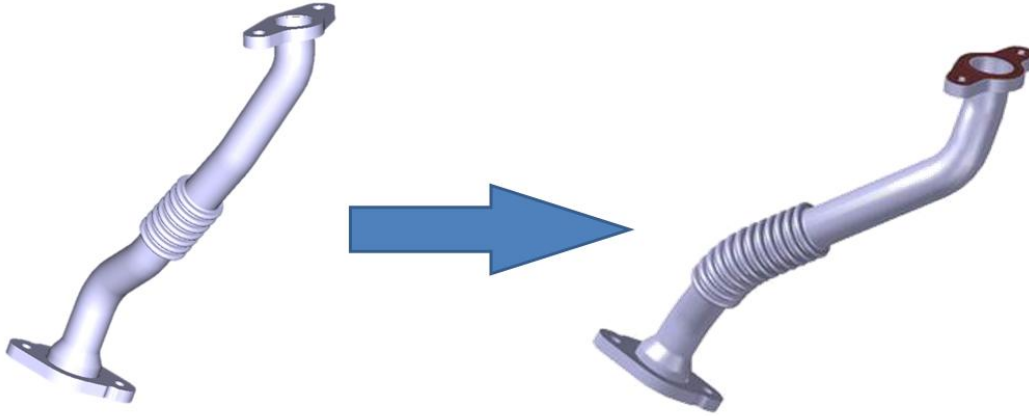
EGR çıkış tüpünün radyal yönde ve düşey ekseninde esnekliğinin artırılması için üzerindeki boğum sayısı artırılmıştır.

Aşağıdaki şekil mevcut EGR çıkış tüpünü ve Vis-VSA sonrasında yapılan değişiklikler ile elde edilen yani EGR tüpü tasarımını göstermektedir.

Mevcut tasarım:

Yeni tasarım:

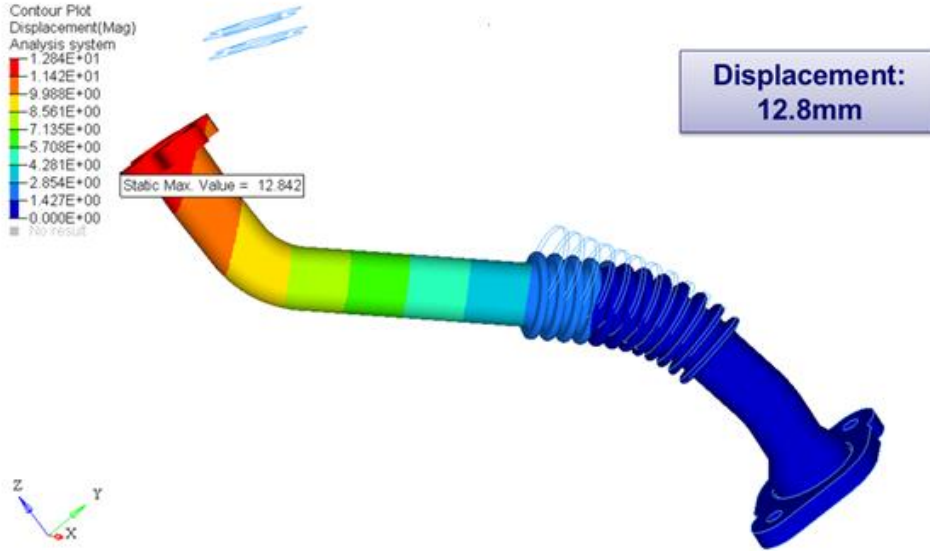
(Boğum sayısı arttırılmış EGR çıkış tüpü)



Şekil 4.49 : EGR çıkış tüpünde tasarım değişikliği

“Yeni tasarım” EGR çıkış tüpü radyal olarak ~20mm ve düşeyde de 25.6 mm. (± 12.8 mm) esneyebilmektedir. Aşağıdaki şekil yeni tasarlanan EGR çıkış tüpünün esneklik kabiliyetini göstermektedir.

■ **Displacement field:**



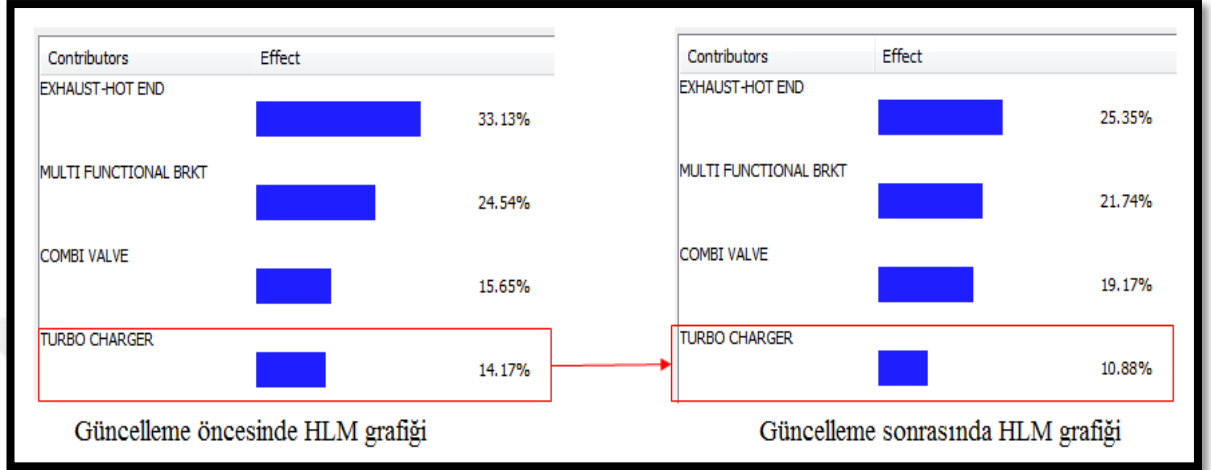
Şekil 4.50 : EGR çıkış tüpünün dayanım analizi

4.5.2 Turbocharger'ın montaj yönteminin değiştirilmesi

EGR çıkış tüpü için EGR ve hava kelebeği arasında alınan ölçümler incelendiğinde, HLM grafiklerinden, turbocharger'ın konumsal sapmasının büyük bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Civata-delik arasındaki boşluklu geçmeler turbocharger'ın

radyal olarak saptığı gözlemlenmiştir. Bu sapmaları minize etmek amacıyla turbocharger'ın bir montaj fixtürü yardımıyla monte edilmesine karar verilmiştir.

Montaj fixtürünün etkisi VSA simülasyonlarında elde edilen sonuçların iyileşmesini sağlamıştır. Aşağıda gösterilen HLM grafiklerinde iyileşmenin % etkisi görülebilir:



Şekil 4.51 : Turbocharger montajında fixtür kullanımının sonuçlara etkisi

Yukarıdaki şekilde belirtilen ifadelerin anlamı:

“TURBOCHARGER” = “Aşırı doldurma ünitesi”

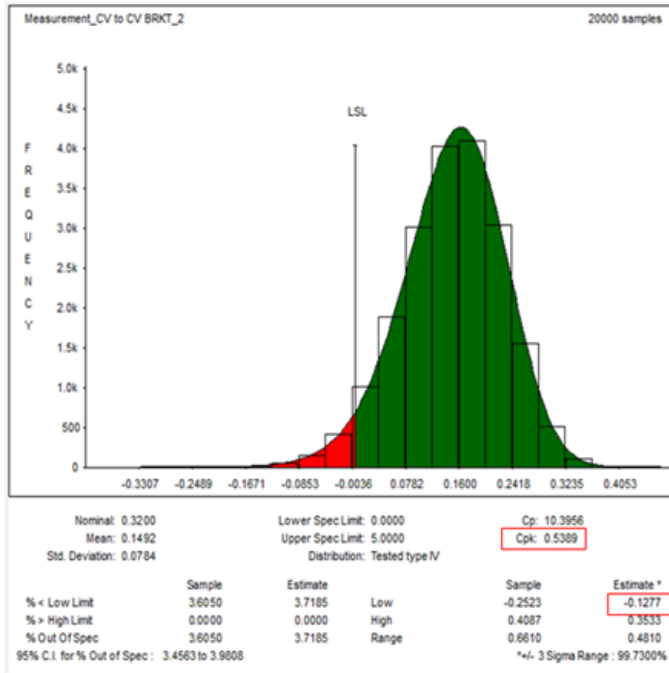
“COMBI VALVE” = “Hava kelebeği”

“MUTI FUNCTIONAL BRKT” = “Hava kelebeği braket”

“EXHAUST-HOT END” = “Katalizör”

4.5.3 Hava kelebeği braketinde tasarım değişikliği

Hava kelebeği braketinin deliklerinde tanımlanmış olan ölçümlerden “measurement-1” de, aşağıda da görülebileceği üzere, hedeflerin tutturulamadığı gözlemlenmiştir.

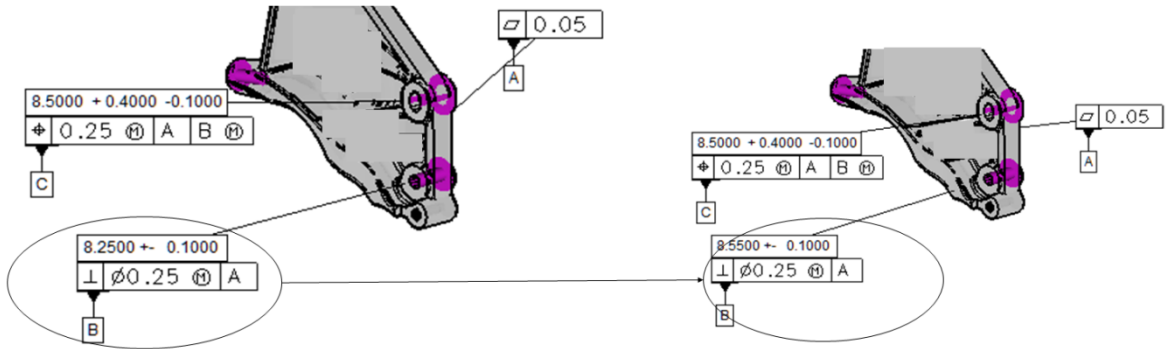


Measurement-1

- "Cpk" artırılmalıdır
- "Estimated Low" >0 olmalıdır

Şekil 4.52 : Hava keleşği braketinde girişim problemi

Braketteki toleranslar ve silindir kafasındaki toleranslar incelendiğinde toleransların bir hayli küçük tanımlanmış olduğu tespit edilmiştir. Toleransların daha fazla kısılması imalatla kullanılan cihazların daha hassasları ile değiştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle hedefleri tutturmak için aşağıda gösterilen tasarım değişikliğini uygulanmıştır.



Şekil 4.53 : Hava keleşği braketinde tasarım değişikliği

Braketteki delik çapı Ø8.25mm'den Ø8.55mm'ye çıkarılmıştır.

4.5.4 Hava keleşğinde tasarım, hava keleşği braketinde tolerans değişikliği

Hava keleşği braketinde diş açılmış vida deliklerinin pozisyon toleransı imalatçı ile yapılan çalışmalar sonrasında daraltılmıştır. Mevcut pozisyon toleransı kompozit

toleransı olarak değiştirilmiştir. Kompozit toleransın üst segmenti aynı tutulup alt segmente $\varnothing 0.15\text{mm}$ çapsal konum toleransı verilmiştir. Alt segment, her iki deliğin birbirine göre konumunu ve oryantasyonunu kontrol etmektedir. Yapılan değişiklik aşağıda da gösterilmektedir.



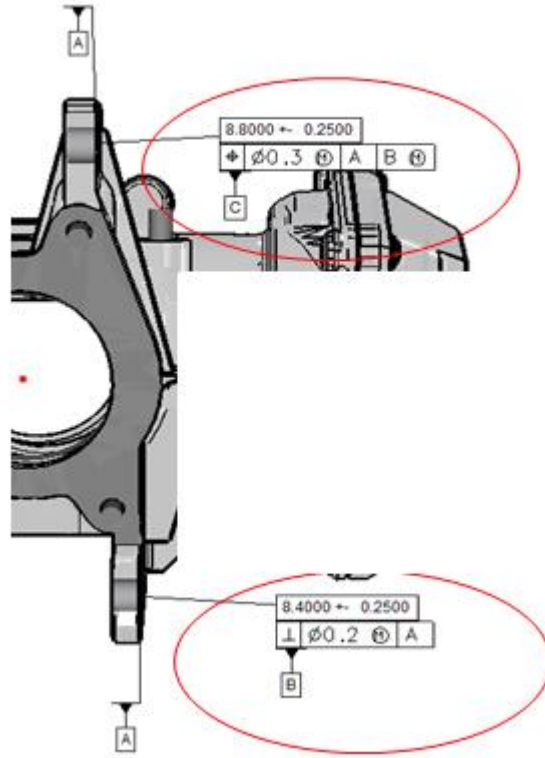
Şekil 4.54 : Hava kelebeği braketinde tolerans güncellemesi

Daha önceden 8.5mm olarak belirlenen hava kelebeğindeki delik çapları $\varnothing 8.4\text{mm}$ (Datum-B) ve $\varnothing 8.8\text{mm}$ (Datum-C) olarak değiştirilmiştir. Hava kelebeği braketinin konum toleransında yapılan değişiklik hava kelebeği deliklerinin daha dar tutulmasını sağladığı gibi hava kanalı ve EGR çıkış tüpü ölçümlerine ait HLM grafiklerinde %2'lik iyileşme sağlamıştır. Aşağıda değişikliğin etkisi gösterilmiştir.

Contributors	Effect	Contributors	Effect
COMBI VALVE MULTI FUNCTIONAL BRKT - DATUM-B Size: Min: -0.250 Max: 0.250; PER Dia 0.200 (M) A	42.51%	COMBI VALVE MULTI FUNCTIONAL BRKT - DATUM-B Size: Min: -0.250 Max: 0.250; PER Dia 0.200 (M) A	43.54%
COMBI VALVE MULTI FUNCTIONAL BRKT - DATUM-C Size: Min: -0.250 Max: 0.250; POS Dia 0.300 (M) A B (M)	29.13%	COMBI VALVE MULTI FUNCTIONAL BRKT - DATUM-C Size: Min: -0.250 Max: 0.250; POS Dia 0.300 (M) A B (M)	31.84%
COMBI VALVE BRKT MFB TO COMBI VALVE - PIN - COMBI VALVE - Pin_1 POS Dia 0.250 A B (M) C (M) ; Size: Min: -0.106 Max: 0.106	8.81%	COMBI VALVE BRKT MFB TO COMBI VALVE - PIN - COMBI VALVE - Pin_1 COMP POS Dia 0.250 A B (M) C (M) ; 0.150 A B (M) ; Size: Min:...	6.44%
COMBI VALVE BRKT MFB TO COMBI VALVE - PIN - COMBI VALVE - Pin POS Dia 0.250 A B (M) C (M) ; Size: Min: -0.106 Max: 0.106	7.47%	COMBI VALVE BRKT COMBI VALVE - MFB TO COMBI VALVE-PLANE FLT 0.125 ; SPF 0.250 A B (M) C (M)	5.51%
COMBI VALVE [A B (M)]	6.99%	COMBI VALVE BRKT MFB TO COMBI VALVE - PIN - COMBI VALVE - Pin COMP POS Dia 0.250 A B (M) C (M) ; 0.150 A B (M) ; Size: Min:...	5.03%
COMBI VALVE BRKT COMBI VALVE - MFB TO COMBI VALVE-PLANE FLT 0.125 ; SPF 0.250 A B (M) C (M)	5.09%		

Şekil 4.55 : Hava kelebeği braketinde tolerans güncellemesinin sonuçlara etkisi

Tasarım değişikliği sonrası hava kelebeğine tanımlanan boyut ve toleranslar aşağıda belirtilmiştir.



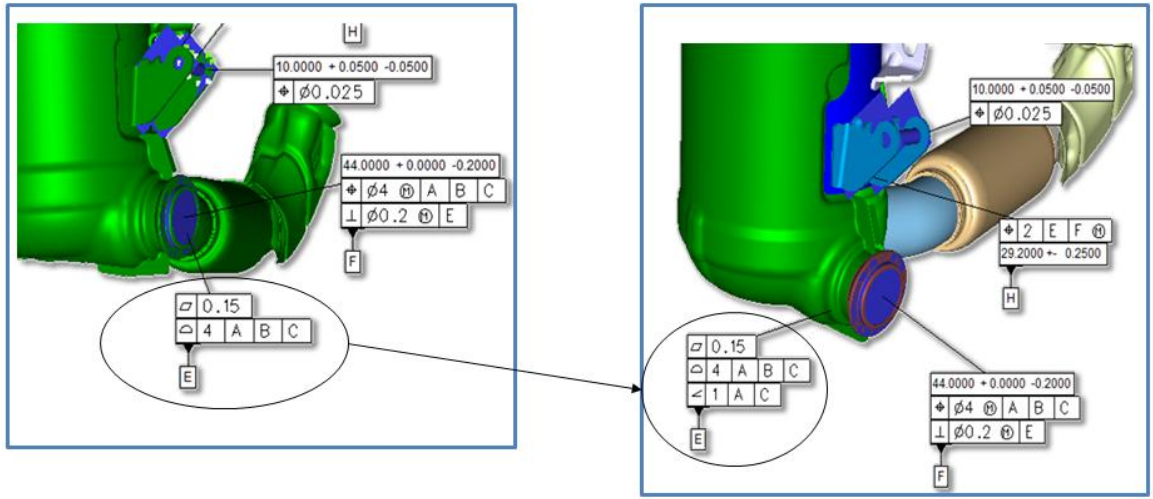
Şekil 4.56 : Hava kelebeğinde tasarım değişikliği (delik çaplarının değiştirilmesi)

Hava kelebeğinde ve hava kelebeği braketinde yapılan değişiklikler dayanım açısından da kontrol edilmiştir. İlgili dayanım ekiplerinin yaptığı modal frekans analizi ve yorulma analizlerinde parçalar üzerinde dayanım açısından bir risk tespit edilmemiştir. Tolerans nedeni ile yapılan tasarımsal değişiklikler kabul edilebilir değerlerdedir.

Hava kelebeğinde ve hava kelebeği braketinde oluşan maksimum gerilim değerleri dayanım sınır şartlarının altında çıkmaktadır. (motor titreşim testi verileri ile de kontrol edilen analiz sonuçlarına göre braket üzerinde vuku bulan (x) Mpa değerindeki maksimum stress değeri (y) Mpa'lık sınır değerinin çok altındadır. Hava kelebeğinde tespit edilen (z) Mpa değerindeki maksimum stress değeri de sınır şartı olan (t)Mpa değerinin altındadır.)

4.5.5 Katalizörde tasarım ve tolerans değişiklikleri

EGR çıkış tüpü için alınan ölçümlerde iki nokta arasındaki sapmaya neden olan en büyük etken katalizördeki Datum-E yüzeyine aittir. Datum-E sonuçlara %22.4 oranında etki etmektedir. Sonuçların iyileştirilmesi amacıyla, Datum-E'ye tanımlanmış olan 4mm'lik yüzey profili toleransının iyileştirilmesi gerekmiştir. İmalatçı ile yapılan çalışmalar sonucunda Datum-E'ye göre 1mm'lik açısallık toleransı eklenmiştir. Açısallık toleransı Datum-A ve Datum-C'ye göre kontrol edilmektedir. Belirtilen değişiklikler ve elde edilen gelişme alttaki iki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.57 : Katalizörde tolerans iyileştirmesi

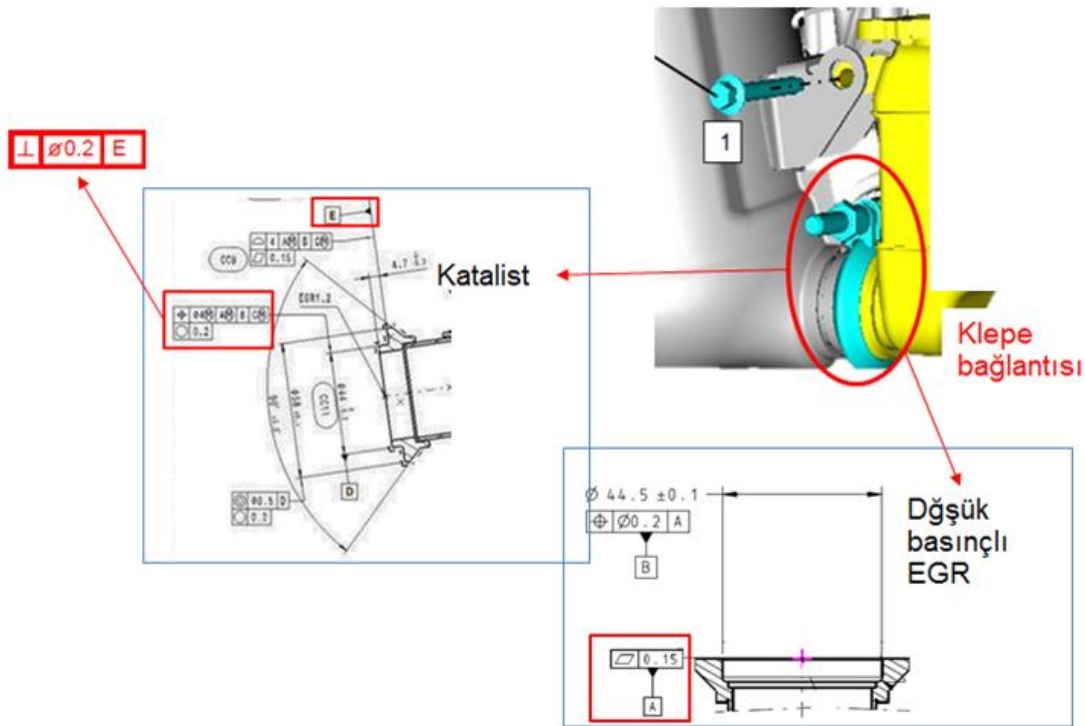
Contributors	Effect	
EXHAUST-HOT END LP EGR - DATUM-E_ _HOT END EXH TO LP EGR_PLANE FLT 0.150 ; SPF 4.000 A B C		22.41%
MULTI FUNCTIONAL BRKT AssemblyOperation_1		15.92%
TURBO CHARGER Assembly_TURBO TO EXH MANIFOLD		10.33%

Contributors	Effect	
MULTI FUNCTIONAL BRKT AssemblyOperation_1		14.04%
EXHAUST-HOT END P EGR - DATUM-E_ _HOT END EXH TO LP EGR_PLANE FLT 0.150 ; SPF 4.000 A B C ; ANG 1.000 A C		12.16%
COMBI VALVE LP EGR OUTLET TUBE - DATUM-L_ _CV TO EGR OUTLET TUBE FLT 0.150 ; SPF 2.000 A B(M) C(M)		11.52%
EXHAUST-HOT END LP EGR - DATUM-F_ _HOT END EXH TO LP EGR_PIN-01 Size: Min: -0.200 Max: 0.000; POS Dia 4.000 (M) A B C ; PER ...		8.85%

Şekil 4.58 : Katalizörde tolerans iyileştirmesinin sonuçlara etkisi

1mm'lik açısallık toleransı , Datum-E'nin etkisini %22.41'den %12.16'ya indirmiştir.

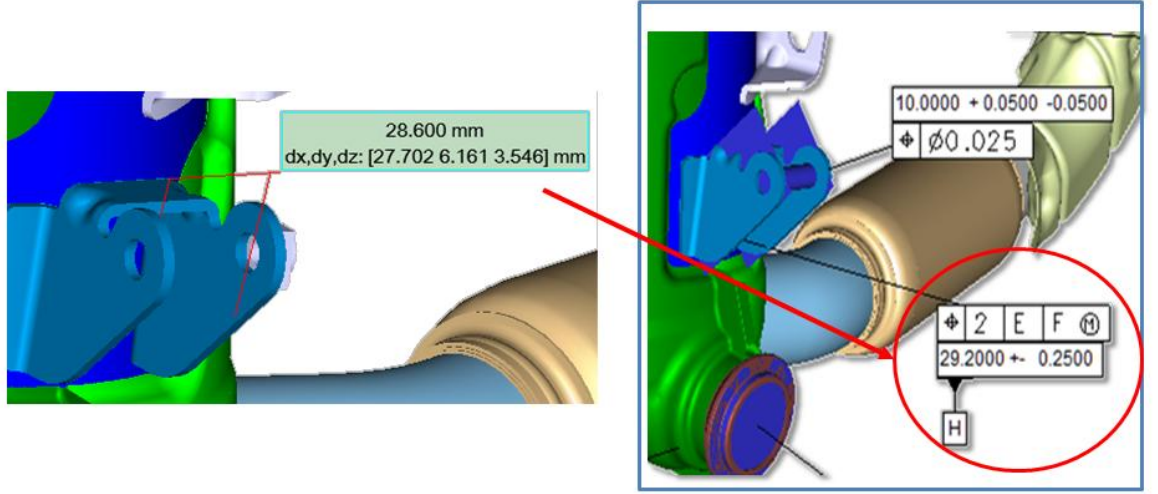
Katalizörün (katalist) klepe bağlantısında da tolerans değişikliğine ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Katalizördeki datum-E yüzeyinin ve EGR'deki datum-A yüzeyinin sızdırmazlık için alın altına basması gerekir. (bu iki yüzey arasında katı conta kullanılmaktadır.) Sızdırmazlığı garanti altına almak amacıyla katalizör flanşındaki pime ait olan dairesellik (circularity) toleransı, datum-E'ye göre diklik toleransı olarak değiştirilmiştir. Değişiklik özetle aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.59 : Dairesellik (circularity) toleransı, datum-E'ye göre diklik toleransı olarak değiştirilmiştir

EGR ve katalizör arasındaki kollu bağlantıda girişim durumu tespit edilmişti. (bkz. madde 8.4.2) “Measurement_Right” ve “Measurement_Left” değerleri hedefleri sağlamıyordu. Tespit edilen problemi çözmek için öncelikle yüksek olan imatlat toleranslarının düşürülmesi için imalatçı ile çalışılmıştır. Fakat, kaynaklı bağlantı içeren ve sac press ile üretilen alt parçaların daha hassas üretilmesinin mevcut üretim yöntemleri ile mümkün olmadığı tespit edilmiştir. Üretim yönteminin değiştirilmesi ise maliyetin yükseltilmesi nlamına geliyordu. Sonuç olarak, tasarım değişikliği ile problemin çözülmesine karar verilmiştir.

