

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE HENÜZ MONTAJ  
HATTINDAN ÇIKMAMIŞ ARAÇ ÜZERİNDEKİ  
GEOMETRİK HATALARIN TESPİTİ VE  
SİNYALİZASYONU İÇİN BİR ERKEN UYARI  
SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Utku Erdem KAYNAR**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE HENÜZ MONTAJ HATTINDAN ÇIKMAMIŞ  
ARAÇ ÜZERİNDEKİ GEOMETRİK HATALARIN TESPİTİ VE  
SİNYALİZASYONU İÇİN BİR ERKEN UYARI SİSTEMİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**Utku Erdem KAYNAR**  
0000-0003-2945-173X

Prof. Dr. Yahya IŞIK  
0000-0002-1982-9666  
(Danışman)

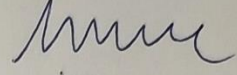
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

## TEZ ONAYI

Utku Erdem KAYNAR tarafından hazırlanan "Otomotiv sektöründe henüz montaj hattından çıkmamış araç üzerindeki geometrik hataların tespiti ve sinyalizasyonu için bir erken uyarı sisteminin geliştirilmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

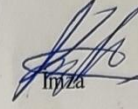
**Danışman** : Prof. Dr. Yahya IŞIK



İmza

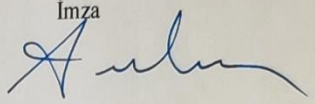
**Başkan** : Prof. Dr. Yahya IŞIK  
0000-0002-1982-9666  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Konstrüksiyon ve İmalat  
Anabilim Dalı

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ  
0000-0002-1987-5750  
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü



İmza

**Üye** : Prof Dr. Abdil KUŞ  
0000-0002-4626-0719  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Taşıt Tasarımı Anabilim  
Dalı



İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Enstitü Müdürü

.../.../...

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.../.../.....

**Utku Erdem KAYNAR**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE HENÜZ MONTAJ HATTINDAN ÇIKMAMIŞ ARAÇ ÜZERİNDEKİ GEOMETRİK HATALARIN TESPİTİ VE SİNYALİZASYONU İÇİN BİR ERKEN UYARI SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

**Utku Erdem KAYNAR**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Yahya IŞIK

Otomotiv Dünyası'nda bitmiş ürün ve ürünü oluşturan proseslerin kalitesini artırmak için sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Bu trendlerin en önemlileri daha çok ileri teknoloji kullanarak üretim proseslerini belirli bir kontrol rejiminin altında tutma çalışmalarıdır. Bu çalışmada preventif bir İstatistikî Proses Kontrolü metodu vaat eden Erken Uyarı Sistemi adlı model incelenmiştir. Erken Uyarı Sistemi araç henüz montaj hattından çıkmadan üzerinde oluşabilecek geometrik (boşluk-profil) hataları sinyalizasyonla edip preventif olarak gerekli birimlere düzeltici faaliyet yaptırmayı hedefleyen bir teknolojidir. TOFAŞ fabrikası Ölçüm Merkezinde uygulanan bu çalışmada geleneksel İstatistikî Proses Kontrol'den çok daha üstün bir alternatif sunabilecek Erken Uyarı Sistemi incelenmiştir. Bu çalışmada Erken Uyarı Sistemi ve algoritmik, teorik alt yapısı (nokta bulutu teknolojisi, flush&gap metodolojisi vb.) açıklanmıştır. Somut örneklerle sektöre verebileceği katkılar ve geleneksel istatistikî proses kontrolden farkı irdelenmiştir. Sistemin altyapısı bir ölçüm programı olan Polyworks'ün üzerine yazılan TOFAŞ modülü kullanılarak açıklanmıştır. Bu sistemin akademik literatüre katkısı ve sektörde sağladığı yeniliklerle proseslerdeki iyileşmeler (KPI) açıklanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tolerans, İPK, Nokta Bulutu, Ölçüm, Hata Raporu, Referanslama  
**2020, viii + 79 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

**DEVELOPING AN EARLY WARNING SYSTEM FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY  
IN ORDER TO DETECT AND SIGNALIZE THE GEOMETRICAL DEFECTS ON  
THE VEHICLES NOT YET COMING OUT OF ASSEMBLY LINE**

**Utku Erdem KAYNAR**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Yahya IŞIK

In the Automotive World to improve the quality of the finished product and the processes that make up the product. The most important of these trends are mostly using advanced technology to keep production processes under a certain control regime. In this study, the Early Warning System model, which promises a preventive Statistical Process Control method, has been examined. Early Warning System is a technology that aims to make corrective action to the required units as a preventive signal by signaling geometrical (gap-profile) errors that may occur on the vehicle before leaving the assembly line. In this study applied in the Measurement Center of the TOFAŞ factory, the Early Warning System, which can offer a far superior alternative to the traditional Statistical Process Control, was examined. In this study, Early Warning System and its algorithmic, theoretical infrastructure (point cloud technology, flush & gap methodology etc.) are explained. Contributions to the sector with concrete examples and its difference from traditional statistical process control are examined. The infrastructure of the system was explained using the TOFAŞ module, which is written on Polyworks, a measurement program. The contribution of this system to the academic literature and the improvements in the sector are explained with the improvements in processes (KPI).

**Key words:** Tolerance, SPC, Point Cloud, Measuring, Defect Report, Reference  
**2020, viii + 79 pages**

## TEŞEKKÜR

Öncelikle üzerimde sonsuz emeği olan değerli annem ve babam Pamuk Kaynar ve Hasan Fehmi Kaynar'a, kardeşim Berat Can Kaynar'a ve hayat arkadaşım Aslı Yılmaz'a, daha sonra bu çalışmayı tamamlamamda emeği geçen değerli TOFAŞ alışanları Sn. Alper Ersoy'a, Özgür Ogur'a, Recep Boylu'ya, Ersan atman'er'e, Mustafa ilci'ye, Ümüt Uzal'a, Burhan ivi'ye, Bülent Bayram'a, Ömer Őentürk'e ve İlkay Karasakal'a teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu kıymetli çalışmanın akademik bir teze dönüşmesinde benden tecrübeleriyle ve bilgileriyle yardımını hiç esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Yahya Işık'a da en içten minnettarlığımı sunarım.

Utku Erdem KAYNAR

.../.../.....

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
2. 1. Ölçüm ve tarihçesi.....	6
2. 2. Otomotivde kullanılan ölçüm teknikleri .....	10
2.2.1. Dokunarak Ölçüm Teknolojileri: .....	10
2.2.2. Nokta Bulutu Lazer Ölçüm Teknolojileri: .....	12
2.2.3. Fotogrametri teknolojileri ve X-ray hücreler: .....	14
2. 3. Veriden rapora : İstatistiki Proses Kontrol.....	16
2. 4. Sanal Montajlama & İmalat tekniği örnekleri.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	27
3.1. Erken Uyarı Sistemi bileşenleri .....	27
3.1.1. Ölçüm tezgahları (Hücre WLS, Leica, Bravo, Vento) :.....	27
3.1.2. Gestione Geometria (Tedarikçi Ölçümleri) : .....	28
3.1.3. Program yapma ve raporlama bilgisayarları: .....	29
3.1.4. Polyworks programı: .....	30
3.1.5. PC-DMIS programı:.....	31
3.1.6. CSV dönüştürücü: .....	31
3.2. Ölçüm çekilmesi ve sistemin tetiklenişi.....	33
3.3. Ölçüm ve teknik altyapı .....	35
3.3.1. Single projeler .....	35
3.3.2. Double projeler.....	38
3.3.3. Çoklu referans (alignment) projeleri.....	45
4. BULGULAR .....	52
4.1. Sonuç raporu .....	52
4.2. Korelasyon süreci.....	60
4.3. Kalite endekslerindeki iyileşmeler.....	63
5. SONUÇ VE TARTIŞMA .....	75
KAYNAKLAR .....	77
ÖZGEÇMİŞ .....	79



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

m-cm	Metre-Santimetre
g-kg	Gram-Kilogram
sn	Saniye
mm	Milimetre
x	Aracın önu-gerisini belirten eksen
y	Aracın solu-sağı arasını belirten eksen
z	Aracın tabanı-tavanı arasını belirten eksen
$\bar{X}$	Ortalama değer
$\sum Xi$	İncelenen değişkenlerin toplamı
R	Değişim aralık değeri
S, $\sigma$	Standart sapma
$S^2$	Varyans
cp	Proses yeteneği
cpk	Proses merkezlemesi
Tpre	Toplam tolerans
Tnat	Doğal tolerans
USL	Üst kontrol limiti
ASL	Alt kontrol limiti
$\partial_{T,x,y,z}$	Toplam ve ayrı ayrı x,y,z eksenlerine düşen sapmalar

### Kısaltmalar

### Açıklama

TOFAŞ	Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.
ÖMY	Ölçüm Merkezi Yöneticiliği
CMM	Coordinate Measuring Machine
SPC-İPK	İstatistiksel Proses Kontrol
KPI	Anahtar Performans İndeksi
STL	Standard Tessellation Language, 3D tasarımları farklı arayüzlerle çalıştıran bir formattır.
CAD	Computer Aided Design, Bilgisayar Destekli Tasarım
OEM	Original Equipment Manufacturer, Ana sanayii üreticisi
CSV	Comma Seperated Variables, Bir ölçüm çıktısı format
WLS	Ölçüm hücresi
DX	Araçtaki sağ parça
SX	Araçtaki sol parça
MGD	Müşteri gözüyle değerlendirme stratejisi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2. 1. A ölçüm, B kontrol metodolojisi .....	6
Şekil 2. 2. Ölçüm zinciri .....	7
Şekil 2. 3. Metre ve Kg prototipleri .....	8
Şekil 2. 4. 3 boyutlu ölçüm cihazı CMM .....	10
Şekil 2. 5. Lazer tarama cihazı .....	12
Şekil 2. 6. Lazer tarama görüntüsü.....	13
Şekil 2. 7. Yakıt depo kapak rapor .....	14
Şekil 2. 8. Hexagon Fotogrametri hücresi.....	15
Şekil 2. 9. X-ray tarama .....	15
Şekil 2. 10. Proses ortalamasının kayması ve değişkenlik yaratması .....	17
Şekil 2. 11. Normal dağılım eğrisi .....	19
Şekil 2. 12. Proses yeterliliği indisleri .....	21
Şekil 2. 13. Cp ve Cpk sembolizasyonu.....	22
Şekil 2. 14. Sanal fikstürleme teknolojisi .....	23
Şekil 2. 15. Sanal kaynak imalat .....	25
Şekil 2. 16. Simufact montaj simülasyonu.....	25
Şekil 2. 17. Hexagon sanal montajlama ve ölçüm .....	26
Şekil 3. 1. Erken Uyarı Sistemi bileşenleri .....	27
Şekil 3. 2. Ön tampon ve sağ far Gestione Geometria dosyaları.....	29
Şekil 3. 3. Polyworks örnek menü.....	30
Şekil 3. 4. PC-DMIS örnek menü .....	31
Şekil 3. 5. Ölçüm tezgah çıktısı.....	32
Şekil 3. 6. Dönüştürücü makro .....	32
Şekil 3. 7. Csv oluşturma yazılımı .....	33
Şekil 3. 8. Csv çıktısı.....	34
Şekil 3. 9. Csv'yi Erken Uyarı Sistemi ortak alanına taşıma .....	34
Şekil 3. 10. Sistemin tetiklenişi .....	34
Şekil 3. 11. Egea ailesi sağ çamurluk single projesi .....	36
Şekil 3. 12. Egea ailesi motor kaputu single projesi .....	36
Şekil 3. 13. Egea motor kaputu csv'si .....	37
Şekil 3. 14. Single proje ölçüm stratejileri .....	37
Şekil 3. 15. Egea motor kaput-tampon ölçüm noktaları.....	39
Şekil 3. 16. Egea çamurluk-tampon kesit atma .....	39
Şekil 3. 17. Egea çamurluk-motor kaputu detay kesit.....	40

Şekil 3. 18. Alignment çalışma sistematığına bir örnek.....	42
Şekil 3. 19. Egea çamurluk-motor kaputu oluşturulan sanal nokta bulutu .....	43
Şekil 3. 20. Polyworks ölçüm stratejileri .....	44
Şekil 3. 21. Kesitte sanal nokta bulutu ile flush & gap stratejisiyle ölçülen bir nokta ...	44
Şekil 3. 22. Egea Hatchback Bagaj kapağı single projesi .....	46
Şekil 3. 23. Egea Hatchback Bagaj kapağı boşluğu (gövde) single projesi .....	46
Şekil 3. 24. Egea Hatchback Bagaj kapağı double projesi.....	47
Şekil 3. 25. Egea arka tampon single proje .....	47
Şekil 3. 26. Egea Dorsale single proje .....	48
Şekil 3. 27. Egea Arka tampon double proje .....	48
Şekil 3. 28. Orijinal referans (Tekil parçalardan gelen aritmetik sapmaların sonucu) ...	50
Şekil 3. 29. Gövde + Bagaj Kapağı referansı.....	50
Şekil 3. 30. Dorsale + Tampon referansı .....	50
Şekil 3. 31. Çoklu referans .....	51
Şekil 4. 1. T1 Stop Sol örnek hata maili .....	54
Şekil 4. 2. Egea ön tampon projesi hata uyarı maili ve motor kaputu ile önden aralık ..	55
Şekil 4. 3. Egea ön tampon projesi boşluk-profil değeri hesaplaması .....	56
Şekil 4. 4. Egea ön tampon projesi hesaplanmış kesit örneği .....	58
Şekil 4. 5. Egea ön tampon projesi hesaplanmış kesitin istatistiksel geçmişi ve analizi	59
Şekil 4. 6. Egea Sedan montaj hattı ve Erken Uyarı Sistemi korelasyonu.....	61
Şekil 4. 7. Egea Hatchback montaj hattı ve Erken Uyarı Sistemi korelasyonu .....	62
Şekil 4. 8. Egea Station-Wagon montaj hattı ve Erken Uyarı Sistemi korelasyonu .....	62
Şekil 4. 9. Egea arka kapı çerçeve fitil binisi .....	64
Şekil 4. 10. Egea Arka Kapı çerçeve fitil binisi müdahale sonucu .....	65
Şekil 4. 11. A- geçmişten hata oluşmuş bir arka kapı, B- hatasız bir arka kapı.....	65
Şekil 4. 12. Hatchback bagaj kapağı hata sinyali.....	66
Şekil 4. 13. Gövde birimi müdahalesi sonrası.....	66
Şekil 4. 14. Egea Station-wagon sol arka kapı ile gövde arasındaki profil hatası .....	67
Şekil 4. 15. Sol arka kapı gövde profil hatasının iyileştirilmesi .....	67
Şekil 4. 16. Tampon-stop aralık değerinin iyileştirilmesi .....	68
Şekil 4. 17. Dikey çıta ve korniş aralık ilişkisi .....	69
Şekil 4. 18. Dikey çıta kapı bağlantı yüzeyi hatası: 1.7 mm aralık açıcı yönde .....	69
Şekil 4. 19. Dikey çıta kapı bağlantı yüzeyi iyileştirme .....	70
Şekil 4. 20. Egea Sedan tüm kontrol noktaları %'lik dilim gidişatı.....	71
Şekil 4. 21. Egea ailesi müşteri gözü ile değerlendirme puanı verileri.....	72
Şekil 4. 22. Egea ailesi boşluk-profil endeksi lazer ölçüm %'lik uygunluk sonuçları ....	74

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Uluslararası Temel Birimler .....	9
Çizelge 2.2. Cp yorumlanması .....	21
Çizelge 2.3. Cpk yorumlanması .....	21

## 1. GİRİŞ

Gittikçe küresel global bir hal almaya başlayan dünyada, teknolojinin değişim hızıyla beraber iş kolları da globallik etkisinin altında kalmaktan kurtulamamıştır. Küresel hal almaya başlayan iş ilişkileri, iş kavramını içeren tüm sektörleri de bu furyaya dahil etmiştir. Günümüzün en büyük ticari sektörlerinin ilk sıralarında yer alan otomotiv endüstrisi de gelişen teknolojiler ve değişen koşulları her zaman takip etme zorunluluğuna sahiptir.

Bugün dünya ekonomisinin yaklaşık %5'lik bir dilimini tek başına kapsayan otomotiv endüstrisi alıcı olarak demir-çelik, petro-kimya, cam, plastik, tekstil ve elektronik gibi sektörlerle; tedarikçi olarak tarım, turizm, savunma, ulaştırma, alt yapı ve inşaat gibi sektörlerle doğrudan veyahut dolaylı olarak bağlantılıdır (Pişkin, 2017). Otomotiv sektörü aynı zamanda pazar büyüklüğü ve yoğun rekabet ortamı içermesi sebebiyle ekonomik anlamda gelişmekte olan ülkeler için çok ciddi bir stratejik önem içermektedir.

Otomotiv sektörünün bugünlerdeki yerine nasıl geldiğine bakılırsa, ilk başta temelinde Sanayi Devrimi ve buhar, elektrik gücüne dayandırılan makinelerin ortaya çıkışının olduğu söylenebilir. Bu tür makinelerin ortaya çıkışı, insanların ve ticaretin en büyük dürtüsü olan bir yerden bir yere gidip iletişim kurma ihtiyacını da bu doğrultuda çalışma yapmaya sevk etmiştir. Günümüzdeki otomobillerin atası olarak adlandırabileceğimiz ilk içten yanmalı motorlu aracı Karl Benz ve Gottlieb Daimler geliştirmiştir. Ardından 1900'lü yılların başında Henry Ford seri üretim yaklaşımıyla ilk üretimi gerçekleştirmiştir. İlk olarak ABD'de sektör olarak ortaya çıkıp güçlenen otomotiv dünyası, II. Dünya Savaşı'ndan sonra İngiltere, Almanya, İtalya ve Fransa gibi Avrupa ülkelerinde ön plana çıkmış. 1980'li yıllardan sonra Amerika ve Avrupa pazarlarında doygunluk yaşanmasından ötürü sektör Asya, Güney Amerika gibi lokasyonlara kaymıştır.

Türkiye'de ise ilk üretim denemesi 1929 yılında Ford Motor Company tarafından kurulan traktör montaj fabrikasıyla başlamış fakat ekonomik kriz sebebiyle başarısız olmuştur.

50'li yıllarda devlet destekli birkaç girişim olsa da en önemlisi, 1961 yılında Eskişehir Devlet Demiryolları fabrikasındaki Devrim otomobilinin imalatı olmuştur. Üretilen ilk yerli otomobil maalesef talep yetersizliği ve siyasi nedenlerle sadece model üretim olarak kalmıştır. Türkiye'de otomotiv ana sanayisinin ilk atılımları 1959 yılında Koç-Ford ortaklı Otosan ile başlamış ve Anadolu adlı ilk yerli marka otomobil üretilmiştir(Yılmaz, 2017).

1969 ve 1971 yıllarında ise sırasıyla İtalyan Fiat lisansı ve Koç ortaklığıyla TOFAŞ, Fransız lisansı ile OYAK Renault fabrikaları kurulmuştur. Bu fabrikalar günümüz Türkiye otomotiv ana sanayisinin lokomotifini oluşturmaktadır.

Gelişen teknoloji, daralan pazar, artan rekabet ile beraber artık TOFAŞ gibi uluslararası pazarlara çalışan ana sanayii devlerinin sadece uygun fiyatlı araç üretmesine olanak tanımamaktadır. Artık ürün opsiyon çeşitliliği, model geliştirme, marka yapısı, çevre dostu olma ve kalite gibi kriterler esas olarak aracı pazarlayan kriterler haline gelmiştir. Bu kriterlerin en önemlilerinden biri olan kalite; üretilen ürünün müşterinin taleplerini karşılaması yani fonksiyonel, yasal ve estetik açıdan müşteri tarafından algılanıp rahatsızlık yaratacak bir kusurunun olmaması demektir.

Günümüz otomotiv sektöründe kalite algısı tanımlanmış kalite yönetim sistemleri ile oturtulmuştur. Özellikle ISO 9001 ve IATF 16949 gibi kalite yönetim sistemlerinin entegrasyonu ile birlikte artık kalite dâhil tüm süreçler belirli planlar ve takip edilen metrikler dâhilinde ilerletilmektedir. Süreçlerin kalitesinin kontrolü düzenli denetimler, plansız denetimler, %100 kontrol metotları, varlık-yokluk kontrolleri, numune bazlı ve periyodik kontroller gibi alt başlıklar halinde toplanabilir. Otomotiv sektöründeki üretim hacim büyüklüğü, parça sayısı, zaman kısıtları ve ekonomik kısıtlar düşünüldüğünde en yaygın kullanılan metotlar periyodik kontrol metotlarıdır. Bakıldığında ise otomotiv dünyasında ve kalite yönetim sistemlerini belirlemiş diğer tüm sektörlerde teorik ve pratik anlamda en çok kabul gören periyodik kontrol sistemi ise İstatistiksel Proses Kontrol (SPC)'dir.

Daha sonra teorik detayları açıklanacak olan İstatistiksel Proses Kontrol, 1960'lı yıllarda ünlü istatistikçilerin teorik çalışmalarından yola çıkılarak kurulmuş ve havacılık, savunma sanayiinde ilk kez kullanılmaya başlanan fakat günümüzde en büyük kullanım alanı otomotiv sektörü olan bir metottur. Kendi tanımlı sürecinden çıkan ve elde verileri bulunan bir yığının istatistiki anlamda sürecin doğru çalışıp çalışmadığının ve süreçten çıkan çıktılarının istenen seviyede olup olmadığının analizinin yapılmasını sağlamaktadır.

TOFAŞ'ta da SPC laboratuvarında ise gövdesel geometri, standart İstatistiksel Proses Kontrol ölçümleri ile takip edilmektedir. Make parça olarak adlandırılan gövde ve pres parçaları burada belirli frekanslar ile ölçülmektedir. Bu ölçümlerde 2017'nin başına kadar klasik İstatistiksel Proses Kontrol metotları uygulanmaktaydı. Bunlar arasında son 30 ölçüm takibi, tolerans içi ve dışı sinyalizasyonu, cp-cpk takibi, kontrol kartları, tek eksenli vektörel nokta bazlı uygunluk (x,y,z) sayılabilir. Fakat son 2 senedir üzerinde çalışılan Erken Uyarı Sistemi ile geleneksel istatistiksel proses kontrol metotlarını bir devrim niteliğinde silip bambaşka bir sisteme geçiş amaçlanmaktadır.

Early Warning System (Erken Uyarı Sistemi), bitmiş araç üzerinde belirli parçalar arasındaki boşluk ve profil değerlerini (gap&flush) araç henüz montaj hattından çıkmadan ölçerek; tolerans içi, dışı ve sınırdaki değerleri bir rapor halinde projesel bazda sinyalizasyonu amaçlayan bir sistemdir. Dünyada bu sayılarda seri üretimde bulunan otomotiv ana sanayilerinde canlı olarak kullanım örneği bulunmazken, Sanal Montajlama (virtual assembly) adı verilen ve Erken Uyarı Sistemi'nin de temellerinden olan tekniğin ise seri olmadan projesel bazlı kullanımının olduğu bilinmektedir. Sanal montajlama tekniği iki adet ölçümü bilinen parçanın bilgisayar ortamında ait oldukları referans yerlerine getirilerek karşılıklı ilişki sorgulanmasıdır.

Erken Uyarı Sistemi'nin Ekim 2016'da yol haritası çizilmeye başlanmış, 2017 yılı boyunca Polyworks firması ile yazılımsal altyapı hazırlanmış ve 2018 yılının ortalarından itibaren de yazılımın fabrikaya entegre edilmesi, ölçüm merkezi bünyesindeki cihazlarda ve ölçüm regülasyonunda kullanılmaya başlanması, raporlama ve sinyalizasyon

konusunda geliştirmeler ve fabrika içindeki Üretim ve diğer Kalite birimlerinin çıktılarıyla korelasyonunun sağlanması için çalışılmıştır.

Günümüzde gelişen teknoloji ile beraber şirketlerin ölçüm ve kontrol beklentilerini geleneksel istatistiksel proses kontrol karşılayamamaya başlamıştır. Bu sebepten yola çıkarak Erken Uyarı Sistemi'nin temelleri atılmıştır. Erken Uyarı Sistemi'nin geleneksel istatistiksel proses kontrolden üstün olduğu 4 adet alan belirtilebilir:

1. Normal bir süreçte araç gövdesi ve closures dediğimiz montaj parçalarının montaja gelişi ortalama 2 gündür. Araç montajda ortalama 1 gün geçirmektedir. Hattan çıkıp kalite kontrole girdikten sonra kalite reddi yedikten sonra hataya teşhis koyma süresi 1-20 gün, diyagnozu sonrası düzeltici faaliyetin devreye girişi ise 1-30 gün gibi süre zarfları almaktadır. Görüldüğu gibi toplamda 5-53 gün arasında bir zaman geçmektedir. Erken Uyarı Sistemi ise 2+1'lik preventif süreçte devreye girerek hatayı bu bölgede öldürmeyi amaçlar.
2. Geleneksel istatistiksel proses kontrol parça uygunluğu, alt komple uygunluğuna odaklanmışken, Erken Uyarı Sistemi bitmiş ürün uygunluğuna (araç uygunluğu) odaklanır. Tekil parçada tekil noktaların sonuçlarını değil, projesel anlamda her bir kontrol noktasının ve dolayısıyla o bölgenin, aracın geometrik anlamda uygun olup olmadığının sonucunu verir.
3. Ölçüm Merkezi'nde 101 çeşit SPC ve 45.000 kontrol noktasının takibi yapılmaktadır. Geleneksel istatistiksel proses kontrol ile bu kadar büyük bir database'in yönetiminde zorlanılmaktadır. Erken Uyarı Sistemi ise tüm bu dataları Polyworks yazılımının içinde toplayıp otomatik olarak real time ölçümü gerçekleştirecek ve raporlama sistemi sayesinde aktif olarak sinyal göndermektedir.
4. Geleneksel istatistiksel proses kontrol, parçalardaki kontrol noktalarının vektörel olarak tek eksene, X,Y,Z eksenlerine düşen sapmalarını ölçüm sonucu olarak



verir. Fakat açıdan dolayı tek eksene düşmeyen kontrol bölgelerinde (aracın büyük bir bölümü) tek eksen sonuçları yorumlayan kişiyi yanıltacaktır ya da eksik bilgi verecektir. Erken Uyarı Sistemi ise 3 eksene de düşen hatayı 3D olarak yani gerçekte okunan hata değeri olarak verip daha sonuç odaklı çalışmaktadır. Aynı zamanda 3 boyut mantığında düşündüğümüzde bu açısal bölgelerdeki boşluğun profile, profilin de boşluğa olan etkisini de görebilmemizi sağlamaktadır.

