

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

ALTI SİGMA YAKLAŞIMI VE HAFİF TİCARİ ARAÇLARIN
GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK BİR SİYAH KUŞAK UYGULAMASI

Can BAYDAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI

GEBZE
2021

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**ALTI SİGMA YAKLAŞIMI VE HAFİF TİCARİ
ARAÇLARIN GELİŞTİRİLMESİNE YÖNELİK
BİR SİYAH KUŞAK UYGULAMASI**

**Can Baydar
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bülent SEZEN

**GEBZE
2021**

	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU
---	--------------------------------------

GTÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 21/05/2021 tarih ve 2021/18 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 08/06/2021 tarihinde tez savunma sınavı yapılan CAN BAYDAR’ın tez çalışması İşletme Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Bülent Sezen

ÜYE : Doç. Dr. Mehmet Şahin Gök

ÜYE : Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Tuğrul Tuğer

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

/ / 2021 tarih ve / sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Yalınlaştırma, süreç yönetimi, yalın yönetim sistemi gibi terimler artık hayatımızın bir parçası. Çünkü ister özel sektör ister kamusal alanda görev alınsın, komplike yönetim ve prosesler ilgili kuruma zarar olarak geri dönmektedir. Altı Sigma metodolojisi de yalın yönetim sürecine ve istenen kaliteli çıktıya sağladığı fayda ile global olarak en bilinen yöntemlerden biridir.

Yapılan çalışmada Altı Sigma'nın çıkış noktasından başlanarak metodolojinin genel kavramı irdelenerek, kavrama ait araçların kullanımı ile otomotiv sanayisinin en büyük kuruluşlarından birine ait yeni model hafif ticari araç üzerinde çıkan bir ses problemi üzerine önemli bir uygulama gerçekleştirilmiştir ve problemin kök sebebi bulunmuştur. Fakat problemin kök sebebinin bulunduğu Altı Sigma adımı, aslında olması gereken bir sonraki adım olduğu için ilgili metodoloji hakkında yeni bir teori de elde edilmiştir.

Çalışmanın ölçme, analiz ve iyileştirme adımlarında Altı Sigma araçları kullanılarak problemin kök sebebinin bulunması ve bunun çözümü gerçekleştirilmiştir. Bunlar; P-diyagramı, tasarım hata türleri ve etkileri analizi (DFMEA), balık kılçığı diyagramı, Pareto diyagramı, deney tasarımı (DoE) olarak belirlenmiştir.

Bu yöntemlerin kullanılması ile 2020 yılında devreye alınıp satışa sunulan yeni bir hafif ticari aracın satışından hemen önce çıkan ve acil olarak çözülmesi gereken titreşim ve gürültü probleminin kök nedeni bulunup çözülmüştür. İlgili adımlarda yapılan istatistiki çalışmalar için ise Altı Sigma'nın vazgeçilmezi olan Minitab programı kullanılmış ve varyasyonlar, ortalama hesaplamaları, proses yetenekleri bu şekilde hesaplanmıştır. Titreşim ve gürültüye neden olan birinci dereceden sistem motor aktarma organları olarak belirlenmiş ve üzerine gerçekleştirilen deneysel çalışmalar tamamen Altı Sigma problem çözüm metodolojisine göre gerçekleştirilmiştir. Bu sayede gözden kaçırılan noktalar saptanmıştır. İlgili yeni model aracın satışından hemen önce çıkan bu hata modunun çok kısa bir sürede çözülebilmesi için metodolojinin katkısı açık şekilde görülmüştür ve müşteri memnuniyeti sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yalın süreç, Altı Sigma, otomotiv, titreşim ve gürültü, hafif ticari araç, deney tasarımı

SUMMARY

Terms such as lean, process management, lean management system are now part of our lives. Because, whether you work in the private sector or the public sphere, complicated management and processes return as damage to the relevant institution. Six Sigma methodology is also one of the best-known methods globally with its benefit to the lean management process and desired quality output. Based on this, one of the biggest goals of Six Sigma is to remove non-value-added businesses from the process, which is completely compatible with the lean management system.

In the study, starting from the starting point of Six Sigma, the general concept of the methodology was examined, and an important application was carried out on a sound problem on a new model light commercial vehicle belonging to one of the biggest organizations of the automotive industry, and the root cause of the problem was found. However, since the Six Sigma step, where the root cause of the problem is found, is the next step that should be, a new theory has been obtained about the related methodology.

In the measurement, analysis, and improvement steps of the study, the root cause of the problem was found by using Six Sigma tools These; P-diagram, design failure modes and effects analysis (DFMEA), fishbone diagram, Pareto diagram, experimental design (DoE).