Katalizör kolundaki açıklık aşağıda da görülebileceği üzere 28.6mm'den 29.2mm'ye çıkartılmıştır.



Şekil 4.60 : Katalizör kolundaki açıklık 28.6mm'den 29.2mm'ye çıkartılmıştır.

4.5.6 Değişiklikler sonrasında elde edilen sonuçlar

Yapılan düzeltmeler sonrasında tekrar VSA analizi yapılarak sonuçlardaki değişim incelenmiştir. EGR ile katalizör arasındaki kollu bağlantıda hala girişim riski olduğu tespit edilmiştir. Diğer ölçüm sonuçlarının ise hedeflenen değerleri tutturduğu görülmüştür.

Simulasyon sonrasında “process” raporlarından elde edilen veriler çizelge 4.5'deki gibidir:

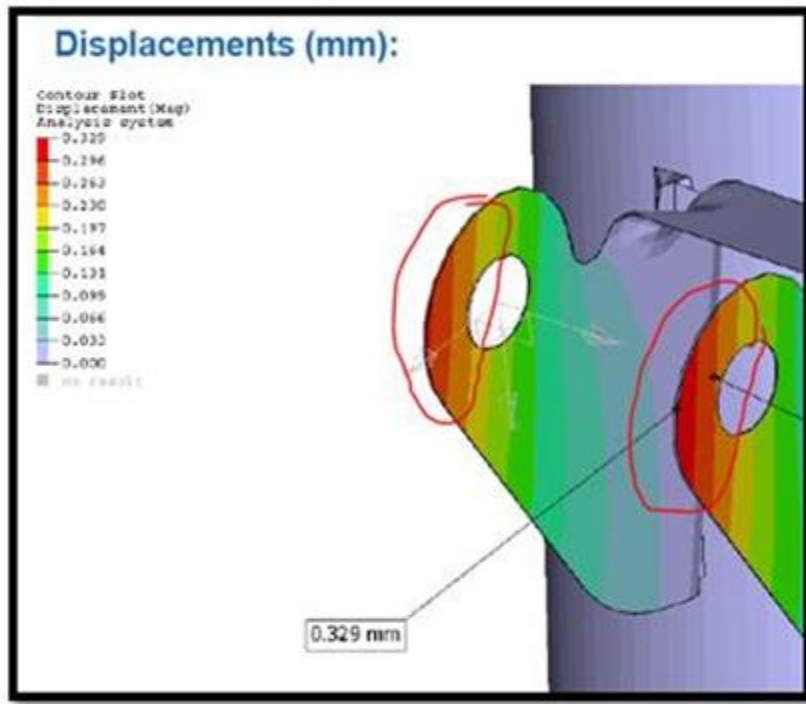
Çizelge 4.3 : Düzeltmeler sonrasında normal dağılım eğrilerinden elde edilen sonuçlar.

	Ölçüm	Nominal (mm)	Cpk	Est. Low (mm)	Est. Out of Spec. Limit %
Hava keleşbeği braketinin silindir kafasına bağlanması	Measurement_1	0.3419	1.111	0.0232	0.0451
	Measurement_2	0.3170	1.124	0.0337	0.0463
EGR kolu ile katalizör kolu arasındaki boşluk	Measurement_Right	0.5904	0.663	-0.3008	1.5678
	Measurement_Left	0.5910	0.716	-0.2344	1.6700
Hava keleşbeğinin hava keleşbeği braketine montajı	Measurement_CV to CV BRKT_1	0.2700	1.295	0.0212	0.0351
	Measurement_CV to CV BRKT_2	0.4700	1.2265	0.0563	0.01859

Yukarıdaki tablo değerlendirilirken dikkat edilmesi gerekenler şu şekilde olmalıdır:

Katalist üzerindeki kollu bağlantıda 29.2mm çıkartılan açıklığın daha fazla arttırılması mümkün değildir. Kollu bağlantıda civata sıkıldığı zaman uygulanan tork, kolların içeriye doğru deforme olmasına neden oluyor. Bu nedenle 29.2mm'lik açıklık dayanım ve yorulma açısından malzemenin sınır koşuluna denk geliyor.

Problemin daha net gözlemlenebilmesi amacıyla, aşağıdaki gibi EGR ve katalist montajını simule eden bir modele ihtiyaç vardır.



Şekil 4.61 : Katalizör kolunda dayanım analizi

Yukarıda gösterilen dayanım analizi, 0.3mm girişim değerinin kabul edilebilir bir değer olduğu göstermiştir.

- ✓ Kulakların 0.3mm esenmesi için uygulanması gereken kuvvet, montaj ve ergonomi koşullarını sağlamak için gerekli olan sınır değer çok altındadır ve kabul edilebilir bir değerdir.
- ✓ Kollar 0.3mm yamultulduğunda plastik deformasyona uğrayacaktır. Fakat, yorulma açısından bir risk teşkil etmemektedir.

Düzeltilme sonrası yeniden yapılan Vis-VSA hesaplaması ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.4 : Düzeltmeler sonrasında normal dağılım eğrilerinden elde edilen sonuçlar.

	Ölçüm	Est.Low (mm)	Est. High (mm)	Est. Range (mm)
EGR çıkış tüpü için EGR ve hava kelebeği arasında alınan ölçümler	LP EGR(X axis)	7,3498	11,4441	4,0942
	Combi Valve (X axis)	42,0609	43,2934	1,2325
	LP EGR (Y axis)	-12,1101	-4,6327	7,4774
	Combi Valve (Y axis)	77,1435	79,1696	2,0261
	LP EGR (Z axis)	-1,1617	3,5069	4,6686
	Combi Valve (Z axis)	290,2276	294,11	3,8823
Hava kanalı için Turbocharger ve hava kelebeği arasında alınan ölçümler	Turbo (X axis)	1325,6686	1327,6879	2,0193
	Combi Valve (X axis)	1325,7196	1327,5856	1,866
	Turbo (Z axis)	866,2775	869,1918	2,9142
	Combi Valve (Z axis)	865,8951	869,5166	3,6215
	Turbo to CV (angle)	178,9454	180,0668	1,1214

Düzeltmeler sonrasında, EGR çıkış tüpünün;

- ✓ Radyal olarak $R = 7.4$ mm esnemesi gerekmektedir.
- ✓ Düşey olarak $\Delta Z = 8.55$ mm (± 4.275 mm) esnemesi gerekmektedir.

Bu değerler, tasarım değişikliği yapılmış olan EGR çıkış tüpü tarafından kolaylıkla karşılanabilecek seviyededir. 12 boğumlu EGR çıkış tüpü , radyal olarak ~20mm ve düşeyde 25.6 mm. (± 12.8 mm) esneme kapasitesine sahiptir.

Düzeltmeler sonrasında, hava kanalındaki radyal deformasyonların $R = 5.4$ mm'den $R = 3.8$ mm'ye indirilmesi sağlanmıştır. Böylece, hava kanalından geçen havanın akış performansını geliştirecek şekilde ilerleme yaşanmıştır.



5. EL HESABI İLE TOLERANS KONTROLÜ

EGR çıkış tüpünün flanş bağlantıları, hava kelebeği braketinin silindir kafasına bağlantısı, hava kelebeğinin hava kelebeği braketine bağlantısı ve EGR kolu ile katalizör kolu arasındaki boşluk matematiksel olarak değerlendirilmiştir. “worst case”, “ σ ” ve “RSS” metodları uygulanarak hesaplama yapılmıştır. Elde edilen sonuçların Vis-VSA ile karşılaştırılabilmesi amacıyla “Est. Low” satırına her 4 metod ile elde edilen sonuçlar girilmiştir. Hesaplama sonuçları çizelge 5.1, çizelge 5.2, çizelge 5.3 ve çizelge 5.4’te paylaşılmıştır.

Yapılan matematiksel hesaplamalarda maksimum malzeme ve float (boşluklu geçme durumunda parçaların kayması durumu) etkileri ihmal edilmiştir. Vis-VSA’da ise bu iki etki de göz önüne alınmıştır.

EGR çıkış tüpünün flanş bağlantılarında el hesabı yapılmış ve sonuçlar Vis-VSA çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Worst case metodu ile elde edilen sonuçların çok emniyetli olması dolayısı ile worst case methodu değerlendirme yapılan dört bağlantı için de girişim sorunu yaşanacağını göstermektedir. (Est. Low değerinin sıfırdan küçük olması girişim riski olduğunu gösterir.). Vis-VSA hesaplaması, σ ve RSS metodlarından daha emniyetli sonuçlar verirken, worst case’den daha yüksek değerler vermektedir. Benzer durum çizelge 5.1, çizelge 5.2 ve çizelge 5.3’de gözlemlenebilir. Bu sonuçlar, şekil 2.2’de belirtilen durum ile uyumluluk gösterirken Vis-VSA’nın daha optimize sonuç verdiğini göstermesi açısından önemlidir.

Çizelge 5.1 : EGR çıkış tüpünün flanş bağlantıları için yapılan hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

EGR çıkış tüpünün flanş bağlantıları									
Ölçüm		Modifikasyona gerek duyulmamıştır							
		Measurement_LP EGR_1		Measurement_LP EGR_2		Measurement_CV to CV BRKT_1		Measurement_CV to CV BRKT_2	
Karakteristik eleman		delik	pim	delik	pim	delik	pim	delik	pim
Boyut (çap)		7	6	7	6	7	6	7	6
Boyut Toleransı (çap)	Minimum	-0,5	0	-0,5	0	-0,5	0	-0,5	0
	Maksimum	0,5	0	0,5	0	0,5	0	0,5	0
Geometrik tolerans (çap)		0,5	0,25	0,5	0,25	0,25	0,3	0,25	0,3
Est. Low (yarıçap)	Worst case	-0,11		-0,11		-0,03		-0,03	
	Vis-VSA	0,05		0,04		0,05		0,05	
	σ metodu	0,09		0,09		0,13		0,13	
	RSS	0,18		0,18		0,18		0,18	

Çizelge 5.2 : Farklı matematiksel modeller ile hava keleşinin hava keleşini braketine montajı hesaplanmıştır.

Hava keleşinin hava keleşini braketine montajı					
Ölçüm		Modifikasyon sonrası			
		Measurement_1		Measurement_2	
Karakteristik eleman		delik	pim	delik	pim
Boyut (çap)		8,4	8	8,8	8
Boyut Toleransı (çap)	Minimum	-0,25	0	-0,25	0
	Maksimum	0,25	0	0,25	0
Geometrik tolerans (çap)		0,2	0,15	0,3	0,15
Est. Low (yarıçap)	Worst case	-0,09		0,064	
	Vis-VSA	0,021		0,056	
	σ metodu	0,020		0,185	
	RSS	0,08		0,25	

Çizelge 5.3 : Farklı matematiksel modeller ile EGR'nin katalizöre montajı (kollu bağlantı) hesaplanmıştır.

EGR'nin katalizöre montajı (kollu bağlantı)					
Ölçüm		Modifikasyon sonrası			
		Measurement_1		Measurement_2	
Karakteristik eleman		delik	pim	delik	pim
Boyut (çap)		28,6	28	29,2	28
Boyut Toleransı (çap)	Minimum	0	-0,25	-0,25	-0,25
	Maksimum	0	0,25	0,25	0,25
Geometrik tolerans (çap)		2	1	2	1
Est. Low (yarıçap)	Worst case	-0,69		-0,51	
	Vis-VSA	-0,55		-0,3	
	σ metodu	-0,39		-0,18	
	RSS	-0,32		-0,03	

Hava keleşeği braketinin silindir kafasına montajı farklı matematiksel yöntemler ile hesaplanmış ve sonuçlar çizelge 5.4'e aktarılmıştır. Buradan elde edilen Vis-VSA sonuçları, yukarıdaki üç çizelgede paylaşılmış olan sonuçlara göre farklılık göstermektedir. Çünkü, yukarıdaki bağlantılar aynı çap ve toleranstaki iki deliğın iki pime montajını içerirken; çizelge 5.4'teki hesaplama, montajın daha hassas bir şekilde yapılmasını gerektirdiğı için ilk delik daha dar, ikinci delik ise daha tutularak yapılmıştır. (İkinci delik oluklu deliktir.) Dar olan delikte Vis-VSA sonuçları yine σ metoduna yakın sonuç verirken, ikinci delikte RSS metoduna yakın sonuçlar vermektedir.

Çizelge 5.4 : Hava keleşeği braketinin silindir kafasına montajında el hesabının yapılması.

Hava keleşeği braketinin silindir kafasına montajı									
Ölçüm		Modifikasyonöncesi				Modifikasyon sonrası			
		Measurement_1		Measurement_2		Measurement_1		Measurement_2	
Karakteristik eleman		delik	pim	delik	pim	delik	pim	delik	pim
Boyut (çap)		8,25	8	8,5	8	8,55	8	8,5	8
Boyut Toleransı (çap)	Minimum	-0,1	0	-0,1	0	-0,1	0	-0,1	0
	Maksimum	0,1	0	0,4	0	0,1	0	0,4	0
Geometrik tolerans (çap)		0,25	0,5	0,25	0,5	0,25	0,5	0,25	0,5
Est. Low (yarıçap)	Worst case	-0,29		-0,16		-0,14		-0,16	
	Vis-VSA	-0,13		0,03		0,02		0,034	
	σ metodu	-0,14		-0,02		0,01		-0,02	
	RSS	-0,10		0,03		0,05		0,028	

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Vis-VSA sonuçlarını değerlendirmek amacıyla 5. bölümde el hesaplaması yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma incelendiğinde Vis-VSA'nın tutarlılık gösterdiği ve daha optimize bir sonuçverdiği gözlemlenmektedir.

EGR paketinde yapılan değişikliklerin test edilmesi için ilk örnekler üretilmiş ve 30 montaj gerçekleştirilmiştir. 30 denemenin de sorunsuz gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Seri üretim kalıplarının hazırlanmasından önce gerçekleştirilen böyle bir çalışmanın maliyet açısından büyük bir kazanım getireceği aşikardır.

Rekabet düzeyi yüksek olan otomotiv sektöründe müşteri memnuniyetini yüksek, maliyetleri ise minimum seviyede tutmak zorunluluktur. Doğru tolerans hesaplamaları ile kalıp maliyetlerinin düşürülmesi mümkündür. Bu nedenle tolerans hesaplamalarının daha tasarım aşamasında yapılması, toleranssal kalite sorunlarının seri üretim kalıpları yapılmadan önce çözülmesi çok önemlidir.

Hesaplama programları aracılığı ile üç boyutlu varyasyon simulasyon analizinin gerçekleştirilmesi tolerans hesaplamasının hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamakta ve hata oranını düşürmektedir.

EGR çıkış tüpü gibi elastiklik göstermesi gereken parçaların minimumda ne kadar esnemesi gerektiği tolerans hesaplamaları ile belirlenebilir. Otomobillerin çalışması sırasında meydana gelen sıcaklık farklılıkları elastik parçayı yüksek oranda etkiliyorsa tolerans bindirmesi etkilerinin termal genişleme etkileri ile birlikte ele alınması optimum sonuca ulaşmayı garanti altına alabilir.



KAYNAKLAR

- [1]**Chase K. W. & Parkinson A. R.** A Survey of Research in the Application of Tolerance Analysis to the Design of Mechanical Assemblies, 1991 (Research in Engineering Design, Vol. 3.). pp 23-37
- [2]**Gerth R.** Tolerance Analysis: A Tutorial of Current Practice, Advanced Tolerancing Techniques, Zhang H. (Editor), 1997 (Wiley Interscience, New York).
- [3]**Gerth R. & Hancock W. M.** Reduction of the Output Variation of Production Systems Involving a Large Number of Processes, 1995 (Quality Engineering, Vol. 8, No.1). pp 145-163
- [4]**Swift K. G. & Booker J. D.** Conformability Analysis – Version 1.1, 1998 (Department of Engineering Design & Manufacture, University of Hull).
- [5]**Swift K. G., Raines M. & Booker J. D.** Design Capability and the Costs of Failure, 1997 (IMEchE Proceedings Part ‘B’, Vol. 211, No. 5). pp 409-423
- [6]**Craig M.** Controlling the Variation, 1992 (Manufacturing Breakthrough, Nov/Dec).
- [7]**Wu Z., Elmaraghy W. H. & Elmaraghy H. A.** Evaluation of Cost-Tolerance Algorithms for Design Tolerance Analysis and Synthesis, 1988 (Manufacturing Review, Vol. 1, No. 3, October). pp 168-179
- [8]**Vasseur H., Kurfess T. R. & Cagan J.** A Decision-Analytic Method for Competitive Design for Quality, 1992 (DE- Vol. 44-1, Advances in Design Automation - Volume 1, ASME).
- [9]**Chase K. W. & Greenwood W. H.** Design Issues in Mechanical Tolerance Analysis, 1988 (Manufacturing Review, Vol. 1, No. 1, March). pp 50-59
- [10]**Lin S-S, Wang H-P & Zhang C.** Optimal Tolerance Design for Integrated Design, Manufacturing and Inspection with Genetic Algorithms, Advanced Tolerancing Techniques, Zhang H. (Editor), 1997 (Wiley Interscience, New York).
- [11]**K. G. Swift, M. Raines and J. D. Booker,** Allocating Capable Tolerances in Assembly Stack Design, SAE Technical Paper Series, 1999-01-0053
- [12]**Martin Raines, Ken Swift and Don Day,** A Methodology for Process Capability Tolerancing, <http://www.tec-ease.com/pct-article-methodology.php>
- [13] **David Santos Baião & Dennis Alberto Baião & Dan Lange,** Definition of Engine Belt Length using the Statistic Dimensional Variation and Assembly Variation of Front Engine Accessories Drive, SAE TECHNICAL PAPER SERIES E,2011-36-0059,
- ASME Y14.5, (2009),** Dimensioning_and_Tolerancing, American Society of Mechanical Engineers

Lowell W. Foster, THE METRIC APPLICATION OF GEOMETRIC DIMENSIONING AND TOLERANCING TECHNIQUES

Kenneth W. Chase, Tolerance Allocation Methods for Designers, ADCATS Report No. 99-6, Department of Mechanical Engineering, Brigham Young University, 1999

K. G. Swift, M. Raines and J. D. Booker, Department of Engineering Design and Manufacture, University of Hull and **R. Batchelor**, Lucas Automotive Electronics, Ltd. , Allocating Capable Tolerances in Assembly Stack Design, SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 1999-01-0053,

Mohammad R. Movahhedy and Saeed Khodaygan, School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 2007-01-0407, Tolerance Analysis of Mechanical Assemblies with Asymmetric Tolerances

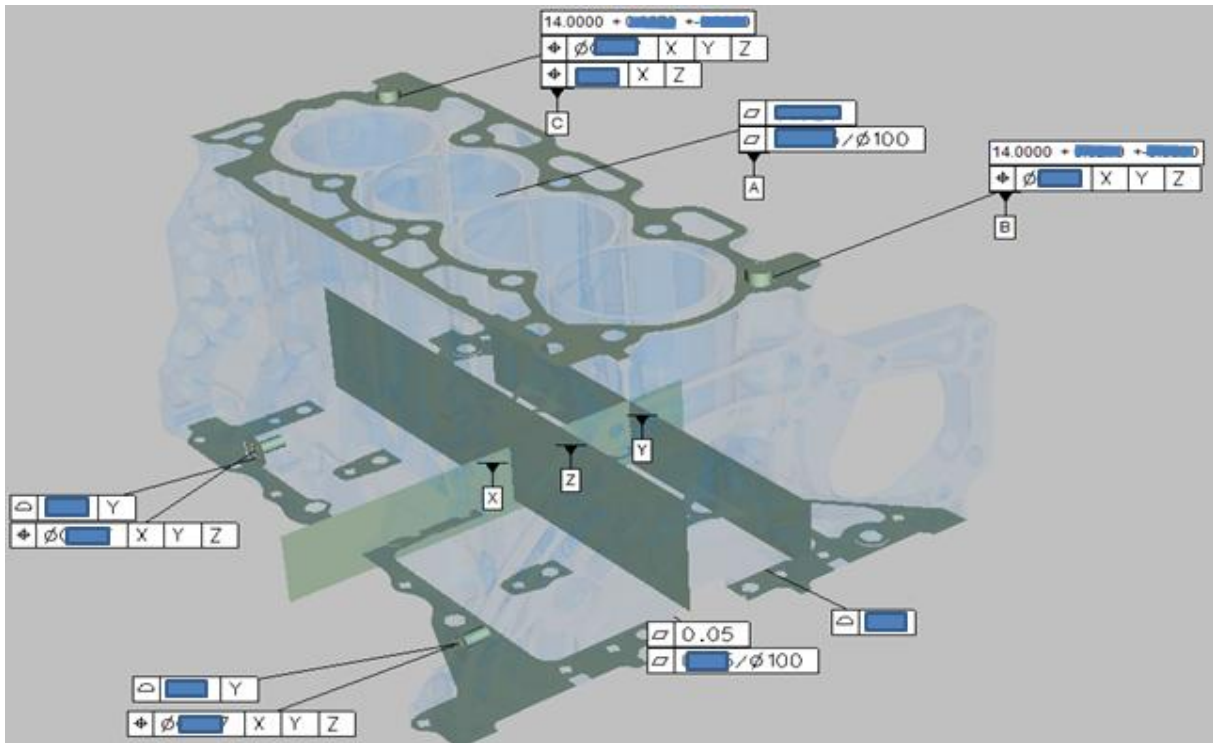
). *Schindler's list* [Motion picture]. California : Universal Picture.

EKLER

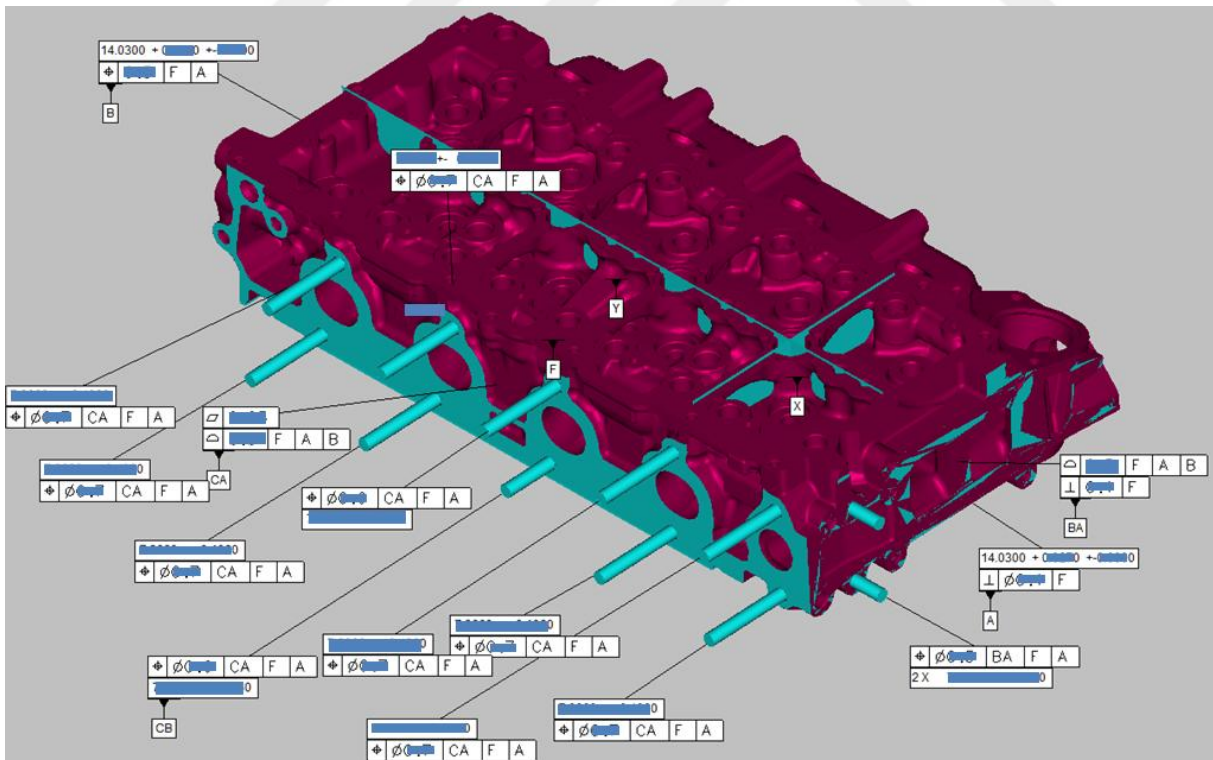
EK A: Vis-VSA'da tanımlanan karakteristikelemanlar