Bu çalışmanın içerisinde Erken Uyarı Sistemi'nin geleneksel istatistiksel proses kontrole olan üstünlükleri sayesinde akademik literatüre katkısı ve partik anlamda sanayiye sağladığı avantajların incelenmesiyle beraber, teorik anlamda ölçüm, istatistiksel proses kontrol, nokta bulutu ölçüm sistemleri gibi konular hakkında araştırmalar bulunacak, Erken Uyarı Sistemi'nin altyapısı incelenecek, ölçüm, alignment ve referanslama mantığı üzerinde durulacak ve flush&gap metodolojisi açıklanacaktır. Sistemin sinyalizasyon ve raporlama mantığı irdelenecektir. Ek olarak diğer sanal montajlama örneklerinden üstünlükleri belirtilmiştir.

Çıktı olarak ise Erken Uyarı Sistemi'nin kullanılmasıyla sağlanan bazı proses iyileşmeleri, geometrik müdahaleler ve sonuçları, firmada takip edilen belli başlı anahtar performans indeksleri (KPI)'lardaki değişim ve kalite göstergelerindeki iyileşmeler verilmiştir.

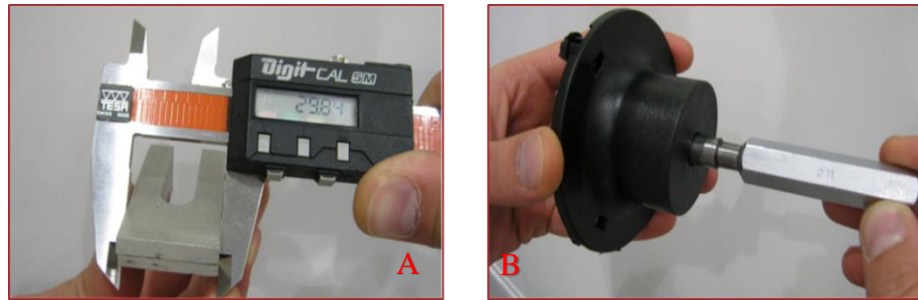
## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu kısmında ölçüm tekniğinden ve teorik açıdan ölçüm bilimi olan metrolojiye nasıl yaklaşılması gerektiğinden bahsedilmiştir. Ek olarak günümüzde geçerli olan ölçüm teknolojileri açıklanmış ve birbirine göre olan üstünlükleri karşılaştırılmıştır. Bir kalite ve ölçüm aracı olarak kullanılan istatistiksel proses kontrol teknik açıdan irdelenmiştir. Son olarak ise Sanal Montajlama tekniği ve örnekleri incelenerek bu sayede Erken Uyarı Sistemi'nin gelişmesinin temelini oluşturan olgular bilimsel açıdan açıklanmış ve sistemi çok daha anlaşılabilir hale getirilmiştir.

### 2. 1. Ölçüm ve tarihçesi

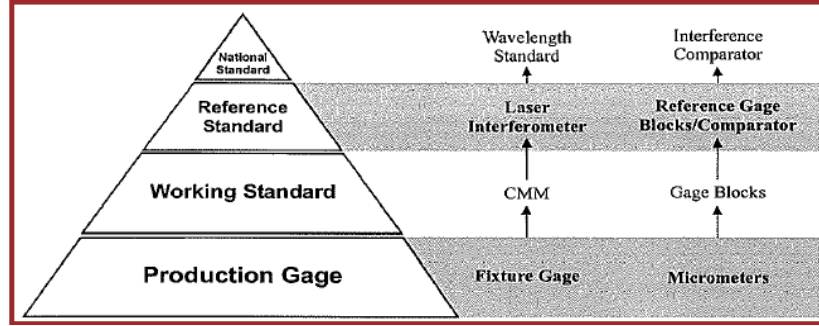
Ölçme (Şekil 2.1 A) olgusu genel olarak bilinmeyen bir niceliğin değerini öğrenmek için bilinen bir nicelik ile karşılaştırma işlemi olarak tanımlanabilir. Bu bilinen nicelik bir standart ya da aynı birimden ölçüsü bilinen farklı bir nicelik olabilir. TDK tanımı ise "bir niceliği o nicelik için kabul edilmiş birimlerden birine göre oranlayarak değerlendirme" olarak sunulabilir.

Kontrol ise (Şekil 2.1 B) yapılan işin belirli bir standart ve referans ölçü sınırlarına uygun şekilde yapılıp yapılmadığının araştırmasıdır. Örneğin bir blok şeklin genişliğini kumpas ile ölçmek bir ölçüm iken silindirik şeklin iç çapını geçer geçmez master ile kontrol etmek kontrol metodolojisidir.



Şekil 2. 1. A ölçüm, B kontrol metodolojisi

Ölçme işleminde mutlaka değeri bilinen bir temel nesneye ihtiyaç bulunmaktadır. Her cihaz aşağıdaki gibi belirsizliği daha düşük ve değeri bilinen bir üst referans ile karşılaştırılmalıdır. Buna teknikte Şekil 2.2’de görüldüğü üzere “ölçüm zinciri” adı verilmektedir.



Şekil 2. 2. Ölçüm zinciri

Tezgah başında kullanılan bir kumpas bir üst çalışma standardı ile karşılaştırılmalıdır. O cihaz ise referans standart ile karşılaştırılır. Referans standart ise nominal standart ile karşılaştırılır, bu işlemin adı kalibrasyon zinciridir.

Örneğin otomotivde kullanılan kontrol fikstürlerini düşünersek; fikstürde okunan sonucun geçerli olması için fikstürün bir CMM ile kontrol edilip kalibrasyon raporu yapılmalıdır. CMM ise bir üst referans olan laser interferometre ile kontrol edilir. Bu cihaz ise ulusal standart ile karşılaştırılarak zincir kurulmuş olur.

Tarihte ilk ölçme teknikleri parmak kalınlığı, el genişliği, karış, ayak gibi orta boydaki bir insanın vücudundaki parça veya mesafelerden yola çıkılarak başlamıştır. Ticaret ve ülkeler arası ilişkiler geliştikçe ise artık bu yöntem yeterli gelmemeye başlamıştır. Uzunluk ve ağırlık hesaplamalarında çeşitli yanılma ve karmaşalar ortaya çıkmıştır. İşte bu sebepten ötürüdür ki; uluslararası kabul gören, daha düzenli ve bilimsel ölçme tekniklerine gereksinim duyulmuştur.

Günlük hayatta, her ölçü biriminin tamamı ayrı ayrı önem taşımaktadır. Örneğin terziler elbiseleri ölçsüz dikseydi sığamazdık ya da içinde kaybolurduk. Mühendisler ve mimarlar ise binaları ölçmeden yapsaydı şekilsiz ve güvensiz olurlardı.

1800'lü yıllarda uzunluk ölçüm birimi olarak ‘‘çarşı arşını, endaze, rubu, parmak, kulaç’’ gibi farklı kavramlar kullanılmaktaydı. Örneğin çarşı arşını daha çok çarşı ve pazarda kullanılırdı. 1 çarşı arşını = 8 rubu = 0.68 m kumaş.

Ölçmedeki farklı kavramlar çeşitli ticari karmaşalara da neden oluyordu. İlk kez standardizasyon fikri 1874 yılında İngiliz Gelişmiş Bilimler topluluğu tarafından atılmıştır. Grup, uzunluk için santimetre (cm), ağırlık için gram (gr) ve zaman için de saniye (sn) önermiştir. 1889 yılında Conference du Poids et Mesures'te metre (m), kilogram (kg) ve saniyenin (sn) daha uygun olacağı fikri ortaya çıkmıştır. (Sonmez 2017).

Daha sonra ilerleyen süreçlerde ise Uluslararası Ölçüm Sistemi (Systeme International D'unites) kurumunun oluşturulması ile beraber birimin aktiviteleriyle dünyada bir çok yerde yerel olarak kullanılan ölçüm birimleri değişmiş ve ortaklaşmıştır. Ortaklaşmamış ABD gibi ülkeler ise halen bulunmaktadır.

Ölçüm konvansiyonuna varılması ise metre ve kilogram prototiplerinin (Şekil 2.3) üretilmesiyle olmuştur. %90 platin ve %10 iridyum alaşımından yapılan prototipler halen Fransa Ulusal Arşivi'nde sergilenmektedir.



Şekil 2. 3. Metre ve Kg prototipleri

Konvansiyonun imzalanmasından sonra artık özetle 3 adet temel yapı kurulmuştur.

- CGPM (Conference Generale de Poids et Mesures): Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçü Konferansı'dır. Her 4 yılda bir Paris'te toplanır ve üye sayısı 51 ülkedir. Türkiye üyedir ve Sanayi Bakanlığı'na temsil edilir. (Sonmez 2017).
- BIPM (Bureau International de Poids et Mesures): Uluslararası Metroloji Enstitüsü. Dünya çapında ölçümlerin doğruluğu ve farklı bölgelerde yapılmış ölçümlerin birbirine denk olmasından sorumlu kurumdur. BIPM metroloji dünyasının en saygın yayını olan Metrologia dergisini yayınlamaktadır. Türkiye, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü ile BIPM'nin faaliyetlerine katılmaktadır. (Sonmez 2017)
- CIPM (Comite International de Poids et Mesures): Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçü Komitesi'dir. Belirlenen temel birimlerin ölçümde işleyişinden sorumlulardır. BIPM'in faaliyetlerini denetler. Her yıl Ekim ayında Paris'te toplanılır. Katılacak ülkeler bilimsel ve teknolojik yetkinliklere göre 4 yılda bir belirlenir. (Sonmez 2017)

**Çizelge 2.1.** Uluslararası Temel Birimler (Sonmez 2017)

Fiziksel Büyüklük	Birim	Simge
Uzunluk	metre	m
Kütle	kilogram	kg
Zaman	saniye	s
Elektrik Akım Şiddeti	amper	A
Sıcaklık	kelvin	K
Madde Miktarı	mol	mol
Işık Şiddeti	candela	cd

## 2. 2. Otomotivde kullanılan ölçüm teknikleri

Erken Uyarı Sistemi'nin çalışma mantığını kavrayabilmek için Ölçüm ve tarihçesini anladıktan sonra, günümüzde kullanılan ölçüm tekniklerinin de bilinmesi şarttır.

Böylelikle Erken Uyarı Sistemi'nin kullandığı teknoloji seviyesinin günümüz ölçüm cihazlarındaki yeri anlaşılacak ve gelecek trendinde teknolojiye nasıl daha fazla uyum sağlanabilir bunun hakkında fikir sahibi olunacaktır. Otomotiv sektöründe kullanılan parça ve araç ölçüm teknolojilerini genel anlamda üç ana başlıkta toplanabilir:

- Dokunarak Ölçüm Teknolojileri
- Nokta Bulutu Lazer Ölçüm Teknolojileri
- Fotogrametri Teknolojileri ve X-Ray Hücreler

İlk iki teknoloji temel bir yapı oluştururken, son madde bu teknolojilerin üstüne günümüz trendinin geldiği noktayı temsil eder. Akademik çalışmanın bu bölümünde bu teknolojiler ve otomotiv sektöründeki yerleri hakkında bilgiler verilecektir. Ek olarak hepsinde ortak mantıkta kullanılan referanslama sistemi hakkında bilgi verilecektir.

### 2.2.1. Dokunarak Ölçüm Teknolojileri:

Dokunarak ölçüm genel anlamda Koordinat Ölçüm Makineleri (Coordinate Measurement Machines) adı altında Şekil 2.4'teki gibi CMM cihazları olarak belirtilir.



Şekil 2. 4. 3 boyutlu ölçüm cihazı CMM

Yukarıdaki şekilde görülen CMM'ler hızlı ve güvenilir ölçüm yapmak için otomotiv sanayisinde her daim kullanılmaktadırlar.

CMM'ler temel anlamda gövde, kızaklar, kontrol ünitesi, servo motorlar, elektronik cetveller, prob, yazılım ve bilgisayar donanımı gibi ana bileşenlerden oluşurlar (Teke ve ark. 2013).

Bu cihazlar 3 ekseninde (X-Y-Z, araç koordinatı mantığında) konumlandırılmış hassas cetveller içerir. Bu hassas cetveller genellikle 0,001 mm ölçebilir hassasiyette imalatı yapılmış olan ürünlerdir. Daha az ve daha çok hassasiyete sahip (0,0001 Zeiss cihazlar komple gövdeyi ölçebilmektedir) olan CMM cihazları mevcuttur.

Tezgâhın üzerinde ölçüm kolunu taşıyan ve aksel hareket yapmasına olanak veren bir köprü düzeneği bulunmaktadır. Bu köprü düzeneğinin üzerinde ölçüm kolu vardır. Ölçüm kolunda ise probe adı verilen yük referanslı elektromanyetik algılayıcı uçlar bulunmaktadır.

Bu uçlar parçanın üzerine dokunulduğunda ölçüm cihazının beynine sinyallerle datalar göndererek cetvel CMM uzayında neredeyse oranın koordinatı belirlenir. Bu metotla her bir noktanın pozisyonu belirlenir ve başlangıç referansına göre olan konumuna göre matematiksel hesaplamalar yapılır.

Genel anlamda CMM cihazlarını hareket kabiliyeti ve kullanım tiplerine göre yatay ve dikey olarak ikiye ayırabiliriz. Dikey tip CMM'de prob hareketli bir köprü tarafından dikey olarak taşınmaktadır, ölçülecek parça köprü'nün altına bağlanır ve hareketli köprü vasıtasıyla prob parçanın koordinat verilerini toplar (Bilge 2017). Şekil 2.5'te TOFAŞ Ölçüm Merkezi'nden dikey tip bir CMM görmektesiniz.

Yatay tip CMM dikey tipte olduğu gibi dik bir düzleme değil yatay düzleme yerleştirilmiş koldan ve ucundaki probdan oluşur, yapısı itibariyle daha geniş bir çalışma alanına sahiptir(Bilge 2017).

Ölçüm yapılacak parçaların tezgaha bağlanması ve çözülmesi dikey tipe göre daha kolaydır. Sanayinin çeşitli alanlarında kullanılan kalıpların ölçümünde bu tip CMM'ler kullanılmaktadır(Bilge 2017).

### 2.2.2. Nokta Bulutu Lazer Ölçüm Teknolojileri:

CMM cihazları hızlı ve güvenilir ölçüm yapabilmektedirler. Ancak bu yöntemde yalnızca noktalar üzerinden değerlendirme yapılması ve her karakteristik için dokunarak nokta alma zorunluluğu ölçüm zamanı ve kalitesi açısından sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde cycle time denilen her bir prosesin çevrim zamanı otomotiv sektörünün en önem verdiği olgulardan biridir.

Nokta bulutu teknolojisinin gelişmesiyle beraber bu sorun ortadan kalkmıştır. Her bir karakteristiğe tek tek dokunarak ölçüm yapmak yerine saniyede 20.000 nokta alarak daha fazla noktadan oluşan verilerin analizi çok daha doğru, hızlı ve güvenilir sonuç çıkartmaktadır. Lazer sistemi aynı zamanda tersine mühendislik işlemlerinde de kullanılır. Modelleme yapma işlemi örnek parçadan çok daha hızlı yapılabilmektedir. Ayrıca mobil oldukları için araçlar üzerinde ulaşım noktalarını kolaylaştırmaktadır.



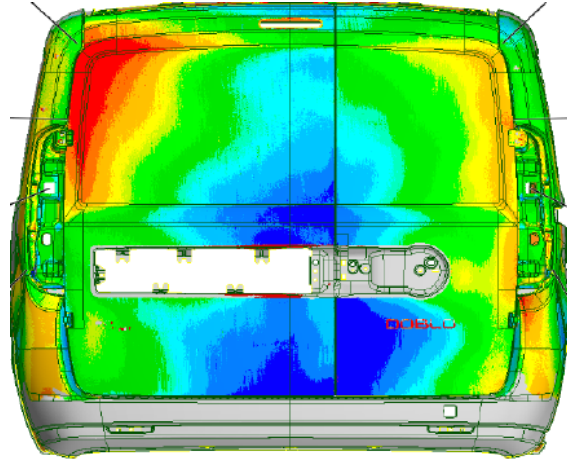
Şekil 2. 5. Lazer tarama cihazı

Lazer tarayıcılar (Şekil 2.5), ölçülecek objeyi yatay ve düşey yönde belirli bir açı altında nokta dizileri şeklinde tarayarak nokta bulutu halinde görüntülenmesini sağlamaktadırlar (Lichti ve Gordon 2004). Her lazer noktası için tarayıcı alet merkezli kutupsal koordinatlar ile ölçülür.



Bunlar; ölçülen noktaya olan eğik uzaklık  $n$ , ölçüm doğrusunun  $x$  eksenine ile yatay düzlemde yaptığı eğim açısı  $\alpha$  ve ölçüm doğrusunun yatay düzlemle yaptığı eğim açısı  $\theta$ 'dır. Aynı zamanda ölçülen yüzeyin yapısına ve ölçme uzaklığına bağlı olarak dönen sinyalin yoğunluğu da ölçülerek kayıt edilir(Altuntaş ve Yıldız 2008). Bu nokta bulutları farklı metotlarla birleştirilerek ölçüm haline getirilir.

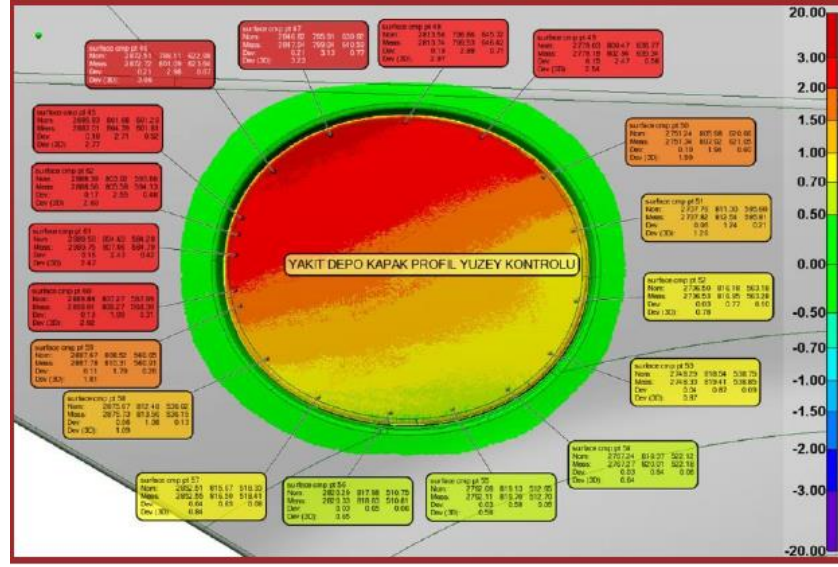
Elde çok fazla veri toplandığı için bu verilere artık bulut adı verilip, nokta bulutu denmektedir. STL formatında tarama çıktısı Polyworks, PC-DMIS gibi programların matematiksel ölçüm algoritmaları kullanılarak ölçüm raporlarına dönüştürülmektedir.



**Şekil 2. 6.** Lazer tarama görüntüsü

Lazer tarama sonucu alınan avantajlarından biri de nokta bulutlarının eldeki CAD data ile karşılaştırılma imkanının olması ve çıkan sapmaların "color map" denilen renk haritalarından 3 boyutlu şekilde okumaya imkan sağlamasıdır.

Bakış yönüne göre kırmızı renk bölgenin raporu okuyan kişiye daha yakın olduğunu gösterir. Yani malzeme fazlalığının bir indikatörüdür. Mavi renk ise tam tersi olarak bakan kişiden uzak olmayı temsil eder, yani malzeme eksikliğinin bir indikatörüdür.



Şekil 2. 7. Yakıt depo kapak rapor

Şekil 2.7’de araç üzerinden toplanmış bir nokta bulutunun raporlanmış hali görülmektedir. Yakıt depo kapak bölgesine ait bir ölçümdür. Görüldüğü gibi sarı, turuncu ve kırmızı olan bölgeler yakınlığı temsil eder yani depo kapak gövdeye göre aracın dışına doğru 3.2 mm’ye kadar sapmıştır. Şekil 2.7’den görüleceği gibi rapor renkleri bir skalaya göre belirlenmektedir. OEM’ler genelde bitmiş araç üzeri parçalar için 0.5 mm’lik değişim aralıklarını kullanırlar fakat ölçüm hassasiyeti, toleranslar ve isteğe göre bunlar değiştirilebilir.

### 2.2.3. Fotogrametri teknolojileri ve X-ray hücreler:

Fotogrametri son yıllarda özellikle coğrafi bilimler ve haritacılık sektöründe esas gelişimini göstermiş ve son zamanlarda otomotiv sektöründe de yer bulmaya başlamış bir teknolojidir. Amaç objelerin geometri, konum ve şekil bilgilerini bir dizi fotoğrafın birleşmesi yardımıyla tespit etmektir.

Fotogrametri tekniği genelde kapalı hücreler halinde bir odada kurulan ölçüm sistemiyle hayata geçirilir. Nokta bulutu teknolojisi kullanılmaktadır. Üst üste çekilen on binlerce fotoğraf ile elde edilen nokta bulutları PC-Dmis, Polyworks gibi programlar aracılığıyla ölçüm algoritmaları kullanılarak rapora dönüştürülmektedir.



**Şekil 2. 8.** Hexagon Fotogrametri hücresi (Anonim 2017)

Kapalı hücelere alınacak komple bir gövdeyi tek seferde bölge bölge ölçebilen bu cihazların önü otomotiv sektörü için çok açıktır. Vardiyada binek bir otomobil bazında 2-3 komple gövde taraması yapabilecek kapasitede cihazlardır. Özellikle İstatistiksel Proses Kontrol anlamında sunduğu veriler ile Erken Uyarı Sistemi gibi sistemlerin çalışması için çok ciddi kaynaklar sunar. Leica, Hexagon gibi dev metroloji firmaları bu sektöre oldukça geniş ölçekte yatırımlar yapmaktadırlar.

X-ray ölçüm hücreleri ise fotogrametri gibi yeni gelişen teknolojilerden biridir. Fakat otomotivde kullanım sıklığı çok daha düşüktür. Mercedes-Benz gibi firmaların yeni yeni Ar-Ge olarak yatırım yaptıkları bu teknoloji temelde objenin içinden x-ışını geçirerek iç bölgelerin taramasını yapmaktadır. Daha sonra bu taramaların projeksiyonunu cihazda bulunan kristal diyotlara yansıtır ve böylelikle taranan bölgelerin iç yapıları da gözlemlenebilmiş olur. Bu cihazlar aynı zamanda atom numarası ayırımından yola çıkarak organik-inorganik nesneye kadar ayırım yapabilmektedir.



**Şekil 2. 9.** X-ray tarama (Anonim 2016)

### 2. 3. Veriden rapora : İstatistiki Proses Kontrol

Otomotiv Endüstrisi söz konusu olduğunda Kalite anlamında en önemli kavramlardan birisi İstatistiki Proses Kontrol (İPK)'dir. Otomotiv sektöründe sac metal prosesleri, kaynak prosesleri, robotla yükleme prosesleri, montaj prosesleri gibi bir çok üretim metodu tek plant'te yapılarak ve tedarikçilerden de gelen parçalarla bir otomobil ortaya çıkarılmaktadır.

Bu proseslerin durumunu ve kalitesini kontrol etmek için de İPK metotları kullanılır. İPK bir veri toplama sürecinin sonuçlarının bilimsel şekilde yansıtılmasıdır. Bölüm 2.2'de bahsedilen veri toplama yöntemleri kullanılarak toplanan veriler istatistiki metotlar ile harmanlanarak ortaya iyileştirmenin sağlanması için gidişat grafikleri ortaya çıkartılır.

Otomotiv sektöründe 1940-1965 yılları arasında gelişen kalite bilinciyle birlikte çalışanları eğitim ve uzmanlaşma ihtiyaçları da belirginleşmiştir. İstatistiki metotlar da kalite işinin içine yavaş yavaş bu dönemde dahil olmaya başlamıştır. İstatistiki metotlardan önce klasik yaklaşım bulunmaktaydı. Klasik yaklaşımda mal veya hizmetin nihai üretimi tamamlanmakta, daha sonra kontrol edilmektedir. Kontrol edildikten sonra eğer ki öngörülen şartlar karşılanıyor ise ürünün gönderimi yapılır yoksa ıskarta edilir ya da tamir edilirdi. Bu pahalıya mal olan ve verimsiz bir süreçtir.

İstatistiksel metotların kullanılmaya başlanmasıyla beraber ise nihai ürünün üretiminden önce o süreç bir çok aşamaya bölünmektedir. Sürecin bölünen her birim aşaması ayrı bir şekilde istatistiki analiz ile kontrol altında tutulmaya çalışılır. Böylelikle bir aşamada yeterli kaliteyi yakalamadan asla sıradaki aşamaya geçiş sağlanamamaktadır. Aynı zamanda prosesin geçmişteki durumunu ve değişkenlikleri takip etmeyi de mümkün kılar.

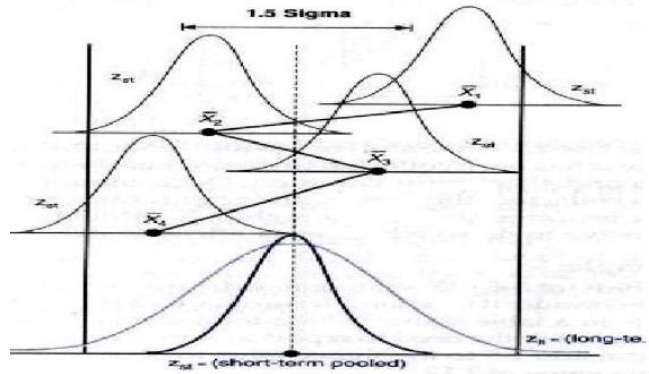
İstatistiki proses kontrolü yaklaşımı bir prostedeki değişkenlikleri tespit edip elimine etmenin en iyi metotlarından biridir. Doğal hiçbir şey asla stabil değildir. Doğada bulunan her şeyde bir değişkenlik mevcuttur. Bunun gibi proseslerde de sürekli belirli parametreler boyunca değişiklik olmaktadır. Zaman, sıcaklık, çevrim sayısı, yük gibi parametreler proseslerde değişkenlik yaratmaktadırlar. Teknikte proseslerdeki

değişkenlik sebepleri iki ana kolda incelenir. Genel sebepler ve özel sebepler olarak belirtilmektedir.