With the use of these methods, the root cause of the vibration and noise problem that emerged just before the sale of a new light commercial vehicle that was put into operation and put on the market in 2020 and needs to be solved urgently was found and solved. For the statistical studies carried out in the relevant steps, the Minitab program, which is indispensable for Six Sigma, was used and variations, average calculations, and process capabilities were calculated in this way. The contribution of the methodology has been seen to solve this error mode, which appeared just before the sale of the relevant new model vehicle, in a very short time and customer satisfaction was achieved.

Keywords: Lean process, six sigma, automotive, noise and vibration, light commercial truck, design of experiment

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans sürecimde bu çalışmanın yapılmasına tecrübe ve bilgisiyle katkı sağlayan sayın danışmanım Prof. Dr. Bülent Sezen'e, tüm eğitim hayatım boyunca yönlendirmeleri ve destekleriyle hep arkamda olan aileme, çok sayıda testin gerçekleştirilmesi ve veri toplanması sırasında desteğini bir an olsun esirgemeyen iş arkadaşım ve dostum Eren Taşpınar'a, motivasyonumu sürekli yüksek tutan ve birbirimizi her konuda desteklediğimiz değerli dostlarım Uğurcan Sevindik ve Erdem Durmaz'a ve son olarak da problemin çözümü sırasında destek veren tüm ekip arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
1.1.Tezin Tanımı ve Amacı	1
1.2.Literatür Araştırması	2
2.ALTİ SİGMA METODOLOJİSİ	10
2.1.Altı Sigma'nın Tanımı	10
2.2.Altı Sigma'nın Tarihçesi, Yayılması ve Getiri Örnekleri	15
2.3.Altı Sigma'nın Hiyerarşik Yapısı	18
2.3.1. Üst Kalite Konseyi	18
2.3.2. Yönetim Temsilcisi	19
2.3.3. Kalite Şampiyonu	20
2.3.4. Uzman Karakuşak	20
2.3.5. Kara Kuşak	21
2.3.6. Yeşil Kuşak.	22
2.4.Altı Sigma'nın Araçları ve Kullanılan İstatistik Teknikleri	22

2.4.1. Proses Diyagramı	23
2.4.2. Parametre Diyagramı	24
2.4.3. Hata Türü ve Etkileri Analizi	25
2.4.4. Balık Kılçığı Diyagramı	30
2.4.5. Pareto Diyagramı	31
2.4.6. Ölçüm Sistemi Analizi (Gage R&R)	33
2.4.7. Deney Tasarımı (DoE)	34
2.5. Altı Sigma'da TÖAİK (DMAIC) Metodolojisi ve Adımları	35
2.5.1. Tanımlama (Define)	36
2.5.2. Ölçme (Measurement)	37
2.5.3. Analiz (Analysis)	38
2.5.4. İyileştirme (Improvement)	39
2.5.5. Kontrol (Control)	40
3. HAFİF TİCARİ ARAÇLAR ÜZERİNE BİR ALTI SİGMA UYGULAMASI	41
3.1. Tanımlama (Define)	42
3.1.1. Arkadan İtişli Araç Sistemleri ve Birincil Harmonik Hareket	45
3.1.2. Kardan Mili Üretim ve Montaj Prosesi	47
3.2. Ölçme (Measure)	49
3.2.1. Kardan Mili Parametre Diyagramı	49
3.2.2. Hata Modu ve Türleri Analizi (DFMEA)	50
3.2.3. Balık Kılçığı Diyagramı ile Kritik Girdi Seçimi	51
3.2.4. Pareto Diyagramı Oluşturulması	52
3.3. Analiz (Analysis)	55
3.3.1. Kardan Mili Balanssızlığı	55
3.3.2. Kardan Mili Açıları	56
3.3.3. Kardan Mili Montaj Operasyon Hataları	58
3.3.4. Arka Aks Flanşı sıkı geçme çapı	62

3.3.5. Arka Aks Flanşı Salgı Değeri	64
3.4. İyileştirme (Improvement)	68
3.4.1. Deney Tasarımı (DoE)	69
3.4.2. Kardan Mili Balans Tezgahları Doğrulama	74
3.5. Kontrol (Control)	79
3.5.1. Araç Testi ile Proses Kontrolü	79
3.5.2. Balans Tezgahı T-Test Kontrol Prosesi	81
4. SONUÇ	83
4.1. Çalışmanın Kısıtları	84
4.2. Yönetimsel Sonuçlar	85
 KAYNAKLAR	 86
ÖZGEÇMİŞ	91