EK A

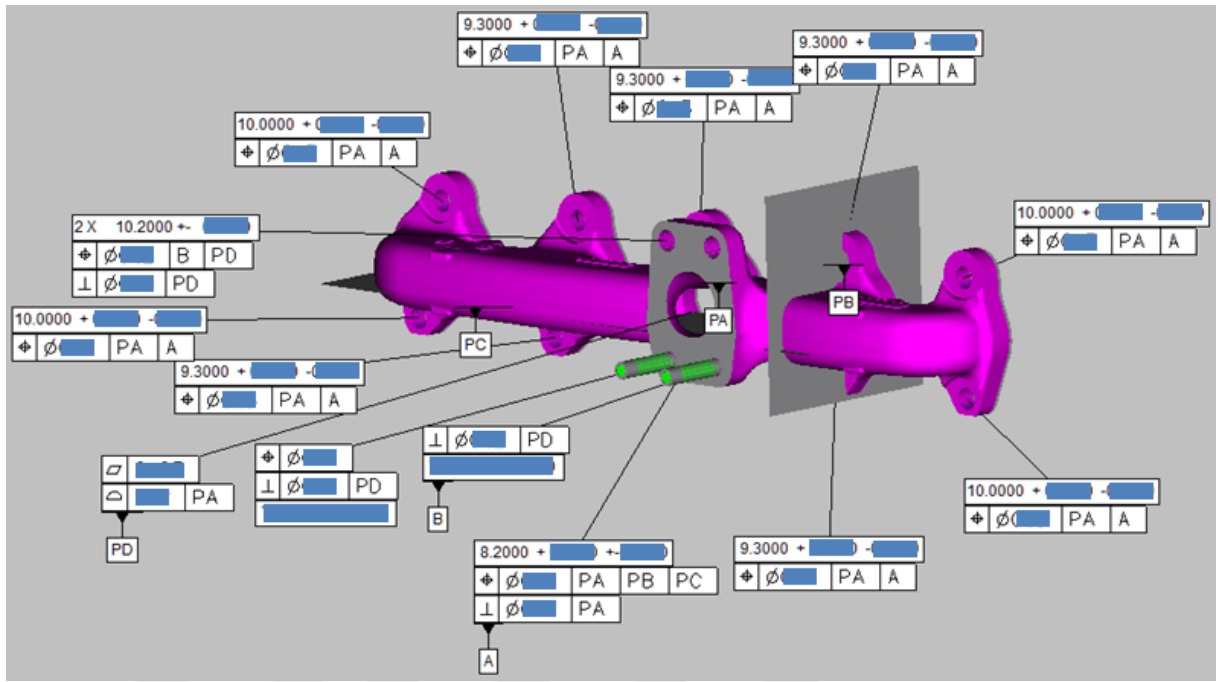


(a)

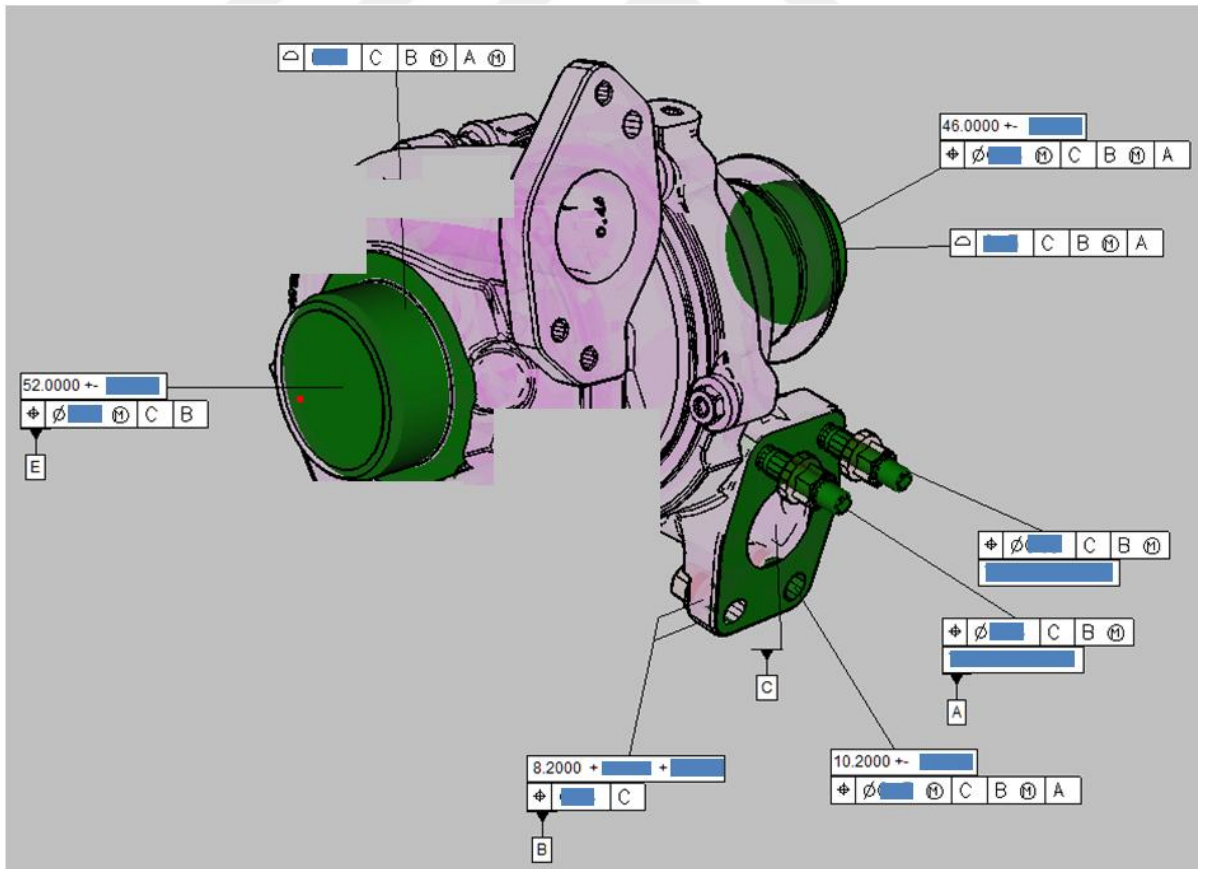


(b)

Karakteristik elemanlar: (a)silindir bloğu (b)silindir kafası

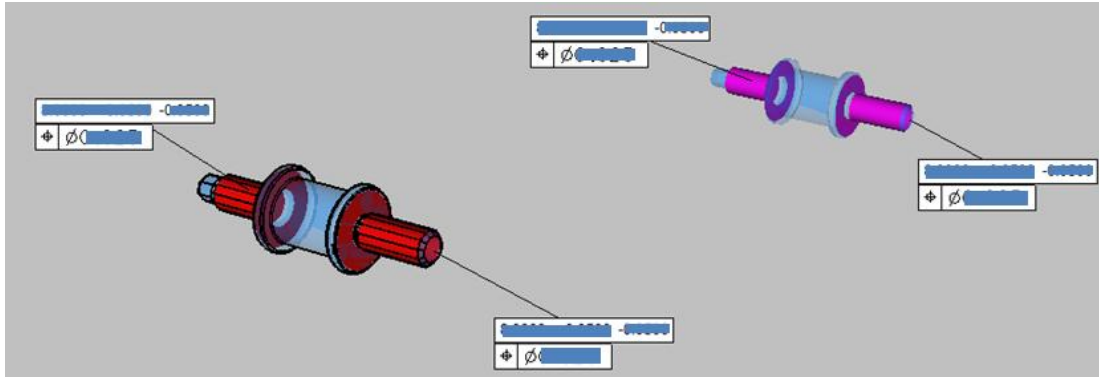


(c)

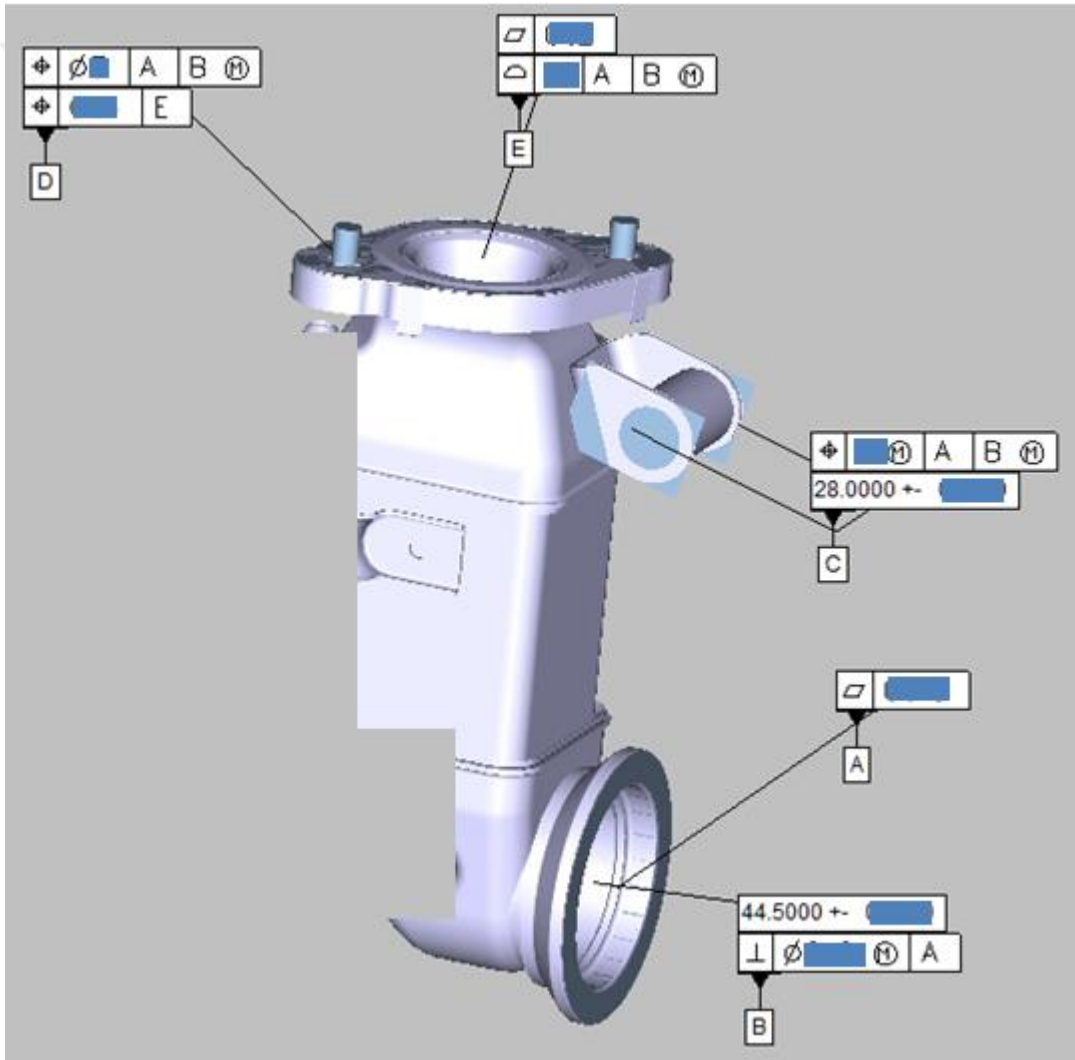


(d)

Karakteristik elemanlar: (c)egzoz manifoldu (d) turbocharger

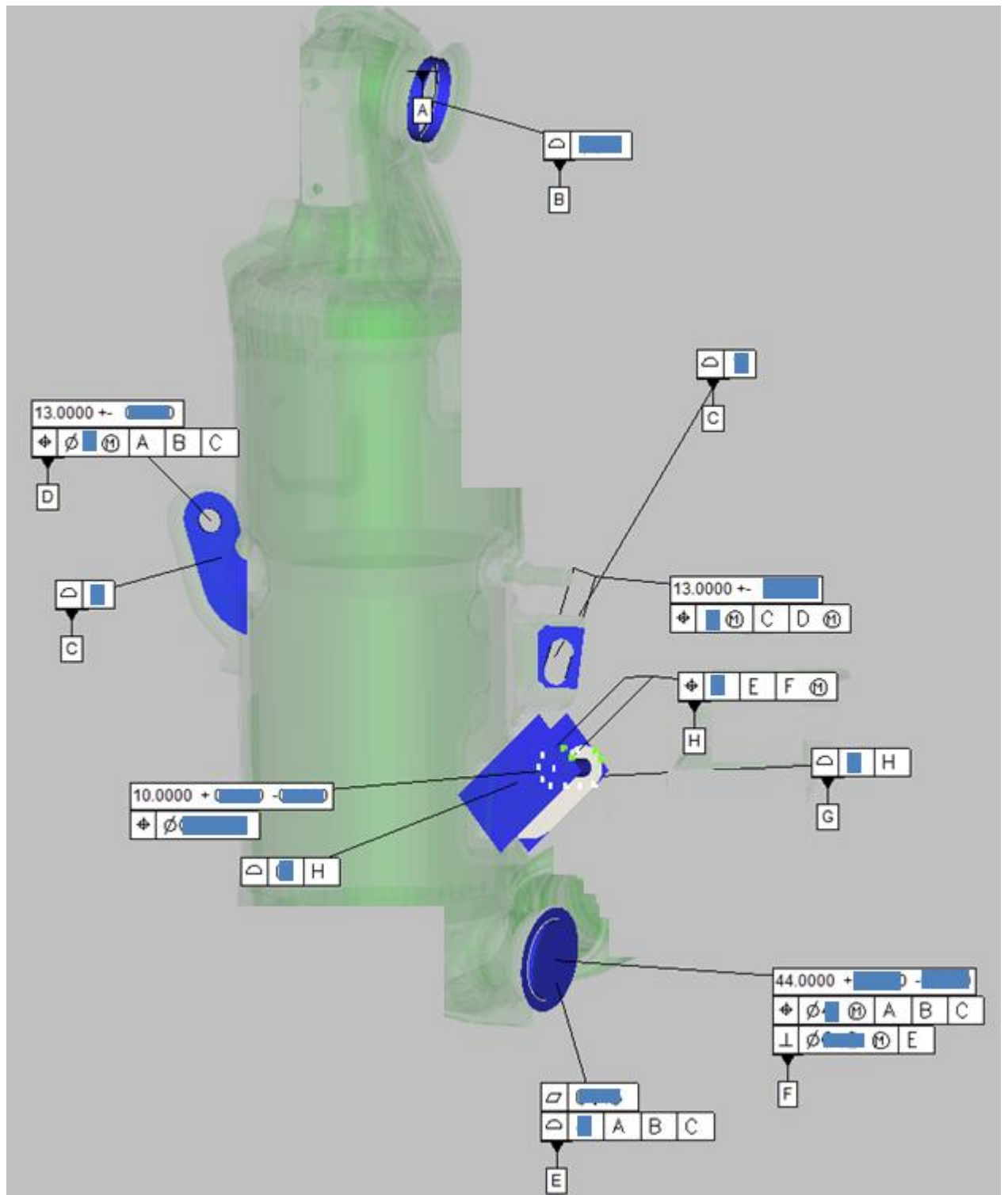


(e)



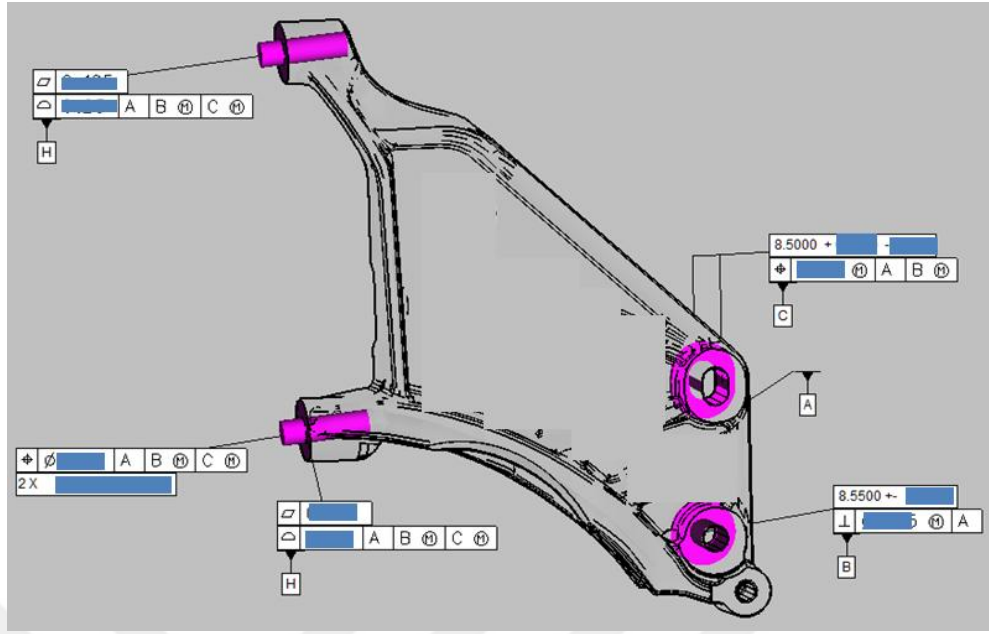
(f)

Karakteristik elemanlar: (e)saplamalar. (f) EGR

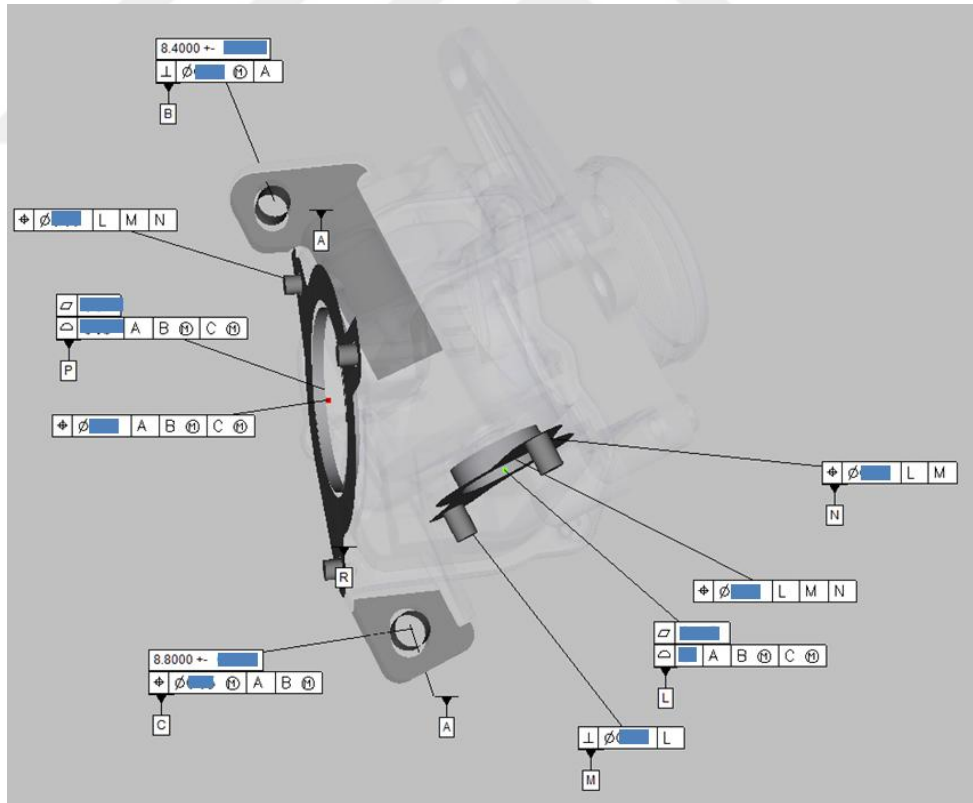


(g)

Karakteristik elemanlar: (g)katalizör



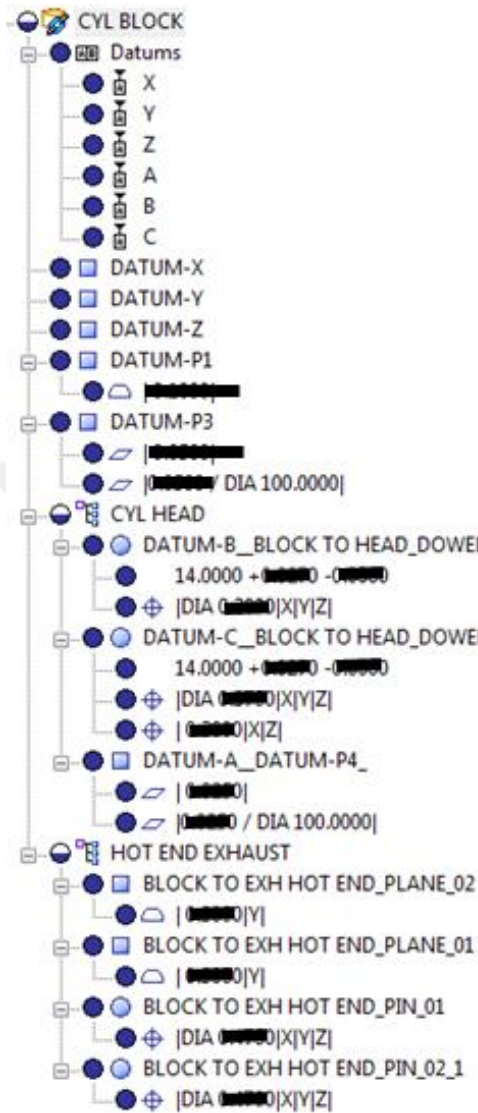
(h)



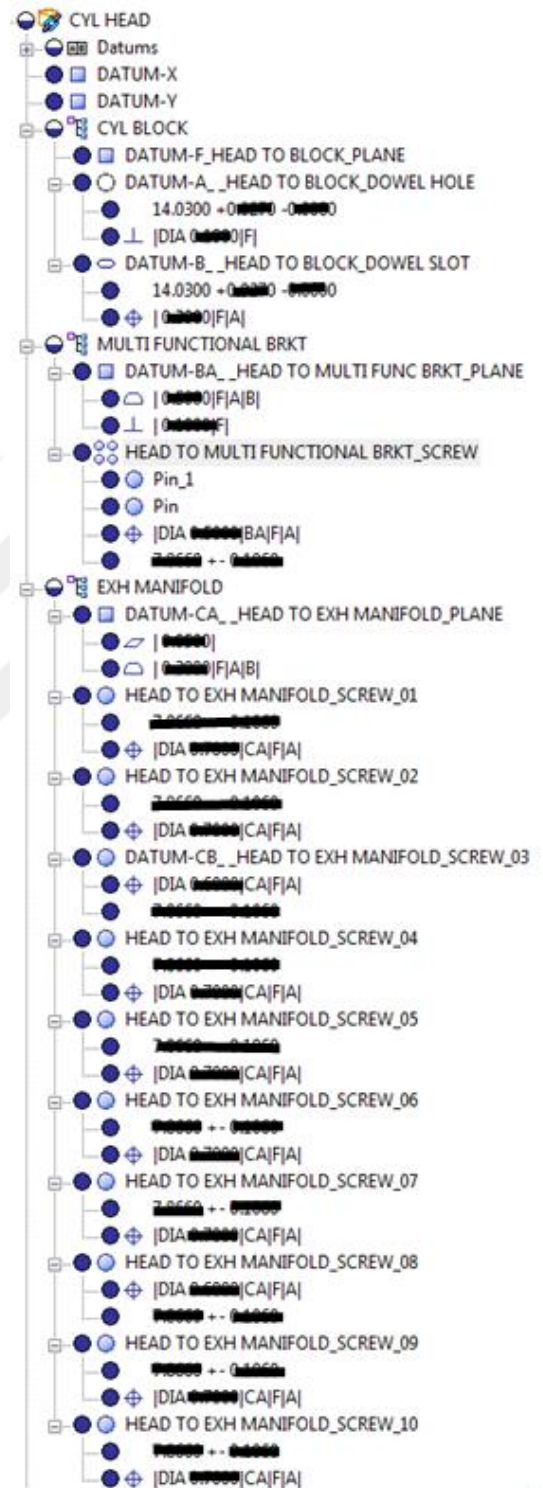
(i)

Karakteristik elemanlar: (h)hava keleşi braketi (i) hava keleşi

EK B

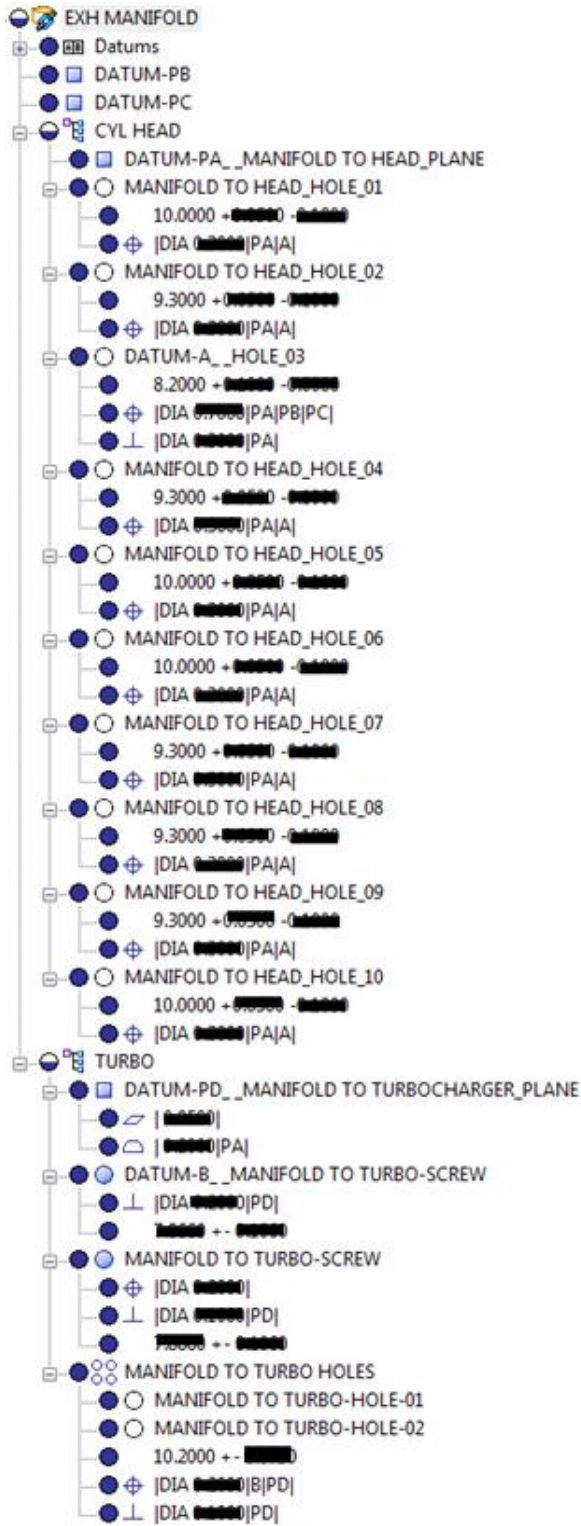


(a)