Genel sebepler, her prosesin doğasında var olan seviyeleri ve değişimleri tahmin edilebilir olan sebeplerdir. Değişkenliğe etkileri çok bariz olmasa da düzeltilmesi zor, temel kavramlar ile ilgililerdir. Özel sebepler elimine edilebilmiş ise genel sebepler zamanla kararlı bir dağılım gösterir. Örnek vermek gerekirse; plastik enjeksiyon kalıbının zamanla aşınması.

Özel sebepler ise nedeni belirsiz bir kök nedene giden ve proses sahibinin önceden tahmin edemeyeceği şekilde oluşan sebeplerdir. Belirli bir düzenleri yoktur ve ani bir şekilde ortaya çıkarlar. Önlem alınmaz ise de tekrar ederler. Değişkenliğin asıl sebepleri olmalarına rağmen genel sebepler gibi tespitleri zor değil; tespit ve müdahale şansları daha rahattır.

Üretim proseslerinde genel olarak yukarıdaki sebeplerden dolayı yaşanan iki ana problem mevcuttur; değişkenlik olması ve ortalamasının kayması. Aşağıdaki grafikte bu durum iki simgelenmektedir.



**Şekil 2. 10.** Proses ortalamasının kayması ve değişkenlik yaratması (TOFAŞ Akademi 2016)

Şekil 2.10'da görülen değişkenlik ve ortalamasının bozulması problemi proseslerde yetenek takibi yapılarak izlenir ve analiz edilir. Çalışmanın bundan sonraki bölümünde önce temel istatistiksel proses kontrol kavramları ele alınacak, yetenek analizinden

bahsedilecek ve daha sonra da en sık kullanılan istatistiksel proses kontrol araçları anlatılıp Erken Uyarı Sistemi'nin temel kontrol mantığının temelini oluşturan metotlar anlaşılır hale getirilecektir.

İstatistiksel proses kontrol çıktılarını okuyabilmek için raporlarda sıkça görülen temel istatistiksel kavramlara hakim olmak gerekmektedir. Erken Uyarı Sistemi'nin de temellerinde klasik İPK raporlama mantığı yer almaktadır. Bu sebepten ötürü temel İPK verisi bilgisi ile Erken Uyarı Sistemi çıktısı rahatlıkla yorumlanabilecektir.

Aritmetik ortalama; bir veri grubunun toplanarak, veri sayısına bölünmesi ile elde edilen değerdir.  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  gibi n alt eleman içeren bir data havuzunun aritmetik ortalamasıdır.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.1)$$

$\bar{X}$  : Ortalama değer

$\sum X_i$  : İncelenen değişkenlerin toplamı

n: Değişken sayısı

Medyan (Ortanca); bir dağılım içerisindeki büyüklüklerine göre sıralanmış bir veri grubunda tam ortaya karşılık gelen değerdir. Eğer veri sayısı tek değil de çift sayı ise, medyan sıralamada ortada kalan iki sayının aritmetik ortalaması olarak hesaplanır.

Mod (Tepe değer); bir veri kümesi içerisinde frekansı en yüksek olan yani en fazla tekrarlama sıklığına sahip olan değerdir. Mod bir dağılımın veri grubunun yoğunlaştığı noktayı gösterir.

Range (Değişim aralığı); bir data topluluğunda, topluluğun en büyük değeri ile en küçük değeri arasındaki farktır.

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (2.2)$$

Standart sapma; bir ölçümde elde edilen bağımsız değerlerin ortalama etrafındaki dağılımıdır.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.3)$$

$\bar{X}$  : Ortalama değer

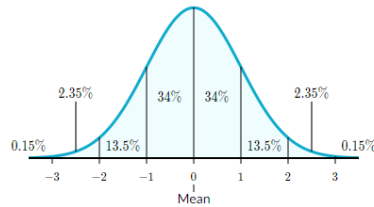
$X_i$ : İncelenen değişkenler

n: Değişken sayısı

Bir proses dağılımında standart sapmanın küçük olması, o prosesin işleyişiyle ilgili riskin az olması anlamına gelir.

Varyans (Değişkenlik); doğada birbirinin aynı iki ya da daha fazla nesne yoktur. Üretilmiş olan her ürün ya da her parça diğerinden bir miktar farklı olacaktır. Bu nesnelere arası farklılığa değişkenlik denir. Varyans, standart sapmanın karesidir.

Normal dağılım ve merkezi limit teoremi; elde edilen veri kümesinin bir matematiksel modele göre dağıldığının bilinmesi analiz açısından kolaylık sağlar. İPK’da ve genel olarak istatistik bilminde en yaygın olarak kullanılan model normal dağılım modelidir.



**Şekil 2. 11.** Normal dağılım eğrisi (Khan Academy 2019)

Gauss eğrisi olarak da adlandırılan normal dağılım eğrisine göre; Standart sapmasının  $\sigma$  olduğunu bildiğimiz bir veri kümesinde, tüm veriler  $\mu - \sigma$  ile  $\mu + \sigma$  aralığında dağılıyor ise; değerlerin %68'i bu güven aralığında yer alıyor demektir. Eğer gözlemler  $2\sigma$  yani  $\mu - 2\sigma$  ile  $\mu + 2\sigma$  aralığında ise eldeki verilerin %95'inin bu aralıkta bulunduğu sonucuna varılabilmektedir. İPK'da ise nihai hedef  $\pm 3\sigma$  aralığında çalışabilecek bir proses yaratmaktır. Sebebi ise;  $\pm 3\sigma$  ile çalışmak eldeki kitleden seçilen rastgele seçilen herhangi bir değerın  $6\sigma$  sapma dışına çıkma olasılığının sadece binde üç (0.003) olmasıdır. (%99.74)

Cp, Cpk ve Proses yeterliliği; bir prosesin yeterli ve yetenekli olması o prosesin çıktılarının spesifikasyon şartlarına göre kıyaslamasıyla beraber, prosesin şartları karşılayıp karşılayamayacağını görmeyi sağlayan bir kavramdır.

Bir prosesin yetenekli olup olmadığı ve prosesin nominal değere göre merkezleme ölçünü Cp ve Cpk değerleri verir. Cp prosesin dağılımının yeteneğini verir. Toplam toleransın (Tpre) doğal toleransa (Tnat) oranı Cp'yi vermektedir.

$$C_p = \frac{T_{pre}}{T_{nat}} \quad (2.4)$$

$$T_{nat} = 6.S \quad (2.5)$$

$$\text{Toplam tolerans (Tpre)} = T = UKL - AKL \quad (2.6)$$

S: standart sapma

USL: Üst kontrol limiti

ASL: Alt kontrol limiti

Tnat: Doğal tolerans, prosesin doğal koşullarda 4M ve çevre etkileriyle yaratabileceği varyasyondur.

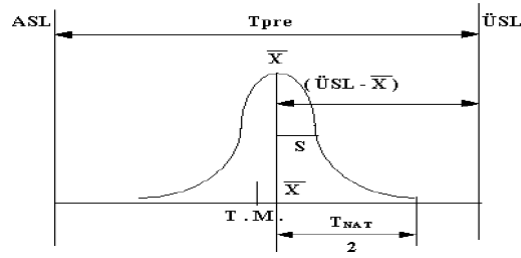
Tpre: Resim toleranslarındaki alt ve üst spesifikasyonların farkıdır.



Cpk indisi ise proses çıktılarının teknik resimde belirtilen nominale göre olan konumunu göstermektedir.

$$C_{pk}, (Ppk) = \frac{\bar{X} - ASL}{3\sigma} \quad C_{pk}, (Ppk) = \frac{ÜSL - \bar{X}}{3\sigma} \quad (2.7)$$

Küçük olan değer alınıp kullanılır. Hedef Cp ve Cpk için teorik olarak 1'den büyük olmasıdır. Endüstride farklı değerler set değeri olarak kullanılabilir. Cpk asla Cp'den büyük olamaz.



Şekil 2. 12. Proses yeterliliği indisleri (TOFAŞ Akademi 2016)

Hedef proseste merkezleme ne kadar iyi ise Cpk değeri Cp'ye yakındır ve beraber 1'in üstündedirler.

Çizelge 2.2. Cp yorumlanması

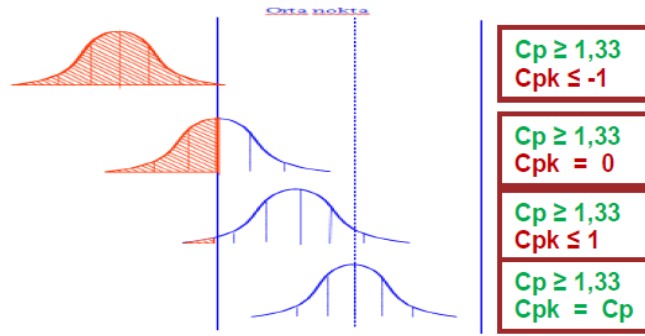
Cp	Sonuç
Cp > 1.33	Proses yapılabilirliği yeterlidir.
1 < Cp < 1.33	Proses marjinal olarak yeterli, ancak takip edilmelidir.
Cp < 1	Proses yapılabilirliği yetersizdir.

Çizelge 2.3. Cpk yorumlanması

Cpk	Sonuç
Cpk > 1.33	Proses, spesifikasyon limitlerini karşılıyor.
1 < Cpk < 1.33	Proses marjinal olarak spesifikasyon limitlerini karşılıyor, prosesin hata yüzdesi artabilir
Cpk < 1	Proses belirlenen spesifikasyonlarda üretim yapamaz.

Proses normal dağılım grafiğine bakılır ise, dağılımın kollarının açılması dağılımı tolerans dışına çıkma ve yeteneğini düşürme riskine sokar, bu yüzden yatay anlamda genişlik Cp ile ilişkilendirilir.

Dağılımın merkezinin proses merkezine göre olan konumu ise merkezlemeyi işaret ettiği için Cpk ile ilişkilendirilir. Şekil 2.13'te bu sembolize edilmiştir:



Şekil 2.13. Cp ve Cpk sembolizasyonu

İstatistiksel proses kontrolde kullanılan temel kavramlar özetlenmiştir. Bu kavramlar bir prosesin ölçüm sayısına ve zamana bağlı olarak gidişatını yorumlamaya yarayan kavramlardır. İstatistiksel proses kontrolünün çıktılarını oluşturan "kontrol kartları" mevcuttur. Başlıca olarak, X-R, X-S, MX-MR tipinde kartlar sayılabilir. Bu kontrol kartlarının her birinin kendi içinde farklı bir mantık silsilesi mevcuttur, fakat bu çalışma kapsamında açıklanmayacaktır. Çalışmada Erken Uyarı Sistemi'nin kendi rapor sistematığı açıklanacaktır, basit ve kullanımı kolay bir ara yüze sahiptir.

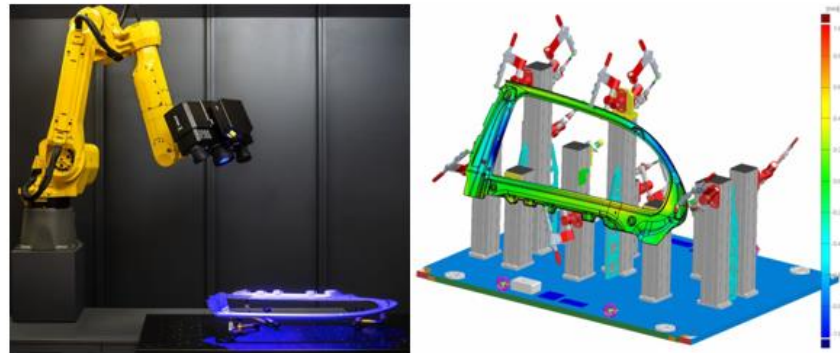
#### 2.4. Sanal Montajlama & İmalat tekniği örnekleri

Sanal ölçüm teknolojileri günümüzde ölçüm ve mühendislik firmaları tarafından yeni yeni geliştirilmeye başlayan teknolojilerdir. Nokta bulutu teknolojisinin son geldiği nokta olarak gösterilebilir ve sanayi için en güzel uygulamasıdır.

Hexagon, Cadem, Atos, ESI, Cenaero gibi dünya çapında mühendislik hizmeti sunan firmalar sanal imalat ve montaj teknolojileri konusunda geliştirmelerde bulunmaktadır. Bir kısmının mantığı Polyworks tarafından TOFAŞ için geliştirilen Erken Uyarı Sistemi ile örtüşmekte, bir kısmı ise daha farklı amaç için geliştirilmektedir. Bakıldığında bu sistemleri seri imalatında kullanan ve bu şekilde fabrika çapında bir metoda dönüştüren ülke içinde başka ana sanayi görülmemektedir ve bu araştırılan metotların hiçbiri bire bir anlamda Erken Uyarı Sistemi'nin yerini tutmayacaktır. Hala analiz amaçlı kullanılan ve geliştirilmeye devam eden teknolojilerdir. Çalışmanın bu kısmında sanal montajlama ve imalat teknolojilerinden bahsedilecektir.

Cadem-Sanal fikstürleme teknolojisi (Şekil 2.14); ölçüm için fikstür kullanmadan enjeksiyon ve sac şekillendirme proseslerinden çıkan parçanın ölçülebilmesi, araç üzerine montaj durumunun simüle edilebilmesi için kullanılan bir teknolojidir.

Otomotivde kontrol fikstürlerinin yapımı oldukça teferruatlı ve pahalı bir işlemdir. Ek olarak fikstüre manuel yerleştirme ve klempleme kullanıcı etkisinden kaynaklanan hataların ölçüm sonucuna yansımaya sebebiyet verir. Cadem'in geliştirdiği GOM yazılımındaki yeni modül ile eldeki parçanın fikstürdeki durumunu fikstür kullanmadan hesaplamak mümkün hale gelmektedir. Programa yapılan veri girişiyle (malzeme, dayanım, boyutsal bilgiler) program bir deformasyon modeli çıkarır. Bu deformasyon modeli parçanın kalıptan ya da prosesten çıkabileceği doğal hatalar modelini oluşturur.



Şekil 2. 14. Sanal fikstürleme teknolojisi (Cadem 2019)

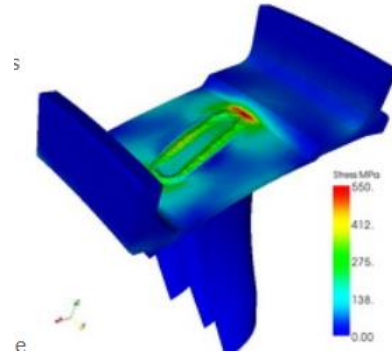
Serbestte taranan parça sanal ortamda seçilen fikstür noktalarıyla sanki bir klemp basıyormuş gibi yerine getirilir ve aslında parçanın montajlandığındaki hali henüz serbest haldeyken ölçüm sonucu ile simüle edilir. Parçanın altına yerleştirilen bir evrensel pnömatik cihazla parça kendi yapısına uygun oranla vakumlanarak yer çekimi etkisi ve kalıptan çıkan parçaların geri yaylanma (backspring) etkisi de simüle edilmeye çalışılarak parça en doğru ve fikstüre yakın şekilde ölçülmeye çalışılmaktadır.

Bir diğer benzer mantıkta çalışan teknoloji ise Cenaero firmasının geliştirdiği sonlu elemanlar analizi mantığıyla çalışan Cenaero-Sanal imalat teknolojisidir. Teknoloji 4 ana başlıkta işlem sonucu üretebilmektedir:

- Sürtünme karıştırma kaynağı
- Elektron ışın kaynağı
- Talaş kaldırmalı imalat
- Manyetik indüksiyon ile ısıtma işlemi

Program çoklu fizik denklemlerini sonlu elemanlar metodu ile analiz ederek parçaların yukarıdaki ve benzeri metotlarla yapılacak imalatlar sonucu oluşan hatalarını göstermek amaçlı geliştirilmiştir. Örnek vermek gerekirse kaynak metotlarında bir termo-akışkan modülü kullanarak akış ve kaynağa göre parça yüzeyinde oluşacak çarpılmayı hesaplayabilmektedir. Talaş kaldırma işleminden sonra talaşın boyutuna göre parçada bırakacağı artık gerilmeyi hesaplayabilmektedir ve ısıtma işlemin ardından su verildikten yani soğutulduktan sonra parça üzerinde oluşacak çarpılma etkisini hesaplayabilmektedir.

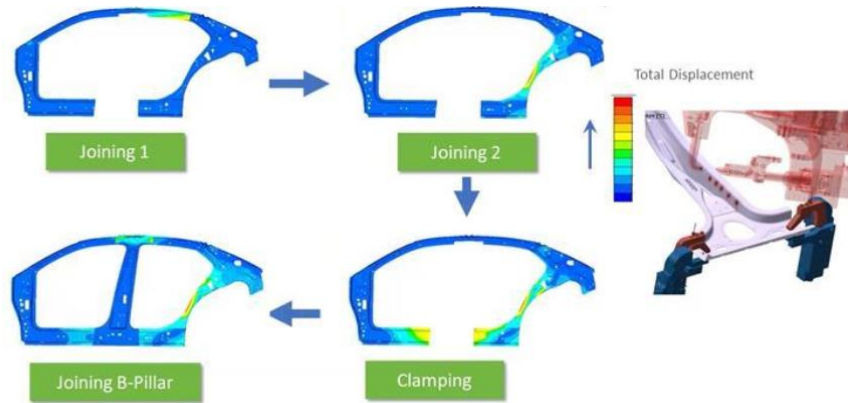
Teknoloji tekil parça imalatında daha etkin olarak kullanılmak ve Erken Uyarı Sistemi'ndeki gibi parçaların birleştirilmesiyle komple bir nihai üründe parçalar arası ilişkiyi verememektedir. Sonlu elemanlar metodu tabanlı birçok benzer uygulama da bulunmaktadır.



Şekil 2. 15. Sanal kaynak imalat (Cernaero 2019)

Araştırmalarda bulunan teknoloji ve teorik anlamda Erken Uyarı Sistemi'ne en çok benzeyen çalışma ise Hexagon firmasının Simufact arayüzünü kullanarak oluşturduğu montaj simülasyonu (assembly simulation) teknolojisidir.

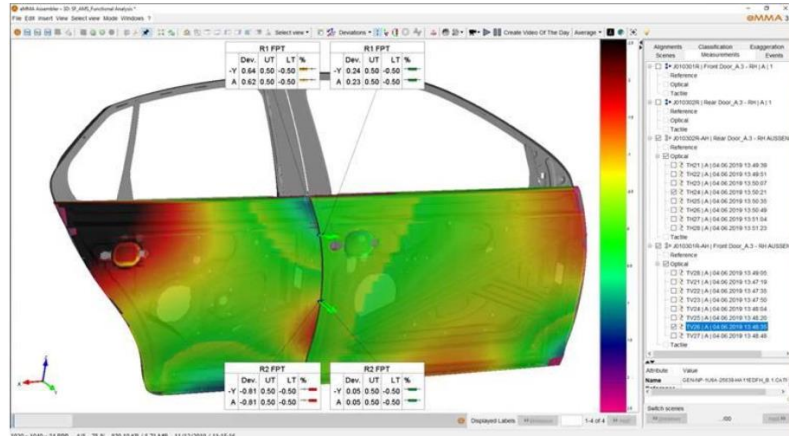
Montaj simülasyonu teknolojisini iki ayrı fazda değerlendirmek mantıklı olacaktır. Bunlardan ilki aslında Ar-Ge'sel anlamda bir projenin ön araştırma safhasında kullanılmak için uygun olan kısımdır. Projenin erken safhalarında prosesler ve parçalar dizayn edilirken birbirlerine uyumlu olmaları ve sonuçları tahmin etmek çok kritiktir. Ek olarak buralarda yapılacak hatalar maliyet anlamında bir sürü problemi doğurabilir. Simufact üzerinde tasarlanan ürün datalarının ve alt komponentlerinin, tasarlanan proses adımlarına göre birleştirilmesi ve her birleştirme sonrasındaki doğal proses etkisinden gelen durum görülebilir.



Şekil 2. 16. Simufact montaj simülasyonu (Hexagon 2020)

Yukarıdaki şekilde de görülebileceği gibi program üzerinden yan gövde üzerinde üst çerçeve sacının birleştirilmesi sonrasındaki yüzey durumu, daha sonra yan ayağın birleştirilme prosesi, klemplerin kapatılması ve B-direk denilen sac parçanın birleştirilmesi sonrasındaki total displacement hataları program üzerinden görülebilmektedir. Bu analizde parçaların tekil ölçümlerinden gelen hataların sonuca etkisi bulunmayacaktır.

İkinci kullanım alanı ise Erken Uyarı Sistemi'ne benzerlik gösteren seri üretimde ölçümlerde kullanılabilir sanal birleştirme operasyonuyla ölçüm yapma kısmıdır. Gerçek zamanlı toplanan ölçüm datalarıyla iki farklı parça olması gereken pozisyona yüklenip durumları görülebilmektedir.



Şekil 2. 17. Hexagon sanal montajlama ve ölçüm (Hexagon 2020)

Şekil 2.17’de referanslanıp birbirlerine göre durumları değerlendirilen ön ve arka kapılar görülmektedir. Program renk haritası çıkarmaktadır ve kapı yüzeylerine atılmış iki noktadan iki kapının yüzey y sapmasının değeri okunmaktadır. Bu iki değer birbirine göre olan durumu hesaplandığında kapıların birbirine göre olan profili de ortaya çıkarılacaktır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın bu kısmında, Erken Uyarı Sistemi'ni oluşturan alt bileşenler, yazılım ve donanım olarak ayrı ayrı indirgenerek belirtilecektir. Daha sonra bu alt bileşenlerin sayesinde sistemin nasıl data çekerek tetiklendiği ve ölçümün başlatıldığı açıklanacaktır. Yöntem olarak ise sistemin ölçüm mantığının temel yapısını oluşturan alignment ve referanslama kavramları açıklanacak örneklenecek ve ölçümü nasıl yaptığını geometrik olarak açıklayan flush-gap metodolojisi tanımlanacaktır.

#### 3.1. Erken Uyarı Sistemi bileşenleri



Şekil 3. 1. Erken Uyarı Sistemi bileşenleri

Erken Uyarı Sistemi'nin düzeneği basitçe aşağıda aktarılacak olan materyallerden oluşmaktadır:

##### 3.1.1. Ölçüm tezgahları (Hücre WLS, Leica, Bravo, Vento) :

Tofaş Ölçüm Merkezi'ne bağlı olarak çalışan ölçüm tezgahları Erken Uyarı Sistemi için ilk girdiyi oluştururlar. Farklı cihazlardan gelen farklı ölçüm verileri daha sonra sistemin içine çekilir.

WLS ölçüm hücrelerinde binek ve ticari model araçların gövdeye daha sonradan yüklendiği için hareketli parçalar adı verilen ön-arka kapı, kayar kapılar, bagaj kapıları, motor kaputları gibi parçalarının ölçümünün yapıldığı tezgahdır. Kameranın gördüğü bölgelere nokta bulutu düşürerek lazer tarama mantığında ölçüm yapar.

Leica ile WLS'nin çalışma mantığı aynıdır. Leica aynı anda 2 adet binek veya ticari araç gövdesinin full body (tam gövde) taramasını gerçekleştirip bölge ve proje bazlı raporlayabilmektedir. Ana gövde ile ilgili ölçüm verisi beslenmesi buradan yapılır.

Bravo ölçüm tezgahı CMM mantığında çalışan Ölçüm Merkezi'ndeki en büyük tezgahdır. Doblo-MCV çamurluklu gövde ve Egea çamurluklu gövdelerin ana referansa göre analiz ölçümleri ve düzenli SPC ölçümleri burada yapılmaktadır.

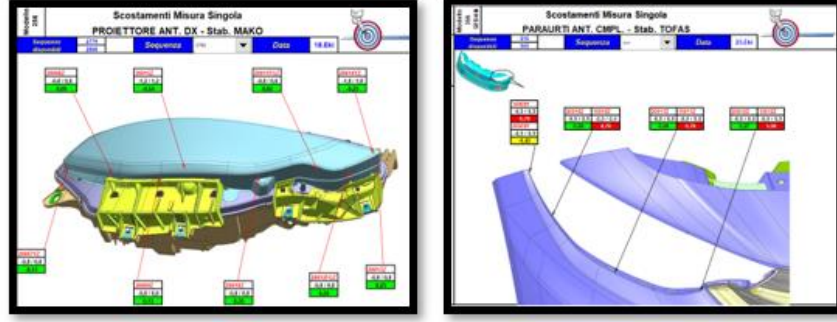
Vento tezgahında ise MCV ve Egea model çamurluklar ve Taban ölçümleri yapılmaktadır. Erken Uyarı Sistemi'nde taban ölçümleri kullanılmasa da çamurluk ölçümleri bu tezgahın veri çıktısı olarak sisteme akmaktadır.

### **3.1.2. Gestione Geometria (Tedarikçi Ölçümleri) :**

TOFAŞ'taki ölçüm tezgahları genel anlamda içeride üreten make parçaların ölçümünü yapmaktadır. Tedarikçilerden gelen buy parça ölçümlerinde ise Gestione Geometria adı verilen bir sistem kullanılır.

Gestione Geometria'da proje başında belirlenen ve fikstürleri yapılan parçaların periyodik olarak istatistikî proses kontrol mantığında kontrol noktalarındaki ölçüm sonuçları, gidişatları ve yeterlilik verileri tutulmaktadır. Dosyaya ölçüm sonucu yüklenmesi ve güncel tutulması sorumluluğu tedarikçi firmaya aittir





**Şekil 3. 2.** Ön tampon ve sağ far Gestione Geometria dosyaları

Şekil 3.2.'de Egea ön tampon parçasının firmadan gelen ölçümlere göre güncellenen dosyası görülmektedir. Örnek vermek gerekirse, Erken Uyarı Sistemi sağ far'dan ve tampondan gelecek olan 20010Z noktalarını kendi sisteminde birleştirerek bir aralık değeri sonucu ortaya çıkaracaktır.