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
--	--------------------

TKY	: Toplam Kalite Yönetimi
TÖAİK	: Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol
DMAIC	: Define, Measurement, Analysis, Improvement, Control
DFSS	: Design for Six Sigma
DMADV	: Tanımla, Ölçüm, Analiz, Tasarım, Onaylama
OEM	: Original Equipment Manufacturer
FMEA	: Failure Modes and Effects Analysis
DoE	: Design of Experiment
Σ	: Büyük Sigma işareti
σ	: Küçük Sigma işareti
DPMO	: Bir Milyon ihtimaldeki hata
TEI	: Turkish Engine Industry
GE	: General Electric
RPN	: Risk Priority Number
OCC	: Hata Olasılığı Değerlendirme
SEV	: Önem Derecesi
DET	: Saptanabilirlik Değeri
DoE	: Design of Experiment
UJ	: Universal Joint
dB	: Desibel

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 : Standart Sapma Olarak Altı Sigma Eğrisi	11
2.2 : Aynı Standart Sapmaya Eşit Fakat Ortalamaları Farklı Dağılımlar	12
2.3 : Ortalamaları Aynı Fakat Farklı Standart Sapmaları Olan Dağılımlar	12
2.4 : DPMO ve Sigma ölçeği	13
2.5 : Ortalama Dağılımın 1.5 Sigma Kaydırılması	14
2.6 : Örnek Proses Diyagramı Gösterimi	23
2.7 : Proses Diyagramı Sembolleri	24
2.8 : Genel Bir Parametre Diyagramı Örneği	25
2.9 : Örnek Balık Kılçığı Diyagramı	30
2.10 : Analizler Sonucu Pareto Diyagramı	32
2.11 : Çeşitli Cpk Değerlerine Ait Örnek Grafikler	34
3.1 : Üretim Bazlı Hata Tekrar Adetleri	42
3.2 : Araç Uzunluğuna Göre Kırılım	43
3.3 : Harmonik Hareket Bazlı İç Gürültü Grafiği	44
3.4 : Harmonik Hareketin Renk Haritasında Gösterimi	45
3.5 : Arkadan Tahrikli Araç Sistemleri Gösterimi	46
3.6 : Kardan Mili Üretim ve Montaj Proses Diyagramı	47
3.7 : Kardan Mili ve Arka Aks Sarı Nokta Gösterimi	48
3.8 : Kardan Mili Askı Ayarı Gösterimi	49
3.9 : Kardan Mili Parametre Diyagramı	50
3.10 : Balık Kılçığı Diyagramı	52
3.11 : Pareto Diyagramı	54

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.12 : Balans Düzlemleri Gösterimi	56
3.13 : Otomatik ve Düz Şanzıman Arası Açı Varyasyonu	56
3.14 : Kardan Mili Hatalı Askı Montajı Testi	59
3.15 : Kardan Mili Arka Aks Bağlantı Flanşı Cıvata Sıkma Sırası	61
3.16 : Cıvata Sıkım Sırası Test Sonuçları Mean Diyagramı	62
3.17 : Arka Aks Flanş Pilot Çapı Ölçüsü Proses Kapabilitesi	63
3.18 : Arka Aks Salgı Değeri Proses Kapabilitesi	65
3.19 : Salgı Değerinin Makina ve Operatör Ölçüm Kontrolü	66
3.20 : Seri Hat ve Operatör Ölçüm Gösterimleri	67
3.21 : Araçların İç Gürültü Karşılaştırması	68
3.22 : Deney Tasarımı Test Sonuçları İç Gürültü Renk Haritaları	71
3.23 : Deney Tasarımı Sonucu Interaction Plot Gösterimi	72
3.24 : Gürültü probleminin Balans değeri ve Arka Aks Açısı ile Etkileşimi	73
3.25 : Arka Aks ve Kardan Mili Toplam Balans Değeri Testi	74
3.26 : İki Balans Tezgahı Arası T-Test Sonuçları	76
3.27 : Balans Tezgahı Pin Erime ve Oturmama Problemi	77
3.28 : Düzeltilen Balans Tezgahından Çıkan Kardan Milinin Araç Testi	79
3.29 : Düzeltilen Balans Tezgahından Çıkan Şaftın Araç İçi Gürültü Testi	80
3.30 : Araç İçi Gürültü Plot Diyagramı	81
3.31 : Onarılmış Balans Tezgahı T-Test Sonuçları	82