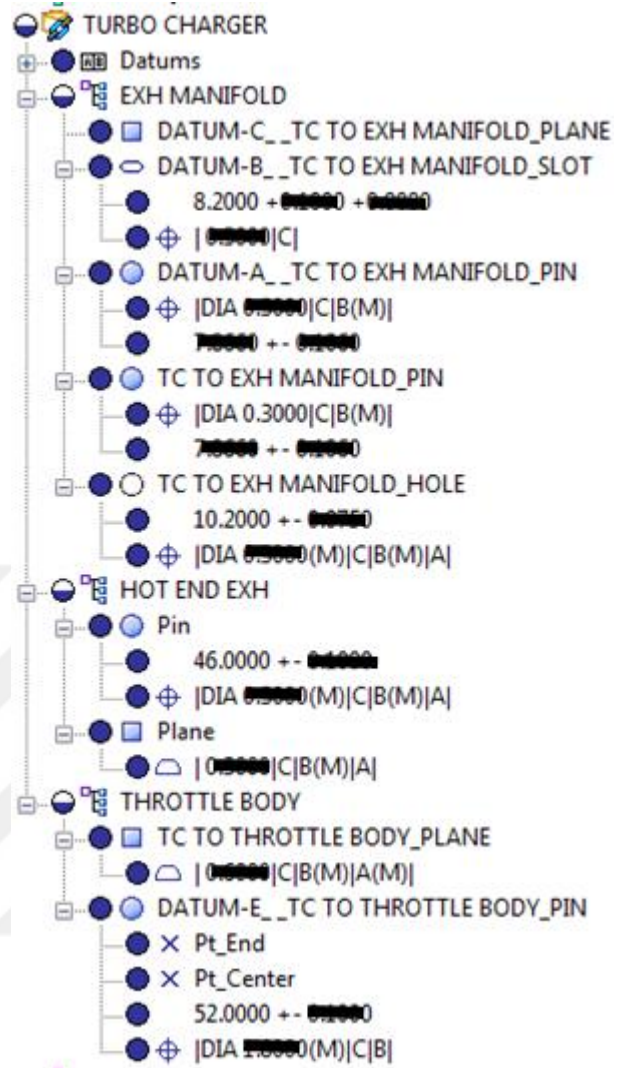


(b)

Karakteristik elemanlar: (a)silindir bloğu. (b)silindir kafası

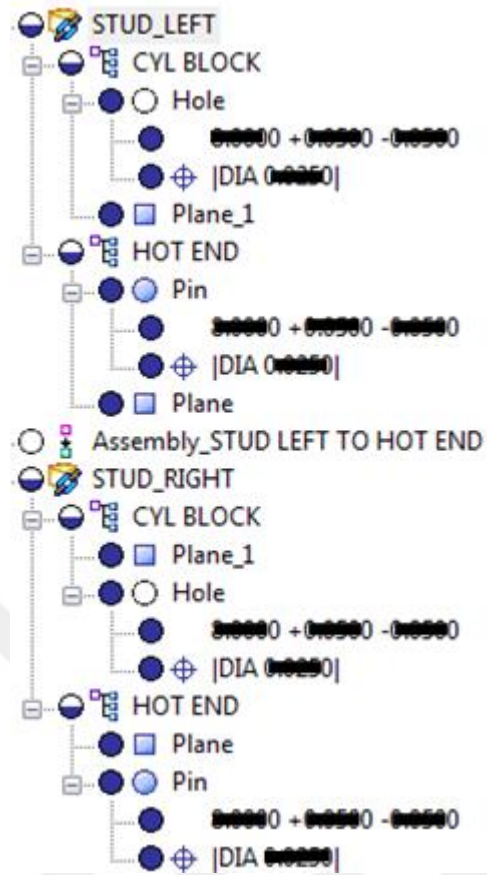


(c)

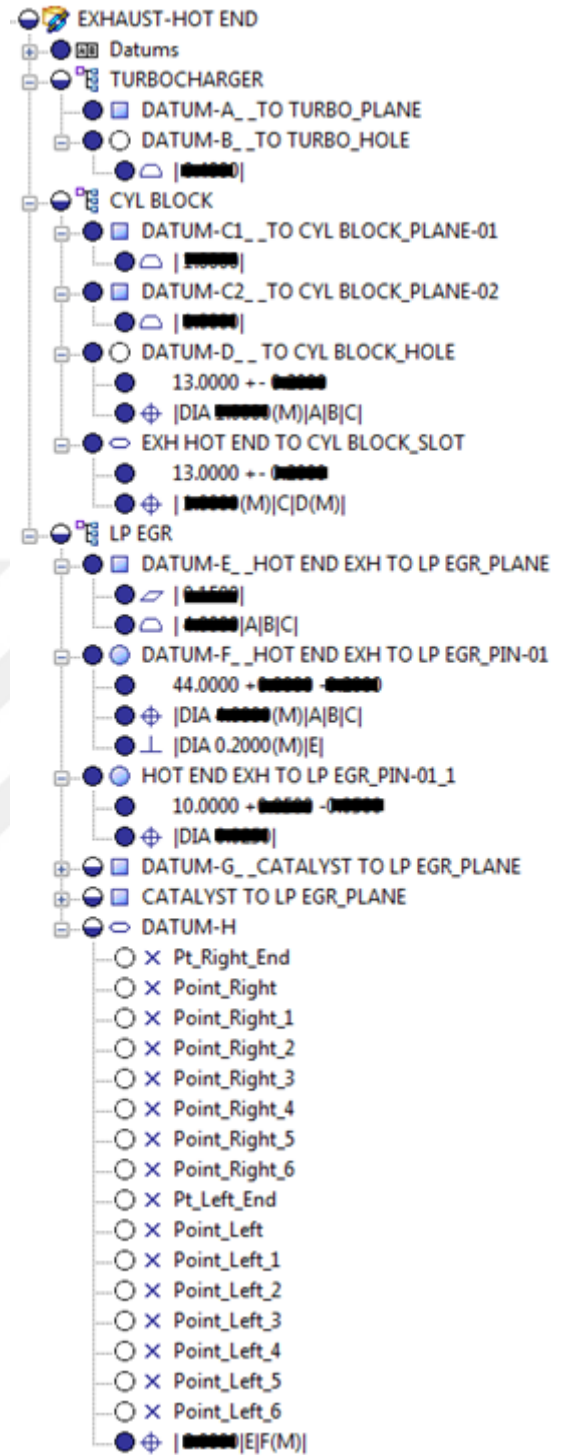


(d)

Karakteristik elemanlar: (a)egzoz manifoldu (b) turbocharger

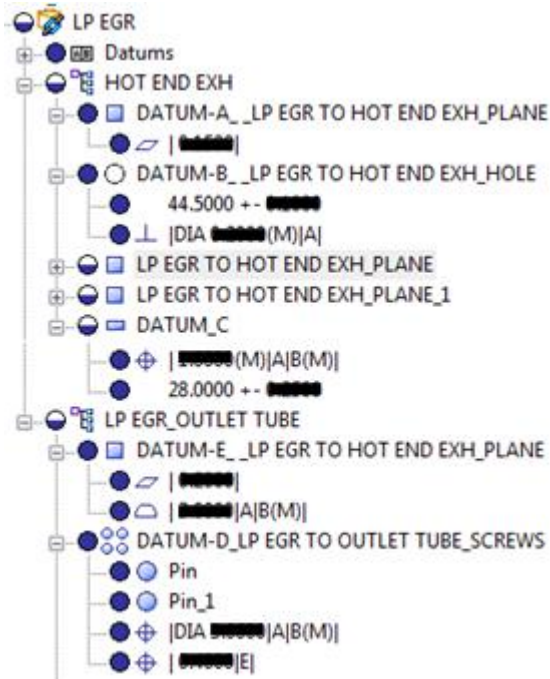


(e)

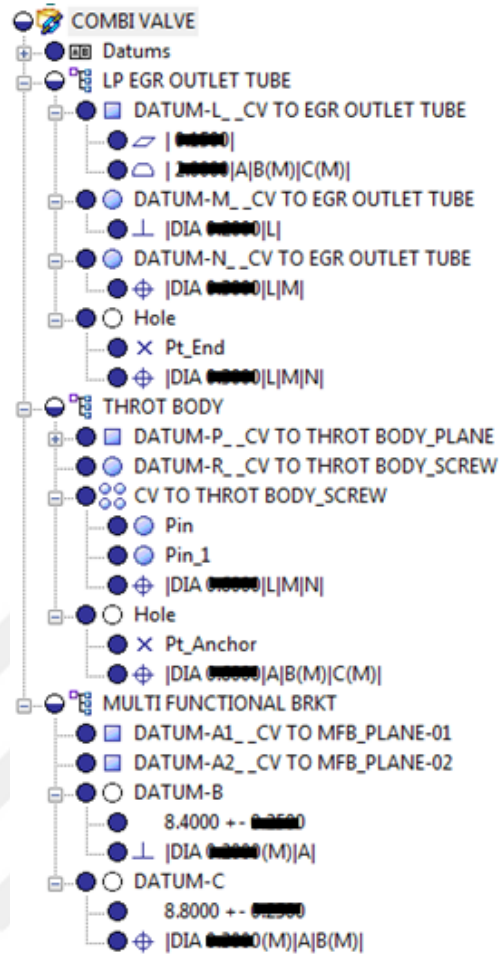


(f)

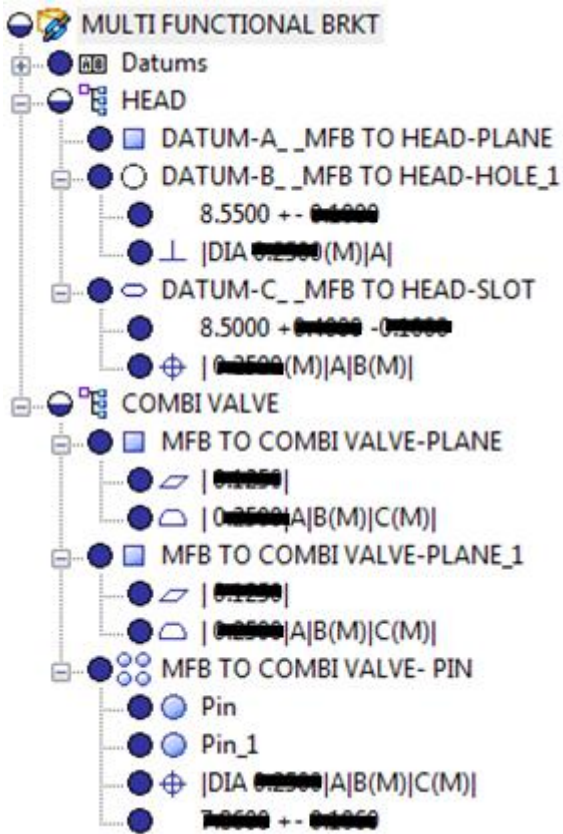
Karakteristik elemanlar: (e)saplamalar (f) katalizör



(g)



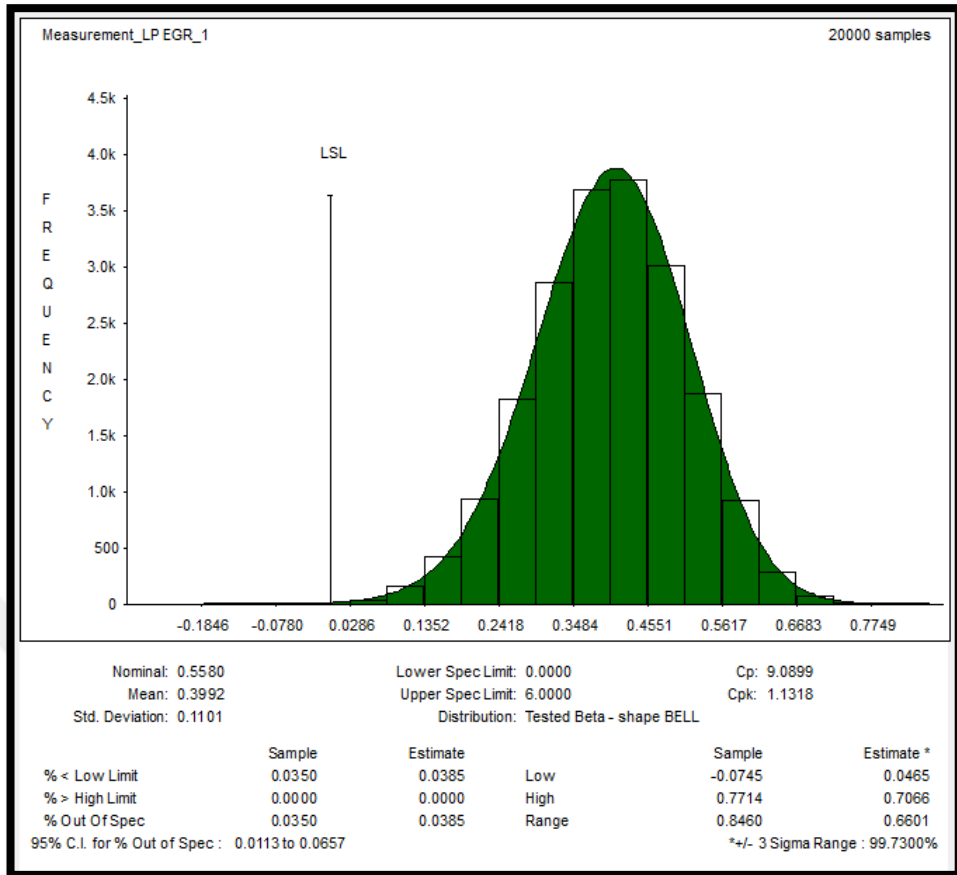
(i)



(h)

Karakteristik elemanlar: (g) EGR (h) hava kelebeği braketi (i) hava kelebeği

EK C



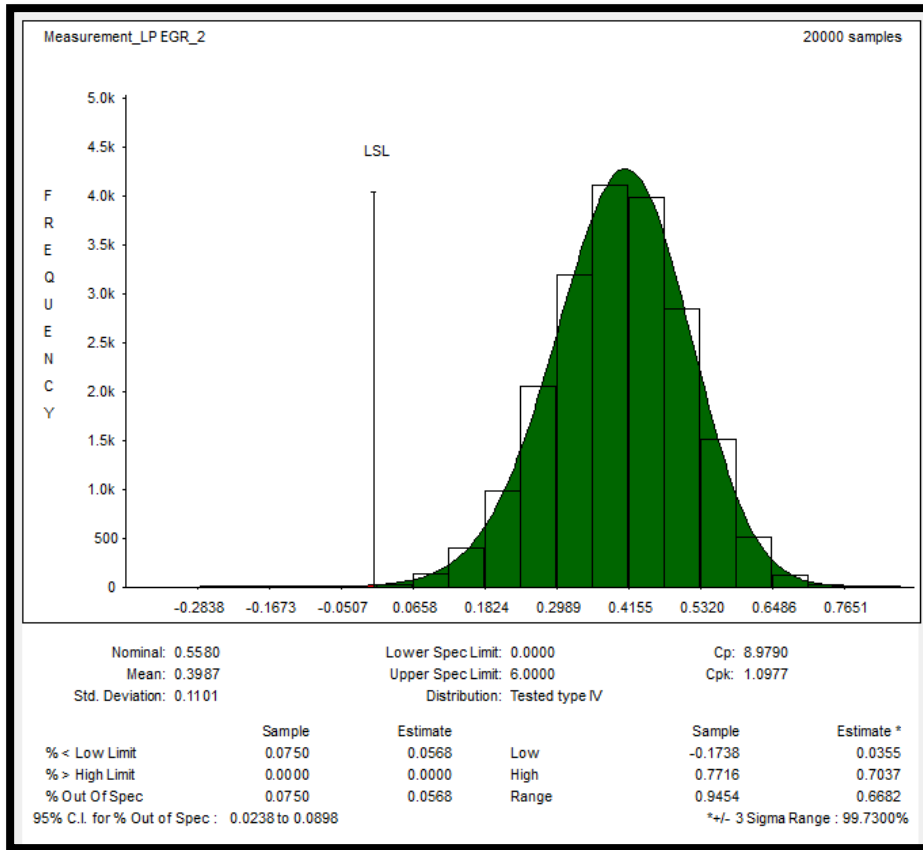
Measurement_LP EGR_1

Nominal : 0.5580
Process Variance : 0.0121
HLM Variance : 0.0169

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. LP EGR-OUTLET TUBE - DATUM-B__TUBE TO LP EGR_HOLE - Hole -> Size: Min: -> Location: -> Size:	0.6085	N/A	60.98% 11.53% 49.46%
2. LP EGR - DATUM-D LP EGR TO OUTLET TUBE SCREWS - Pin -> POS -> Location: -> Orientation: POS Dia 0.250 E -> Size:	0.3520	N/A	20.41% 0.85% 17.67% 1.89%
3. LP EGR-OUTLET TUBE - DATUM-B__TUBE TO LP EGR_HOLE - Hole_1 -> Size: Min: -> Location:	0.3258	N/A	17.49% 17.49%
4. LP EGR - DATUM-D LP EGR TO OUTLET TUBE SCREWS - Pin_1 -> POS -> Location: -> Orientation:	0.0795	N/A	1.04% 0.38% 0.66%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



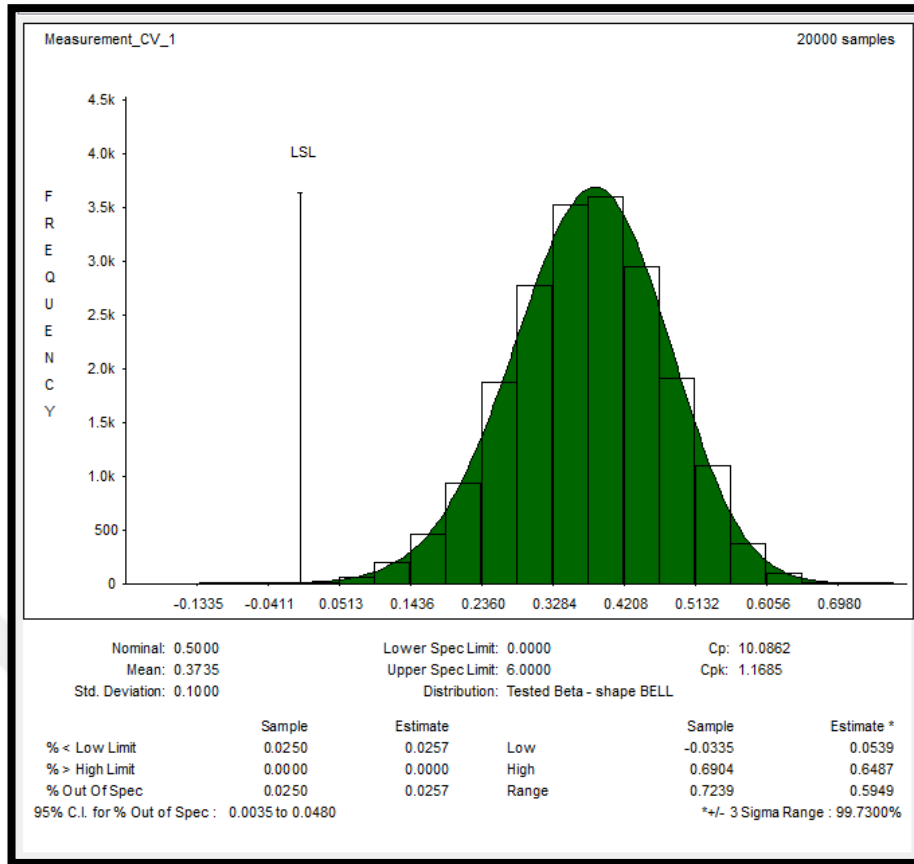
Measurement_LP EGR_2

Nominal : 0.5580
Process Variance : 0.0121
HLM Variance : 0.0169

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. LP EGR-OUTLET TUBE - DATUM-B TUBE TO LP EGR HOLE - Hole 1 -> Size: -> Location: -> Size:	0.6085	N/A	60.97% 11.52% 49.45%
2. LP EGR - DATUM-D LP EGR TO OUTLET TUBE SCREWS - Pin 1 -> POS -> Location: -> Orientation: -> Size:	0.3521	N/A	20.42% 0.85% 17.67% 1.89%
3. LP EGR-OUTLET TUBE - DATUM-B TUBE TO LP EGR HOLE - Hole -> Size: -> Location:	0.3258	N/A	17.48% 17.48%
4. LP EGR - DATUM-D LP EGR TO OUTLET TUBE SCREWS - Pin -> POS -> Location: -> Orientation:	0.0796	N/A	1.04% 0.38% 0.66%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



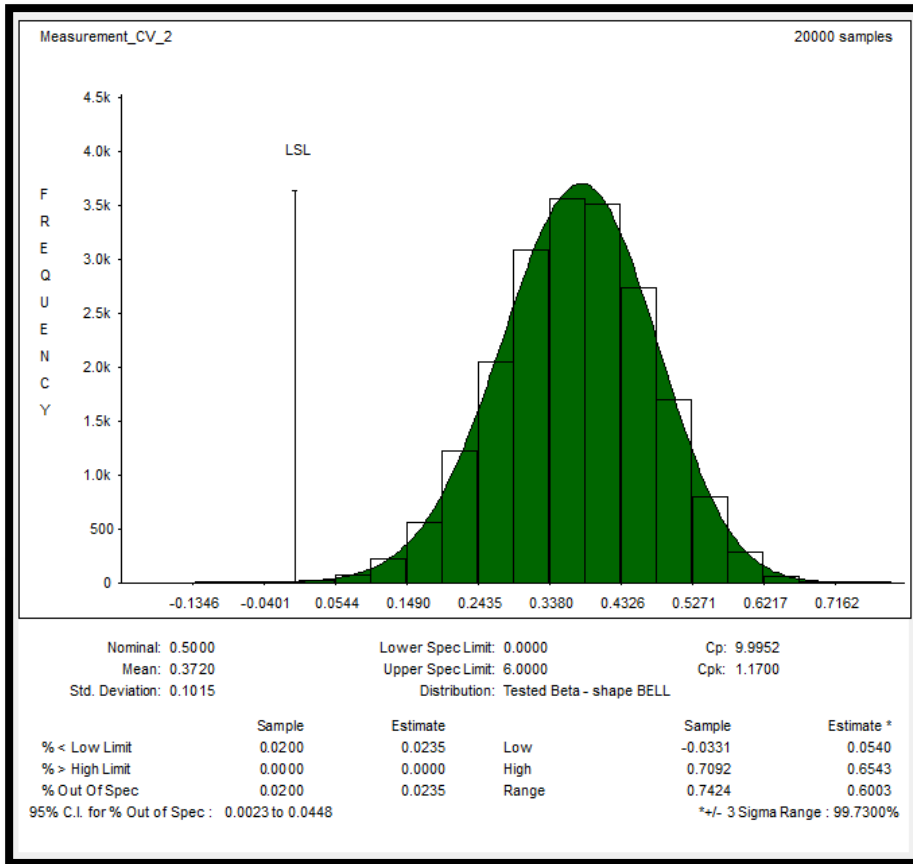
Measurement_CV_1

Nominal : 0.5000
Process Variance : 0.0100
HLM Variance : 0.0134

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. LP EGR-OUTLET TUBE - TUBE TO COMBI VALVE_HOLE - Hole -> Size: -> Location: -> Size:	0.5623	N/A	65.33% 8.01% 57.32%
2. LP EGR-OUTLET TUBE - TUBE TO COMBI VALVE_HOLE - Hole_1 -> Size: -> Location: POS Dia 0.250 (M) C	0.3115	N/A	20.04% 20.04%
3. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - DATUM-B__CV TO EGR OUTL... -> PER -> Orientation:	0.2540	0.8467	13.33% 13.33%
4. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - DATUM-C__CV TO EGR OUTL... -> POS -> Location: -> Orientation:	0.0747	0.2491	1.15% 0.77% 0.38%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



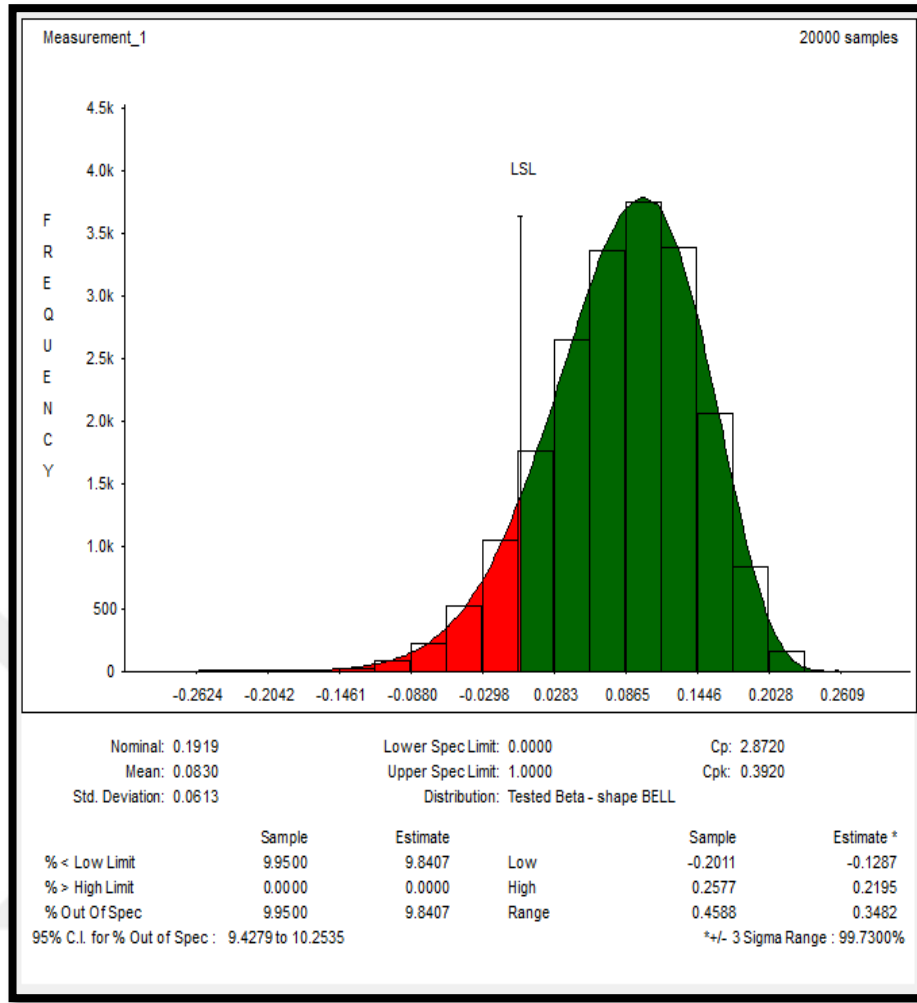
Measurement_CV_2

Nominal : 0.5000
Process Variance : 0.0103
HLM Variance : 0.0134

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. LP EGR-OUTLET TUBE - TUBE TO COMBI VALVE_HOLE - Hole_1	0.5623	N/A	65.71%
-> Size:			8.05%
-> Location:			57.66%
-> Size:			
2. LP EGR-OUTLET TUBE - TUBE TO COMBI VALVE_HOLE - Hole	0.3115	N/A	20.16%
-> Size:			20.16%
-> Location:			
3. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - DATUM-C__CV TO EGR OUTL...	0.2541	0.8471	13.42%
-> POS			1.07%
-> Location:			12.35%
-> Orientation:			