### **3.1.3. Program yapma ve raporlama bilgisayarları:**

Erken Uyarı Sistemi'nin ölçüm ve raporlama kısmı iki ana bilgisayardan kumanda edilmektedir. Bilgisayarlar iş istasyonu olarak çalışmaktadır.

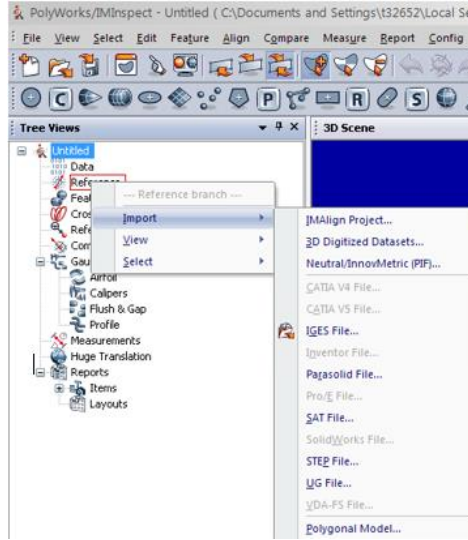
6 çekirdekli ana işlemciye sahip bilgisayarlar Win 7 işletim sistemiyle çalışmaktadır. Ekran kartı olarak NVIDIA Quadro 4000 ekran kartı ile grafik performansı sağlanmak istenmiştir. Yukarıdaki bölümde belirtilen ölçüm cihazlarından akan ölçüm çıktıları (çoğunlukla PC-DMIS dilinde) Exceller olarak bu bilgisayarların ortak alanında toplanır. Ortak alandan alınan bu dosyalar Visual Basic dili kullanılarak geliştirilmiş olan TOFAŞ'ın CSV dönüştürücüsü ile Erken Uyarı Sistemi'nin okuyabileceği formata dönüştürülür. Bu formatlı dosyalar dönüştürüldüğü anda (PolyWorks'ün okuyacağı dil) Erken Uyarı Sistemi otomatik olarak ölçüm yapmaya başlamaktadır.

### 3.1.4. Polyworks programı:

Polyworks; uzay havacılık ve otomotiv şirketlerinin kullandığı nokta bulutu işleme teknolojisi olan bir ölçüm yazılımıdır.

Matematik model ile tarama bulutunu ( nokta bulutunu ) karşılaştırarak ölçüm raporu hazırlamak için kullanılır.Tofaş'ta yapılan geometrik ölçümler için kullanılan ölçüm yazılımlarından bir tanesidir. Özellikle diyagnoz için analiz ölçümlerinde en sık kullanılan programdır. Lazer ile yapılan tarama sonucu tarama ile oluşturulan dosyalar (.pwk) uzantısı ile kayıt altına alınır. Polyworks bu .pwk uzantılı dosyaları import ederek nokta bulutunu kendi üzerine çekmiş olur.

Erken Uyarı Sistemi'nde ise nokta bulutu fizikselde oluşturulmaz, sanal olarak oluşturularak sisteme tanımlanır. Bu sanal nokta bulutu içeren parçaları sistem birbiri ile eşleştirerek ortaya ikili ilişkileri veren bir profil-boşluk değer sonucu raporu çıkar. Erken Uyarı Sistemi'nin Polyworks üzerinde çalışma şekli 3.2 bölümünde aktarılacaktır.

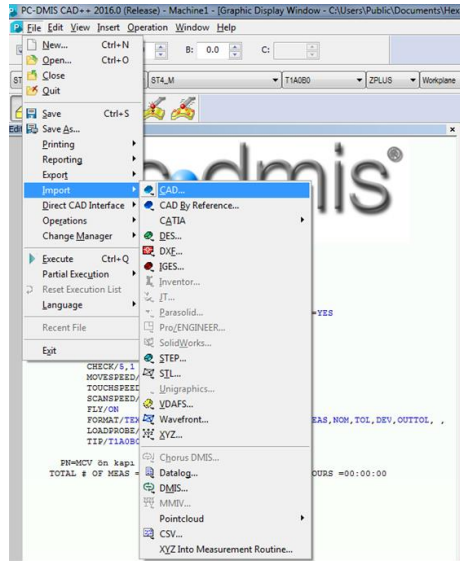


Şekil 3. 3. Polyworks örnek menü

### 3.1.5. PC-DMIS programı:

PC-DMIS programı TOFAŞ SPC ölçümlerinde en sık kullanılan yazılımdır. Genel olarak İstatistiki Proses Kontrolü yapılan gövde geometrisi rutin ölçümlerinde, CMM mantığında çalışan ölçüm cihazlarında kullanılır. Erken Uyarı Sistemi'ne düşecek olan gövde parçası ölçümleri ilk olarak yukarıda belirtilen Vento, Bravo gibi cihazlarda ölçülür ve PC-DMIS formatında çıktı alınır.

Daha sonra bu çıktı aşağıda açıklanacak olan CSV dönüştürme prosesi ile Polyworks'ün okuyabileceği hale getirilerek gövde ve trim parçası ölçümleri Erken Uyarı Sistemi'nin içine yüklenmiş olur ve sistem otomatik olarak çalışır. Erken Uyarı Sistemi Polyworks dilinde çalıştığı için PC-DMIS çıktıları CSV dönüştürücü yardımıyla Polyworks'e import edilebilecek uygun hale getirilir.



Şekil 3. 4. PC-DMIS örnek menü

### 3.1.6. CSV dönüştürücü:

CSV dönüştürücü Erken Uyarı Sistemi'nin tetiklenmesine yarayan visual basic kodları bütünüdür. Klasik bir ölçüm tezgâhından alınan çıktı aşağıdaki gibidir:

Dimension Name	Dimension Type	Feature Type	US1	US2	Deviation	Tolerance
184002Z.Dm.X	X.Dm	Flanged BoreHole	0.5	0.2	0.033	#
184002Z.Dm.Y	Y.Dm	Flanged BoreHole	-0.5	0.3	1.033	#
184002Z.Dm.Z	Z.Dm	Flanged BoreHole	-0.5	0.5	0.033	#
184003YZ.Dm.X	X.Dm	Round Hole	0.8	0.8	0.033	#
184003YZ.Dm.Y	Y.Dm	Round Hole	-1	1	-0.032	#
184003YZ.Dm.Z	Z.Dm	Round Hole	-0.8	0.8	0.033	#
184004YZ.Dm.X	X.Dm	Round Hole	1.3	1.3	0.040	#
184004YZ.Dm.Y	Y.Dm	Round Hole	-1.2	1.2	-0.041	#
184004YZ.Dm.Z	Z.Dm	Round Hole	0.8	0.8	0.035	#
184100YZ.Dm.X	X.Dm	Round Hole	-0.7	0.7	0.035	#
184100YZ.Dm.Y	Y.Dm	Round Hole	-0.8	0.8	-0.046	#
184100YZ.Dm.Z	Z.Dm	Round Hole	0.7	0.7	0.038	#
184101.Dm.X	X.Dm	Round Hole	-0.5	0.5	0.038	#
184101.Dm.Y	Y.Dm	Round Hole	-0.8	0.8	0.039	#
184101.Dm.Z	Z.Dm	Round Hole	0.5	0.5	0.046	#
184102YZ.Dm.X	X.Dm	Round Hole	-0.5	0.5	-0.033	#
184102YZ.Dm.Y	Y.Dm	Round Hole	-0.5	0.5	-0.038	#
184102YZ.Dm.Z	Z.Dm	Round Hole	0.5	0.5	0.038	#
184103.Dm.X	X.Dm	Round Hole	-0.9	0.9	0.037	#
184103.Dm.Y	Y.Dm	Round Hole	1.2	1.2	0.038	#
184103.Dm.Z	Z.Dm	Round Hole	-0.7	0.7	0.045	#
184104.Dm.X	X.Dm	Round Hole	-0.8	0.8	0.038	#
184104.Dm.Y	Y.Dm	Round Hole	1.2	1.2	0.037	#
184104.Dm.Z	Z.Dm	Round Hole	-0.7	0.7	0.039	#

Şekil 3. 5. Ölçüm tezgah çıktısı

Klasik tezgah çıktıları Polyworks alt yapısı kullanan Erken Uyarı Sistemi'nin okuyabileceği türde değildir. Bu sebepten ötürü makro mantığında visual basic kullanılarak hazırlanmış csv dönüştürücü kullanılır.

```

Private Sub CommandButton4_Click()
    Workbook.Open.Filename =
    "\\t2dcacl\HAL\18700K1_08TAP_OLCUN_SONUCLARI\__SPC__\GOVTE\Olcun_mace1_HKCRB\263_636\263_08KAPI_SK\263_FAP_PORTA_ANTERIORE_SX.csv"
    ActiveWorkbook.SaveAs.Filename =
    "\\t2dcacl\HAL\18700K1_08TAP_OLCUN_SONUCLARI\__SPC__\GOVTE\Olcun_mace1_HKCRB\263_636\263_08KAPI_SK\263_FAP_PORTA_ANTERIORE_SX_PORTA_ANTERIORE_SX"
    ActiveWorkbook.Close.SaveChanges = False

    Workbook.Open.Filename =
    "\\t2dcacl\HAL\18700K1_08TAP_OLCUN_SONUCLARI\__SPC__\GOVTE\Olcun_mace1_HKCRB\263_636\263_08KAPI_SK\263_FAP_PORTA_ANTERIORE_SX.csv"
    ActiveWorkbook.SaveAs.Filename =
    "\\t2dcacl\HAL\18700K1_08TAP_OLCUN_SONUCLARI\__SPC__\GOVTE\Olcun_mace1_HKCRB\263_636\263_08KAPI_SK\263_FAP_PORTA_ANTERIORE_SX_SEST_KARANDA"
    ActiveWorkbook.Close.SaveChanges = False

    Workbook.Open.Filename =
    "\\t2dcacl\HAL\18700K1_08TAP_OLCUN_SONUCLARI\__SPC__\GOVTE\Olcun_mace1_HKCRB\263_636\263_08KAPI_SK\263_FAP_PORTA_ANTERIORE_SX.csv"
    ActiveWorkbook.SaveAs.Filename =
    "\\t2dcacl\HAL\18700K1_08TAP_OLCUN_SONUCLARI\__SPC__\GOVTE\Olcun_mace1_HKCRB\263_636\263_08KAPI_SK\263_FAP_PORTA_ANTERIORE_SX"
    ActiveWorkbook.Close.SaveChanges = False

    Workbook.Open.Filename =
    "\\t2dcacl\HAL\18700K1_08TAP_OLCUN_SONUCLARI\__SPC__\GOVTE\Olcun_mace1_HKCRB\263_636\263_08KAPI_SK\263_FAP_PORTA_ANTERIORE_SX.csv"
    ActiveWorkbook.SaveAs.Filename =
    "\\t2dcacl\HAL\18700K1_08TAP_OLCUN_SONUCLARI\__SPC__\GOVTE\Olcun_mace1_HKCRB\263_636\263_08KAPI_SK\263_FAP_PORTA_ANTERIORE_SX_SEST_KARANDA"
    ActiveWorkbook.Close.SaveChanges = False

    MsgBox "PORTA ANTERIORE SX CSV OLUSTURULDU"
End Sub

```

Şekil 3. 6. Dönüştürücü makro

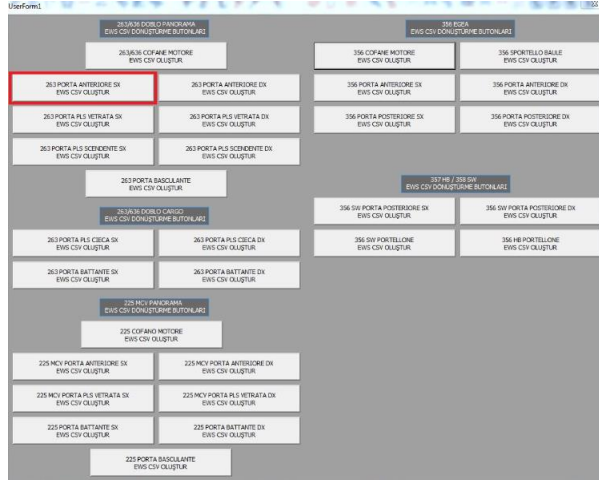
Bu sayede Erken Uyarı Sistemi başlatılmış olur. Sistemin nasıl tetiklendiği ve ölçümün başladığı bir sonraki kısım olan 3.2'de anlatılacaktır.

### 3.2. Ölçüm çekilmesi ve sistemin tetiklenişi

Erken Uyarı Sistemi'nin ölçüm yapabilmesi için belirli metodolojik adımların takip edilmesi gereklidir. Kısım 3.1'de kullanılan metot çevrimi basit bir şema ile gösterilmeye çalışılmıştı. Bu kısımda ise sistemin nasıl tetiklendiği ve rapor oluşturulmaya başlandığı daha detaylı bir şekilde aktarılmaya çalışılacaktır.

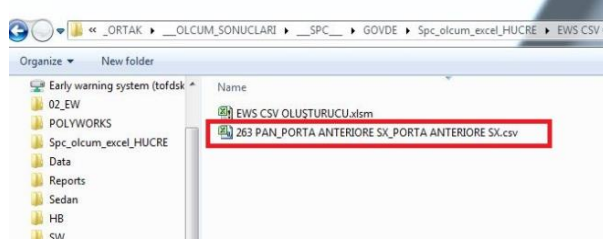
Erken Uyarı Sistemi'nin ana bileşenlerinden biri de ölçüm tezgahları ile sistem bilgisayarlarını konuşuran ve haberleşmelerini sağlayan csv dönüştürücüdür. CSV dönüştürücü visual basic kullanarak yazılmış basit bir yazılımdır. DMIS gibi ölçüm tezgahı çıktılarını önceden belirlenen ortak alanlardan çekerek Erken Uyarı Sistemi'nin okuyabileceği dile çevirir.

Csv dönüştürücüde istenen rapor tuşuna basarak çıktı verisi aranır:



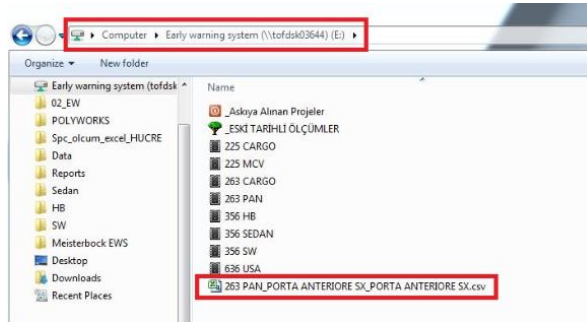
Şekil 3. 7. Csv oluşturma yazılımı

CSV dönüştürücü hedef klasördeki ölçüm çıktısını aynı alana .csv uzantılı dosya olarak çıkartır:



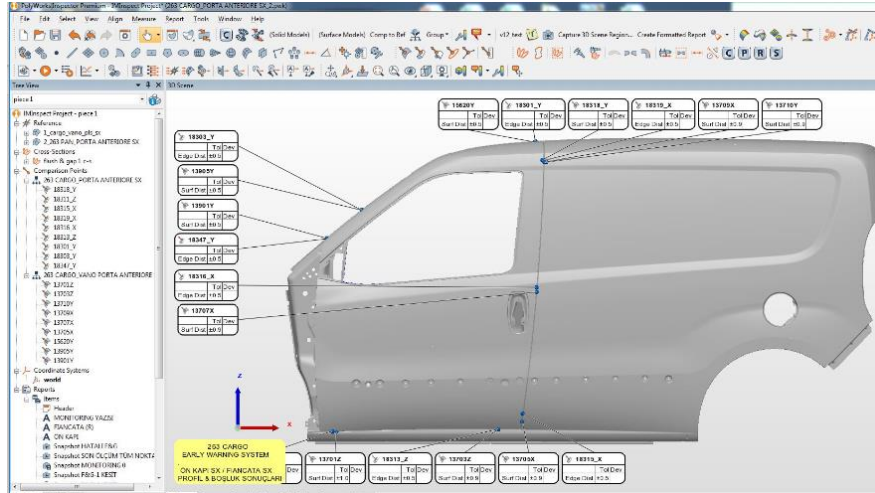
Şekil 3. 8. Csv çıktısı

Daha sonra bu dosya Erken Uyarı Sistemi ortak alanına taşınarak sistemin tetiklenmesi başlatılır:



Şekil 3. 9. Csv'yi Erken Uyarı Sistemi ortak alanına taşıma

Ortak alana taşınan .csv uzantılı dosya eğer Erken Uyarı Sistemi açık ise otomatik olarak tetiklenir ve önceden projelendirilmiş ölçüm raporu formatıyla bir ölçümüne başlar:



Şekil 3. 10. Sistemin tetiklenişi

### **3.3. Ölçüm ve teknik altyapı**

Kısım 3.3'te Erken Uyarı Sistemi'nin teknik altyapısını oluşturan Single projeler, Double projeler, çoklu referans ve raporlama mantığı aktarılacaktır.

Single projelerin ne olduğu, nasıl hazırlandığı ve matematiksel anlamda ne ifade ettiği belirtilecek, Double projelerde singelardan nasıl beslendikleri, proje kesiti oluşturulması, sanal nokta bulutu ve polyline oluşturulması, ölçüm stratejileriyle ölçümün tamamlanıp nihai üründe aralık-profil olarak raporlanması gibi teknik detaylar anlatılacaktır.

Ek olarak çoklu referansta yapılan alignment'ın ne olduğu ve çoklu referans kullanımına neden ihtiyaç olduğu detaylarıyla açıklanacaktır.

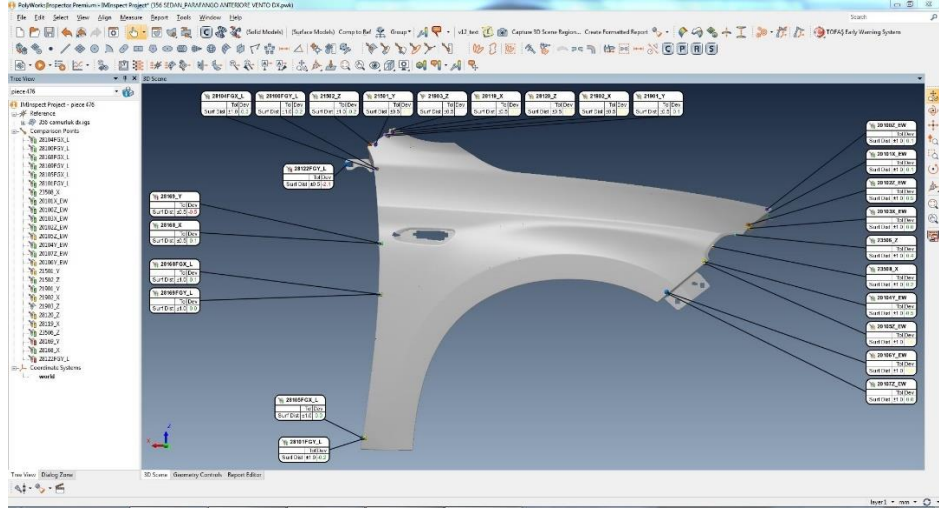
#### **3.3.1. Single projeler**

Erken Uyarı Sistemi'nde ölçüm değeri olarak iki ayrı projenin birleşip nihai araç üzerinde bir boşluk ya da profil oluşturduğu kritik görülen noktalardan ölçüm değerleri hesaplanarak okunur.

Bu projelere Double projeler denir ve son ürünü temsil eder. Fakat double projelerin oluşturulabilmesi için öncelikle bu double projeyi oluşturan single projelerin oluşturulması gerekmektedir.

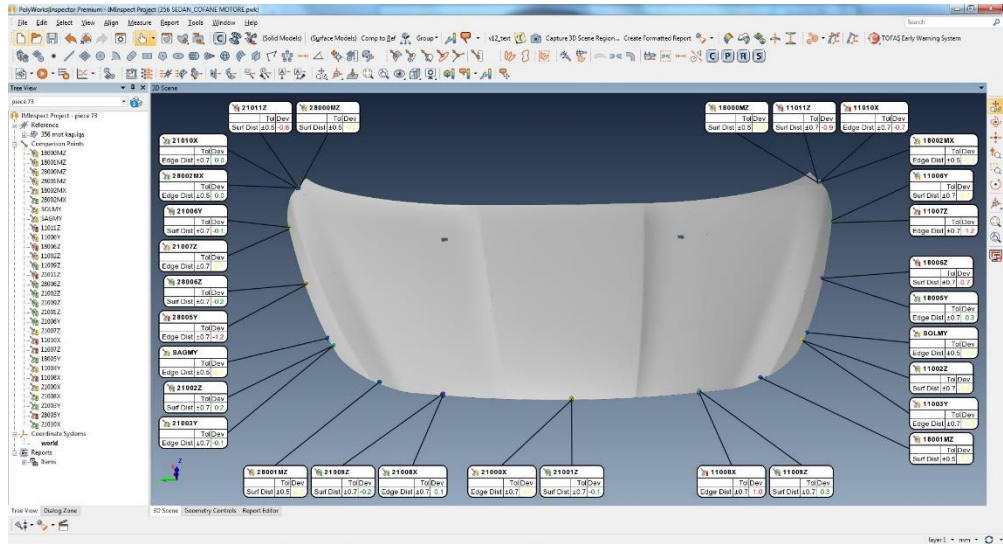
Single projeler birleşip aralık ya da profil değeri okunan vektörlü noktalar topluluğudur. Örneğin, Egea araç üzerinde çamurluk ve motor kaputu projeleri birer single proje iken, çamurluk ve motor kaputunun aralık değerlerini veren proje Erken Uyarı Sistemi'nin sinyalizasyonunda kullanılan double projeyi oluşturur. Görsel 3.11.'de aşağıda Egea ailesi araçların sağ çamurluk single projesi görülmektedir:





**Şekil 3. 11.** Egea ailesi sağ çamurluk single projesi

Yukarıda görülen single projedeki tanımlı her bir nokta TOFAŞ Ölçüm Merkezi'nin hazırladığı Kontrol Planları'ndaki tanımlı noktalar. Bir kısmı standart SPC ölçüm noktaları iken bazıları sadece Erken Uyarı Sistemi için oluşturulmuştur. Nokta isimleri ve X,Y,Z koordinatları Polyworks single projesinde birebir Kontrol planı ile aynı olacak şekilde oluşturulur ve tanımlanır.



**Şekil 3. 12.** Egea ailesi motor kaputu single projesi



Benzer mantık motor kaputu single projesi için de kurulabilir. Örnek vermek gerekirse Tampon ile x eksenine düşen ölçüm sonucunu kontrol eden 21000X adlı noktanın ismi ve koordinat değerleri birebir TOFAŞ Ölçüm Merkezi kontrol planlarından alınarak oluşturulmuştur.

Hücre’de ölçülen motor kaputlarının değerleri bir önceki kısımda anlatılan şekilde .csv çıktısı olarak dönüştürülür.

517	18005Y	Hem Poin x	-220	-219.771	0.229
518	18005Y	Hem Poin y	-726.842	-726.113	0.729
519	18005Y	Hem Poin z	618.348	617.554	-0.794
520	18014X	Hem Poin x	178.43	178.642	0.212
521	18014X	Hem Poin y	-745.76	-745.837	-0.077
522	18014X	Hem Poin z	691.26	690.991	-0.269
523	21000X	Hem Poin x	-764.804	-765.502	-0.697
524	21000X	Hem Poin y	0.03	0.031	0.001
525	21000X	Hem Poin z	546.665	546.715	0.05
526	21003Y	Hem Poin x	-490	-489.985	0.015
527	21003Y	Hem Poin y	661.021	660.873	-0.147
528	21003Y	Hem Poin z	572.669	572.834	0.165
529	21007Z	Hem Poin x	49.999	49.979	-0.02
530	21007Z	Hem Poin y	761.730	761.703	-0.044

Şekil 3. 13. Egea motor kaputu csv’si

Şekilde 3.13.’te motor kaputu csv’sinde 21000X noktasının karşılıklarını görmekteyiz. Tezgahta ölçüm alındığında noktanın x, y ve z koordinat değerlerinin ölçüm değer karşılıkları ve nominalden sapma olarak miktarları kayıt altına alınır. Csv çalıştırıldığında single projeler otomatik olarak tetiklenir. Şekil 3.12.’de görülen her bir nokta için önceden bir ölçüm stratejisi hazırlanmıştır.

Control	Nominal	Measured	Tolerance	Deviation	Test
Edge Distance		0.593	±0.780	0.593	Pass
Edge Point X	-764.804	-765.319		-0.515	
Edge Point Y	0.030	0.031		0.001	
Edge Point Z	546.665	546.371		-0.294	
Surface Distance		-0.411		-0.411	
Surface Point X	-764.804	-764.600		0.204	
Surface Point Y	0.030	0.030		0.000	
Surface Point Z	546.665	546.308		-0.357	
3D Distance		0.721		0.721	
3D Point X	-764.804	-765.118		-0.311	
3D Point Y	0.030	0.031		0.001	
3D Point Z	546.665	546.014		-0.651	

Şekil 3. 14. Single proje ölçüm stratejileri

Şekil 3.14.’te görülen “Geometry control” menüsünden her bir ölçüm noktası için önceden proje hazırlık aşamasında bir ölçüm stratejisi belirlenir. Tek eksene düşen kenar

noktaları için Edge point x/y/z opsiyonları seçilebilirken, tek eksene düşen yüzey noktaları için Surface point x/y/z noktaları seçilebilir. Eğer ki araç veya parça üzerindeki noktanın vektörü birden fazla eksene düşüyor ise (XY, YZ gibi) bu sefer 3 boyutlu vektör sapması sorgulamak çok daha doğru bir metot olacaktır.