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 : Sigma Seviyeleri ve Milyonda Kusur Sayıları	14
2.2 : 1,5 Sigma Dağılım ile Sigma-DPMO İlişkisi	15
2.3 : Firmaların Elde Ettiği Kazanç ve Bunun Süresi	17
2.4 : Jenerik FMEA Döküman Gösterimi	27
2.5 : Hata Olasılığı Değerlendirilmesi	27
2.6 : Önem Derecesi Değerlendirilmesi	28
2.7 : Saptanabilirliğin Değerlendirilmesi	29
2.8 : Hata Türü ve Adetleri	31
2.9 : Hata Türlerinin Adetlere Bağlı Yüzdeleri	32
2.10 : TÖAİK Basamakları ve Temel İçerikleri	36
3.1 : Kardan Mili Gürültü ve Titreşimi Etkileyen DFMEA Maddeleri	51
3.2 : Pareto Tablosu	53
3.3 : Problemlili Araçların Kardan Millerinin Balans Sonuçları	55
3.4 : Seri İmalat Düz Şanzıman Araçların Açık Ölçümü ve Tek yol Test Sonuçları	57
3.5 : Otomatik Şanzımanlı Aracın Açık Değişimi Çalışması ve Etkisi	58
3.6 : Hatalı Askı Montajlı Araç Test Denemeleri Sonuçları	60
3.7 : VER Puan Baremi Anlamları	60
3.8 : Deney Tasarımı Test Listesi	70
3.9 : Farklı Balans Makinası Test Sonuçları	75
3.10 : Hata Modu Düzeltilen Birinci Balans Tezgahı Sonuçları	78

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Tanımı ve Amacı

Günümüzde özel sektör alanında faaliyet gösteren büyük ölçekli firmaların hemen hemen tamamı bugünlerde adını sıkça duyduğumuz, gittikçe de popülerleşen yalınlaştırma ve süreçlerin iyileştirilmesi kavramlarını birinci öncelikleri arasına almış bulunmaktadır. İş yapış tarzlarının ve çalışma sistemlerinin büyük bir değişimde olduğu 2020 dünyasında yalınlaştırma, verimlilik artırma, süreç geliştirme, kalite problemlerini çözme çalışmalarını devam ettirebilmek için çeşitli metodolojilere hakim olmak gerekmektedir (De Mast, 2006). Eğer çeşitli metodolojiler ile bu çözümlemeler gerçekleştirilmez ise bahsedilen çalışmalar da daha çok karmaşıklığa mahal verilmektedir.

Altı Sigma metodolojisi işte bu saydığımız tüm durumları kapsar ve ilgili çalışmalar üzerinde uygulanır. 1980’de ilk kez Motorola firmasında kullanılmaya başlanan bu metodoloji ilk önce kalite ve ölçüm hassasiyeti üzerinde etkili sonuçlar vermiştir. Altı sigma tekniğinin ISO standartları ya da gelenekselleşmiş kalite yönetimlerinden farklı olarak, teknik bir alt yapıya sahip olan metotları ve vizyonu içermektedir. Uygulamalar diğer firmalarda da kullanılmaya başlandığında özellikle ilk başlarda imalat sektöründe çalışmalar yapılmıştır ve bunların en başında da otomotiv sektörü gelmektedir (Senol ve Anbar, 2010). Bu tezde de otomotiv sektöründe yapılmış önemli uygulamalar üzerine değinildikten sonra bir uygulama gerçekleştirilecektir. Birinci bölümde çalışmanın temel olarak özeti ve literatür araştırması yer almaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde Altı Sigma’yı tanımlayacak ve detaylı bir şekilde tarihine, organizasyonel yapısına değinilecektir. DMAIC yani Türkçe karşılığı sırası ile tanımlama, ölçme, analiz, iyileştirme ve kontrol basamakları Altı Sigma’nın temelini oluşturmaktadır ve bu basamaklar ilk bölümde tek tek irdenelenip, tezin ikinci üçüncü bölümündeki uygulamanın anlaşılır olabilmesi adına detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Hangi basamaklarda hangi araçların kullanıldığı üzerine dikkatlice yoğunlaşılacaktır.

Üçüncü bölümde ise; ikinci bölümde anlatılan teorik bilgilerden yola çıkarak, hafif ticari araçlarda bir gürültü ve akustik probleminin önlenmesi üzerine yeni bir Altı Sigma

uygulanması gerçekleştirilecektir. Bu çalışma ile birlikte Altı Sigma metodolojisinin hangi yönleriyle otomotiv sanayisinde kullanılması gerektiği saptanacaktır. Kullanılan Altı Sigma araçlarından hangisinin otomotiv sektörü için daha yararlı olduğu tespit edilecek ve otomotiv sanayisi bazında Altı Sigma tekniğinin kullanılmasının önemini ve hangi yöntemlerin ağırlıklı olarak kullanıldığı tespit edilerek literatüre katkı sağlanacaktır. Buna ek olarak, Altı Sigma'nın kullanımının yaygınlaşması, şirketlerin toplam kalite yönetimine ve verimliliğine katkı sağlaması açısından da bu çalışma literatürde yerini bulacaktır.