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları

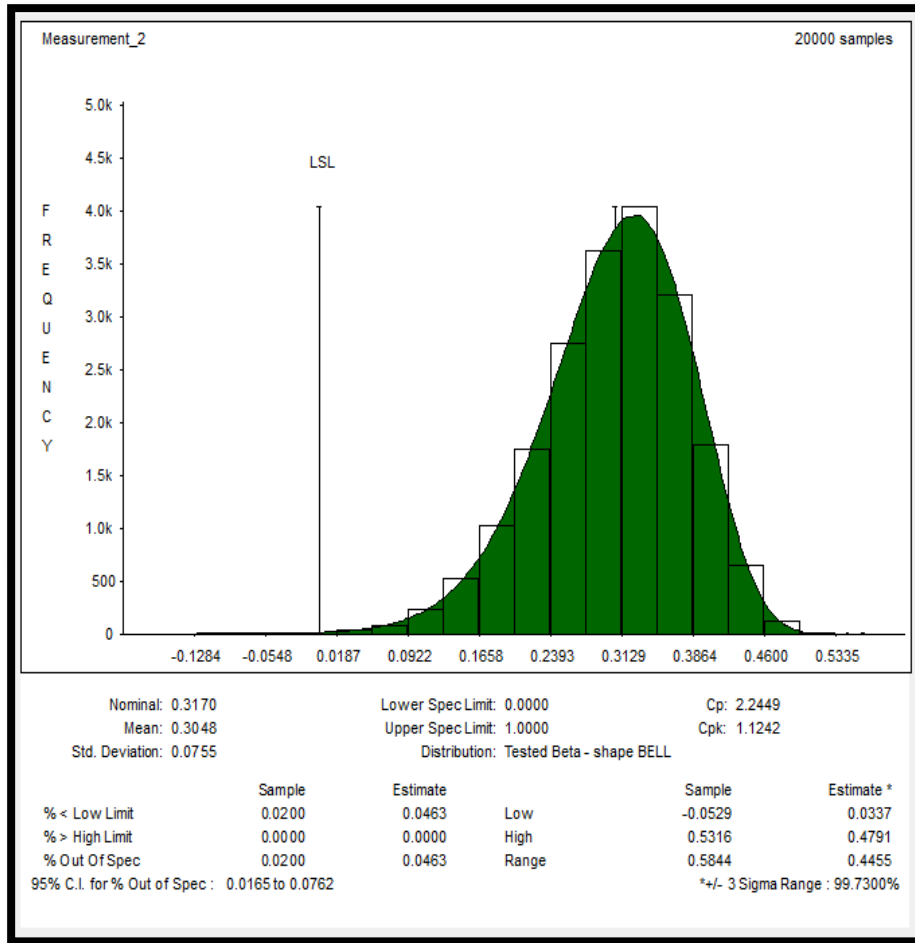


Measurement_1 ☒ Show Effect, Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 0.1919
Process Variance : 0.0038
HLM Variance : 0.0046

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin_1 -> POS ; Size:	0.3398	N/A	69.90%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - HEAD - DATUM-B__MFB TO HEAD-HOLE_1 -> Size: ; PER	0.2227	N/A	30.04%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



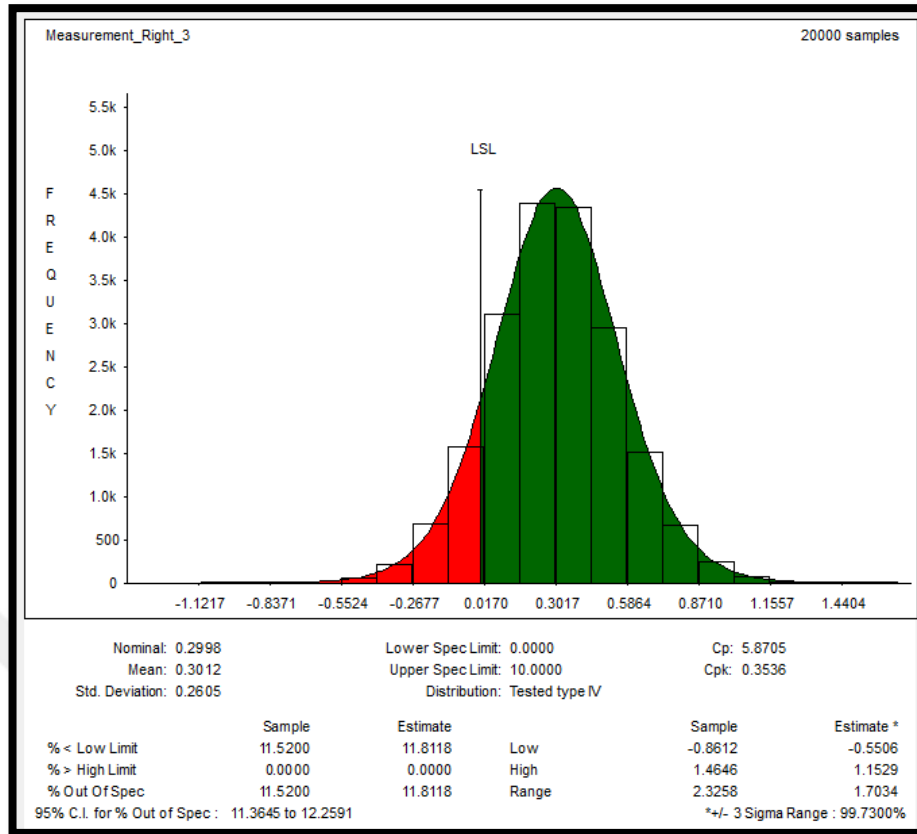
Measurement_2

Nominal : 0.3170
Process Variance : 0.0057
HLM Variance : 0.0071

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. MULTI FUNCTIONAL BRKT - HEAD - DATUM-C_MFB TO HEAD-SLOT -> Size: POS	0.3721	N/A	54.35%
2. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin -> POS ; Size:	0.3410	N/A	45.53%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları

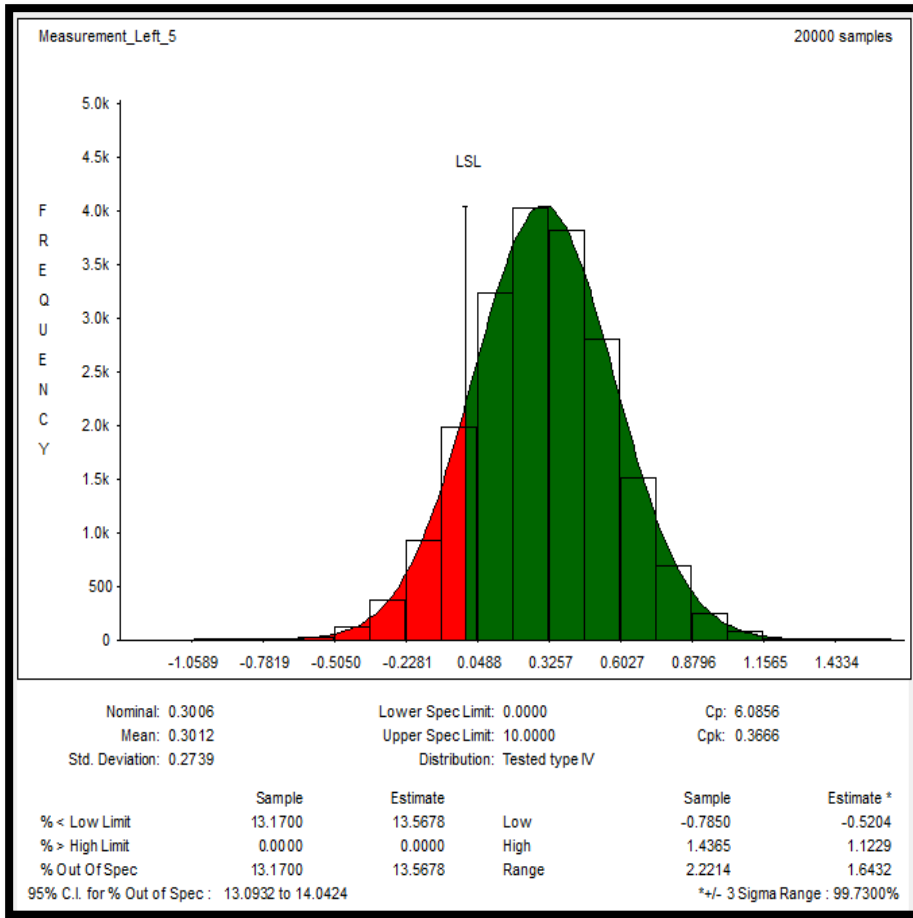


Measurement_Right_3 ☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 0.2998
Process Variance : 0.0679
HLM Variance : 0.1541

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. LP EGR - HOT END EXH - DATUM_C -> POS ; Size:	1.6909	N/A	51.54%
2. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-H -> POS	1.5072	0.7536	40.95%
3. EXHAUST-HOT END - DRF Op: [E/F(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	6.94%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



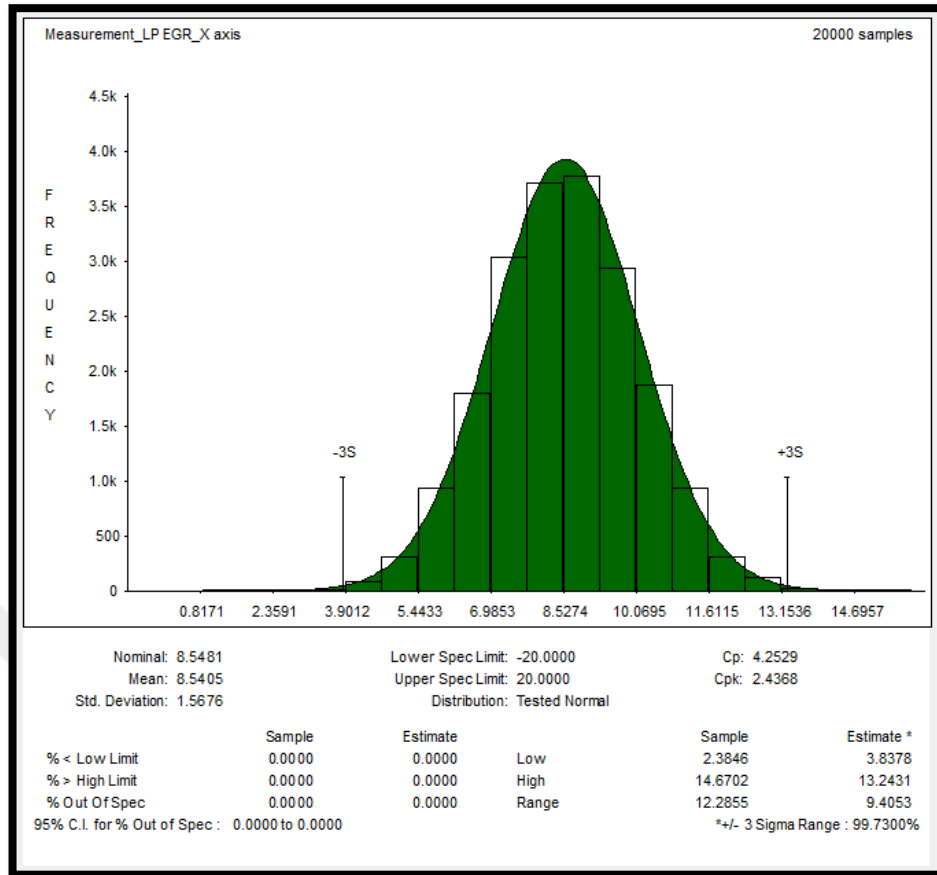
Measurement_Left_5

Nominal : 0.3006
Process Variance : 0.0750
HLM Variance : 0.1487

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. LP EGR - HOT END EXH - DATUM_C -> POS ; Size:	1.9765	N/A	72.99%
2. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-H -> POS	0.8690	0.4345	14.11%
3. EXHAUST-HOT END - DRF Op: [E F(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	12.33%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



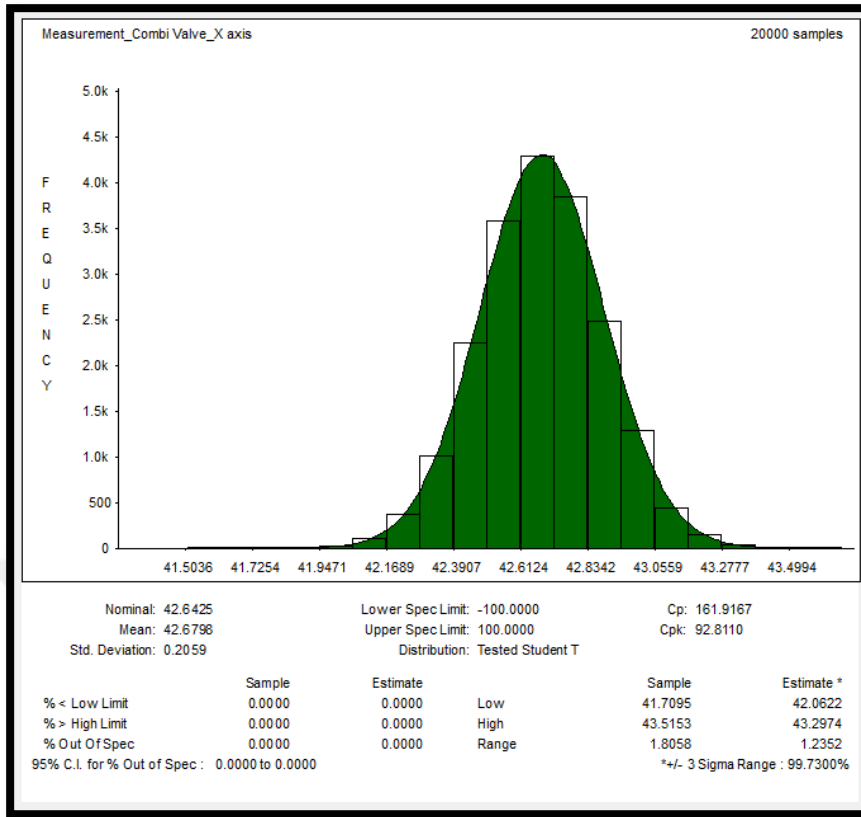
Measurement_LP EGR_X axis

Nominal : 8.5481
Process Variance : 2.4572
HLM Variance : 3.0250

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-E_ _HOT END EXH TO LP EGR_... -> FLT ; SPF	6.7172	N/A	41.43%
2. EXHAUST-HOT END - DRF Op: [E F M]) -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	24.40%
3. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-F_ _HOT END EXH TO LP EGR_... -> Size: ; POS	4.0658	N/A	15.18%
4. TURBO CHARGER - HOT END EXH - Plane -> SPF	2.5504	8.5014	5.97%
5. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-H -> POS	2.5342	1.2671	5.90%
6. LP EGR - HOT END EXH - DATUM_C -> POS ; Size:	1.9006	N/A	3.32%
7. EXH MANIFOLD - TURBO - DATUM-PD_ _MANIFOLD TO TURBOCHAR...	1.3159	N/A	1.59%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



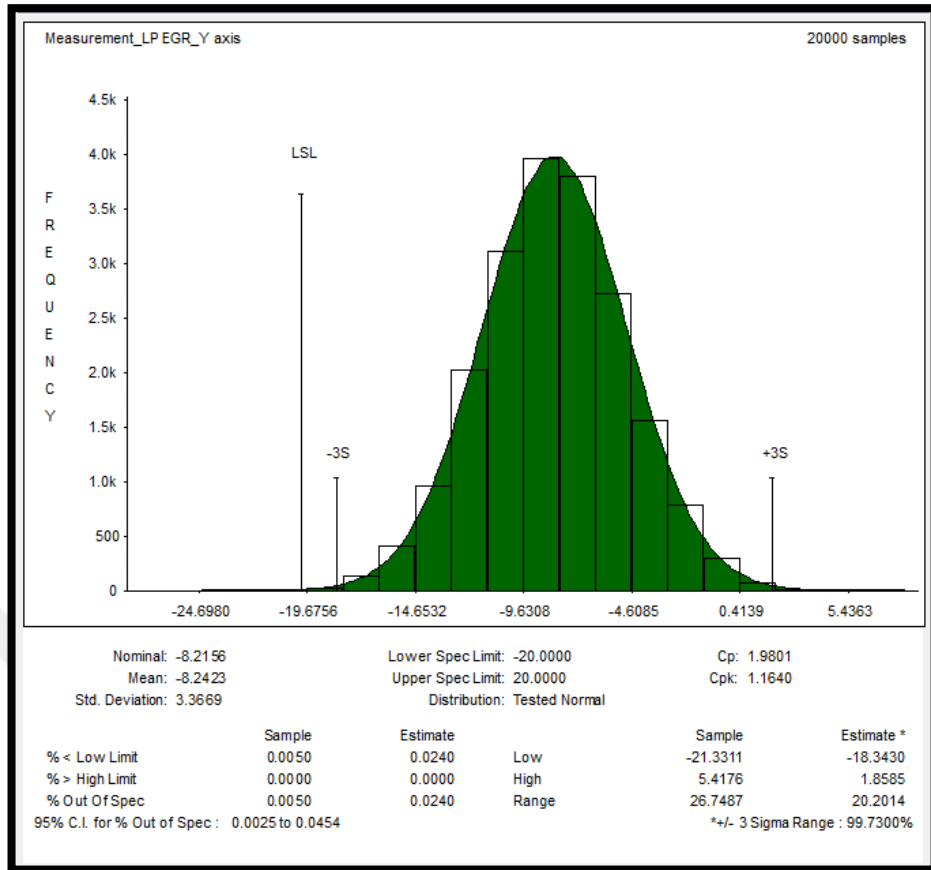
Measurement_Combi Valve_X axis

Nominal : 42.6425
Process Variance : 0.0424
HLM Variance : 0.0659

☒ Show Effect Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. MULTI FUNCTIONAL BRKT - Assembly Op: AssemblyOperation_1 -> Floating Locators	N/A	N/A	33.04%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - DRF Op: [A B(M) C(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	13.92%
3. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin -> POS ; Size:	0.5464	N/A	12.59%
4. MULTI FUNCTIONAL BRKT - COMBI VALVE - MFB TO COMBI VALVE-PL... -> FLT ; SPF	0.5221	N/A	11.50%
5. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - DATUM-L_ _CV TO EGR OUTL... -> FLT ; SPF	0.4205	N/A	7.46%
6. CYL BLOCK - CYL HEAD - DATUM-B_ _BLOCK TO HEAD_DOWEL PIN_01 -> Size: ; POS	0.3960	N/A	6.61%
7. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - Hole -> POS	0.2940	0.9798	3.64%
8. COMBI VALVE - Assembly Op: AssemblyOperation -> Floating Locators	N/A	N/A	1.80%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



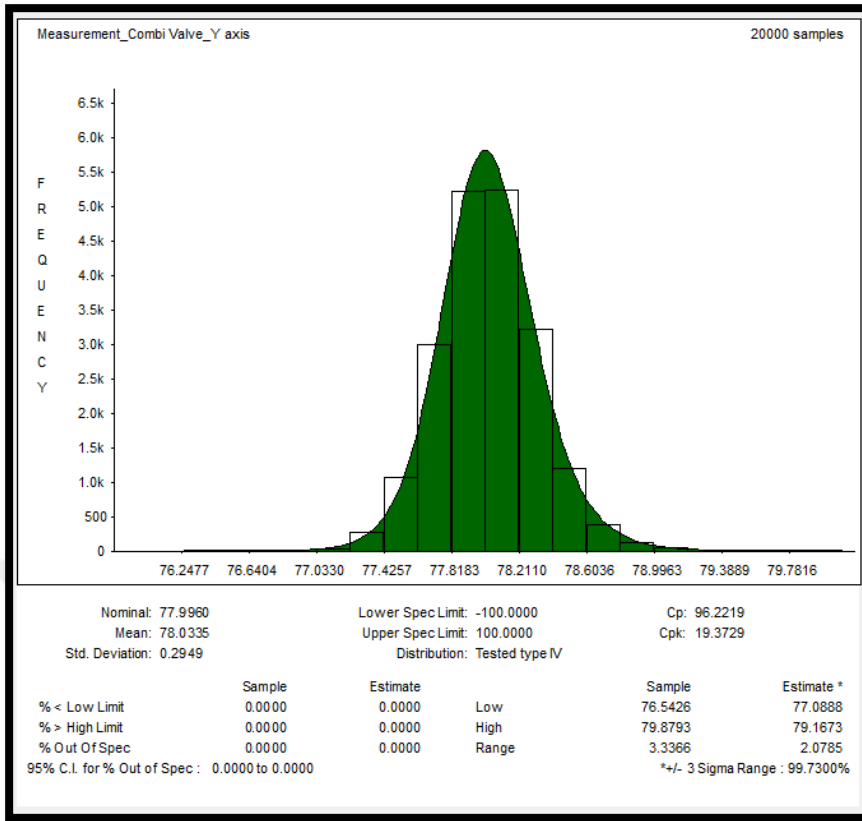
Measurement_LP EGR_Y axis

Nominal : -8.2156
Process Variance : 11.3361
HLM Variance : 16.9337

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-E_... -> FLT ; SPF	18.4531	N/A	55.86%
2. TURBO CHARGER - Assembly Op: Assembly_TURBO TO EXH MANIFOLD -> Floating Locators	N/A	N/A	33.67%
3. TURBO CHARGER - HOT END EXH - Plane -> SPF	4.4925	14.9750	3.31%
4. TURBO CHARGER - EXH MANIFOLD - DATUM-B_... -> Size:	3.5381	N/A	2.05%
5. EXH MANIFOLD - Assembly Op: Assembly_EXH MANIFOLD TO CYL HEAD -> Floating Locators	N/A	N/A	1.53%
6. TURBO CHARGER - DRF Op: [C]B(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	1.16%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları

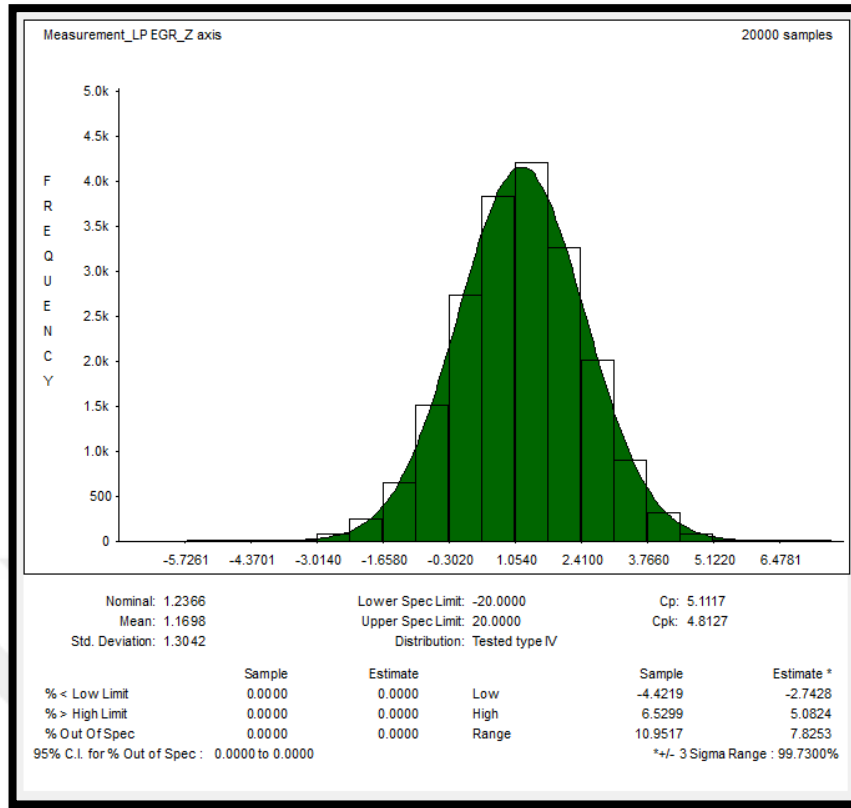


Measurement_Combi Valve_Y axis ☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 77.9960
Process Variance : 0.0870
HLM Variance : 0.0697

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. COMBI VALVE - Assembly Op: AssemblyOperation -> Floating Locators	N/A	N/A	4.65%
2. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - DATUM-L__CV TO EGR OUTL... -> FLT ; SPF	0.6115	N/A	14.90%
3. CYL HEAD - MULTI FUNCTIONAL BRKT - DATUM-BA__HEAD TO MULT... -> SPF ; PER	0.6017	N/A	14.43%
4. COMBI VALVE - DATUM-B - HOLE-02 -> Size: ; POS	0.5865	N/A	13.71%
5. CYL BLOCK - CYL HEAD - DATUM-B__BLOCK TO HEAD_DOWEL PIN_01 -> Size: ; POS	0.3701	N/A	5.46%
6. MULTI FUNCTIONAL BRKT - COMBI VALVE - MFB TO COMBI VALVE-PL... -> FLT ; SPF	0.3082	N/A	3.79%
7. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - Hole -> POS	0.2854	0.9515	3.25%
8. CYL BLOCK - CYL HEAD - DATUM-C__BLOCK TO HEAD_DOWEL PIN_02 -> Size: ; POS	0.2237	N/A	1.99%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