Üç boyutlu vektör sapmaları ise Edge distance, surface distance veya 3D distance etiketleri seçilerek yapılabilir. Birden fazla eksene düşen sapmaları sistem; tüm aksenlere düşen sapmaların karelerinin toplamının karekökü olarak hesaplar. Bu da toplam üç boyutlu vektör sapmasını oluşturur. Erken Uyarı Sistemi'nin tüm single ve double projelerinde bu metot uygulanır ve nihai ürünü çok daha iyi simüle eder.

$$\partial_T = \sqrt{\partial_x^2 + \partial_y^2 + \partial_z^2} \quad (3.1)$$

$\partial_T$ : Toplam sapma

$\partial_x$ : x eksenine düşen sapma

$\partial_y$ : y eksenine düşen sapma

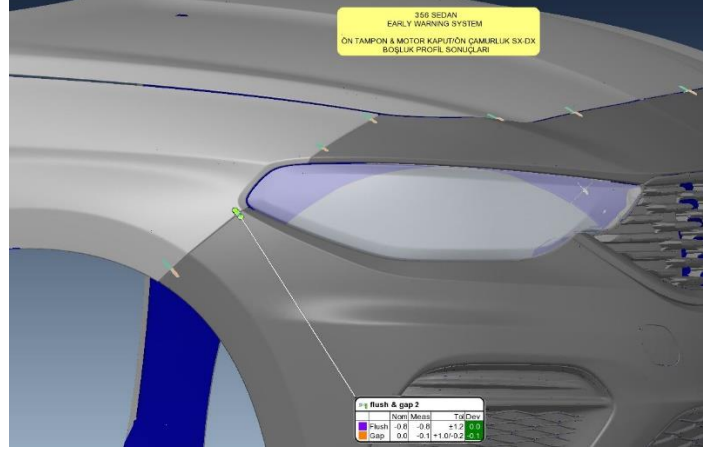
$\partial_z$ : z eksenine düşen sapma

### 3.3.2. Double projeler

Double projeler Erken Uyarı Sistemi'nin proje bazlı ve nihai ürünü simüle eden projeleridir. Single projelerin aynı anda beraber tetiklenmesiyle veriler double projelere akar ve sistem otomatik olarak çalışmaya başlar.

Double projelerin içinde single projelerin datalarının tamamı ve önceden hazırlanmış double proje ölçüm noktaları bulunur. Double proje ölçüm noktaları proje oluşturulurken önceden hazırlanmış kesitlerle meydana getirilir. Bu kesitlerdeki iki ölçüm noktası arasına belirlenen strateji ile ölçüm atanır ve bundan sonra her ölçümde tetiklenerek sonuç

vermeye başlar. Çalışmanın devamında double projelerin ilk basamağı olan kesit oluşturma anlatılacaktır.



Şekil 3. 15. Egea motor kaput-tampon ölçüm noktaları

Şekil 3.15.'te Egea ailesine ait motor kaput-tampon ölçüm noktalarını görebilmektesiniz. Bu ölçüm noktalarından değer alınabilmesi için single projelerle beraber buradaki noktaların tümüne; double proje oluşturulurken kesit atılmış ve düzenlenmiştir.



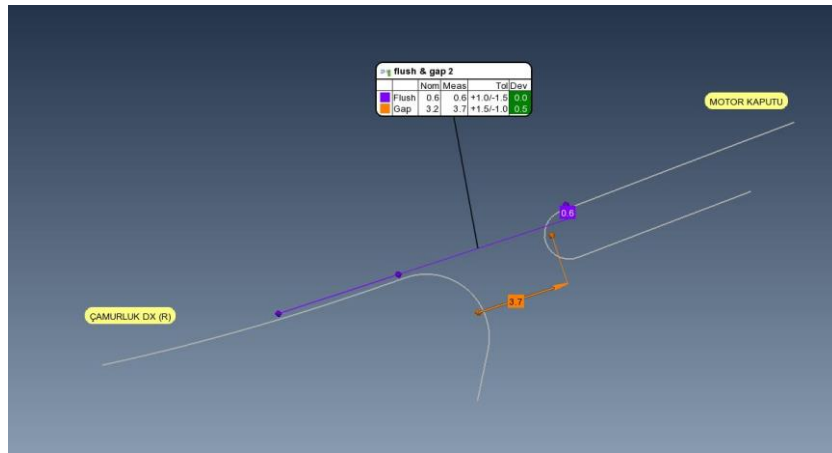
Şekil 3. 16. Egea çamurluk-tampon kesit atma

Yukarıda Şekil 3.16'da tanımlanmış her bir kesitin daha yakından ve daha detaylı görüntüsü bulunmaktadır. Kesit sınırları belli bir nokta çerçevesinde düzenlenir. Yeşil

çerçeve bu düzenlemeye işaret eder. Yeşil çerçevenin sınırları bir sonraki şekilde göreceğimiz detay kesitin sınırlarını belirler. Bu ölçümün doğru yapılabilmesi için önemli bir husustur. Kesit çizgilerinin tam olarak oturmadığı ya da bölgenin karakterini simüle edemediği bir yerden geçirilen çerçeve sistemin hatalı ölçüm yapmasına yol açacaktır. Kesit çerçevesi üzerindeki oklar ise referans parçayı ve ölçümün alınacağı parçayı işaret eder. Örneğin burada çamurluk referans yapılmış, çamurluğa göre ön tampon değerleri kontrol edilmiştir.

Kesit alınırken belirli stratejiler vardır. Kesit bir nokta üzerinden alınabilir (along point), belirli bir mesafede alınabilir (at distance), belirli bir açıdan alınabilir (at angle), belirli koordinat düzleminde (XC, YC, ZC) veya belirli bir eğri üzerinden (along curve) alınabilir. TOFAŞ'ta ve genel olarak kullanımda en yaygın belirli bir eğri üzerinden kesit oluşturmaktır. Genelde ölçüm noktaları her zaman bir düzleme dik olmaz veya belirli bir açıdan ya da noktadan almak istenileni vermeyebilir. Fakat yüzey hattından geçen bir eğri boyunca alınan kesit her zaman ölçülecek değeri doğru verecektir. Çünkü ölçüm tekniği açısından ele alınıp ölçülen bir kumpas veya bir sentil ile de aslında yüzeyden geçen eğri boyunca bir değer okunmaktadır.

Kesit çerçevesi uygun alana getirildikten sonra eğriler boyunca alınan kesitler üzerinden Erken Uyarı Sistemi projeleri oluşturulur. Bu kesitler takip edilecek her bir proje noktası için önceden hazırlanır ve içine ölçüm aktıkça çalışmaya ve ölçüm yapmaya başlar.



Şekil 3. 17. Egea çamurluk-motor kaputu detay kesit

Şekil 3.17.'de Egea motor kaputu ve çamurluk ilişkisinden bir proje noktasını gösteren detay kesit görülmektedir. Belirlenen kesit çamurluk ve motor kaputu yüzey eğrilerinden kesilmiş ve bu eğrilere dik olarak bakılmaktadır. Sağ çamurluğun referans (R) olduğu belirtilmiş, bu parça referans tutularak motor kaputuna uzanan bir vektörle boşluk ve profil ölçümleri yapılması planlanmıştır. Detay kesit alındıktan sonra projede kontrol edilecek tüm verilerin nominal yani tasarımda belirlenmiş projesel değerleri belli olur.

Örneğin Egea motor kaputu ve çamurluk örneğinde yan bölgeden alınmış bir kesitte profil nominal değeri (flush) 0.6 mm, boşluk nominal değeri (gap) 3.2 mm'dir. Bu; referans parça olarak belirlediğimiz çamurluk parçasına göre motor kaputu 0.6 mm yukarıda olmalıdır ve aralarındaki boşluk 3.2 mm olmalıdır demektir. Bu nominal değerlere göre ölçülen değerlerin farklılığı ölçüm sonucu olarak raporlarda yansıtılmaktadır. Her Erken Uyarı Sistemi projesinde çamurluk gibi referans olarak belirlediğimiz parçalara sabit parça adı verilir. Motor kaputu gibi ölçümü yapılacak parçalara ise hareketli parça denir. Her zaman sabit parçalardan bir veya daha fazla hareketli parçaya vektör atılarak ölçüm işlemi gerçekleştirilir.

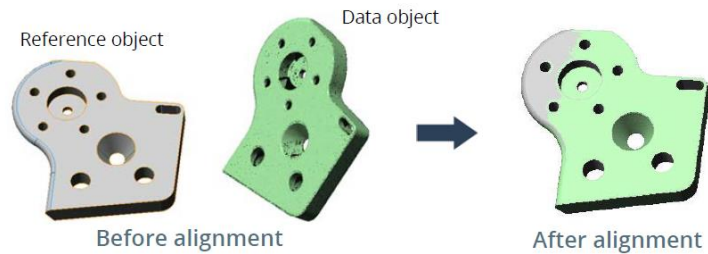
Erken Uyarı Sistemi bu ölçümleri Polyworks altyapısı aracılığıyla önceki bölümlerde de açıklanan nokta bulutu teknolojisini kullanarak gerçekleştirilir. Fakat Erken Uyarı Sistemi'nin nokta bulutu teknolojisi klasik teknolojidten farklıdır. Normalde bir lazer ölçüm cihazıyla fiziksel parçadan toplanan nokta bulutu data ile eşleştirilerek fark ortaya konur. Fakat Erken Uyarı Sistemi'nde fiziksel olarak nokta bulutu toplama işlemi mevcut değildir. Bunun yerine halihazırda CMM problemlerinden toplanan noktasal ölçüm değerlerini kesit üzerinde harmanlar, arka planda çalıştırdığı makrosuyla beraber polyline'ları kullanarak bu noktaları algoritmik şekilde çoklar ve kesit üzerinde kesidi takip eden bir sanal nokta bulutu oluşturur. Bunların karşılıklı olarak evlenmesiyle beraber de nokta bulutlarının farkından boşluk ve profil değerleri okunur.

Sisteme ilk önce single projelerden düşen ölçüm sonuçları gelir. Üst kısımda anlatıldığı gibi her bir projedeki her bir ölçüm noktası için daha önceden kesit hazırlanmıştır.

Bu kesit aslında ölçüm şablonunu oluşturur. Single projelerden düşen noktalar kesit üzerine çağrılır ve kesitte nokta ölçümleri kayıt edilir.

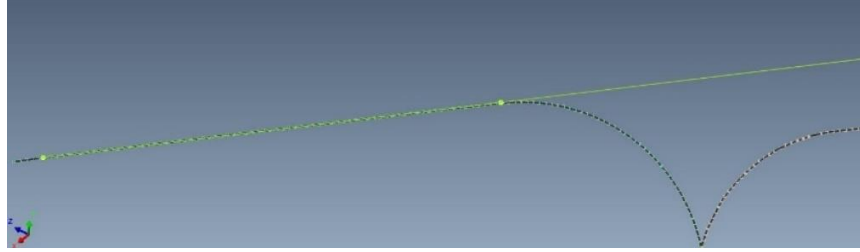
Çağrılan ölçümler single projelerde referanslanmış projelerdir. Örneğin çamurluk üzerinde gelen noktanın ölçümü çamurluk tekil referansına göre ölçülmüş noktadır. Motor kaputunun ise yine kendi referansına göre kontrol edilmiş değerlerdir. Bu değerler double proje için çekildiğinde ek olarak karşıt referansların çalıştırılıp bir nihai sonuç üretmesi gerekir. Bu Polyworks'ün ana menüsünde bulunan "Alignment" seçeneği ile yapılır. Alignment seçeneğinde RPS referans, bestfit, sınırlandırılmış bestfit gibi seçenekler mevcuttur. RPS (Reference Point System), parçanın üzerinden 3 noktadan düzlem, 2 noktadan doğru ve tek noktadan orjin tutularak parçanın referanslanmasını sağlayan sistemdir. En genel referanslama stratejisidir. Bestfit gibi farklı stratejilerde ise datayı ve nokta bulutunu birbiriyle karşılaştırarak maksimum eşleşmeyi sağlar ve eşleşmeyen kısımların hata olduğunu belirtir.

Erken Uyarı Sistemi'nde single projelerde her bir parça için halihazırda ölçümü yapılan ve önceki kısımlarda belirtilen hücre ve cihazlardan çekilen değerler parçaların kendi RPS referanslarına göre ölçülmüş değerlerdir. Erken Uyarı Sistemi, motor kaputunun RPS referansa göre ölçülmüş bir noktasının değerini alır, çamurluğun kendi RPS referansına göre ölçülmüş bir noktasının değerini alır, sanal nokta bulutu oluşturur, bu nokta bulutlarını kesitlere göre bestfit ile "alignment" yapar ve ölçüm sonucu değerini aralık veya profil değeri olarak raporlar. Alignment'ın çalışma mantığını aşağıdaki görseldeki gibi açıklayabiliriz:



**Şekil 3. 18.** Alignment çalışma sistematğine bir örnek (PolyWorks 2018)

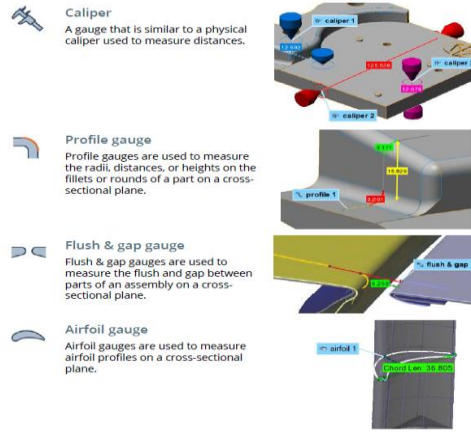
Her bir nokta ölçümü Polyworks üzerine yazılan, fikri haklarını Polyworks'ün tuttuğu makroların sayesinde polyline'lar ile kesit boyunca birleştirilir ve algoritma çalıştırılarak sanal bir nokta bulutu oluşturulur.



**Şekil 3. 19.** Egea çamurluk-motor kaputu oluşturulan sanal nokta bulutu

Şekil 3.19.'da bir önceki kısımda anlatılan çamurluk-motor kaputu arasındaki ilişkileri projesel bazlı kontrol eden projenin kesit detayında algoritma ile oluşturulan kesik çizgili siyah renk ile gösterilen iki sanal nokta bulutunu görmekteyiz. Üstten teğet geçen sarı çizgi ise yüzey teğetidir ve çamurluğun sanal nokta bulutunun motor kaputu sanal nokta bulutundan daha dışarıda kaldığını (profil) göstermektedir.

Sanal nokta bulutları kesit karakterinde oluşturulduktan sonra üst kısımda anlatıldığı gibi alignment mantığı çalışarak nokta bulutları referanslanıp yerine oturur. Bu işlem sonrası artık tamamen parçalar arası ölçüm değerini tanımlamaktır. Erken Uyarı Sistemi'nde her bir projede kesitler önceden hazırlanırken aynı zamanda da bu kesitteki ölçüm stratejileri belirlenir. Polyworks'te ana olarak tanımlı caliper, profile gauge, flush&gap gauge ve airfoil gauge olmak üzere 4 strateji vardır:



**Şekil 3. 20.** Polyworks ölçüm stratejileri

Caliper stratejisi düz bir kumpas veya sentil ile ölçülebilecek boşluk tarzında ölçümler için kullanılan bir stratejidir. Profile gauge ise radyüslü veya pahlı alanlarda yükseklik veya mesafe ölçmek için kullanılır. Flush & gap gauge belirli bir kesit alanında iki farklı bölge arasındaki profil ve aralık değerlerini ölçmek için kullanılır. Airfoil gauge ise belirli bir kesitte uçak kanadı veya aerodinamik yapıları profillerin ölçümünü yapmakta kullanılır. Erken Uyarı Sistemi projesinde ölçüm stratejilerinin %80'ini flush & gap stratejisi oluştururken bazı açılı eşleşen yüzeylerde aralık ölçümlerinde gap yanılabilirdiği için kumpas ölçümü daha güvenilir olmakta ve caliper stratejisi kullanılmaktadır.



**Şekil 3. 21.** Kesitte sanal nokta bulutu ile flush & gap stratejisiyle ölçülen bir nokta

Örneğin Şekil 3.21.'de çamurluk ve motor kaputu ilişkisi için oluşturulan sanal nokta bulutları arasındaki ölçümü görmekteyiz. Ölçüm hem profil hem aralık olarak yapılmakta



ve flush & gap stratejisi kullanılmaktadır. Bölgedeki nominal aralık değeri 3.2 mm iken sonuç 3.7 mm gelmiştir.

Ölçüm stratejisi belli kesitte nokta bulutlarının alignment'ı sağlandıktan sonra referans olarak tutulan parçadan (R) 3D bir ölçüm vektörü atılarak hareketli olan parça ile arasındaki boşluk değeri veya profil değeri ölçtürülür. Bu değerler de proje bazlı olarak raporlanır.

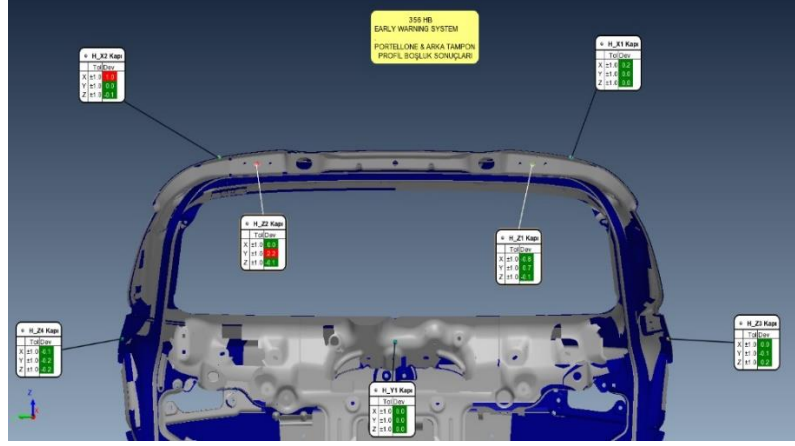
### **3.3.3. Çoklu referans (alignment) projeleri**

Double projelerin bir çoğunda önceki kısımlarda bahsedilen normal referanslama mantığı kullanılır. Fakat bazı projelerde standart referans ile elde edilecek sonuç nihai sonucu yansıtmayacak ve sinyalizasyonu takip edenlerin yanlış yorumlamasına yol açacaktır. Bu sebepten ötürü bazı projelerde çoklu referans tanımlanmıştır.

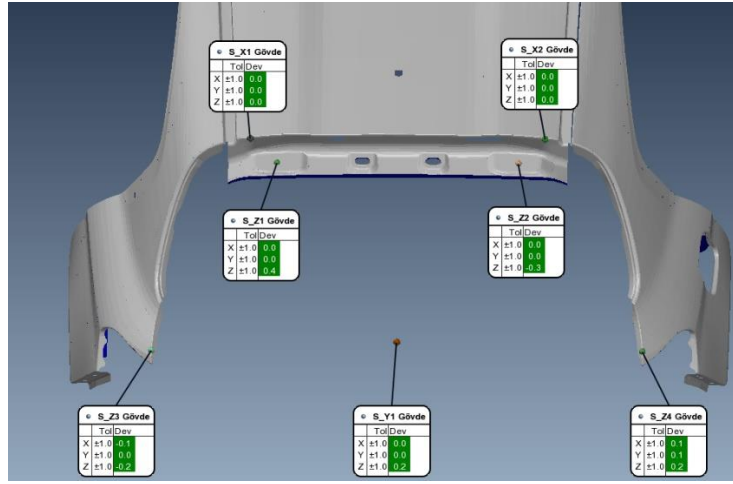
Çoklu referans içeren projelerde iki farklı double projenin ilişkisi incelenir. Araç üzerinde bazı parçaların nihai pozisyonu belirlenirken birden çok referanslamaya maruz kalır. Bu kavram çok basit mantıklı şu şekilde değerlendirilebilir: Eğer A,B,C ve D parçaları var ise ve A'nın üstüne B'yi bağlıyor, daha sonra C'nin üstüne D'yi bağlıyor ve yeni oluşan AB ve CD parçalarının üzerinde B ve D'den bir aralık-profil ilişkisi sorgulamak gibi bir strateji elde ediliyorsa bu mantıkta birden çok üst üste referanslama yapılır ve nihai sonuca ulaşılır. Bu sebepten ötürü teoride çoklu referanslama olarak adlandırılır.

Erken Uyarı Sistemi'nde bagaj kapağı üzerinde kalan stoplar, bagaj kapağı üzerinde kalan nolder ve spoiler gibi parçalar, arka tampon bagaj kapağı ilişkisi gibi sorgulamalar aslında çoklu referans mantığı kullanılarak yapılmaktadır.

Egea Hatchback modeller için hazırlanan Arka Tampon projesinde bu sorgulamanın nasıl yapıldığı örneklenecektir.

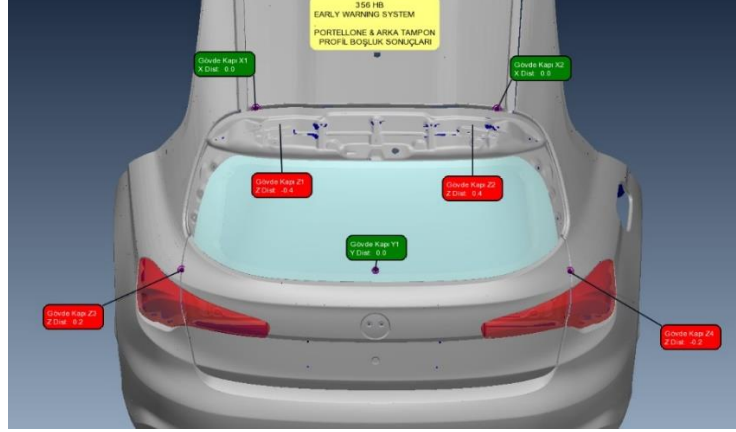


Şekil 3. 22. Egea Hatchback Bagaj kapağı single projesi



Şekil 3. 23. Egea Hatchback Bagaj kapağı boşluğu (gövde) single projesi

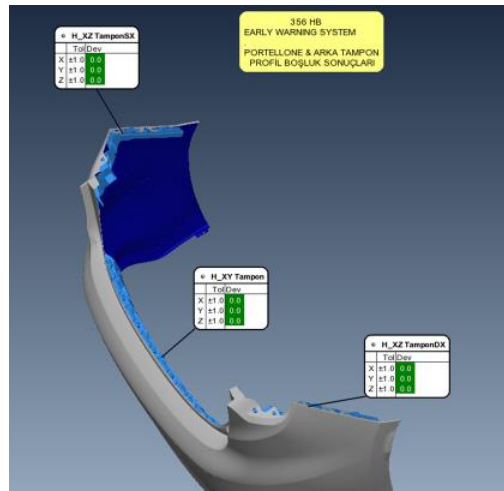
Şekil 3.22. ve Şekil 3.23.'te sırasıyla önce Egea Hatchback bagaj kapağı single projesinden bagaj kapağının kendi referansları görülmekte, daha sonra da araç üzerinde bu bagaj kapağının yüklendiği gövde boşluğu görülmektedir. Bu iki single proje bagaj kapağı alınıp align edilerek gövdeye yüklendiğinde bir double proje oluşmaktadır. Bu double proje de Şekil 3.24.'te görülmektedir.



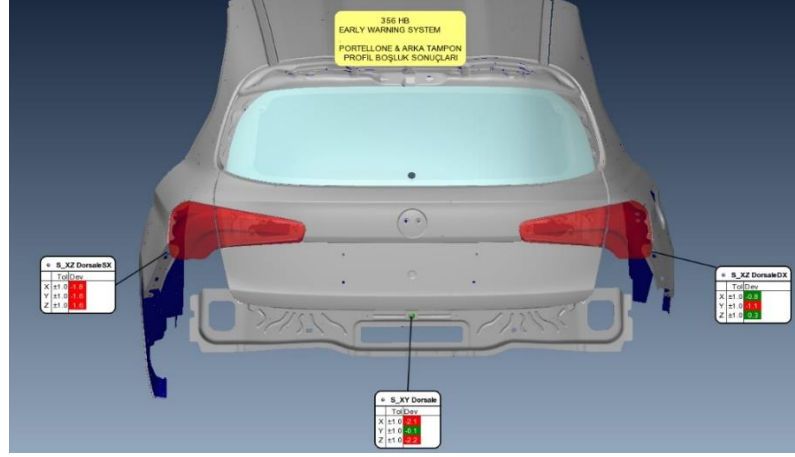
Şekil 3. 24. Egea Hatchback Bagaj kapağı double projesi

Şekil 3.24.'te bagaj kapağı gövdeye yüklendikten sonra referans noktalarının değerleri verilmektedir. X ekseninde hata sıfırlanabilmişken Z ekseninde referanslar ancak 0.4 mm'lik bir sapmanın içine sokulabilmiştir, bu da bagaj kapağının kendinden gelen hatalardan ötürü ancak bu kadar referanslanabildiğini gösterir (z eksenini için geçerli).

Bagaj kapağı double projesi oluşturulduktan sonra ise tamponla ilişkisinin kurulabilmesi için tamponun da gövdeye yüklenmesi gerekmektedir. Şekil 3.25. ve Şekil 3.26.'da sırasıyla tampon tekil projesinin referanslarını ve Dorsale tekil projesinin referanslarını görmekteyiz. Dorsale tamponun üzerine yüklenen gövde bölgesinin İtalyanca terim karşılığıdır.



Şekil 3. 25. Egea arka tampon single proje



Şekil 3. 26. Egea Dorsale single proje

Arka tampon ve Dorsale single projeleri hazırlandıktan sonra aynı bagaj kapağı boşluğuna göre bagaj kapağının yüklenmesi gibi, Dorsale'ye göre arka tamponun yüklenmesi yapılır.