1.2. Literatür Araştırması

Gerçekleştirilen kapsamlı literatür araştırması ile Altı Sigma metodolojisini kullanarak çözülen hata modları, iyileştirilen kalite seviyeleri, arttırılan verimlilik ve optimizasyon çalışmalarına ulaşılmış ve bu ulaşılan çalışmaların çok çeşitli sektörler ve kurumları içerdiğine şahit olunmuştur.

Şahin; Altı Sigma metodolojisinin metal sanayi alanında hizmet sektörü kapsamında kullanılabilirliği üzerine bir uygulama gerçekleştirmiş, ve hizmet sektöründe bu yaklaşımın kullanılabilirliği adına ciddi deneyimler katmıştır. Elde edilmiş veriler ve sonuçlara göre hizmet sektöründe Altı Sigma'nın uygulanmasının kolay olduğunu saptamıştır (Şahin, 2006).

Phruksaphanrat; Altı Sigma'nın DMAIC metodunu bir halı fabrikasında uygulamıştır. Firma, makinaların yeterli verimlilikte çalışmaması ile ilgili bir sıkıntı yaşıyordu. Altı Sigma sayesinde prototip bir makina üretildi. %12 olan verimlilik, böylelikle %64'lere çıkarıldı. Yani Altı Sigma'nın temelinde yatan verimlilik arttırma, yüzdesel olarak bu makalede de kanıtlanmıştır (Phruksaphanrat, 2019).

Türksel; Altı Sigma'da iyileştirme döngüsü yaklaşımını kullanarak Arçelik-LG firmasının tedarikçi yönetiminde bu metodolojiyi kullanmış (ve Altı Sigma bu firmada ilk defa kullanılmıştır), verimlilik ve kalite açısından hatırı sayılır iyileştirme oranlarına ulaşmıştır. Bunun yanında çeşitli maliyet azaltma sonuçlarına da ulaşılan bu çalışma da sürekliliğin getirdiği iyileştirme de göz ardı edilmemiştir (Türksel, 2008).

Başaloğlu; yaptığı tez çalışmasında orta ve küçük ölçekli işletmelerde yani kobilerde Altı Sigma metodunu denemiş ve bunu daha çok TKY üzerine yoğunlaştırmıştır. Yaptığı araştırmalar ve anket sonuçları ile sanayisi gelişmekte olan bir ildeki genel olarak orta ölçekteki işletmelerin Altı Sigma metodu ile sürekli iyileştirme sağlayabileceğini saptamıştır (Başaloğlu, 2007).

Çalışkan; yayınladığı makalesinde Altı Sigma'nın aslında TKY'ni ezip geçmediği, aksine ISO, TKY gibi sistemlerin, en başarılı yönlerini alarak kendi bünyesine kattığını tespit etmiştir. İlgili makalede Altı Sigma metodunun TKY ile benzerlikleri ve farklılıkları dile getirilmiştir. Aralarında ki tek ortak noktanın ise müşteri memnuniyetini sağlamanın birinci öncelik olduğunu hedeflemeleridir (Çalışkan, 2006).

Söyü Eren; yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında bir pizza restaurantında ve buradan dağıtımını da gerçekleştiren şirket üzerinde bir uygulama gerçekleştirmiştir. Firmanın üst yönetiminin de dahil olduğu bu altı sigma projesinde teslimat gecikmeleri ile yaşanan müşteri memnuniyetsizliğini azaltma düşüncesiyle yola çıkılmıştır. TÖAİK (DMAIC) döngüsünün yöntemlerinin uygulandığı ve sonuç olarak istenen iyileşmenin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ek olarak, başarı yüzdesinin artmaya devam etmesinin bu döngünün yöntemlerinin doğru olarak belirlenerek devam edilmesi ve Altı Sigma'nın sürdürülebilirliğinin bu şekilde gerçekleşebileceği tespit edilmiştir (Söyü Eren, 2017).

Ray vd.; şimdiye kadar hep ürün kalite iyileştirmesi, proses veya servis kalitesi üzerine yapılan Altı Sigma'ya farklı bir bakış açısı katarak bu metodolojiyi iş kazalarını önlemek amacıyla kullanmıştır. İş kazası önlemleri için Altı Sigma'nın biraz daha kısıtlı kaldığını belirttikleri makalede, yine de iş kazalarını önlemek için bu araçlara başvuruları adına diğer firmaları da teşvik etmişlerdir.(Ray et al., 2011).