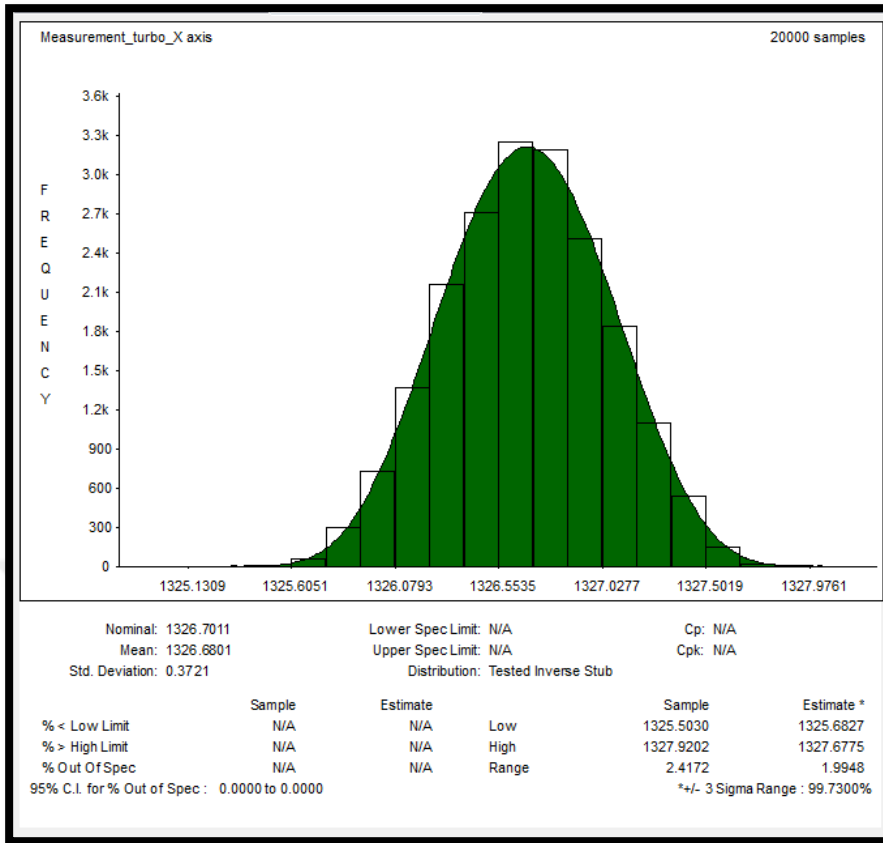
Measurement_LP EGR_Z axis

Nominal : 1.2366
Process Variance : 1.7010
HLM Variance : 2.7527

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-E_... -> FLT ; SPF	6.0671	N/A	33.14%
2. TURBO CHARGER - Assembly Op: Assembly_TURBO TO EXH MANIFOLD -> Floating Locators	N/A	N/A	27.80%
3. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-F_... -> Size: ; POS	4.1591	N/A	17.46%
4. TURBO CHARGER - HOT END EXH - Plane -> SPF	2.1574	7.1914	4.70%
5. EXH MANIFOLD - Assembly Op: Assembly_EXH MANIFOLD TO CYL HEAD -> Floating Locators	N/A	N/A	4.07%
6. CYL HEAD - EXH MANIFOLD - DATUM-CA_... -> FLT ; SPF	1.4065	N/A	2.00%
7. TURBO CHARGER - DRF Op: [C B(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	1.67%
8. TURBO CHARGER - FXH MANIFOLD - DATUM-B_... -> Size: ; POS	1.2416	N/A	1.56%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları

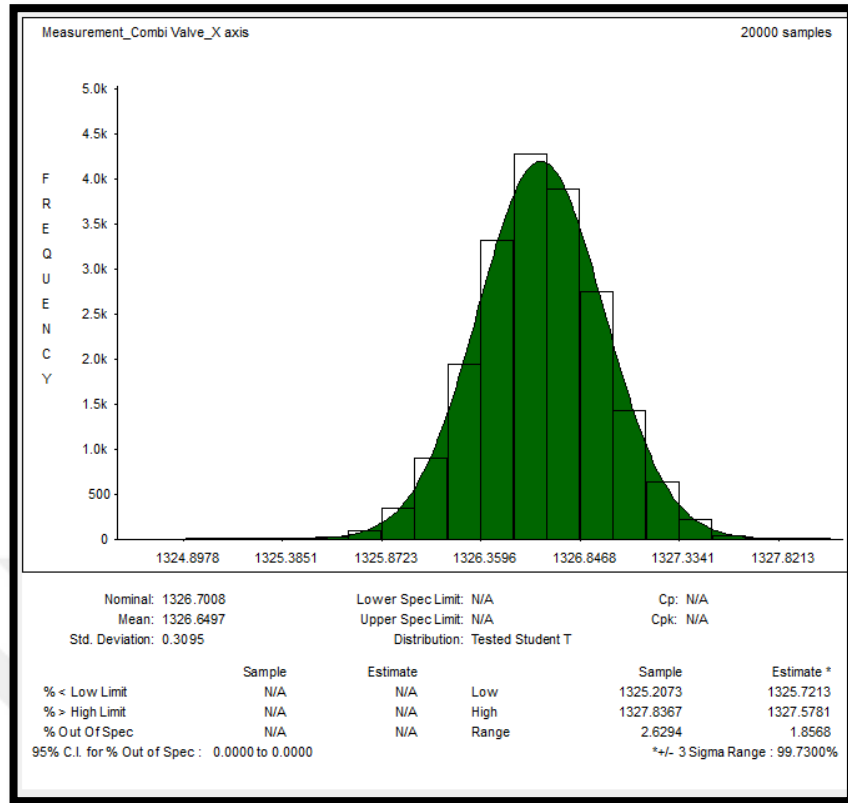


Measurement_turbo_X axis ☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 1326.7011
Process Variance : 0.1384
HLM Variance : 0.1399

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. TURBO CHARGER - THROTTLE BODY - DATUM-E__TC TO THROTTLE ... -> Size: ; POS	2.0000	N/A	79.42%
2. EXH MANIFOLD - TURBO - DATUM-PD__MANIFOLD TO TURBOCHAR... -> FLT ; SPF	0.8672	N/A	14.93%
3. CYL HEAD - EXH MANIFOLD - DATUM-CA__HEAD TO EXH MANIFOLD... -> FLT ; SPF	0.4067	N/A	3.28%
4. CYL BLOCK - CYL HEAD - DATUM-B__BLOCK TO HEAD_DOWEL PIN_01 -> Size: ; POS	0.3342	N/A	2.22%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları

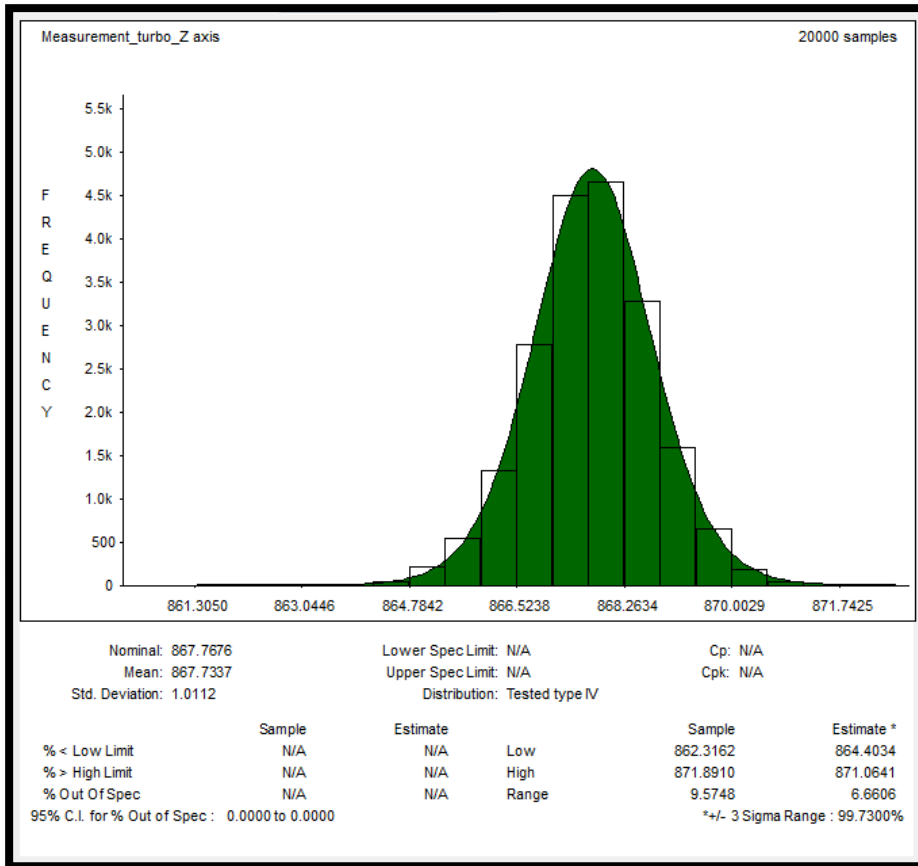


Measurement_Combi Valve_X axis ☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 1326.7008
Process Variance : 0.0958
HLM Variance : 0.2328

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. MULTI FUNCTIONAL BRKT - Assembly Op: AssemblyOperation_1 -> Floating Locators	N/A	N/A	58.55%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - DRF Op: [A B(M) C(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	19.82%
3. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin -> POS ; Size:	1.0000	N/A	11.93%
4. COMBI VALVE - THROT BODY - Hole -> POS	0.5977	0.9962	4.26%
5. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin_1 -> POS ; Size:	0.5000	N/A	2.98%
6. CYL BLOCK - CYL HEAD - DATUM-B_BLOCK TO HEAD_DOWEL PIN_01 -> Size: ; POS	0.3621	N/A	1.56%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



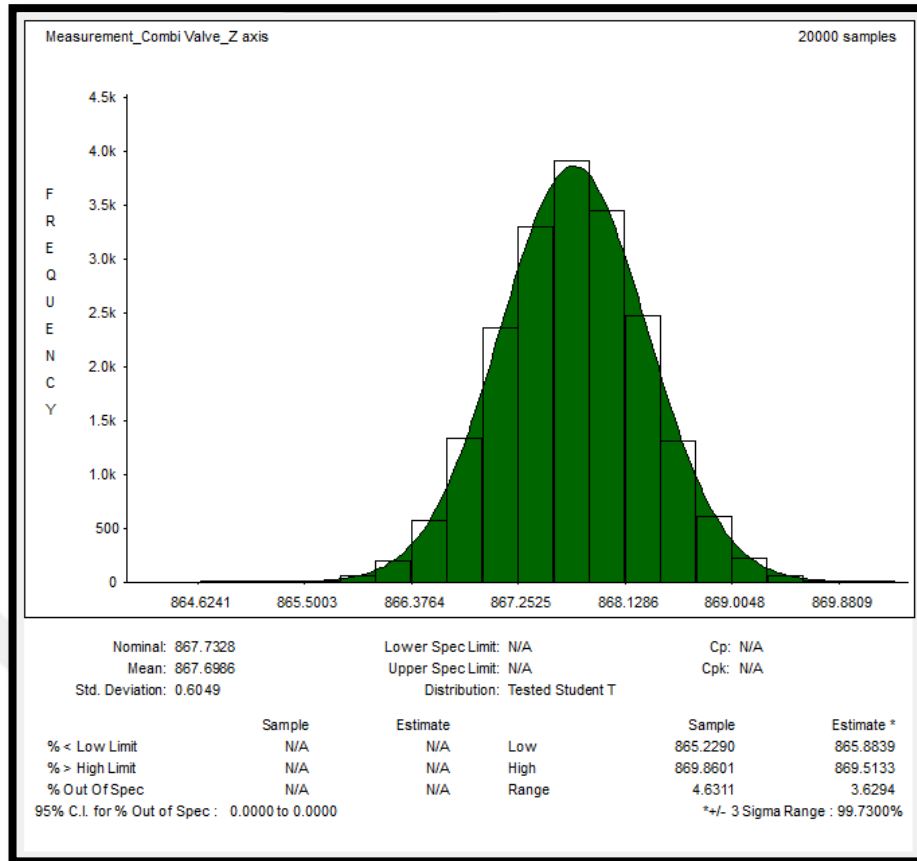
Measurement_turbo_Z axis

Nominal : 867.7676
Process Variance : 1.0226
HLM Variance : 1.5396

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. TURBO CHARGER - Assembly Op: Assembly_TURBO TO EXH MANIFOLD -> Floating Locators	N/A	N/A	64.14%
2. TURBO CHARGER - EXH MANIFOLD - DATUM-B__TC TO EXH MANIFO... -> Size: ; POS	3.0031	N/A	16.27%
3. TURBO CHARGER - THROTTLE BODY - DATUM-E__TC TO THROTTLE ... -> Size: ; POS	2.0000	N/A	7.22%
4. TURBO CHARGER - DRF Op: [C B(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	3.67%
5. CYL HEAD - EXH MANIFOLD - DATUM-CA__HEAD TO EXH MANIFOLD... -> FLT ; SPF	1.3916	N/A	3.49%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



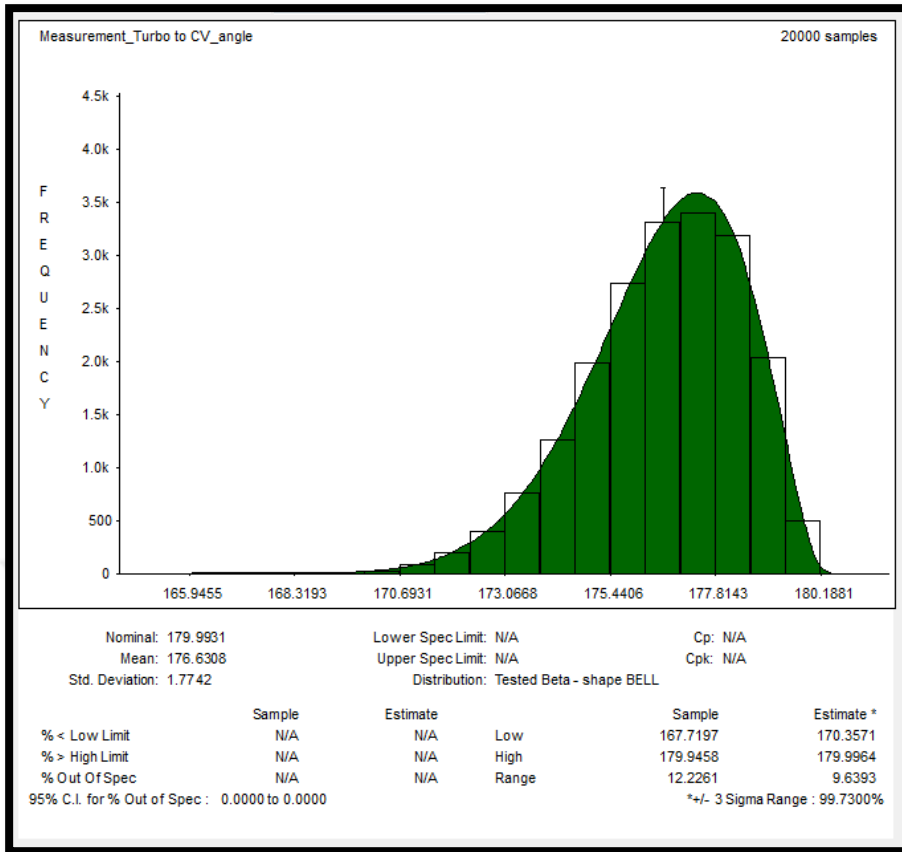
Measurement_Combi Valve_Z axis

Nominal : 867.7328
Process Variance : 0.3659
HLM Variance : 1.0146

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. MULTI FUNCTIONAL BRKT - Assembly Op: AssemblyOperation_1 -> Floating Locators	N/A	N/A	60.87%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - DRF Op: [A][B][M][C][M] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	19.43%
3. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin -> POS ; Size:	1.6255	N/A	7.23%
4. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin_1 -> POS ; Size:	1.6255	N/A	7.23%
5. COMBI VALVE - Assembly Op: AssemblyOperation -> Floating Locators	N/A	N/A	2.34%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



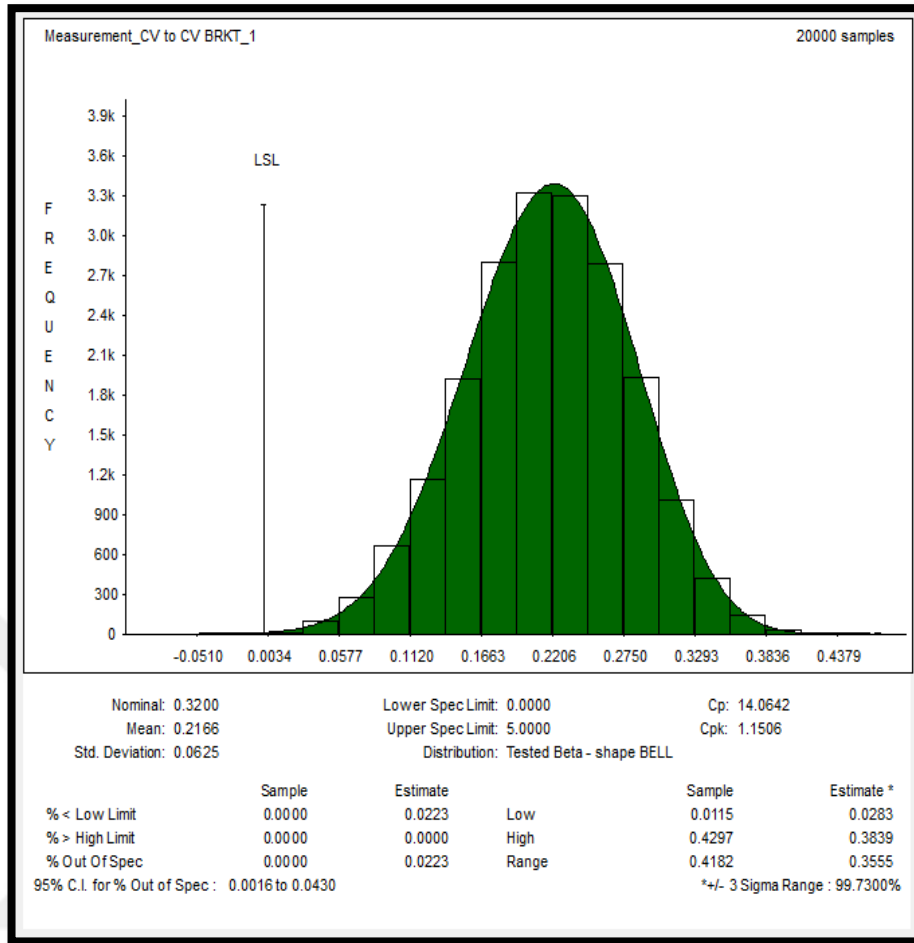
Measurement_Turbo to CV_angle

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 179.9931
Process Variance : 3.1477
HLM Variance : 2.6541

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. TURBO CHARGER - THROTTLE BODY - DATUM-E -> Size: I ; POS	6.9274	N/A	50.22%
2. TURBO CHARGER - DRF Op: [E(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	45.42%
3. TURBO CHARGER - Assembly Op: Assembly_TURBO TO EXH MANIFOLD -> Floating Locators	N/A	N/A	2.31%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



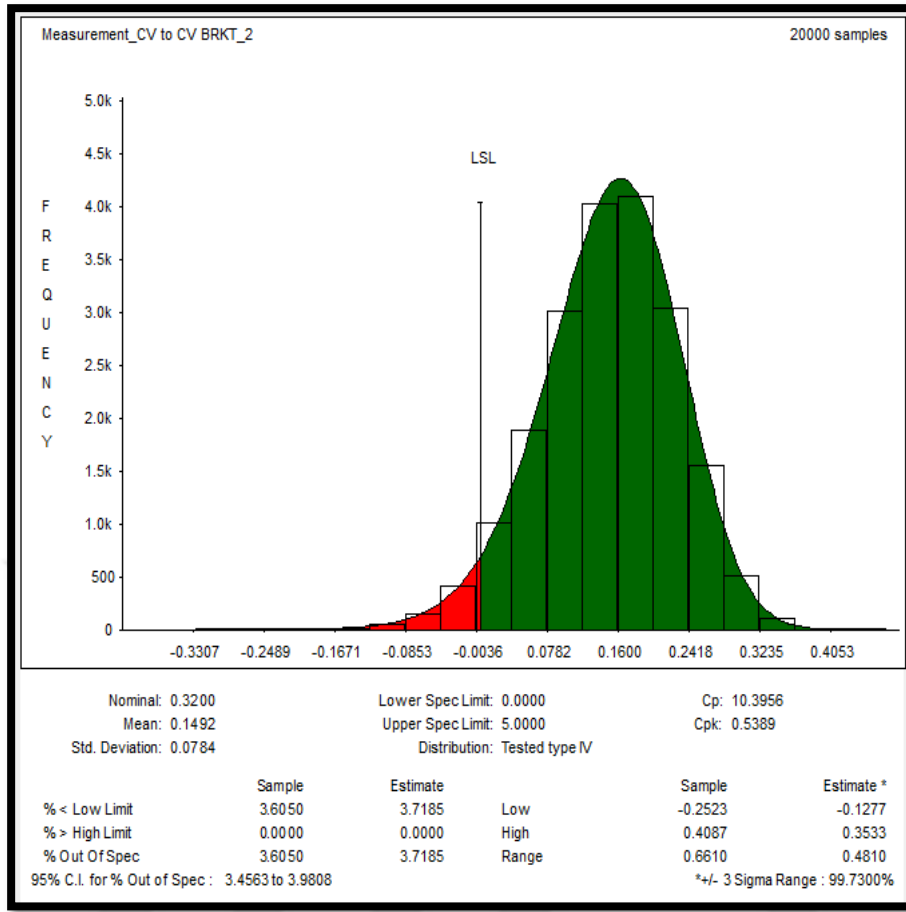
Measurement_CV to CV BRKT_1

Nominal : 0.3200
Process Variance : 0.0039
HLM Variance : 0.0050

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. COMBI VALVE - DATUM-B III - HOLE-01 -> Size: ; POS	0.4000	N/A	88.12%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - MFB TO COMBI VALVE-PIN - Pin_1 -> POS ; Size:	0.1384	N/A	10.55%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



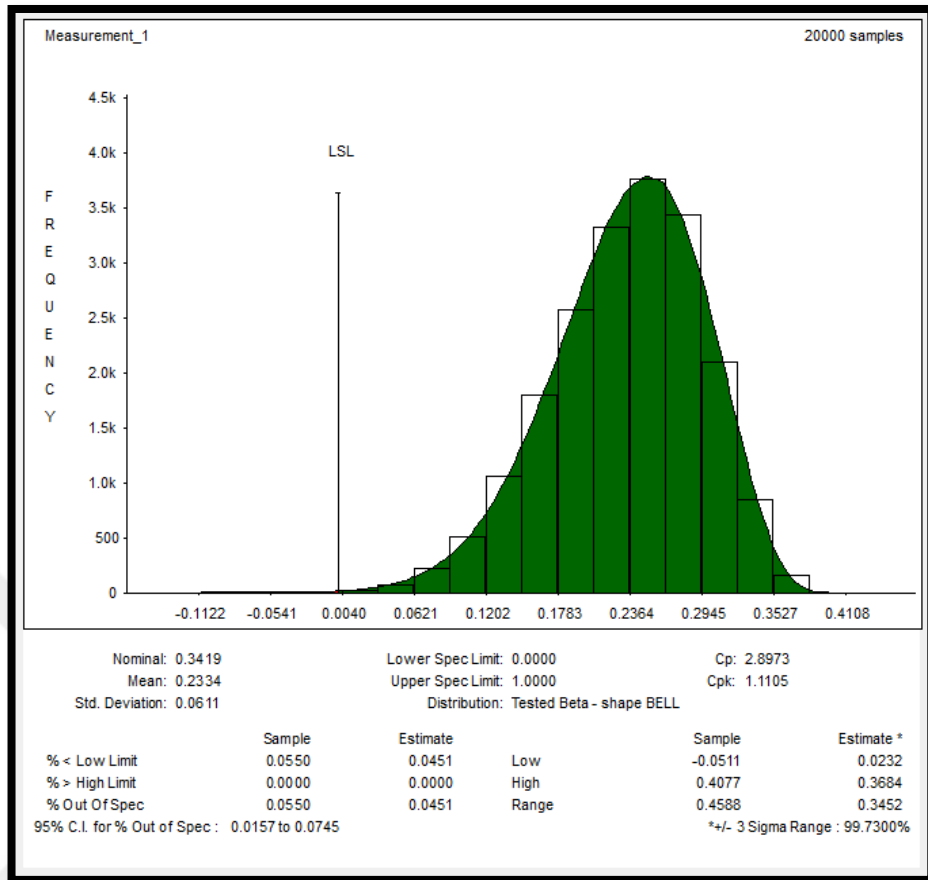
Measurement_CV to CV BRKT_2 ☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 0.3200
Process Variance : 0.0061
HLM Variance : 0.0120

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. COMBI VALVE - DATUM-B[] - HOLE-02 -> Size: ; POS	0.4213	N/A	41.12%
2. COMBI VALVE - DATUM-B[] - HOLE-01 -> Size: ; POS	0.3947	N/A	35.08%
3. MULTI FUNCTIONAL BRKT - MFB TO COMBI VALVE- PIN - Pin -> POS ; Size: l	0.2295	N/A	12.20%
4. MULTI FUNCTIONAL BRKT - MFB TO COMBI VALVE- PIN - Pin_1 -> POS ; Size:	0.1233	N/A	3.52%
5. MULTI FUNCTIONAL BRKT - DRF Op: [A B(M) C(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	3.26%
6. MULTI FUNCTIONAL BRKT - HEAD - DATUM-C_ _MFB TO HEAD-SLOT -> Size: ; POS	0.1042	N/A	2.51%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları