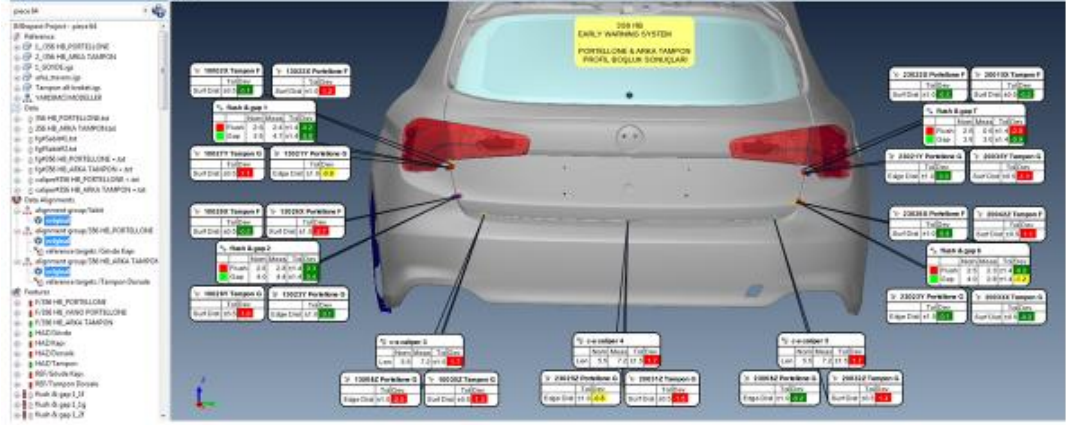
Şekil 3. 27. Egea Arka tampon double proje

Dorsale'ye yüklenen arka tamponun görüntüsü Şekil 3.27.'deki gibidir. Bu iki proje hazırlandıktan sonra artık Erken Uyarı Sistemi operatörünün 4 farklı referansa göre sonuç okuma şansı vardır. Aşağıda 4 farklı referansa göre görüntü sırasıyla verilecektir. Açıklama olarak: ilk referans orijinal referanstır. Orijinal referansta sadece parçaların tekil projelerinden gelen hata miktarlarının toplanıp çıkarılması ile okunan sonuç değeri

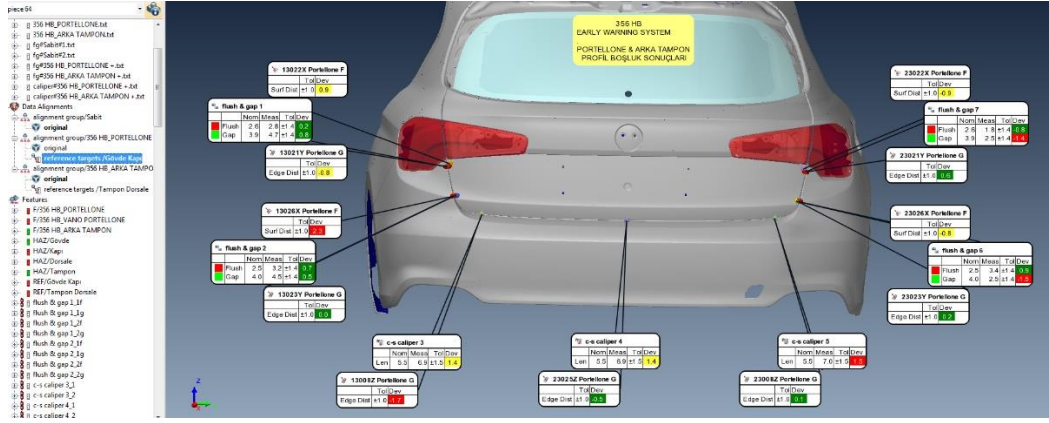
olarak aralık ve profil değerleri hesaplanır. Bu sonuç tamamen teorik bir sonuçtur ve realitedeki bir aracı simüle etmeyecektir. İkinci opsiyon ise Gövde+Bagaj kapağı double kompleksinin referansını çalıştırarak sonuç okumaktır. Buradaki sonuç bagaj kapağının tekil sonucu + gövdeye yüklendiğinde gelecek etki ile beraber bir sonuç verecektir. Öteki taraftan tampon bölgesinden gelen etkilerde referans çalışmadığı için orijinaldeki gibi tampon ve dorsale tekil sapmalarını aritmetik olarak değerlendirecek ve bagaj kapağıyla beraber bir nihai sonuç üretecektir.

nc opsiyon ise ikinci opsiyonun tersidir. Yani Gövde+Bagaj kapağı yerine Dorsale+Tampon referansı yapılacak, diğer taraftan ise tekil sapmaların aritmetik durumu gelecektir. İki ve üçüncü opsiyon da kesinlike üretilecek aracın gerçek durumunu simüle etmeyecektir. Fakat tanı koyma ve problem çözme faaliyetlerinde analiz amaçlı kullanılırsa faydalı olacaktır. Son olarak ise, aracın gerçek durumunu tamamen simüle edecek ve en doğru sonucu verecek olan çoklu referans kullanılır. Yani sistemden Gövde+Bagaj kapağı ve Dorsale+Tampon beraber aktif edilerek çoklu referans kurulur.

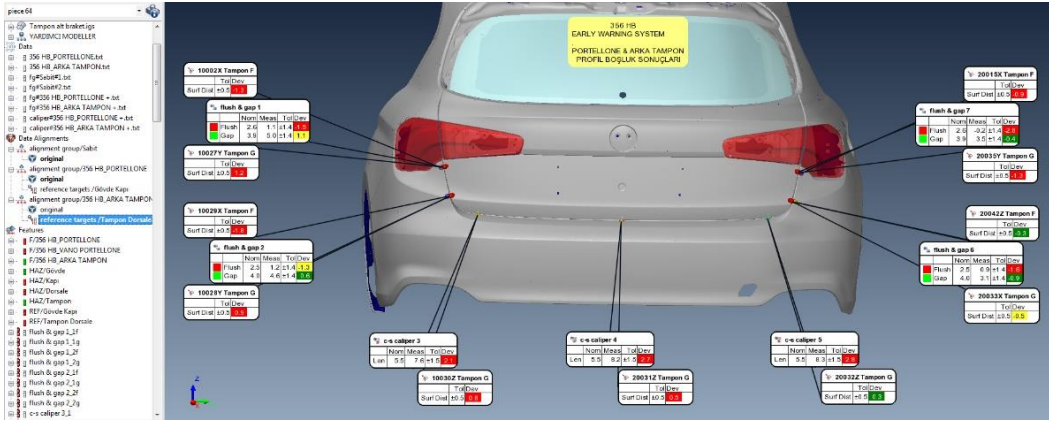
Şekil 3.28., 3.29., 3.30. ve 3.31.'de sırasıyla bu referans kurguları aktif edilerek sonuçlar gösterilmiştir. Raporlamalardan görüldüğü üzere arada referans etkilerinden gelen farklar, parçaların yüklenmesinden gelen etkiler işin içine girmekte ve sonuçlar değişmektedir. Çoklu referansın etkin olarak çalışması ve nihai sonucu doğru yansıtması için iyi proje oluşturılmaktan başka daha genel bir şart daha vardır. O şart ise; yükleme proseslerinin yetenekli olmasıdır. Eğer ki gövde bagaj kapağı yükleme prosesi ve Dorsale'ye tampon bağlama prosesi belirli bir yeteneğin içinde olmasa idi, montaj bandından Erken Uyarı Sistemi'nin ürettiği sonuçtan daha farklı araçlar çıkabilirdi. Bu da projenin amacını yerine getiremeyeceğini gösterirdi.



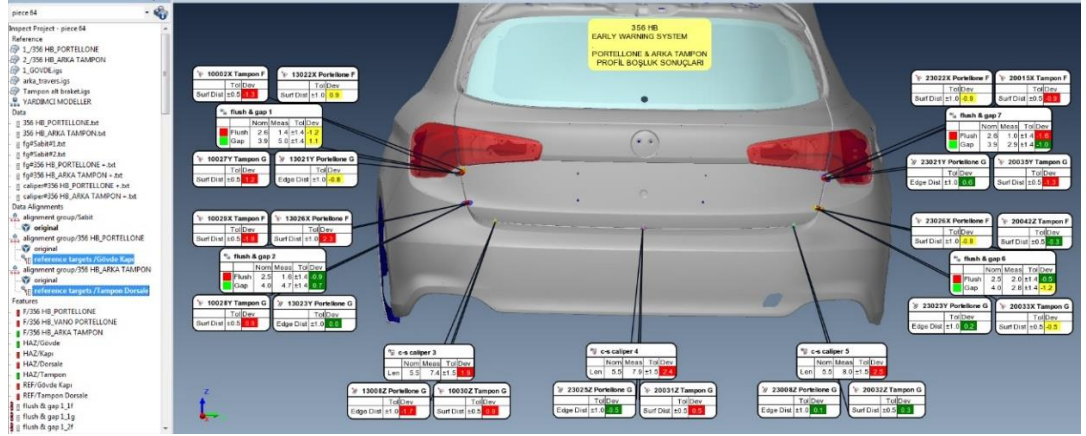
Şekil 3. 28. Orijinal referans (Tekil parçalardan gelen aritmetik sapmaların sonucu)



Şekil 3. 29. Gövde + Bagaj Kapağı referansı



Şekil 3. 30. Dorsale + Tampone referansı



Şekil 3. 31. Çoklu referans

## 4. BULGULAR

Çalışmanın bu kısmında Erken Uyarı Sistemi'nin sonucu olan rapor çıktısından örnekler paylaşılacak, nasıl yorumlandığı aktarılacak, bulgu olarak ise TOFAŞ montaj çıkışı araçlar ile yapılan korelasyon çalışması gösterilecek ve Erken Uyarı Sistemi ile beraber proseslerde yaşanan iyileşmelere örnekler verilerek bir sanayi uygulamasındaki nihai işlevselliği kanıtlanacaktır.

### 4.1. Sonuç raporu

Erken Uyarı Sistemi 3. Kısımda anlatıldığı gibi ölçüm gerçekleştirmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi Erken Uyarı Sistemi proje bazlı çalışan bir ileri teknoloji SPC uygulamasıdır ve çıktı olarak bir rapor vermektedir. Erken Uyarı Sistemi projeleri Egea, Doblo ve Fiorino araçların üçü için de ayrı olarak hazırlanmış ve ayrı ortak alanlarda tutulmaktadır. Şu anda aktif olarak çalışan 35 Fiorino, 76 Doblo ve 115 Egea projesi bulunmaktadır. Doblo ve Fiorino projelerinin bir kısmının devreye alınma süreci halen devam etmektedir. Projelerin bir kısmı Türkçe, bir kısmı da tüm Fiat'ın hakim olduğu İtalyanca terimler olarak hazırlanmıştır. Proje sonunda SX yazması sol tarafı DX yazması sağ tarafı işaret eder.

Erken Uyarı Sistemi projeleri incelenidğinde aracın arka bölgelerindeki ilişkileri inceleyen projeler:

- T1 STOP ve T2 STOP SX-DX : Aracın stoplarının birbirleri ile, gövde ile, tampon ile ve bagaj kapağı ile olan ilişkilerini kontrol eder.
- ARKA TAMPON: Arka tamponun gövde ve bagaj kapağı ile olan ilişkisini kontrol eder.
- SPORTELLO BAULE: Bagaj kapağının gövde ile olan ilişkisini kontrol eder.
- BAGAJ KAPAĞI SERT KAPANMA: Bagaj kapağının iç fitil boşluklarını ölçerek kapanma-açma sertliğini kontrol eder.
- ARKA CAM: Arka Camın gövde ve tavan ile ilişkisini kontrol eder.



Aracın ön bölgelerindeki ilişkileri inceleyen projeler:

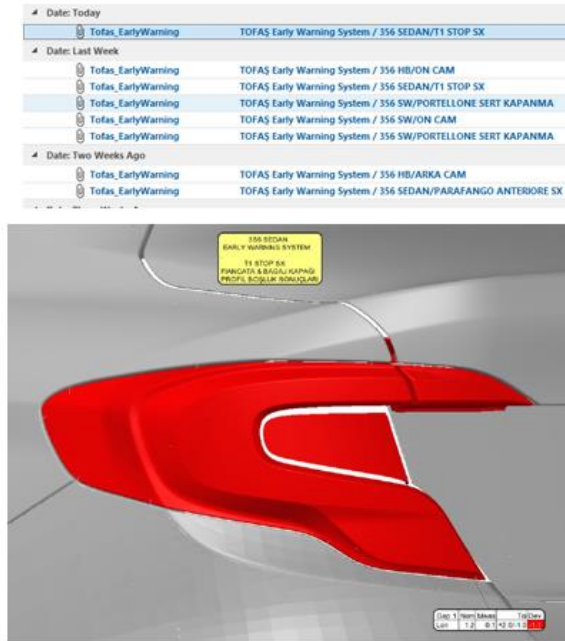
- ÖN CAM: Ön camın gövde ve tavan ile olan ilişkilerini kontrol eder.
- COFANE MOTORE: Motor kaputunun çamurluklar ile olan ilişkisini kontrol eder.
- ÖN TAMPON: Ön tamponun çamurluklar ve motor kaputu ile olan ilişkisini kontrol eder.
- ÖN FAR SX-DX: Ön farların tampon, çamurluk ve tampon panjuru ile olan aralıklarını kontrol eder.

Aracın yan bölgelerindeki ilişkileri inceleyen projeler:

- ÖN-ARKA KAPI PANEL SX-DX: Ön-arka kapı iç plastik panellerinin kapı ile olan ve kendi içindeki boşluk-profil ilişkilerini kontrol eder.
- AYNA MUSKA SX-DX: Dikiz ayna bölgesindeki kapı ve gövde ile olan ilişkileri kontrol eder.
- DİREK KAPLAMA DX-SX: Ön-arka kapıların siyah kaplamalarının bağlantı noktalarının birbirlerine göre olan konumlarını kontrol eder.
- ÖN KAPI CAM DX-SX: Cam takılarak girme, tam kapanmama gibi hatalar yaşamamak adına ön kapı camının ön kapı ile olan ilişkisini kontrol eder.
- ÖN KAPI FİTİL PROFİL SX-DX: Kapı fitilinin gövde ile olan profil ve taşma ilişkisini kontrol eder.
- PARAFANGO ANTERIORE SX-DX: Ön çamurluk (sac) parçalarının tampon ile olan ilişkisini kontrol eder.
- PORTA ANTERIORE PROJELERİ: Ön kapı ile ilgili sert kapanma, kapının arka kapı ve gövde ile olan boşluk profilleri, menteşe pozisyonları, braket pozisyonları gibi ilişkileri kontrol eder.
- PORTA POSTERIORE PROJELERİ: Arka kapı ile ilgili binilerin durumları, menteşe ve braket pozisyonları, ön kapı ve gövde ile olan boşluk profilleri gibi ilişkileri kontrol eder.

Benzer şekilde Egea'nın Hatchback ve Station-wagon modelleri için de projeler hazırlanmıştır. Spoiler ve Nolder parçaları gibi parçalar bu modellerde ek olarak yeni projeler doğurmaktadır. Aynı şekilde ticari taraf için de ticari araçların karakteristik olarak farklı olan tüm özellikleri projelere yansıtılmaya çalışılmıştır. Örneğin kayar kapı projeleri, kızak kaplama projeleri bunlara örnek olarak verilebilir.

Erken Uyarı Sistemi çalıştıktan sonra yapılan hesaplama ile beraber bir sinyalizasyon üretilir. Tüm ölçüm noktaları ölçülerek değer üretilen tüm projeler için bir rapor hazırlanır. Bu rapor ilgililerin ulaşacağı ve erişime açık bir ortak alana sistematik bir diziliş ile kayıt edilir. Ek olarak hatalı olarak ölçülen noktalar için ise ilgililerine gönderilen ayrı bir mail oluşturulur. Bu mailin içinde hatalı olan noktalar görülebilmekte ve proses/ürün sahibine araç henüz montaj hattından çıkmadan sinyal gönderilerek aksiyon alınması beklenmektedir.



**Şekil 4. 1.** T1 Stop Sol örnek hata maili

Şekil 4.1'de Erken Uyarı Sistemi'nden gelen hata mailleri görülmektedir. Son gelen mail T1 Stop SX projesine aittir ve bu araçlar üretilmeye başlandığında stop ve tamponun alt uçtan aralığının temasa yakın şekilde geleceği ve estetik bir hata oluşturacağı bilgisi

erkenden sinyalize edilmektedir. Bu sayede malzeme ve proses sahipleri henüz hatalı araç çıkmadan detay analizini yapmaya zaman bulacak ve hata oluşmadan giderilecektir.

Erken Uyarı Sistemi'nin rapor çıktısı bir SPC ölçüm sonucu ya da X-R, M-R gibi kontrol kartlarından çok daha basit, yalın ve anlaşılır şekilde hazırlanmıştır. Kısım 4.1'de buradan itibaren Egea Sedan Ön Tampon projesinin sinyalizasyon raporu incelenerek adım adım rapor açıklanacaktır.

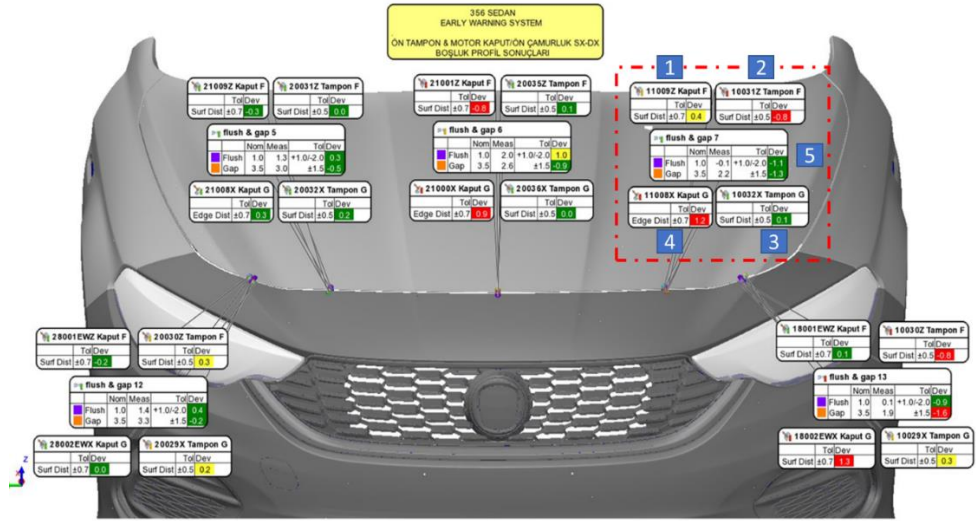
Daha önce de belirtildiği gibi, Erken Uyarı Sistemi çalıştığında her bir projenin her bir tanımlı noktası ölçülür ve hatalı olan noktalar için proje bazlı uyarı mailleri gönderilir. Tüm raporlar aynı zamanda herkesin ulaşabileceği ortak alanda kayıt altında tutulur. Ön tampon projesi için bir sinyalizasyon maili örneği ve nereyi sinyalize ettiği Şekil 4.2'de gösterilmiştir:



**Şekil 4. 2.** Egea ön tampon projesi hata uyarı maili ve motor kaputu ile önden aralık

Mail sistemi TOFAŞ IT ile birlikte ortak çalışılmıştır. TOFAŞ IT tarafı her proje için otomatik mail grupları oluşturulmuştur. Polyworks'ün TOFAŞ modülü visual basic algoritmasındaki makrolar ise her bir rapor sonucu hesaplandıktan sonra tolerans dışı değerleri bu gruplara mail atacak şekilde kodlanmıştır.

Hatalı gelen rapor, ya da ortak alandan insiyatifle açılan rapor ilk incelendiğinde o projenin noktalarını içeren sonuç sayfaları bulunmaktadır. Bu sonuç sayfaları o lotluk ölçüm sonuçlarını kapsar ve kaçınıcı ölçüm olduğu da sayfada belirtilmektedir. Sonuç sayfalarındaki değerlerin nasıl okunacağı ise ön tampon projesinden örneklenmeye devam edilir ise :



Şekil 4. 3. Egea ön tampon projesi boşluk-profil değeri hesaplaması

Hata maili gönderilen ölçüm sonucunu oluştururken; etiket görüldüğü gibi hem boşluk hem profil ölçümü gösterecek şekilde dizayn edilmiştir. 1 ve 2 numaralı kutucuklardaki sonuçlar motor kaputu ve tampon tekilinden gelen profil sapma (deviasyon) etkilerini göstermekte, 3 ve 4 numaralı kutucuklar motor kaputu ve tampon tekilinden gelen aralık(başlık) sapma etkilerini göstermekte ve 5 numaralı kutucuğu ise motor kaputu ve tampon arasındaki hesaplanan nihai boşluk-profil değerlerini sinyalize etmektedir.

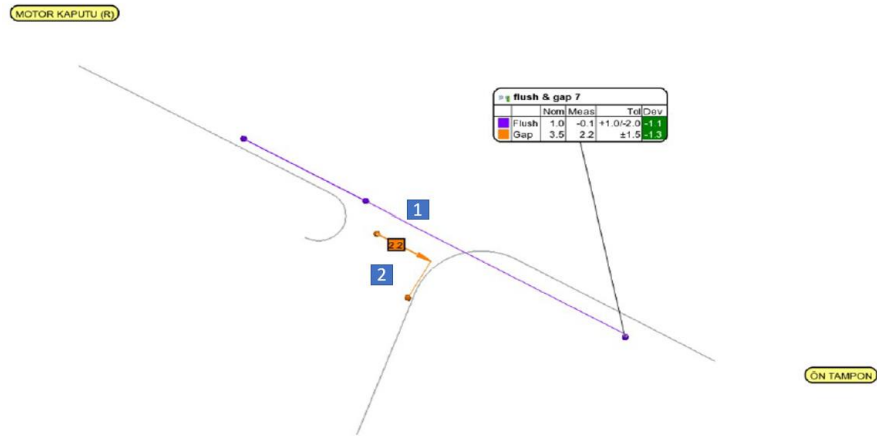
Kutucuklarda gösterilen tekil profil değerlerinden nihai profil değerleri hesaplanırken parçaların birbirlerine göre olan konumları ve artı-eksi yönleri hesaba katılarak sonuç bulunur. Örneğin, bu ölçüm sonucunda motor kaputunun noktasının profil sapması değeri +0.4 mm, tampon profil sapması ise -0.8 mm'dir. Bu bölgedeki kopyalama düşünüldüğünde kaputun 0.4 mm yukarıda, tamponun ise 0.8 mm aşağıda olması anlamına gelecektir. Sonuç olarak ikisi de birbirine göre profil artırıcı etkidir ve 1.2 mm profil artırıcı etki yapacaktır. Eldeki bu sonuç ile 5 numaralı kutucuğa geçilip nihai değer hesaplanmak istendiğinde; bölgedeki profilin değerinin "nom" kısmından 1 mm olarak tasarım yapıldığı görülür. Eldeki 1.2 mm'lik profil artırıcı sapma üzerine eklendiğinde ve küsüratlar da hesabın içine girdiğinde profilin -0.1 mm olarak hesaplandığı "meas" kısmında görülebilir. Motor kaput vs. tampon projesinde bu noktada profilin -0.1 mm

olması, sabit parça motor kaputu hareketli parça tampon olarak seçildiği için, tamponun motor kaputuna göre 0.1 mm aşağıda kalması anlamına gelecektir.

Bölgedeki aralık değeri için ise, 3 ve 4 no'lu kutucuklar kontrol edilirse; motor kaputundan 1.2 mm aralık daraltıcı etki (tolerans dışı  $\pm 0.7$  mm), tampondan ise 0.1 mm aralık daraltıcı etki geldiği görülmektedir. Tekil projelerden gelen aralık değeri sapmaları + olduğunda aralık daraltıcı, - olduğunda ise aralık açıcı anlamındadır. Bu parçalar 3D olarak uzayda hayal edildiğinde aslında malzemenin fazla (+), ya da az (-) olması şeklinde belirlenmiştir.

Toplam 1.3 mm aralık kapatıcı etki ile 5 numaralı kutucuğa dönüldüğünde, motor kaputu ve tampon arasında 3.5 mm'lik bir boşluk tasarlandığı fakat 1.3 mm'lik sapmayı eklediğimizde aralığın 2.2 mm'ye düşeceği okunmaktadır. Bu ölçümde bu nokta için profil değeri de aralık değeri de bitmiş ürün toleranslarının içinde kalmaktadır ve hata sinyalize edilmeyecektir. Fakat Erken Uyarı Sistemi olmasa, tamponun tolerans dışı hatası klasik SPC mantığında sinyalize edilecekti, fakat bu hata bitmiş üründe geometrik bir hataya dönüşmediği için araç aslında OK durumda olacaktı.

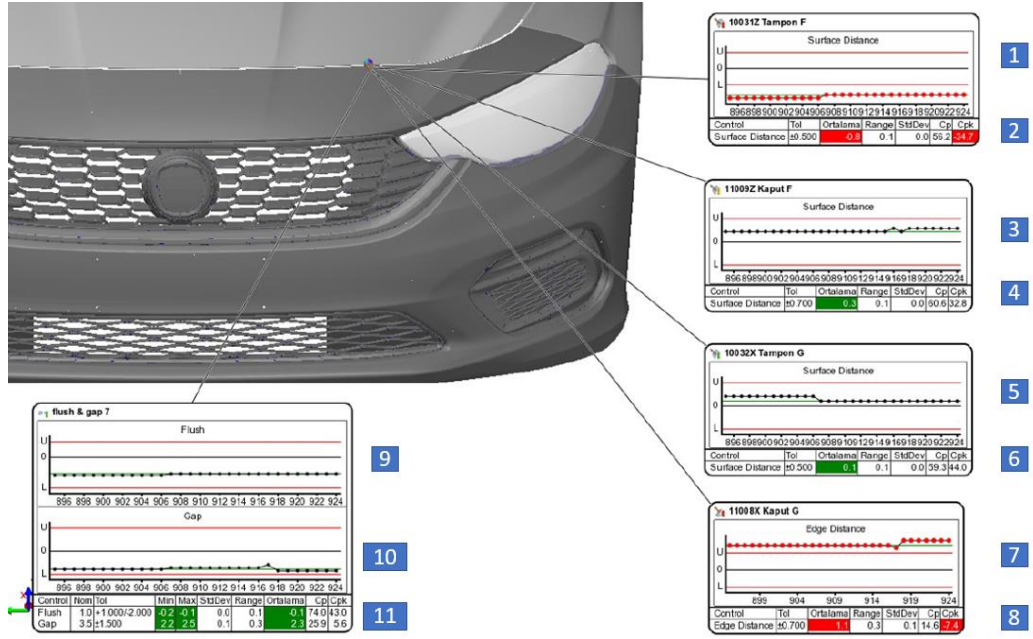
Erken Uyarı Sistemi'nin çıktı raporunun devamında ise her bir noktanın kesitleri verilmekte ve kesitler üzerinde ölçüm sonuçları gösterilmektedir. Örnek olarak yukarıda hesaplama sonucu görülen Flush&Gap 7 noktasının aynı tarihli ölçümünün kesit sayfası incelenecektir:



**Şekil 4. 4.** Egea ön tampon projesi hesaplanmış kesit örneği

Şekil 4.4'teki kesitte sabit parçanın motor kaputu olduğu yanındaki R yani referansı sembolize eden harf ile gösterilmiştir. 1 numara ile gösterilen vektörde motor kaputundan başlayıp tampona kadar takip edilir ise tampon kesidine girdiğinde kesitten aşağıda kaldığı görülmektedir. Bu da 0.1 mm'lik aşağıda olma profil hatasını kesitte realize eder. 2 numaralı vektör benzer şekilde motor kaputundan çıkarak tampona gitmiştir. Fakat görüldüğü üzere motor kaputu olması gerekenden daha önde olduğu için vektör kısa kalmıştır ve aralık 3.5 mm değil 2.2 mm okunmuştur.