Koçak Güvener; yaptığı tez çalışmasında, özellikle Altı Sigma'nın yabancı literatürde fazlaca kullanıldığı halde yerli literatürde kullanım için yetersizliği savunmuştur ve bu eksikliği gidermek amacıyla çalışmasını gerçekleştirmiştir. Borusan şirketlerindeki Altı Sigma uygulamalarına yer verilirken, Altı Sigma'nın felsefesi detaylarıyla anlatılmıştır. Uygulamanın yapıldığı alan ise Borusan – Caterpillar alt firmasının yedek parça tedarikinin geliş zamanının kısaltılması ve hizmet sürecini iyileştirmektir. Yurtdışından gelen yedek parçaların transit sürelerinin azaltılmasına

yönelik gerçekleştirilen Altı Sigma uygulamasında TÖAİK uygulanarak süreç iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir (Koçak Güvener, 2010).

Satı ve Gülay; Altı Sigma mantığını ve felsefesini makalelerinde anlatmış, daha sonra da Enerjisa firmasına ait bir elektrik santralinde bir uygulamayı incelemiştir. Bu enerji santrallerinde üretilen buhar bazı kayıplara uğramaktadır ve bunların kök sebebinin bulunması için Altı Sigma metodu kullanılmıştır. Bu sayede kapasite arttırım hedefi aslında 30 kWh iken, bunu 114 kWh olarak gerçekleştirmiştir (Satı ve Gülay, 2012).

Arzu ve Değirmen; yaptığı doktora tezinde enerji verimliliği üzerine çalışmış ve bunun optimizasyonu için Altı Sigma tekniğini kullanmıştır. Dokuz ayrı hipotezin üretildiği bu tezde TÖAİK kullanılarak bu hipotezler test edilmiştir. Yalnızca bir endüstriyel kurutucunun enerji verimliliği bile %17 oranında iyileşmiştir ve bu sayede enerji optimizasyonu için Altı Sigma metodolojisinin kullanılabilirliği kanıtlanmıştır (Arzu ve Değirmen, 2015).

Honda vd.; Altı Sigma yaklaşımının hastanelerde kullanılması üzerine bir makale yayınlamışlardır. Bu sayede, hastane bekleme süreleri, hasta akışı ve hasta memnuniyeti üzerine yoğunlaşıp bunların çözümü için metodoloji uygulanmıştır. Bunları çözerken, paralel bir şekilde bazı operasyonel maliyetlerde de azalma elde etmişlerdir. Araştırmadan çıkan diğer bir sonuç ise, Altı Sigma uygulanırken ekip disiplininin kritik olduğunun saptanmasıdır. Altı Sigma metodolojisi uygulandığında görmüşlerdir ki bu metodoloji kesinlikle bir grup çalışmasıdır ve uygulanan firmanın kültürünün buna adapte olması gerekmektedir (Honda et al., 2018).

Nalcıoğlu; çelik sektöründe bir firma üzerine yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında malzeme tedariki lokalizasyon prosesini Altı Sigma metodolojisini kullanmıştır. Bu sayede gerçekleştirilen lokalizasyon çalışması ile yerli tedarikçi sayısı %7 artış göstererek tasarruf edilebilmesi için büyük bir yol kat edilmiştir. Ana fikir yerli tedarikçi sayısının nasıl arttırılması için altı sigma kullanımına başvurmak iken, paralelde sevk süreleri de düştüğü için iyileştirme zaman planlanmasına da yansımıştır (Nalcıoğlu, 2016).

Gerger; Altı Sigma tekniğini, otomotiv sektöründe bulunan bir firmada kullanmış, müşteri şikayeti nedeniyle üretimde bazı iyileştirmelerin gerçekleşmesi uygulamasını barındırmıştır. Firma kauçuk bazlı malzemelerin üretiminden sorumlu bir firmadır ve

araçların ön kapı contalarından kaynaklı bir müşteri şikayetinin çözümü için Altı Sigma tekniği uygulanmış ve müşteri şikayeti ortadan kaldırılmıştır (Gerger, 2017).

Aslan; üretim sektöründen ve subap üretiminden sorumlu Supsan firmasında yaptığı yüksek lisans tezinde Altı Sigma metodunu kullanarak subaplarda kaliteyi arttırmak ve üretim ıskartalarını azaltmayı hedeflemiştir. Kaplama esnasında oluşan hataların öz nedenlerini bulmuştur ve böylelikle DMAIC ile varılan sonuçta toplamdaki fire %4.4'den %2 ye gerilemiştir (Aslan, 2016).