EK D



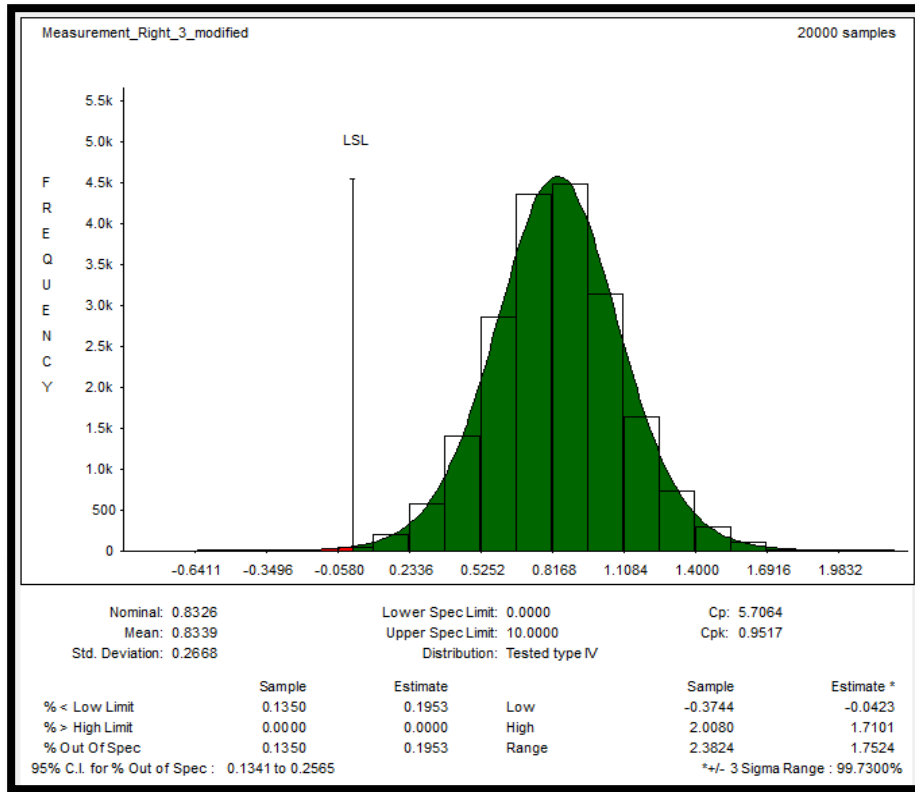
Measurement_1

Nominal : 0.3419
Process Variance : 0.0037
HLM Variance : 0.0046

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin_1 -> POS ; Size:	0.3398	N/A	69.90%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - HEAD - DATUM-B_-_MFB TO HEAD-HOLE_1 -> Size: ; PER	0.2227	N/A	30.04%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapıldıktan sonra elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



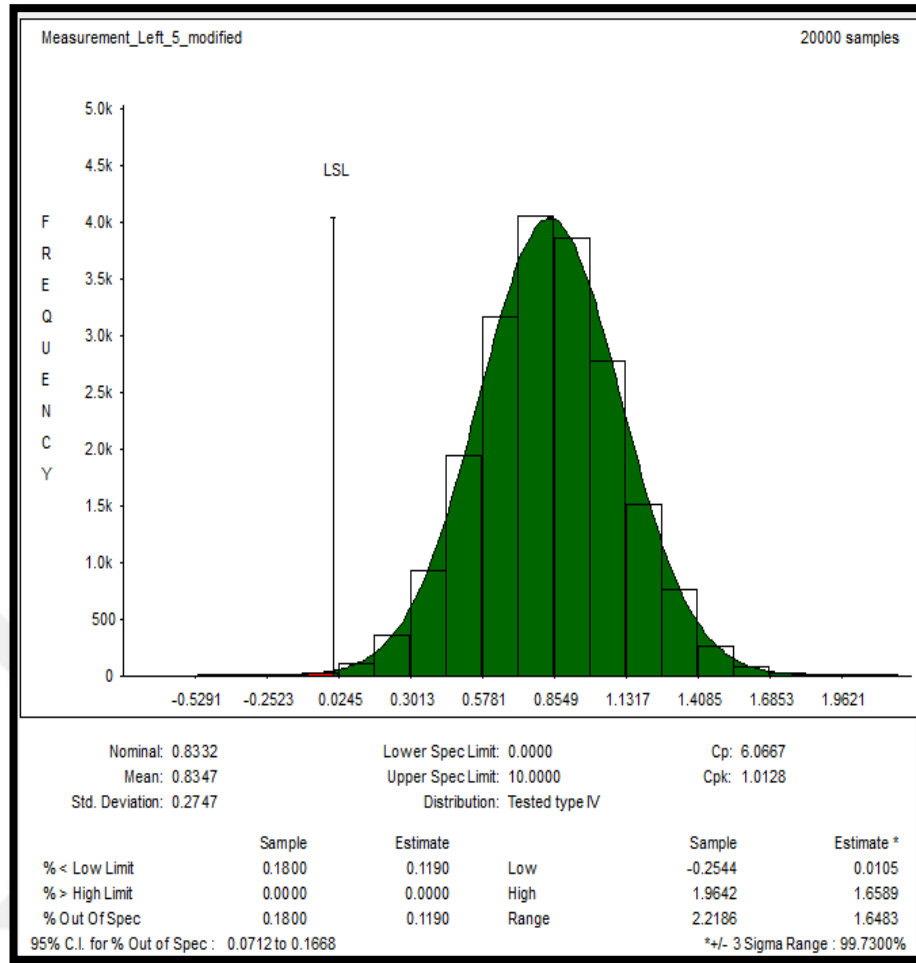
Measurement_Right_3_modified

Nominal : 0.8326
Process Variance : 0.0712
HLM Variance : 0.1609

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. LP EGR - HOT END EXH - DATUM_C -> POS ; Size:	1.6909	N/A	49.37%
2. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-H -> POS	1.5862	0.7931	43.44%
3. EXHAUST-HOT END - DRF Op: [E F M] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	6.64%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları

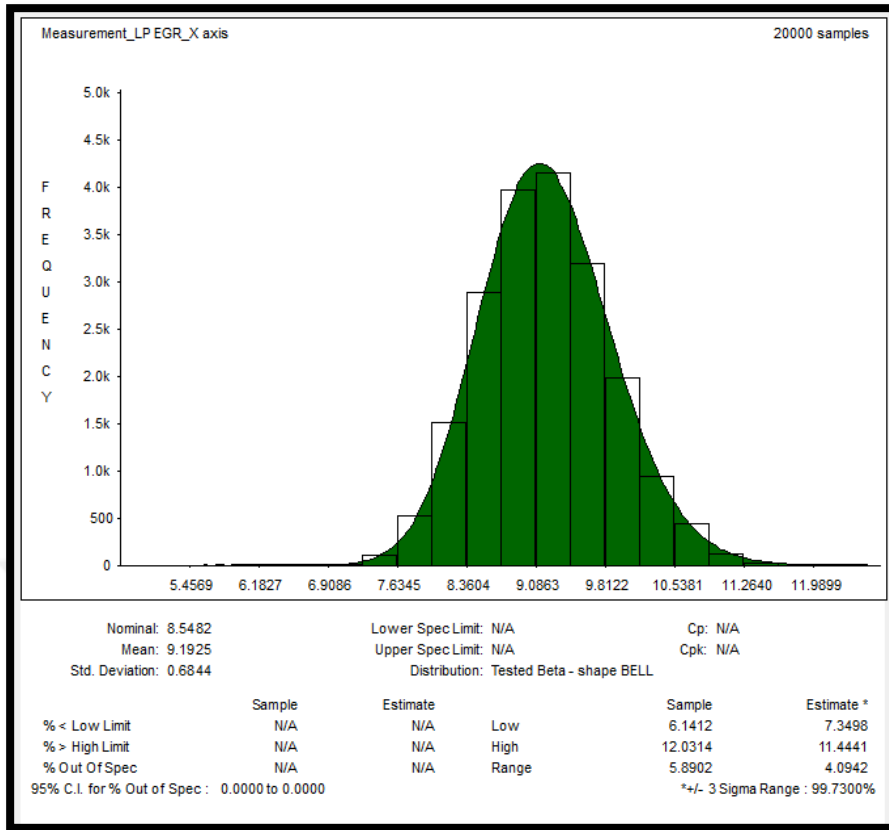


Measurement_Left_5_modified ☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 0.8332
Process Variance : 0.0755
HLM Variance : 0.1491

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. LP EGR - HOT END EXH - DATUM_C -> POS ; Size:	1.9765	N/A	72.80%
2. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-H -> POS	0.8770	0.4385	14.33%
3. EXHAUST-HOT END - DRF Op: [E F M]] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	12.30%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



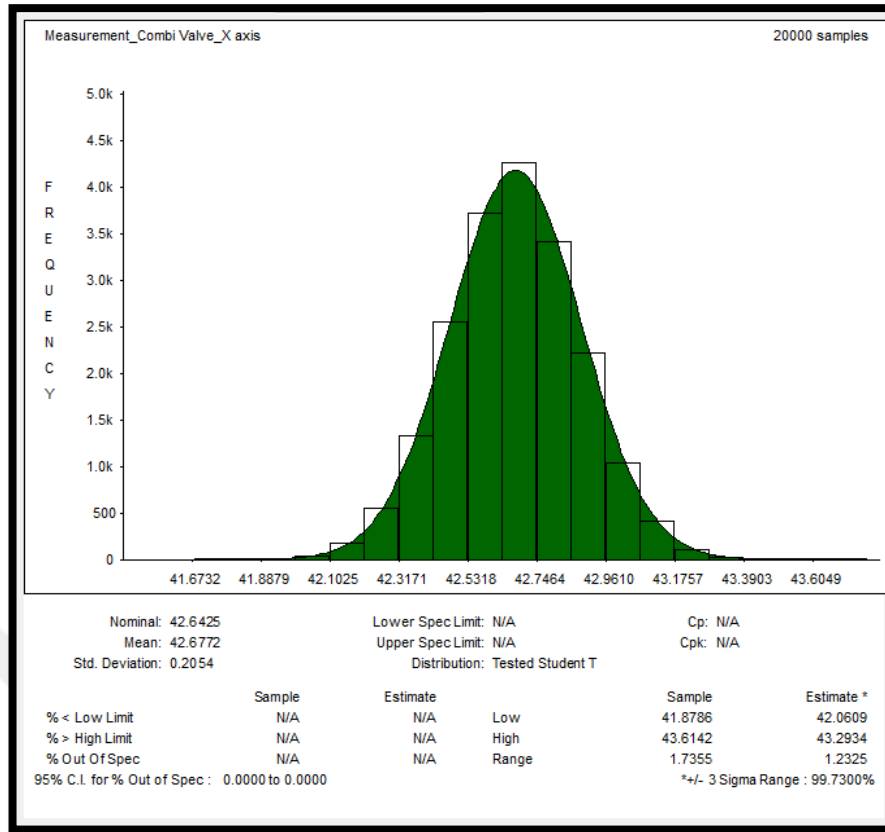
Measurement_LP EGR_X axis

Nominal : 8.5482
Process Variance : 0.4683
HLM Variance : 0.7472

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. TURBO CHARGER - HOT END EXH - Plane -> SPF	2.5504	8.5014	24.18%
2. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-H -> POS	2.5342	1.2671	23.87%
3. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-E_... -> FLT ; SPF ; ANG	2.2855	N/A	19.42%
4. LP EGR - HOT END EXH - DATUM_C -> POS ; Size:		N/A	13.43%
5. EXH MANIFOLD - TURBO - DATUM-PD MANIFOLD TO TURBOCHAR... -> FLT ; SPF	1.3159	N/A	6.44%
6. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-F_... -> Size: ; POS	1.2049	N/A	5.40%
7. EXHAUST-HOT END - CYL BLOCK - DATUM-C1_... -> SPF	0.7860	0.7860	2.30%
8. EXHAUST-HOT END - CYL BLOCK - DATUM-C2_... -> SPF ;	0.7743	0.7743	2.23%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



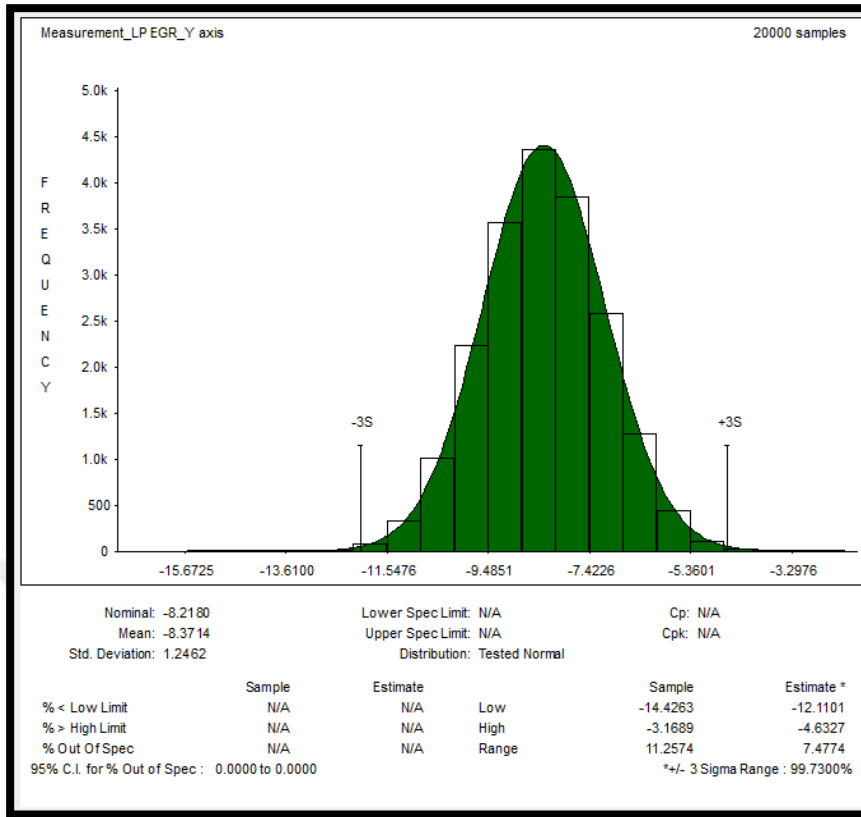
Measurement_Combi Valve_X axis

Nominal : 42.6425
Process Variance : 0.0422
HLM Variance : 0.0655

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. MULTI FUNCTIONAL BRKT - Assembly Op: AssemblyOperation_1 -> Floating Locators	N/A	N/A	36.23%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - DRF Op: [A]B(M)[C(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	13.99%
3. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT SCREW - Pin -> POS ; Size:	0.5464	N/A	12.66%
4. MULTI FUNCTIONAL BRKT - COMBI VALVE - MFB TO COMBI VALVE-PL... -> FLT ; SPF	0.5216	N/A	11.53%
5. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - DATUM-L__CV TO EGR OUTL... -> FLT ; SPF	0.4205	N/A	7.49%
6. CYL BLOCK - CYL HEAD - DATUM-B__BLOCK TO HEAD_DOWEL PIN_01 -> Size: ; POS	0.3960	N/A	6.65%
7. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - Hole -> POS	0.2940	0.9798	3.66%
8. MULTI FUNCTIONAL BRKT - COMBI VALVE - MFB TO COMBI VALVE-PL... -> FLT ; SPF	0.2008	N/A	1.71%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



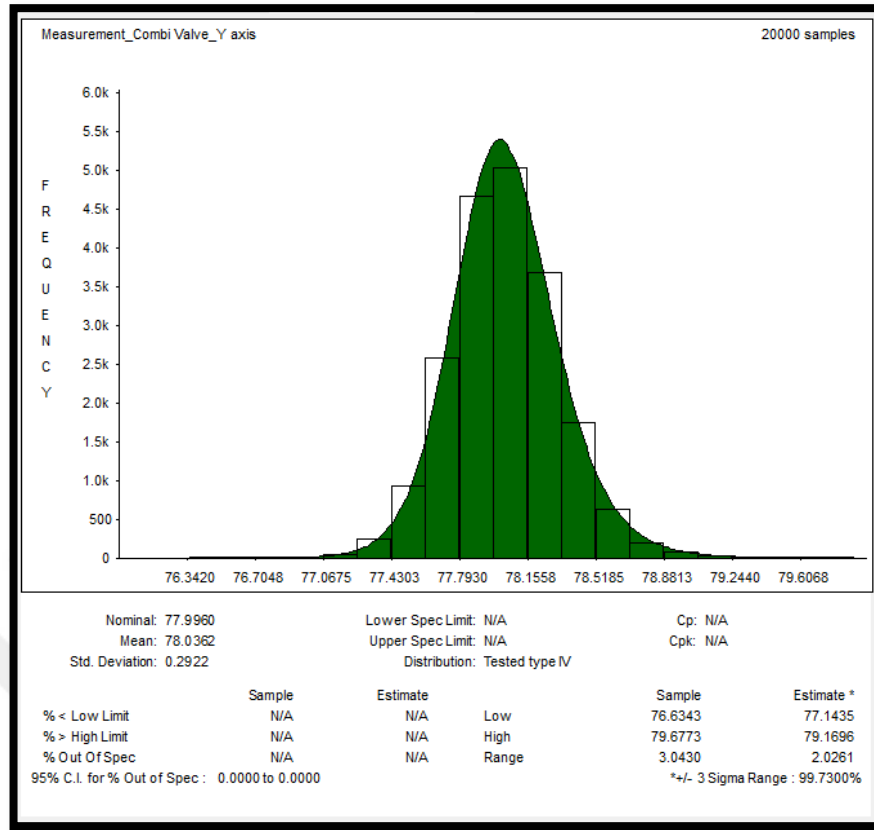
Measurement_LP EGR_Y axis

Nominal : -8.2180
Process Variance : 1.5531
HLM Variance : 2.8950

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-E -> FLT ; SPF ; ANG	7.5513	N/A	54.71%
2. TURBO CHARGER - HOT END EXH - Plane -> SPF	4.4925	14.9751	19.37%
3. EXH MANIFOLD - Assembly Op: Assembly_EXH MANIFOLD TO CYL HEAD -> Floating Locators	N/A	N/A	7.53%
4. TURBO CHARGER - EXH MANIFOLD - DATUM-B_TC TO EXH MANIFO... -> Size: ; POS	2.1631	N/A	4.49%
5. TURBO CHARGER - DRF Op: [C]B(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	3.22%
6. TURBO CHARGER - EXH MANIFOLD - TC TO EXH MANIFOLD_HOLE -> Size: ; POS	1.5714	N/A	2.37%
7. TURBO CHARGER - EXH MANIFOLD - DATUM-A_TC TO EXH MANIFO... -> POS ; Size: l	1.5120	N/A	2.19%
8. EXH MANIFOLD - MANIFOLD TO TURBO HOLES - MANIFOLD TO TURB... -> Size: ; POS ; PER...	1.0451	N/A	1.05%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



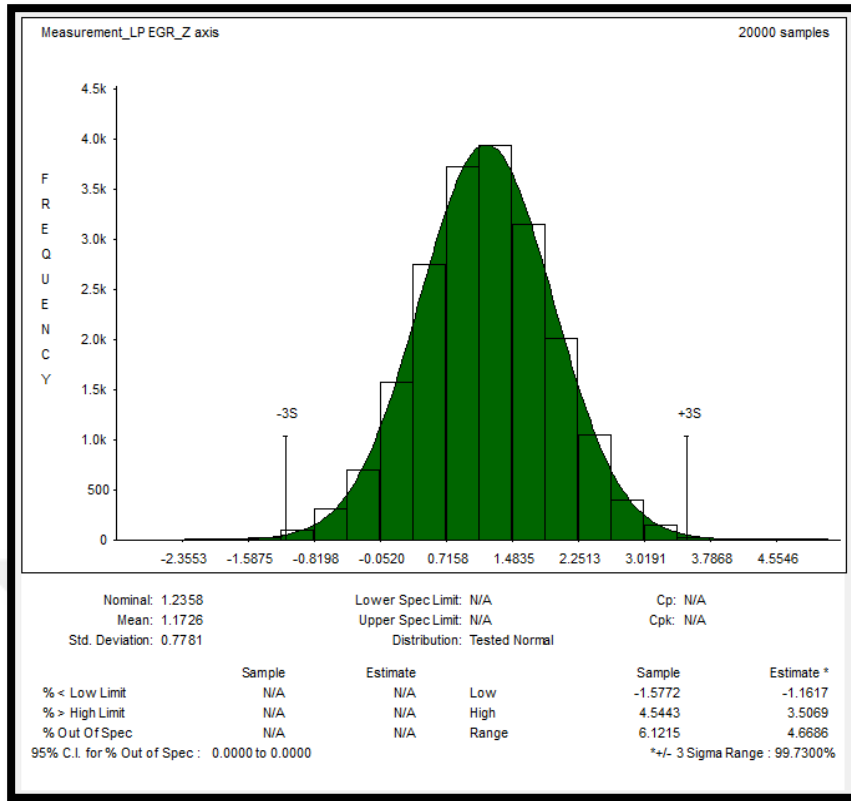
Measurement_Combi Valve_Y axis

Nominal : 77.9960
Process Variance : 0.0854
HLM Variance : 0.0566

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. COMBI VALVE - Assembly Op: AssemblyOperation -> Floating Locators	N/A	N/A	19.77%
2. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - DATUM-L__CV TO EGR OUTL... -> FLT ; SPF	0.6115	N/A	18.34%
3. CYL HEAD - MULTI FUNCTIONAL BRKT - DATUM-BA__HEAD TO MULT... -> SPF ; PER	0.6017	N/A	17.76%
4. COMBI VALVE - DATUM-B_____HOLE-02 -> Size: ; POS	0.5557	N/A	15.15%
5. CYL BLOCK - CYL HEAD - DATUM-B__BLOCK TO HEAD_DOWEL PIN_01 -> Size: ; POS	0.3701	N/A	6.72%
6. MULTI FUNCTIONAL BRKT - COMBI VALVE - MFB TO COMBI VALVE-PL... -> FLT ; SPF	0.3079	N/A	4.65%
7. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - Hole -> POS	0.2854	0.9515	4.00%
8. COMBI VALVE - DATUM-B_____HOLE-01 -> Size: POS	0.2386	N/A	2.79%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



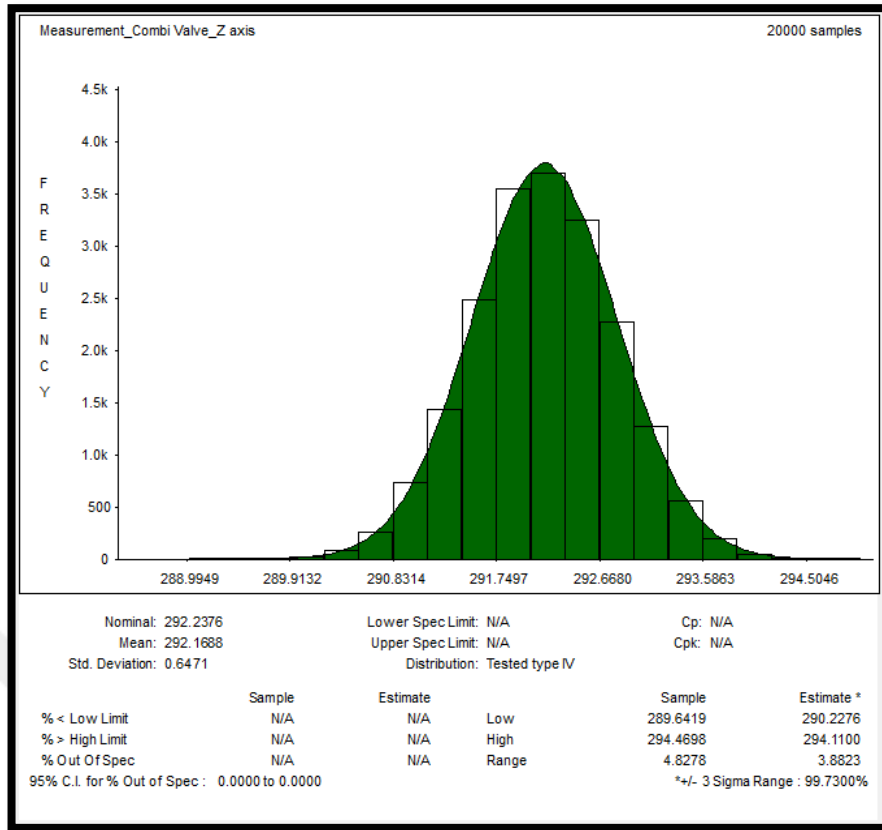
Measurement_LP EGR_Z axis

Nominal : 1.2358
Process Variance : 0.6054
HLM Variance : 0.9548

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-F_...HOT END EXH TO LP EGR_... -> Size: ; POS	4.1778	N/A	50.73%
2. TURBO CHARGER - HOT END EXH - Plane -> SPF	2.1574	7.1912	13.54%
3. EXH MANIFOLD - Assembly Op: Assembly_EXH MANIFOLD TO CYL HEAD -> Floating Locators	N/A	N/A	10.69%
4. EXHAUST-HOT END - LP EGR - DATUM-E_...HOT END EXH TO LP EGR_... -> FLT ; SPF ; ANG	1.5702	N/A	7.17%
5. CYL HEAD - EXH MANIFOLD - DATUM-CA_...HEAD TO EXH MANIFOLD... -> FLT ; SPF	1.4065	N/A	5.76%
6. TURBO CHARGER - DRF Op: [C]B(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	1.67%
7. EXH MANIFOLD - CYL HEAD - DATUM-A_...HOLE_03 -> Size: ; POS	0.6930	N/A	1.40%
8. TURBO CHARGER - EXH MANIFOLD - TC TO EXH MANIFOLD_HOLE -> Size: ; POS	0.6500	N/A	1.23%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