Her bir ölçülen nokta için kesit değerleri gösterildikten sonra Erken Uyarı Sistemi'nin İstatistiksel Proses Kontrol mantığında hazırlanan istatistiki analiz sayfaları gelmektedir. Her bir sayfa bir proje kontrol noktasının istatistiki geçmişini analiz ederek sunar. Flush & Gap 7 noktasının istatistiki geçmişine bakılırsa:



Şekil 4. 5. Egea ön tampon projesi hesaplanmış kesitin istatistiksel geçmişi ve analizi

1 ve 3 numaralı kutucuk tekil tampon ve motor kaputu ölçüm noktalarının son 30 ölçümdeki profil sapma değerlerini grafik halinde vermektedir. Grafikte alt tolerans limiti, nominal ve üst tolerans limitine göre karşılaştırma vardır. Nokta tolerans dışı ise kırmızı, içi ise yeşil, toleransını her iki tarafta da olabilecek şekilde %75'ini kullanmış ise sarı olarak sinyalizasyon edilir. 2 ve 4 numaralı kutucuklarda ise bu noktaların tolerans değeri, nokta sapma değerinin son 30 ölçümdeki ortalaması, range'i, standart sapması, cp ve cpk'sı hesaplanmış bir şekilde gösterilmektedir.

5 ve 7'nin mantığı benzer şekilde 1 ve 3 ile aynı, 6 ve 8'in ise 2 ve 4 ile aynıdır. 9 ve 10 numaralı kutucuklarda ise nihai üründe motor kaputu ve tampon aralık ve profil değerlerinin son 30 ölçüm sonucu verilmiştir. 11 numaralı kutucukta ise profil ve aralık için ayrı ayrı olmak üzere bu son 30 veri kümesinin nominal değeri, toleransı, min-maks değerleri, standart sapması, range'i, ortalaması ve cp-cpk değerleri verilmektedir. Burada Şekil 4.5'teki istatistik verilerden de görüleceği üzere, aslında tampon ve motor kaputunun cp'leri uygunken cpk'ları bozuktur. Yani yetenekli bir şekilde hep aynı standart hatayı üretmektedirler. Fakat araç üzerinde birleşip bir kopyalama yarattıklarında nominal 3.5 mm aralığa göre ölçülen değer uygun çıkmakta ve cp-cpk başarılı bir şekilde

yakalanmaktadır. Buna sebep olan etmen ise motor kaputu ve tamponun zıt yönlü aralık-profil hatalarıdır. Hatalar araç üzerinde birleştiğinde birbirini sönümleyerek uygun bir sonuç ortaya çıkarmaktadır. Normalde klasik bir İstatistiksel Proses Kontrolü inceleyen gövde proses uzmanı motor kaputuna müdahale etme gereği duyacaktır fakat aslında araç üzerinde bu hata yaratmadığı için buradaki işçilikten de tasarruf etme imkanı doğmaktadır.

#### **4.2. Korelasyon süreci**

Erken Uyarı Sistemi projeleri devreye alınıp ilk sinyalizasyonlar gönderilmeye başlandıktan sonra raporlar herkes tarafından görülür hale getirilmeden önce tüm noktalar için montaj ile korelasyon uyumu çalışılmıştır. Bu korelasyon çalışmasında 6 ay boyunca her gün belirli bir plan ile farklı projelerin farklı noktaları montajda manuel ölçülüp Erken Uyarı Sistemi raporlarıyla karşılaştırılmak suretiyle farklı araçlardaki ortalama nokta bazlı değerlerin Erken Uyarı Sistemi çıktılarının ortalamasıyla olan uyumu gözlemlenmiştir.

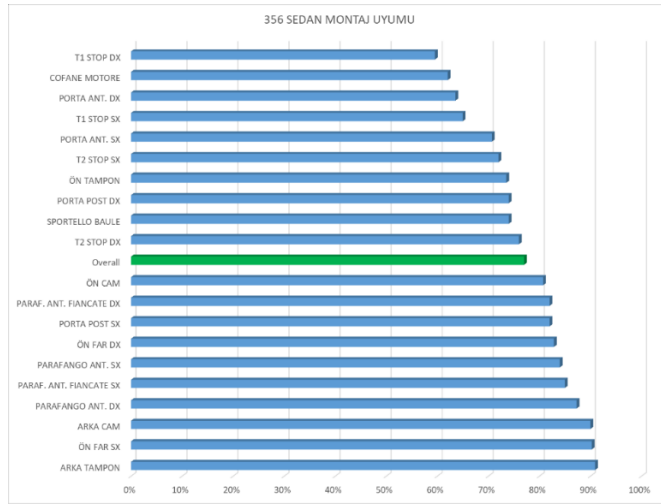
Projenin devreye alınmasındaki başarıya tez mantığında kanıt sunabilmek için Egea Sedan, HB ve Station Wagon projelerindeki Erken Uyarı Sistemi ve Montaj çıkış araba ölçüm sonuçları karşılaştırması ve uyumları gösterilecektir. Montaj çıkışındaki arabalar numune bazlı ölçüm mantığında her model ve tip için %10 olacak şekilde çekilir ve Kalite SPC alanında lazer gap gun ile komple bitmiş arabanın boşluk-profil değerleri ölçülür. Buradan görülen ve elde edilen sonuç değerleri nihai ürünün geometrik durumunu simüle eder. Erken Uyarı Sistemi de buradaki sonuçlara göre değerlendirilmiş ve %75 uyum hedefi ile yola çıkmıştır.

Uyumun %100 sağlanması gerçekçi bir hedef olamayacaktır. Çünkü otomotiv endüstrisinde parçalar yükleme ve bağlama prosesleri esnasında tekil hallerinin geometrik durumundan farklı şekle gelebilmektedirler. Örnek ile açıklamak gerekirse bir bagaj kapağı kaporta proseslerinde gövdeye robot ile yüklendikten sonra montajda üzerine veya kapanacağı karşılık bölgesine farklı parçalar takılmakta, bir kinematiğe



sahip olduğu için kapalı ve açık hali farklı olmaktadır. Ek olarak en büyük etken ise motor kaputu örneğinde olduğu gibi; motor kaputu çamurlukların arasına ortalanıp yüklendikten sonra montaj hattında ön tampon takıldıktan sonra aracın ön burnunun durumuna göre manuel ayar işlemi görebilmektedir. Bu sebepten ötürü motor kaputu, bagaj kapağı, yan kapılar gibi hareketli ve ayar işlemi gerçekleştirilebilen parçalarda korelasyon oranı daha düşük çıkacaktır.

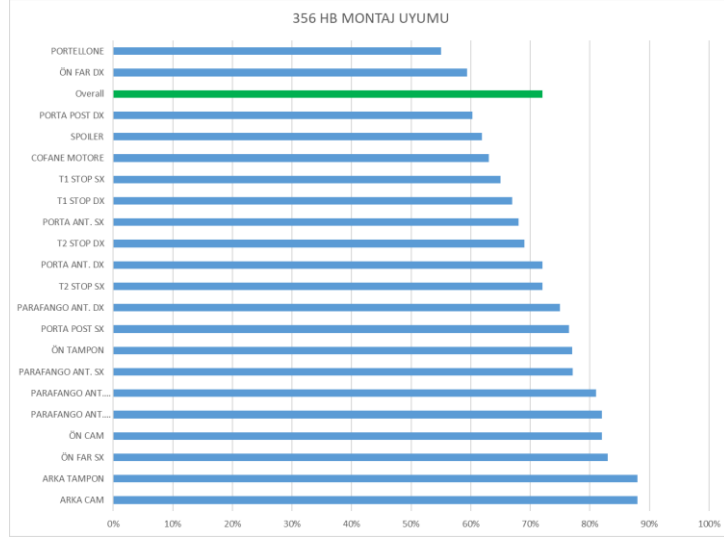
Çünkü Erken Uyarı Sistemi motor kaputunun kendi ölçümünü alacak, motor kaputu gövde boşluğununla ilgili evlendirip yüklemeyi yapacak, daha sonra tampon ile aralığını tanımlanmış kesitte ölçerek sinyalizasyon edecektir. Fakat montajdan çıkacak arabada motor kaputu muhtelif bir ayar ya da tamir işlemi görmüş olabilmektedir. Bu da korelasyonu sağlayamamanın en büyük etkenlerinden biridir.



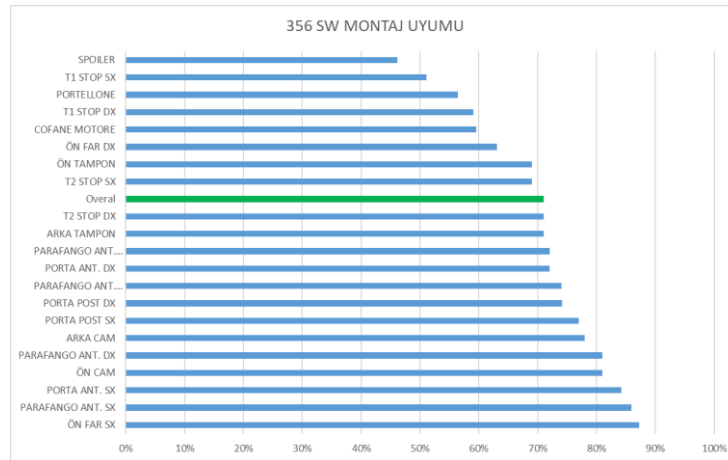
Şekil 4. 6. Egea Sedan montaj hattı ve Erken Uyarı Sistemi korelasyonu

Şekil 4.6’da Egea Sedan projelerinin ilk devreye alındığı zamanki durumunun montajda ölçülen araçlarla olan karşılaştırması görülmektedir. Görüldüğü üzere tüm projelerin ortalaması %78 civarında montaj hattı ile uyum göstermektedir. Bu ön görülenden de iyi olarak değerlendirilebilecek bir orandır. Motor kaputu (cofane motore) gibi projelerin uyumu ise yukarıda anlatılan değişkenliklerden dolayı %69’larda kalabilmektedir.

Benzer değerlendirmeler Hatchback ve Station-wagon modeller için de devreye alınırken yapılmıştır :



Şekil 4. 7. Egea Hatchback montaj hattı ve Erken Uyarı Sistemi korelasyonu



Şekil 4. 8. Egea Station-Wagon montaj hattı ve Erken Uyarı Sistemi korelasyonu

Şekil 4.7.'de ve Şekil 4.8'de Egea Hatchback ve Station-Wagon modellerin korelasyon verileri görülmektedir. Hatchback'te %73, Station-Wagon'da %71 olarak veriler işlenmiştir. Bakıldığında bu iki model Sedan'a göre geometrik anlamda daha zor parçaların olduğu modellerdir. Spoiler, Nolder ve daha düz ve farklı tasarımlı bir bagaj kapağı bu sorunu tetiklemektedir.

İlk Erken Uyarı Sistemi projeleri toplu halde bu korelasyon doğrulaması ile beraber devreye alınmıştır. Daha sonra yapılan Egea projelerinde ise sistem güvenilirliği ve mantığı oturduğu için sadece proses uzmanları tarafından hatalı olabileceği belirtilen, diğer kalite birimlerinde sinyalizasyon edilen Erken Uyarı Sistemi'nde edilmeyen ya da tam tersi durumlar için inceleme yapılmış ve uyumsuzluk nereden kaynaklanıyor ise giderilmiştir.

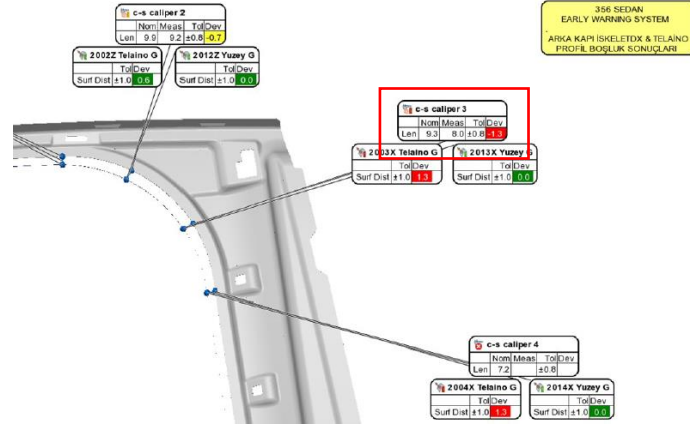
Daha sonra hatalar çıktıkça ihtiyaç duyulan projeler için ise hata analizini yapan birim temsilcileri (kalite tanı koyma, gövde proses, montaj ürün uzmanları gibi) projelerin hazırlanmasına yardımcı olmuşlar ve sonuç gidişat değerleri için onaylama yapmışlardır. Şu anda hazırlanması devam eden Doblo ve Fiorino projeleri için de ilk toplu devreye alımda benzer metoda gidilecektir.

### **4.3. Kalite endekslerindeki iyileşmeler**

Erken Uyarı Sistemi projeleri başarılı bir şekilde devreye alınıp uygun görülen korelasyon oranı hedefinin ortaya konulduğu gösterildikten sonra tüm ölçüm ve sinyalizasyonlar fabrika geneli ilgililere hata maili gönderecek şekilde canlı hale getirilmiştir. Bu uyarı sinyalleri yönetici bazında ve pres, gövde, montaj ve malzeme birimlerinin ilgili uzmanlarının hatalı araçlar hattan henüz çıkmadan aksiyon alması için bir analiz desteği olarak değerlendirilebilir.

Uyarı sinyalleri ile beraber haftalık model bazlı tüm ilgililerle yapılan toplantılarda o hafta gönderilen sinyaller analiz edilmekte, geçen haftaki sinyallerle ilgili alınan ya da planlanan aksiyonların ise durumu konuşulmakta, toplantı tutanağı ise düzenli olarak tüm ilgililere yayınlanmaktadır.

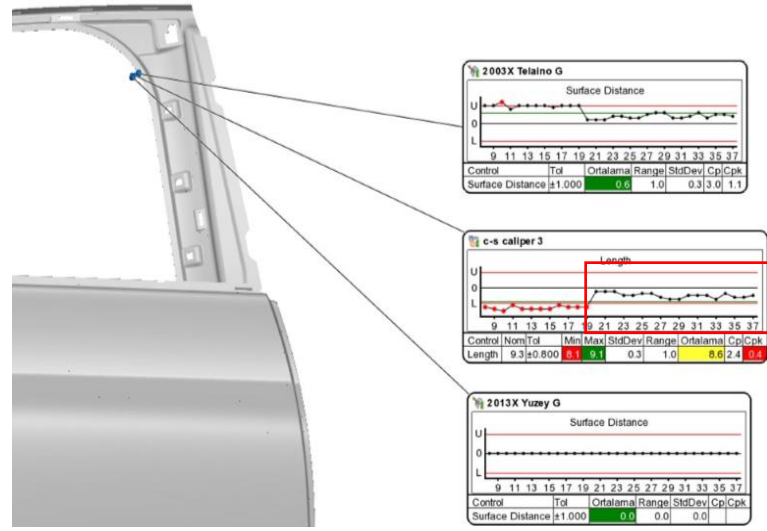
Çalışmanın Bulgular kısmının devamında Erken Uyarı Sistemi sinyalleriyle yapılan iyileştirmelere örnekler verilecek, Erken Uyarı Sistemi'nin devreye alınmasının kalite göstergelerinden bu sistemin atak edebileceği gövde geometri % gidişat ve müşteri gözü ile değerlendirme puanı gidişatlarına olan etkisi gösterilecektir.



**Şekil 4. 9.** Egea arka kapı çerçeve fitil binisi

Şekil 4.9’da Egea tüm modellerde ortak olan arka kapı çerçeve kesim hattının ön bölgesi görülmektedir. Bu kesim hattına çerçeve fitili takılmaktadır. Fitil bir yalıtım elemanı ve estetik parça olarak görev yapar. Kapının bu bölgesinde Erken Uyarı Sistemi raporundan da görülebileceği üzere İskelet ve Telaino adlı 2 adet sac parça bu bölgede birleşerek kapı çerçevesini oluşturmaktadır. Telaino sacı kesim hattında  $\pm 1$  mm toleransa sahiptir fakat ölçüsünün 1.3 mm geldiği raporda görülmektedir. Bu parçadaki hata üzerine geçirilen fitilin potlanmasına ve sacı tam saramamasına sebebiyet vermektedir.

Erken Uyarı Sistemi çerçeve bini projesi daha önce yaşanan hatalardan bilinerek proaktif olarak hazırlanmıştır ve üstteki sinyal üretimin belirli bir tarihinde yakalanmıştır. Daha sonra bu lot kapılar montaja gelmeden Pres biriminde telaino sacının kesim hattına müdahale yaparak tolerans içerisine sokulmuştur.



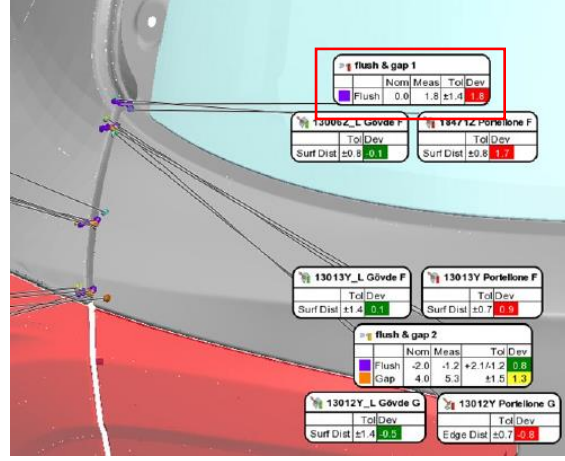
**Şekil 4. 10.** Egea Arka Kapı çerçeve fitil binisi müdahale sonucu

Caliper 3 ölçümlerinden görüldüğü gibi Pres biriminin müdahalesinden sonra kesim hatları nominale gelmiştir ve Şekil 4.11.'deki gibi kapılarda fitillerin potlanma hatası engellenmiştir.



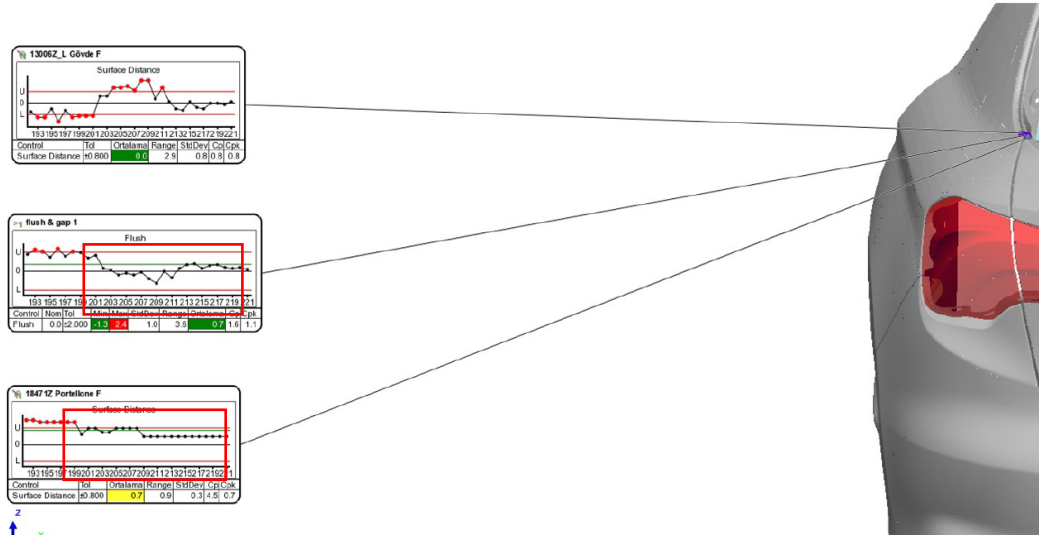
**Şekil 4. 11.** A- geçmişten hata oluşmuş bir arka kapı, B- hatasız bir arka kapı

Şekil 4.12'de Egea hatchback modelin arka bagaj kapağının gövde ile olan ilişkisinin sinyalize edildiği projede bir hata sinyali görülmektedir.



Şekil 4. 12. Hatchback bagaj kapağı hata sinyali

Gövde geometrik olarak uygun iken, bagaj kapağının (portellone) profil artırıcı yönde aracın gerisine doğru pozisyonlanmış olmasından dolayı gövde ile kapak arasında profil hatası oluşacağı sinyaliz edilmiştir. Bu hata maili Gövde üretim birimlerine ulaşmış ve bitmiş araçta bu hatayı oluşturmamak adına bagaj kapağının yüklemesinden sonra kilit karşılığı pozisyonu öne alınarak kapak profili dengelenmiştir.

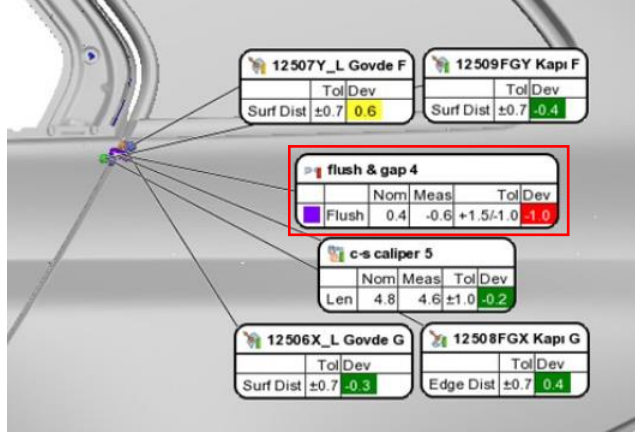


Şekil 4. 13. Gövde birimi müdahalesi sonrası

Erken Uyarı Sistemi SPC mantığındaki gidişat grafiğine bakıldığında üst toleransın dışına çıkan bagaja yapılan müdahaleden sonra kapak nominaline yaklaşmış, karşılığında da

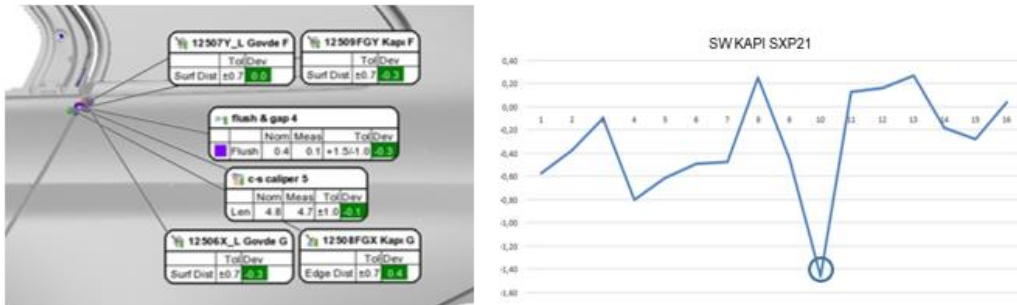
gövde ve kapak arasındaki profil nominaline gelmiştir ve hata montaj hattına taşınıp kalite kontrollerinde tespit edilmeden önce elimine edilmiştir.

Bir başka örnekte ise Egea Station-wagon modelde sol arka kapı ile gövde arasındaki profil hatası yakalanıp sinyalize edilmiştir.



Şekil 4. 14. Egea Station-wagon sol arka kapı ile gövde arasındaki profil hatası

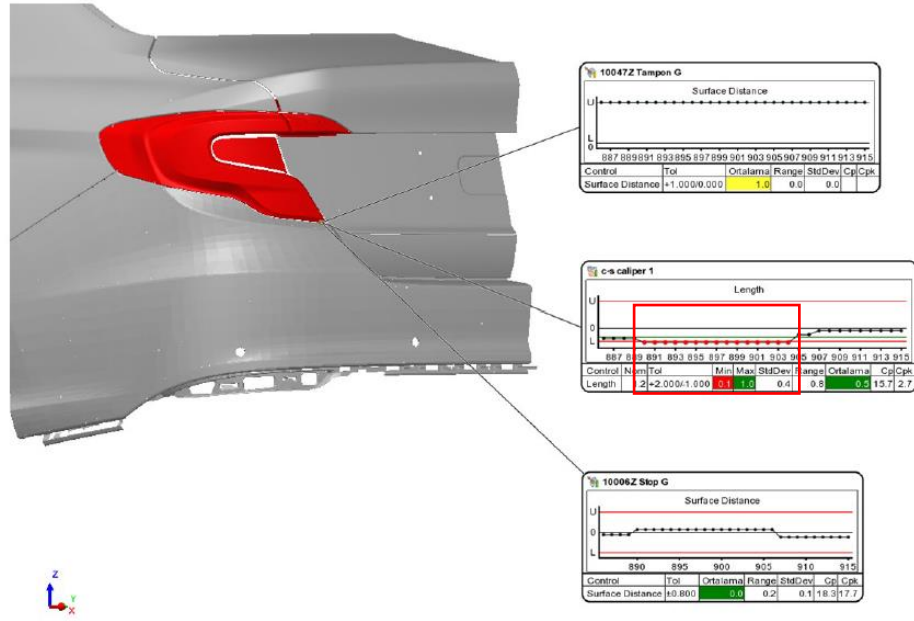
Şekil 4.14'te görüldüğü gibi gövde profilinden tetiklenen bir profil hatası gövde birimine sinyalize edilmiştir. Lotta yapılan ön analizde tabana yüklenen sağ sol yan gövde çerçevelerinin ara mesafesinin açıldığı ve sağ gövdenin de sol gövdenin de ortalama 0.5+0.5, 1 mm dışarı çıktığı tespit edilmiştir. Robot hattında yapılan parametre müdahalesiyle geometri iyileştirilmiştir.



Şekil 4. 15. Sol arka kapı gövde profil hatasının iyileştirilmesi

SPC ile teyit edilen geometri iyileşmesiyle beraber Erken Uyarı Sistemi'nde de gövde profil değerinin nominalde geldiği bununla beraber flush & gap 4 değerinin de sadece nominalden 0.3 mm farklı olarak ölçüldüğü gözlemlenmiştir.