Dağlıoğlu vd.; Altı Sigma metodunu bir klinik laboratuvarında kullanıp, kalite iyileştirmesi amacıyla çeşitli çalışmalar gerçekleştirip bunu bir makale haline getirmiştir. Yapılan çalışma ile hastaları etkileyebilecek olumsuz durumların önüne geçilmiş ve hasta memnuniyetinde artış sağlanmıştır. Hataların daha çok örnek alım sırasında olduğu ortaya çıkmış, bu sayede klinik laboratuvarlarda da Altı Sigma kullanılabileceğini kanıtlamışlardır (Dağlıoğlu vd., 2019).

Wang ve Liu; optik lens üreten bir tezgahın en önemli darboğazı olan ürünlerin hızlı temin edilememe problemi üzerine Altı Sigma metodu ile çözüme yoğunlaşmıştır. Bu sayede çalışma saatleri ve üretim döngüsünü formülüle ederek, iş hacmini %20'den %40'lara çıkarmıştır ve yaptıkları bu çalışma diğer firmalarada öncü olmuştur. Burada dikkat çekilen şey, normalde daha önce hep saha personeline yoğunlaşmışken, Altı Sigma sayesinde asıl problem olan malzeme akışındaki sorun tespit edilmiştir (Wang and Liu, 2019).

Yıldırım; Altı Sigma'nın tarihi hakkında bilgi verip, TÖAİK metodunu bir elektrik firmasının (Schneider Electric) uzun teslimat sürelerinin kısaltılması üzerine uygulamıştır. Teslimat prosesindeki olasılıklar ve hataları sınıflandırmış ve tezde de bahsedilen analizlerle etkisi çok olan hatalar iyileştirilmiştir (Yıldırım, 2011).

Pereira vd.; kalıp üreten bir firmada Altı Sigma çalışması uygulamış ve bunu bir makaleye dökmüştür. Bu çalışma ile kalıp üretiminde zaman kazanımı sağlanmıştır. En büyük problemleri prosesler arası geçiş süresi yani bekleme süresinin fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Makalenin asıl amacı, kalıp sanayinde global anlamdaki rekabeti desteklemek amaçlı Altı Sigma metodolojisini yaymak ve problem çözümlemelerine yalın anlayış katmaktır (Pereira et al., 2019).

Çelebi; yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında Altı Sigma metodunu müşteri odaklı yaklaşım üzerine kurgulamıştır. Metodoloji ile genel bilgilerin verilmesinin ardından imalat sektöründe TÖAİK mantığını kullanarak bir iyileştirme projesi gerçekleştirmiştir. Konuyu belirlerken müşteri şikayetlerinden kayıt edilen veriler incelenmiş ve gruplandırmanın ardından en fazla görülen hata modları yakalanmıştır. Yapılan yaklaşım ile aşırı lastik aşınması üzerine yoğunlaşmış ve ilgili makina ekipmanlarının yetenekleri yükseltilmiştir. Projenin sonucunda ise, Altı Sigma'nın uygulanabilmesi için üst yönetimin destek halinde olması ve firmanın inovasyona açık olması sonucuna da varılmıştır (Çelebi, 2006).

Avunduk; yayınladığı bir makalede içecek dolum tesisinde peti şişirme makinası üzerine çalışılan bir uygulamayı anlatmıştır. Altı Sigma araçlarıyla ve DMAIC yöntemini kullanarak işletmede ki en çok enerji tüketilen istasyonlar saptanmış ve bu iyileştirme aksiyonlarının neticesinde pet şişeleme makinada yıllık 140.000TL kadar tasarruf elde edilmiştir. Bu uygulama ile yalnızca Altı Sigma araçları kullanılıp, ek bütçe veya makina ve ekipman kullanımı veya yatırımı yapılmamıştır. Bu da bize gösterir ki mevcut ekipmanlarda yapılacak iyileştirme çalışmalarını Altı Sigma mantığı ile birleştirirsek ek bir maliyet yaratmadan yıllık kazanç elde edilebilir (Avunduk, 2019).

Aşçı; ürün maliyetleri hesaplanırken %75'inin tasarım fazında yapıldığını yüksek lisans tezinde bildirmiştir. Bu hipotez ile beraber tasarım safhasında yapılacak iyileştirme çalışmalarını DFSS'de ki uygulamalarla sağlamıştır ve bu da işin başlangıcında müşteri odaklı tasarımı geliştirmiştir. Bir otomobilin tampon bölümünün tasarım ve devreye alışı prosesinde DFSS metodunu kullanmış ve optimizasyonu sağlamıştır. DFSS uygulanırken en çok kullanılan Altı Sigma uygulaması da DMADV olarak geçmektedir ve uygulamasını da bu metodoloji ile sonuçlandırmıştır. Müşteri isteğine göre prosesi şekillendirirken bu sayede müşteri memnuniyeti de arttırılmıştır ve kalite problemleri giderilmiştir (Aşçı, 2017).