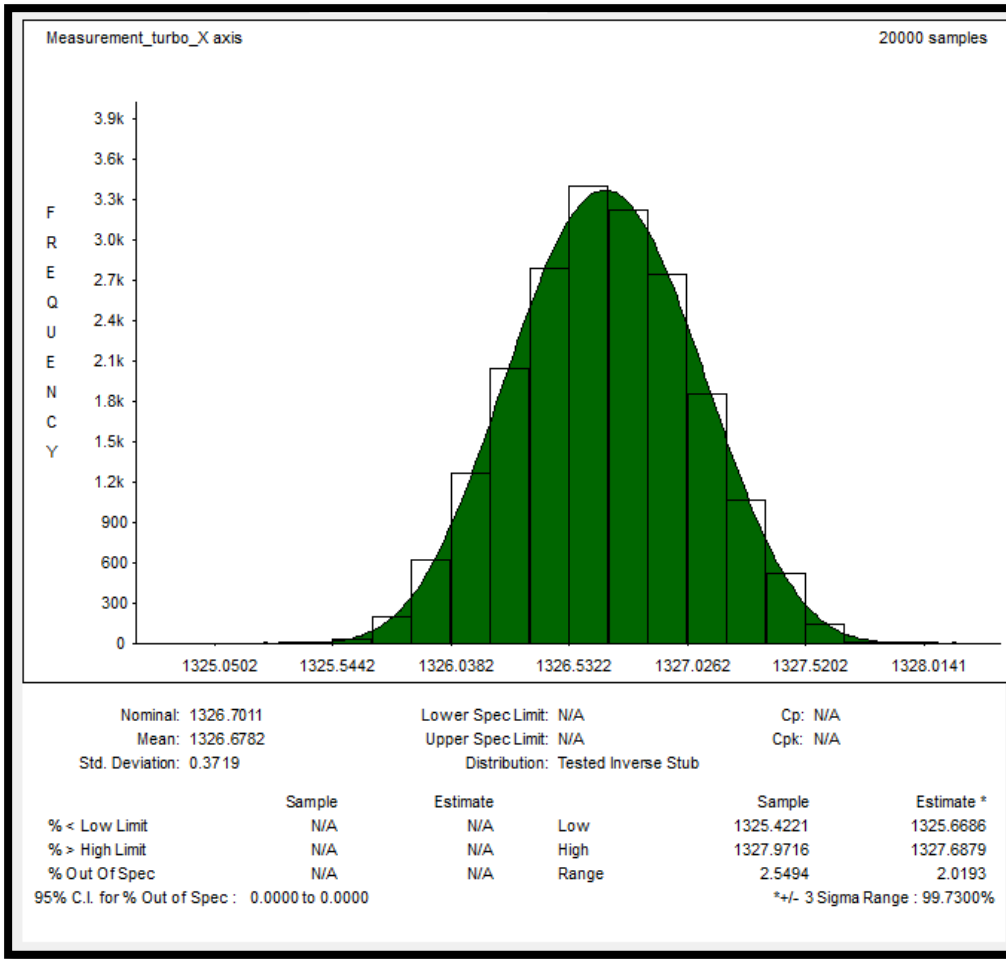
Measurement_Combi Valve_Z axis

Nominal : 292.2376
Process Variance : 0.4187
HLM Variance : 1.1425

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. MULTI FUNCTIONAL BRKT - Assembly Op: AssemblyOperation_1 -> Floating Locators	N/A	N/A	56.53%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - DRF Op: [A]B(M)C(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	18.12%
3. COMBI VALVE - LP EGR OUTLET TUBE - DATUM-L_ _CV to EGR OUTL... -> FLT ; SPF	1.8572	N/A	8.39%
4. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin -> POS ; Size:	1.6946	N/A	6.98%
5. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin_1 -> POS ; Size:	1.6265	N/A	6.43%
6. CYL HEAD - MULTI FUNCTIONAL BRKT - DATUM-BA_ _HEAD TO MULT... -> SPF ; PER	0.6757	N/A	1.11%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları

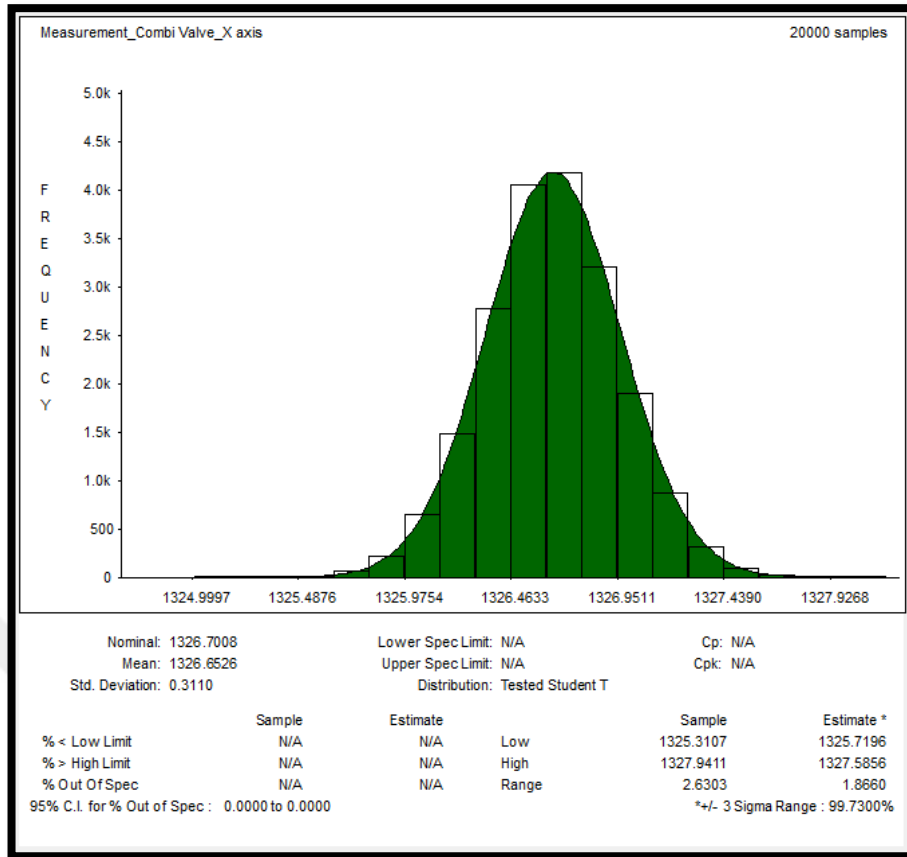


Measurement_turbo_X axis ☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 1326.7011
Process Variance : 0.1383
HLM Variance : 0.1399

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. TURBO CHARGER - THROTTLE BODY - DATUM-E_ _TC TO THROTTLE ... -> Size: ; POS	2.0000	N/A	79.42%
2. EXH MANIFOLD - TURBO - DATUM-PD_ _MANIFOLD TO TURBOCHAR... -> FLT ; SPF	0.8673	N/A	14.93%
3. CYL HEAD - EXH MANIFOLD - DATUM-CA_ _HEAD TO EXH MANIFOLD... -> FLT ; SPF	0.4067	N/A	3.28%
4. CYL BLOCK - CYL HEAD - DATUM-B_ _BLOCK TO HEAD_DOWEL PIN_01 -> Size: ; POS	0.3342	N/A	2.22%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



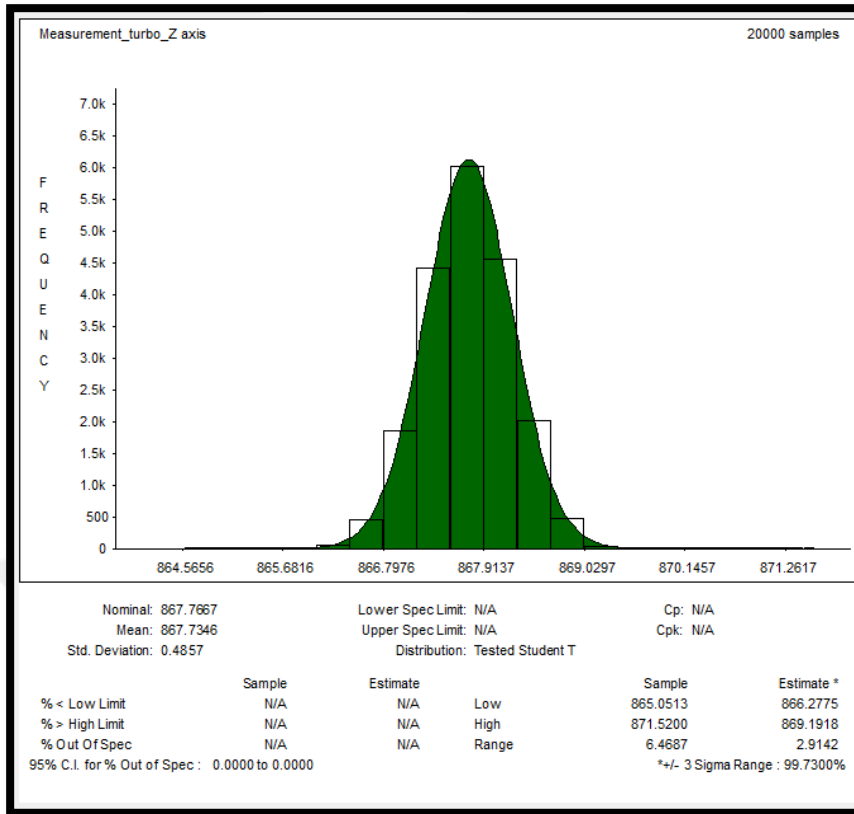
Measurement_Combi Valve_X axis

Nominal: 1326.7008
Process Variance: 0.0967
HLM Variance: 0.2327

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. MULTI FUNCTIONAL BRKT - Assembly Op: AssemblyOperation_1 -> Floating Locators	N/A	N/A	58.56%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - DRF Op: [A B(M) C(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	19.83%
3. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin -> POS ; Size:	1.0000	N/A	11.93%
4. COMBI VALVE - THROT BODY - Hole -> POS	0.5977	0.9962	4.26%
5. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin_1 -> POS ; Size:	0.5000	N/A	2.98%
6. CYL BLOCK - CYL HEAD - DATUM-B_BLOCK TO HEAD_DOWEL PIN_01 -> Size: ; POS	0.3621	N/A	1.57%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



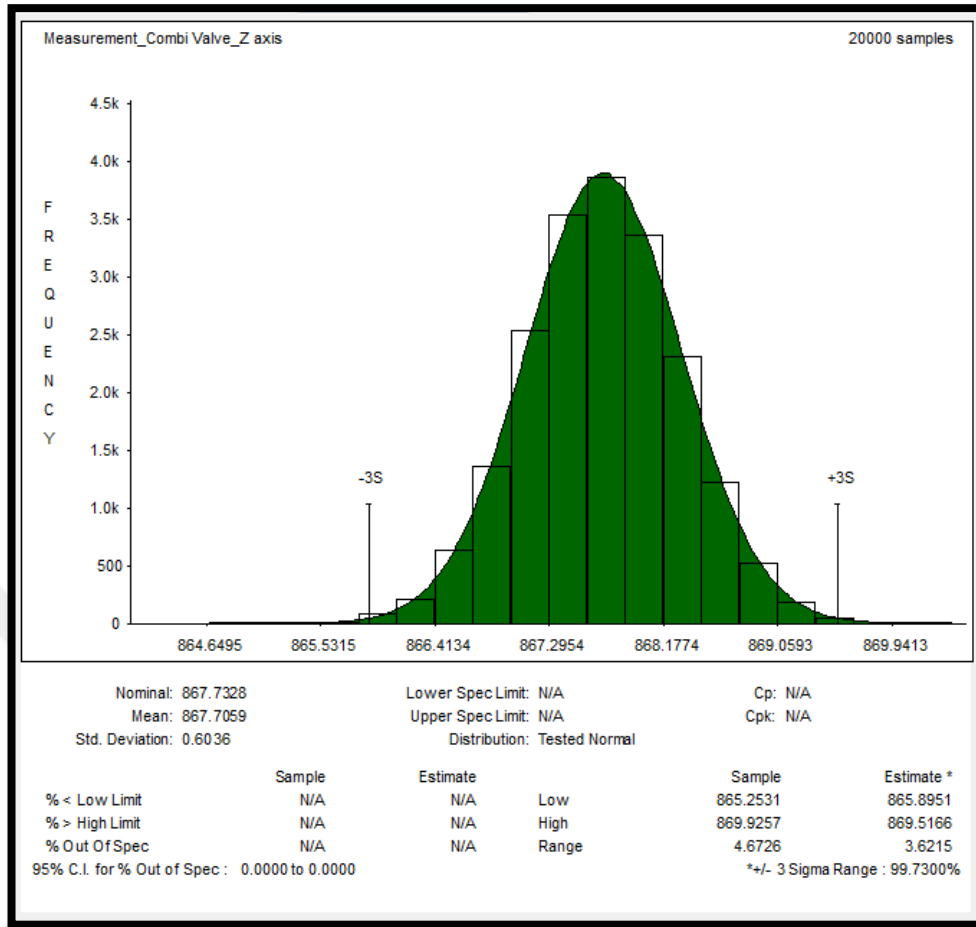
Measurement_turbo_Z axis

Nominal : 867.7667
Process Variance : 0.2359
HLM Variance : 0.3965

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. EXH MANIFOLD - Assembly Op: Assembly_EXH MANIFOLD TO CYL HEAD -> Floating Locators	N/A	N/A	30.13%
2. TURBO CHARGER - THROTTLE BODY - DATUM-E_ _TC TO THROTTLE ... -> Size: ; POS	2.0000	N/A	28.02%
3. CYL HEAD - EXH MANIFOLD - DATUM-CA_ _HEAD TO EXH MANIFOLD... -> FLT ; SPF	1.3916	N/A	13.57%
4. TURBO CHARGER - EXH MANIFOLD - TC TO EXH MANIFOLD_HOLE -> Size: ; POS	0.7303	N/A	3.74%
5. TURBO CHARGER - EXH MANIFOLD - DATUM-A_ _TC TO EXH MANIFO... -> POS ; Size:	0.7027	N/A	3.46%
6. EXH MANIFOLD - CYL HEAD - DATUM-A_ _HOLE_03 -> Size: ; POS	0.7000	N/A	3.43%
7. EXH MANIFOLD - TURBO - DATUM-B_ _MANIFOLD TO TURBO-SCREW -> PER ; Size:	0.6014	N/A	- - - -
8. TURBO CHARGER - DRF Op: [C B(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	1.76%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



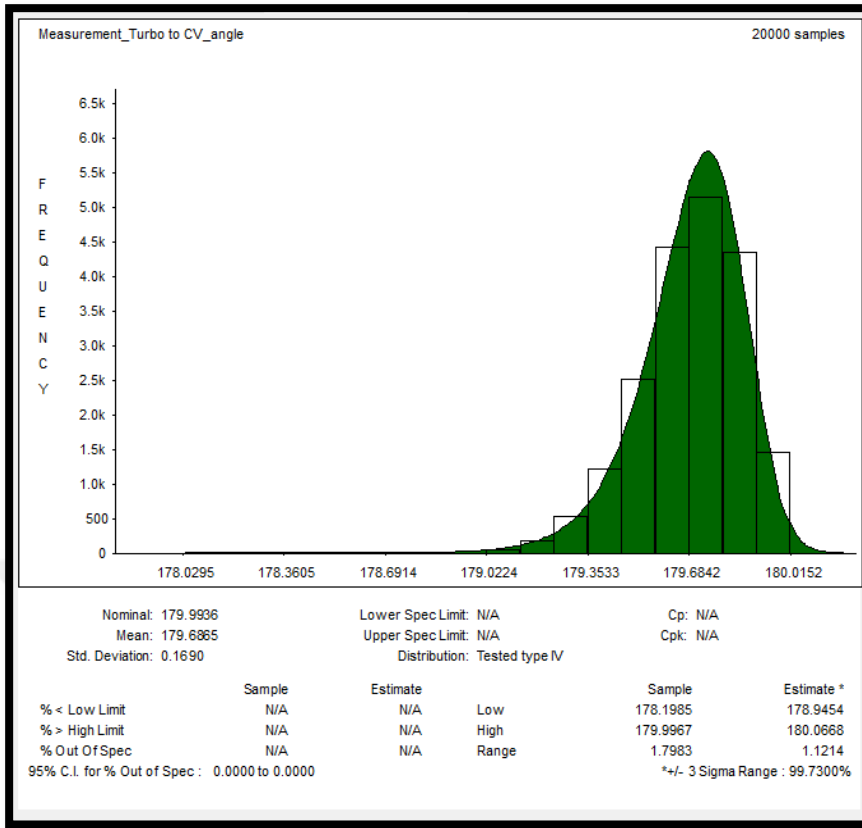
Measurement_Combi Valve_Z axis

Nominal : 867.7328
Process Variance : 0.3643
HLM Variance : 1.0070

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. MULTI FUNCTIONAL BRKT - Assembly Op: AssemblyOperation_1 -> Floating Locators	N/A	N/A	61.33%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - DRF Op: [A][B(M)][C(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	19.58%
3. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin -> POS ; Size:	1.6256	N/A	7.29%
4. CYL HEAD - HEAD TO MULTI FUNCTIONAL BRKT_SCREW - Pin_1 -> POS ; Size:	1.6256	N/A	7.29%
5. COMBI VALVE - Assembly Op: AssemblyOperation -> Floating Locators	N/A	N/A	1.09%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları

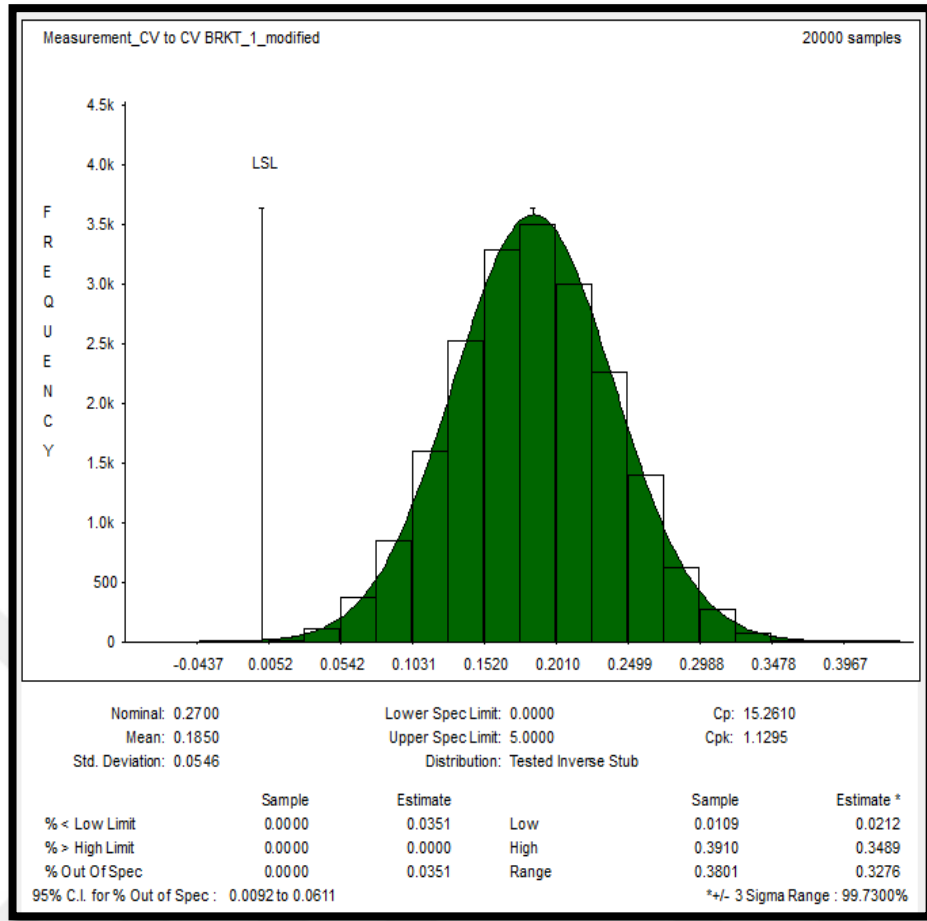


Measurement_Turbo to CV_angle ☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 179.9936
Process Variance : 0.0286
HLM Variance : 0.0401

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. MULTI FUNCTIONAL BRKT - COMBI VALVE - MFB TO COMBI VALVE-PL... -> FLT ; SPF	0.5670	N/A	22.26%
2. TURBO CHARGER - THROTTLE BODY - TC TO THROTTLE BODY_PLANE -> SPF	0.5019	0.8366	17.45%
3. COMBI VALVE - Assembly Op: AssemblyOperation -> Floating Locators	N/A	N/A	10.49%
4. COMBI VALVE - THROT BODY - DATUM-P__CV TO THROT BODY_PLANE -> FLT ; SPF	0.3492	N/A	8.45%
5. EXH MANIFOLD - Assembly Op: Assembly_EXH MANIFOLD TO CYL HEAD -> Floating Locators	N/A	N/A	8.18%
6. COMBI VALVE - DRF Op: [A B(M) C(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	4.20%
7. MULTI FUNCTIONAL BRKT - COMBI VALVE - MFB TO COMBI VALVE-PL... -> FLT ; SPF	0.2179	N/A	3.29%
8. TURBO CHARGER - EXH MANIFOLD - DATUM-B__TC TO EXH MANIFO... -> Size: ; POS	0.2109	N/A	3.08%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



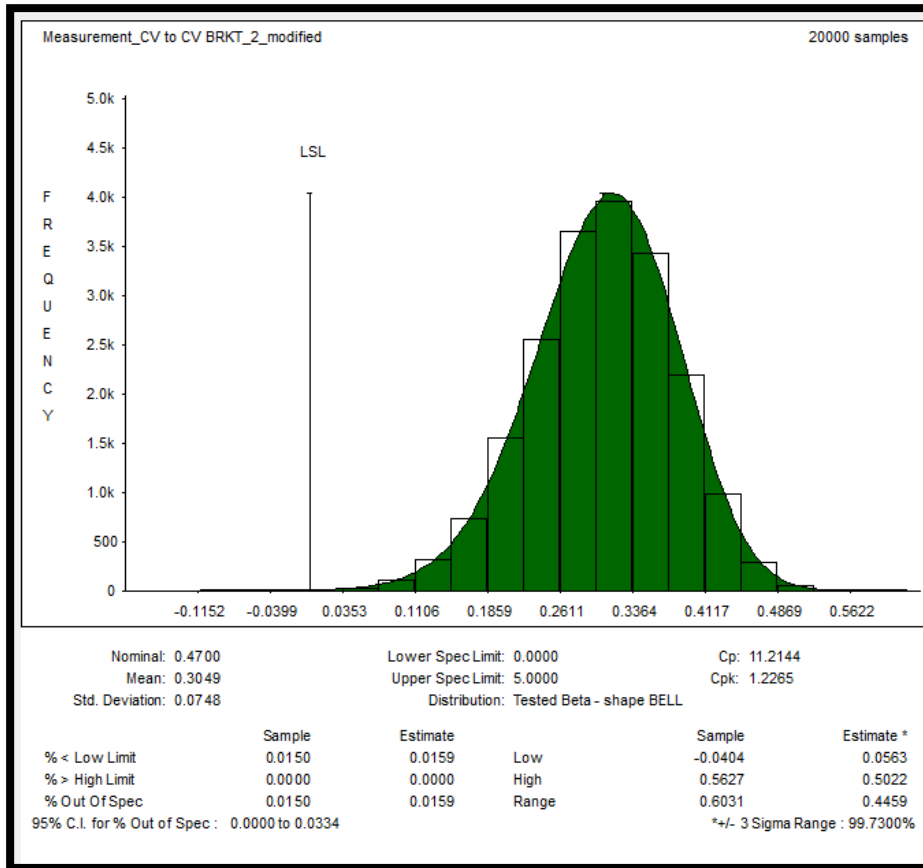
Measurement_CV to CV BRKT_1_modified

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Nominal : 0.2700
Process Variance : 0.0030
HLM Variance : 0.0039

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. COMBI VALVE - MULTI FUNCTIONAL BRKT - DATUM-B -> Size: ; PER	0.3500	N/A	87.47%
2. MULTI FUNCTIONAL BRKT - MFB TO COMBI VALVE- PIN - Pin_1 -> COMP POS	0.1254	N/A	11.24%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları



Measurement_CV to CV BRKT_2_modified

Nominal : 0.4700
Process Variance : 0.0056
HLM Variance : 0.0081

☒ Show Effect. Tol. ☒ Show Sensitivity ☒ Show Color Bar

Contributors	Effective Tole...	Sensitivity	Effect
1. COMBI VALVE - MULTI FUNCTIONAL BRKT - DATUM-C -> Size: ; POS	0.4213	N/A	60.81%
2. COMBI VALVE - DRF Op: [A B(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	16.88%
3. MULTI FUNCTIONAL BRKT - MFB TO COMBI VALVE- PIN - Pin -> COMP POS	0.1801	N/A	11.11%
4. MULTI FUNCTIONAL BRKT - DRF Op: [A B(M)]C(M)] -> Floating DRF Locators	N/A	N/A	4.82%
5. MULTI FUNCTIONAL BRKT - HEAD - DATUM-C_-MFB TO HEAD-SLOT -> Size: l ; POS	0.1042	N/A	3.72%
6. MULTI FUNCTIONAL BRKT - MFB TO COMBI VALVE- PIN - Pin_1 -> COMP POS	0.0740	N/A	1.88%

Tasarım ve GD&T düzeltmeleri yapılmadan önce elde edilen “Process” & “Hlm” Raporları:

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Tuna KAYA
Doğum Tarihi ve Yeri : 22.03.1988 / AYDIN
E-posta :tnky_09@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2011, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina, Makina Müh.
- **Yükseklisans** :2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina, Otomotiv

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011 yılından beri tasarım mühendisliği yapıyor.
- 2014 yılından beri toleranslandırma uzmanı olarak çalışıyor.

PATENTLER:

İki adet tescilli patent ve 5 adet onay aşamasında patent başvurusu