Şekil 4.16.'da ise daha farklı bir durum için alınan aksiyon görülmektedir. Arka tamponun ölçüm noktası son 30 ölçümde hep üst toleransta çalışmıştır. Stop ise nominalde giderken aralığı kapatacak şekilde sapma yaşamıştır. Bu sebepten ötürü Erken Uyarı Sistemi'nde stop ve tamponun alt aralığının nominalden dar geleceği uyarısı alınmıştır. Bundan sonra detay analiz yapıldığında üstteki tekil parçaların durumları tespit edilmiş, tamponun hata miktarı daha fazla olmasına rağmen kalıp müdahalesi daha zorlu olduğu için stop'un lens ve housing kısımlarını birleştiren vibrasyon kaynak prosesinde ufak bir müdahale ile stop aralık açıcı çalışacak şekilde bozularak nihai ürünlerdeki hata elimine edilmiştir.



Şekil 4. 16. Tampon-stop aralık değerinin iyileştirilmesi

Verilecek son müdahale örneği ise yine daha önceden yaşanmış bir hatanın aksiyonunu standartlaştırılması ve takibinin eksiksiz yapılması için sonradan tanı koyma ve proses uzmanları tarafından oluşturulan bir projedir. Projede arka kapı üzerinde bulunan dikey

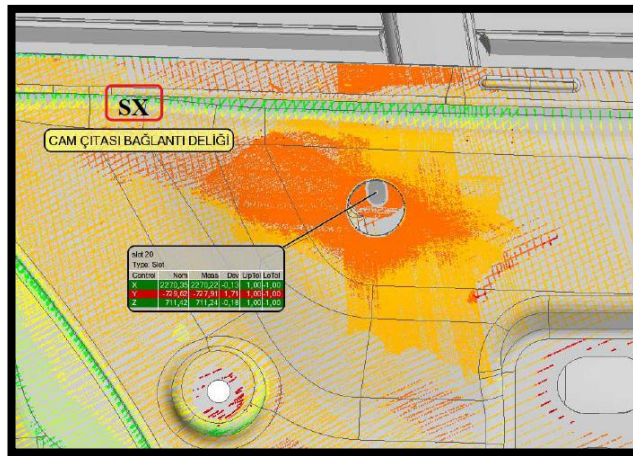


çita parçasının bağlantı braketinin yüzeyinin durumu incelenmektedir. Bu braketin y yüzeyindeki hata dikey çitayı aracın içine ya da dışına alarak estetik kopyalama oluşturduğu korniş parçası ile aralığını etkileyecektir.



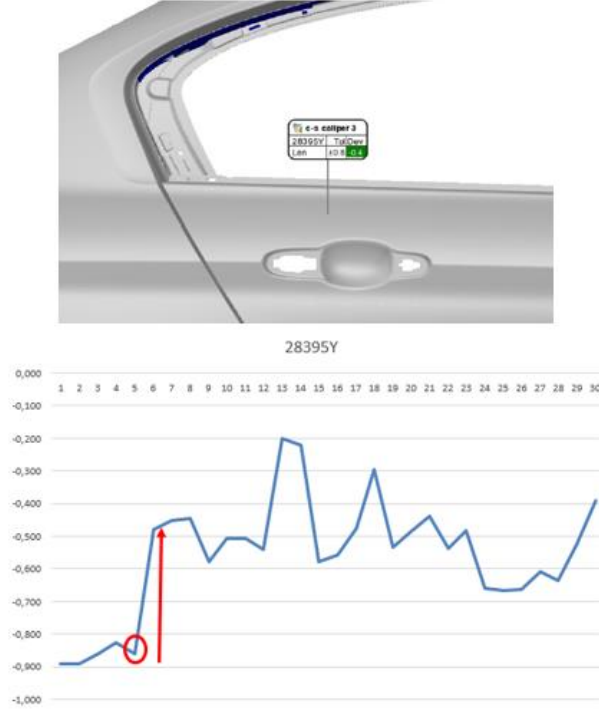
Şekil 4. 17. Dikey çita ve korniş aralık ilişkisi

Geçmişte yaşanan hatalarda dikey çitanın kapıya sıkıldığı braketten yüzey hatası tespit edilmekte ve bu hata korniş ile aralığını açmaktaydı:



Şekil 4. 18. Dikey çita kapı bağlantı yüzeyi hatası: 1.7 mm aralık açıcı yönde

Erken Uyarı Sistemi devreye alınmadan önce 20-30 gün süren analiz ve çözüm çalışmalarında yaşanan kayıplar barizken, Erken Uyarı Sistemi devreye alındıktan sonra bölge ile ilgili proje hazırlanmış ve kapı braket yüzeyi bir daha bozulmamıştır.

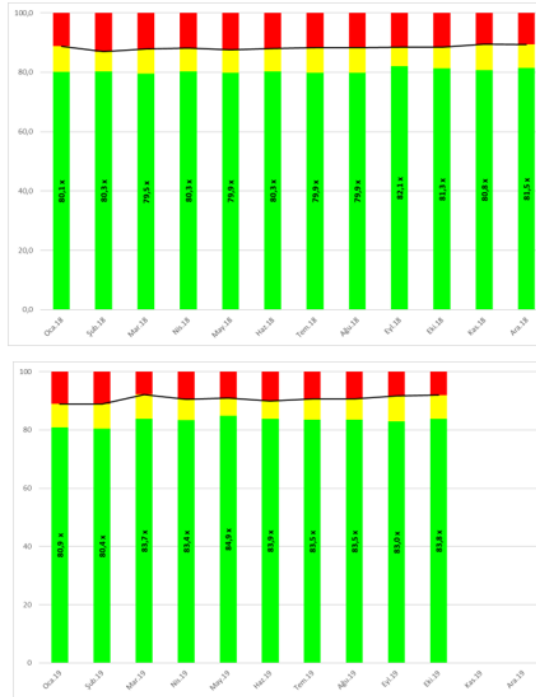


**Şekil 4. 19.** Dikey çıta kapı bağlantı yüzeyi iyileştirme

Erken Uyarı Sistemi devreye alınıp geometrik iyileşmeler sağlandıktan sonra kalite göstergelerinde de belirli iyileşmeler yaşanmıştır. TOFAŞ içerisinde gövdenin ölçüsel durumunun takip edildiği bir geometri gidişatı endeksi bulunmaktadır. Bu geometri gidişatı endeksi tüm araç gövdesi, yarı kompleler, kapı-bagaj gibi hareketli parçalar üzerinde tanımlı kontrol noktalarının istatistikî proses kontrol mantığı ile ölçümü yapılarak son 30 ölçümden tolerans içi oranı tespit edilir. Yeşil bölge tolerans bandının %75'inden daha az kullanan noktalar, sarı bölge %75-100 arası kullanan noktalar, kırmızı bölge ise %100'ünü aşmış noktaların yüzdelik oranlarını göstermektedir.

Şekil 4.20’de Egea Sedan modele ait gidişat değerleri görülmektedir. Görüldüğü gibi Sedan’da da uzun süredir %80 seviyesinde gezen bu endeks 83’lere gelmiştir. Endeks ile ilgili veri gizliliğinden kesin bilgi verilmeden yüzdeler dilim paylaşılacaktır.

Benzer şekilde Hatchback’te bu oran %75.1’den 81.1’e , Station Wagon’da ise bu oran %77.4’ten 84.1’e çıkmıştır. 2017’de ise Sedandaki puan artışı sadece 0.5 puan olmuş, 80’den 80.5’e çıkmıştır. 2019 yılında Sedan’da iyileştirilen 36 noktanın yaklaşık 5’inde (%13.8), Hatchback’te iyileştirilen 48 noktanın yaklaşık 8’inde (%16) ve Station-Wagon’da iyileşen yaklaşık 55 noktanın 8’inde (%14.5) Erken Uyarı Sistemi’nde de ilgili boşuk profil hatalarında tetiklenme görülmüştür. Burada kritik nokta kontrol noktaları-Erken Uyarı Sistemi korelasyonunda oranın düşük olduğu zannedilebilir ancak her hatalı kontrol noktası araç üzerinde hata yaratmamaktadır. Bu şekilde bakıldığında yaratılan hataların Erken Uyarı Sistemi sayesinde tespit edilebildiği görülmüştür.

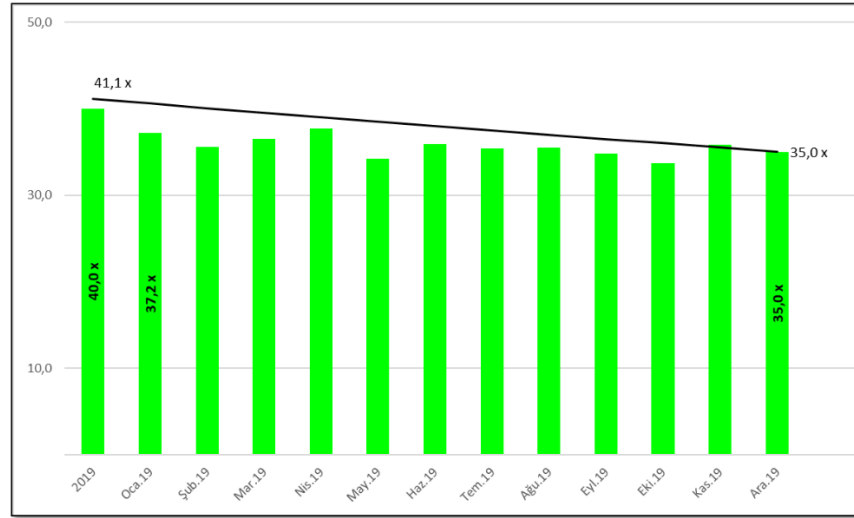


Şekil 4. 20. Egea Sedan tüm kontrol noktaları %'lik dilim gidişatı

Bu noktaları örneklendirmek gerekirse, Sedan modelde Motor kaputu ön taraf tampon ile profil noktası, Sol çamurluk profil, Sağ far çamurluk ile aralık ayarsız, Sol arka kapı

yardımcı referans atıklığı, Sağ T1 Stop fiancata ile aralık dar hatalarında SPC noktalarında da benzer durumlar tespit edilmiş, önlem alınmıştır.

Hatchback modele bakmak gerekirse Sedan'dan farklı olarak, Ön cam aralık konusu, Portellone yardımcı referans atıklığı, Arka tampon aralık ayarsız konusu çıkmıştır. Station-Wagon modelde ise Sol T1 stop fiancata ile aralık, Portellone yardımcı referans atıklığı ve Ön cam aralık konusu Sedan'dan farklı olarak çıkmıştır.



Şekil 4. 21. Egea ailesi müşteri gözü ile değerlendirme puanı verileri

Erken Uyarı Sistemi'nin sağladığı iyileştirmeleri gösterecek bir diğer kalite göstergesi ise Müşteri Gözü ile Değerlendirme (MGD) puanındaki gidişattır. MGD araç üzerindeki estetik ve geometrik hataları puanlayarak ortaya bir proje ilerlemesi çıkarmayı hedefleyen metodolojidir. Bu metodolojide her sene belirlenen bir hedef ve o hedefe uygun olarak gerçekleşen değer her hafta her bir model için sorgulanır, sonuçlar birim bazlı dağıtılır ve hata içeren birimlerden aksiyon talep edilir.

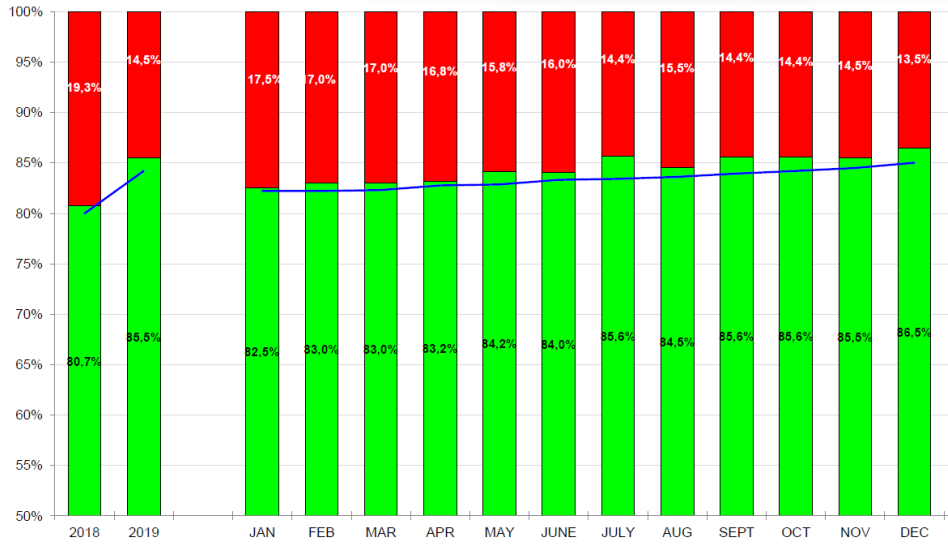
Şekil 4.21'de görüldüğü üzere 2018 ortalaması 40x veri birim olan Egea ailesi, 2019 itibariyle 37.2x birimden giriş yapmış ve sene sonunda ise 35.7 puanla kapatmıştır. Özellikle TOFAŞ içerisinde yapılan hata analiz ve problem çözme çalışmalarıyla beraber bunlara sunduğu verilerle Erken Uyarı Sistemi bu iyileşme içerisinde pay sahibidir.

2018'de boşluk profil hataları ortalama 3 modelin 12,9 birimlik puanını oluştururken 2019 kapanışıyla beraber 8,9 birimlik puanını oluşturmaktadır. Yaşanan 4x birimlik iyileşmede Erken Uyarı Sistemi de kendi rolünü üstlenmiştir.

Bu pay direkt puan olarak hesaplanamasa da oran olarak verilebilir. Erken Uyarı Sistemi CPA tarafından sinyalize edilen 122 farklı boşluk profil hatasının 39 tespit edebilme kapasitesine sahiptir, 12 tanesini CPA ile ortak tespit etmiş 8 tanesini ise çözümlü olarak kapatmıştır. Diğer 4 hata ise çözümlü açık olarak müdahale beklemektedir. Buna göre CPA tarafından tekrarlı sinyalize edilen hataların %8'ini Erken Uyarı Sistemi kapatmıştır. Burada da kabaca 4 puanlık iyileşmede Erken Uyarı Sistemi'nin 0.32 birim puan civarı direkt katkısı olduğu iddia edilebilir.

Müşteri Gözü ile Değerlendirme hedefleri, puan sistematiği, metodolojinin detayı ve stratejileri hakkında daha fazla bilgi paylaşılamayacaktır, metodoloji Fiat dünyasında tanımlanmış, hakları FCA'ye bağlı bir metodolojidir. Tekrar belirtmek gerekir ki geometri gidişatı ve Müşteri Gözü ile Değerlendirme puan gidişatları sadece Erken Uyarı Sistemi ile ölçülmemektedir. Fakat Erken Uyarı Sistemi sayesinde yapılan proaktif çalışmaların sonucu direkt yüzde yüz anlamda sayısal olarak belirtilemese de pozitif yansıma olarak net bir şekilde ortaya konmaktadır.

Erken Uyarı Sistemi'nin sonuçlarını yorumlayabilmek için bakılabilecek bir diğer indeks ise boşluk-profil lazer ölçümleridir. Bu ölçümlerde kontrol planına göre tanımlanmış boşluk-profil değerleri nihai araç üzerinde lazer cihazıyla ölçülmekte ve veri olarak raporlanmaktadır. Bu raporda yeşil bölge yine benzer şekilde tolerans bandının %75'inden daha az kullanan noktalar, sarı bölge %75-100 arası kullanan noktalar, kırmızı bölge ise %100'ünü aşmış noktaların yüzdelik oranlarını göstermektedir. Egea modelinin tüm tiplerinin yüzdelik uygunluk oranına baktığımızda ise Erken Uyarı Sistemi'nin devreye girmesiyle ivmelenme kazandığını görebilmekteyiz. Aşağıda 2018'de %80.7 olan tüm değer uygunluğu 2019 yılının kapanmasıyla %86.5'a çıkmıştır.



**Şekil 4. 22.** Egea ailesi boşluk-profil endeksi lazer ölçüm %'lik uygunluk sonuçları

Erken Uyarı Sistemi'nin bu paretodaki iyileşmeye etkisini daha iyi anlayabilmek için. Yılın ortasından itibaren boşluk-profil raporları ve Erken Uyarı Sistemi raporları aile bazında karşılaştırılmış, toplam tespit edilen hatalı nokta sayısına bu ortak tespit edilen noktalar oranlanmıştır.

Erken Uyarı Sistemi ve boşluk-profil lazer ölçümleri hafta hafta karşılaştırıldığında 20 haftada, her hafta yayınlanan hatalı noktaların benzerlik oranı ortalama %9,3 olduğu tespit edilmiştir. Buna göre 5.8 puanlık iyileşmede proaktif yaklaşımda bulunan Erken Uyarı Sistemi'nin tek başına oranı 0.53 puan olarak adreslenebilir. Şu unutulmamalıdır ki, boşluk-profil lazer ölçümüne gelen araçların özellikle motor kaputu, yan kapılar, arka bagaj kapısı gibi kısımlarına manuel ayar yapılmaktadır. Bunun üstüne fitil, kaplama, korniş gibi parçalar lazerde ölçülürken Erken Uyarı Sistemi'nde bulunmamaktadır. Bu kısıtlar sebebiyle oran daha fazla yükselememektedir.

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Otomotiv Dünyası'nda bitmiş ürün ve ürünü oluşturan proseslerin kalitesini artırmak için sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Bu trendlerin en önemlileri daha çok ileri teknoloji kullanarak üretim proseslerini belirli bir kontrol rejiminin altında tutma çalışmalarıdır. Çünkü kaliteli ürün ve proses yapmak bir işletmenin birden çok maliyetini iyileştirecek ve verimliliğini artıracaktır. Bu anlamda günümüzün en önemli kalite trendlerinden birisi İstatistiksel Proses Kontrol metodudur. Bu metot 1960'lı yıllarla beraber istatistik çalışmalarının havacılık endüstrisine aktarılmasıyla bulunmuştur. Yıllar boyu da otomotiv sektöründe kullanılmaktadır.

Teknolojinin gelişmesiyle beraber ise artık Endüstri 4.0 ile beraber büyük veri yönetimi, proaktif yaklaşım, tahmin etme gibi kavramlar hayatımıza girmiştir. Bu sebepten ötürü kalite kontrol yöntemleri de gelişmiş ve Erken Uyarı Sistemi gibi sistemler ortaya çıkmıştır. Bu araştırma sonucuna göre Erken Uyarı Sistemi'nin klasik metotlara göre üstün olduğunun öne sürülebileceği alanlar :

-Geleneksel İstatistiksel Proses Kontrol'ü tek eksen bazlı sonuçlar sunar, Erken Uyarı Sistemi 3D sonuçlar ile daha doğru veri verir. Araç düşünüldüğünde çoğu kontrol noktası 3 eksene de düşen bir pozisyonadadır ve tek eksenden gelecek sonuç hatayı kaçırmaya sebebiyet verebilir.

-Geleneksel İstatistiksel Proses Kontrol'de uygunluk tanımı genelde parça ya da alt grup uygunluğu ile kısıtlanmıştır. Erken Uyarı Sistemi ürün odaklı çalışarak nihai ürünün uygunluğunu verir.

-Geleneksel İstatistiksel Kontrol metotlarıyla büyük veri yığınlarını yönetmek zordur. Fakat Erken Uyarı Sistemi tek program aracılığıyla tüm yığını birbirine ilişkilendirerek Endüstri 4.0 ile hayatımıza giren "big data management" yani büyük veri yönetimi kapsamında da hizmet eder.

-Geleneksel İstatistik Proses Kontrol ve diğer kalite araçlarının kullanıldığı hata analizi durumlarında analiz ve faaliyetlerin devreye girişi 2 ayı bulabilirken, Erken Uyarı Sistemi ise sadece montaja gövdenin düşmesi ve trim parçalarının takılmasından önce geçen süreyi (ortalama 3 gün) kullanarak faaliyet alma konusunda hız ve çevikliği maksimuma çıkarmaktadır.

Şeklinde belirtilebilir. Erken Uyarı Sistemi'nin bir başka yeni geliştirilen sanal montajlama sistemlerine göre üstünlükleri ise aşağıdaki gibidir:

-Diğer metotlar parça bazlı sonuçlara (deformasyon modeli, artık gerilmeler) odaklanmışken Erken Uyarı Sistemi bunların birleşimi olan nihai ürüne odaklıdır.

-Diğer metotlarda aracı bu kadar simüle etmek mümkün değildir. Erken Uyarı Sistemi kadar geniş referanslama opsiyonu ve çoklu referans tekniği bulunmamaktadır.

Endüstride kullanım alanında Erken Uyarı Sistemi, devamlı analiz edilen hataların çözülmesine olanak sunmuştur. Bu sayede örnekleri verilen iyileştirmelerle kontrol noktaları geometri yüzdesi Erken Uyarı Sistemi devreye alındığı sene 4 puan artmıştır. Buna ek olarak da FCA metodolojisi olan Müşteri Gözü ile Değerlendirme puanı ise aynı sene 4 puan düşmüştür. Bunun 0.32 puanında direkt Erken Uyarı Sistemi etkisi bulunmaktadır denebilir. Araç üretilmeden analiz edilip sonradan hata puanına dönüşmeyen konuların etkisi burada görülmektedir. Benzer şekilde boşluk-profil ölçümlerinde de yıl boyunca 5.8 puan artış sağlanmıştır. Bunda da 0.53 puanlık bir Erken Uyarı Sistemi katkısı olduğu tahmin edilmektedir.

Erken Uyarı Sistemi'nin ise iki adet gelişime açık yönü listelenebilir. Bunlardan birincisi geometri ve aparatla yükleme harici manuel ayar yapılan durumlarda bu etki sonuca yansıtılamamaktadır. İkincisi ise aracı oluşturan tekil ve ara komplelerin ölçümleri arası zaman çok açılırsa bunların montajda eşleşmeme riskiyle beraber sonuçların gerçeği yansıtma riski doğar.



## KAYNAKLAR

**Altuntaş, C. Yıldız, F. 2008.** Lazer Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi*, (98): 20-27.

**Anonim, 2018.** Ölçüm Merkezi Yöneticiliği süreç tanıtım ve oryantasyon dökümanı. Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Bursa, 22 s.

**Anonim, 2017.** Hexagon 360° Flexible Measuring Cell. <https://www.hexagonmi.com/tr-TR/products/robotics-and-automation/360-flexible-measurement-cell> - (Erişim tarihi: 08.08.2019).

**Anonim, 2016.** X-ray vision for crash tests. <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/X-ray-vision-for-crash-tests.xhtml?oid=16697410-> (Erişim tarihi: 08.08.2019).

**Anonim, 2016.** Temel İstatistiksel Proses Kontrol Eğitim kitapçığı. Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Bursa. 126 s.

**Automotive Manufacturing Solutions, 2020.** Measuring cost, Virtual assembly systems. <https://cadem.com.tr/tr/media/cadem-den-haberler/sanal-fiksturlleme> (Erişim tarihi: 17.02.2020).

**Cadem, 2019.** Sanal fikstürleme. <https://cadem.com.tr/tr/media/cadem-den-haberler/sanal-fiksturlleme> (Erişim tarihi: 21.02.2020).

**Cenaero, 2019.** Virtual manufacturing. [http://www.cenaero.be/Page\\_Generale.asp?DocID=15332&la=1&langue=EN](http://www.cenaero.be/Page_Generale.asp?DocID=15332&la=1&langue=EN) (Erişim tarihi: 06.02.2020).

**Khan Academy, 2019.** Normal dağılım ders özeti. <https://tr.khanacademy.org/math/statistics-probability/modeling-distributions-of-data/normal-distributions-library/a/normal-distributions-review> - (Erişim tarihi: 12.11.2019).

**Lichti, D. D. Gordon, S.J. 2004.** Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording. FIG Working Week, 22-27 Mayıs 2004. Yunanistan.

**Pişkin, Sercan. 2017.** Türkiye Otomotiv Sanayii Rekabet Gücü ve Talep Dinamikleri Perspektifinde 2020 İç Pazar Beklentileri, Otomotiv Sektör Raporu, [http://www.taysad.org.tr/uploads/dosyalar/06-02-2017-09-59-170206-Otomotiv\\_Sektor\\_Raporu\\_TSKB-2208.pdf](http://www.taysad.org.tr/uploads/dosyalar/06-02-2017-09-59-170206-Otomotiv_Sektor_Raporu_TSKB-2208.pdf), (Erişim Tarihi: 07/06/2017).

**Polyworks, 2018.** Polyworks | Inspector Essentials Premium Package Metrology Suite. 2018, Kanada.

**Sonmez, A. 2017.** Ölçme bilgisi ve tarihi, mahalli ölçü birimleri. Ankara. <https://www.slideshare.net/AynurSonmez/1-lme-l-birimleri-mahalli-l-birimleri-ve-uygulama> - (Erişim tarihi: 14.10.2019).

**Teke, İ. Yandayan, T. Karadayı, R. 2014.** Koordinat Ölçüm Metrolojisi, Üç Boyutlu Ölçüm Cihazı (CMM) Modernizasyonu, Kalibrasyonu, Verifikasyonu, Dünyada ve Ülkemizdeki Durum. *Mühendis ve Makina*, 55(653): 18-25.

**Yılmaz, Sinan. Taştan, Kürşat. Ecek, Nurgül. Çınar, Ertuğrul. 2017.** Otomotiv Sektörünün Dünyadaki ve Türkiye'deki Değişimi. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 7(3), 685-695.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Utku Erdem Kaynar  
Doğum Yeri ve Tarihi : Muğla / 17.09.1994  
Yabancı Dil : İngilizce (Üst-orta), İtalyanca (Başlangıç)

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Gazi Anadolu Lisesi / 2008-2012,

Lisans : FMV Işık Üniversitesi, Makine Müh. / 2012-2017,  
Anadolu Üniversitesi Çalışma Ekonomisi ve End.  
İlişkileri / 2013-2020,

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mak.  
Müh. Yüksek Lisans Programı / 2017-2020

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : ORAU Orhan Otomotiv  
TOFAŞ, Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.

İletişim (e-posta) : utkuekaynar@gmail.com