Wheeler ve Furterer; bağlı olduğu üniversitenin ofislerinin taşınmasının nasıl daha az komplike olacağına yönelik bir Altı Sigma çalışması gerçekleştirmiş ve bunu da bir makaleye dökmüştür. Ofisin taşınması için zamanlama ve ödeme planlamalarını Altı Sigma metodlarından DMAIC'i kullanarak programlamıştır. Bu sayede yalnızca özel

sektörde Altı Sigma'nın kullanılmadığı ve üniversite kurumlarının da bundan faydalanıp iyileştirme çalışmaları yapabildiği görülmüştür (Wheeler and Furterer, 2019).

Alper; yüksek lisans tezinde Altı Sigma'nın tarihçesinden bahsederek, Altı Sigma'yı detaylı bir şekilde açıklamıştır. Savunma sanayi üzerine yaptığı uygulamada ise TÖAİK metodolojisini kullanarak bir abkant pres hattında iyileştirme çalışması gerçekleştirmiştir. Bu iyileştirme çalışması doğrultusunda aylık olarak %33 değerinde bir verimlilik artışına varılmıştır. Alper tezinde bir vurgu yaparak, daha önce savunma sanayisinde Altı Sigma'nın kullanılmadığı, yalnızca bir kere 2014 yılında Al Muhareb vd. savunma sanasiyinde servis kalitesi adı altında bir makale yayınlamıştır. Bu tez ile de görüyoruz ki Altı Sigma, eğer organizasyonel yapı ilgili kararlığı gösterirse her alanda uygulanabilir (Alper, 2019).

Gümü; yaptığı yüksek lisans tez çalışmasının uygulama bölümünde, bir tekstil fabrikasındaki üretim yüzdesini arttırmayı hedeflemiştir. Bunu yaparken mevcut israfın azaltılmasına yönelik Altı Sigma metodolojisine ait uygulamalar kullanılmıştır. Hem operatör hem de makinadan kaynaklanabilecek hata modlarını ayrı hipotezler olarak belirtmiş ve son olarak çorap fabrikası olan bu tesisin bir prosesinde yer alan burun kapama bölümünde operatörlerin dikim esnasındaki hataları, makinanın yaptığından daha fazla olduğu teşhisine varılmıştır. Bu kalite hatasının önüne geçilip müşteri memnuniyeti sağlanmış, bu hata moduna giden kapıyı TÖAİK metodolojisi aralamıştır.

Uluskan; yayınladığı makalesinde daha farklı bir konuya dikkat çekerek, ülkemizde uygulanan Altı Sigma projelerinin coğrafik olarak yayılımından bahsetmiştir. Yaklaşık 1000 adet şirketten geri dönüş alıp bunlardan 260 adetinin Altı Sigma'yı uyguladığını saptamıştır.

Stewart vd.; Altı Sigma projesini daha farklı bir alanda uygulamış ve alanları olan inşaat sektörünü kullanmıştır ve bunu bir makaleye işlemiştir. Söz konusu uygulamayı Londra'da bulunan tren istasyonunun alt yapısındaki kalite problemleri üzerine gerçekleştirmiş ve bu hataları minimize etmişlerdir (Stewart et al., 2006).

Ömürgönülşen ve Şahin; gerçekleştirdiği Altı Sigma uygulamasını bir makaleye dönüştürmüş ve TKY üzerine metodolojiyi gerçekleştirmişlerdir. Fiat marka araçların kullandığı subapları üreten bir fabrikada, OEM'den gelen dizayn değişikliği ile tezgahlarında eksiklikler meydana gelmiştir. Subaplar üretilirken karşılaşılan hata modları

ile ilgili veriler elde edilmiş ve en çok problemin salgı hatası veya dairesellik olduğu saptanmıştır. Böylelikle tezgah üzerinde bazı ayarlamalar gerçekleştirilerek yeni parametreler ile optimizasyon sağlanmıştır. Böylelikle aslında tezgahların yetersiz değil, yalnızca iyi bir istatistiki veriler ışığında ve Altı Sigma'nın uygun araçlarını kullanarak, ilave yatırım gerektirmeden çözüme ulaşılmıştır (Ömürgönülşen ve Şahin, 2012).

Özveri ve Çakır; Altı Sigma metodunu sade bir dille yüksek lisans tezinde açıklamış daha sonra ilgili uygulamaları bir jant üreten tesiste uygulamıştır. En çok fire verilen istasyonun tespiti için Altı Sigma'dan yararlanılırken, bunun kasnak bölümü olduğu saptanmıştır. Bunun saptanmasında ki bir diğer parametrenin ise müşteri geri bildirimleri olduğuna da yer verilmiştir. Altı Sigma kullanılarak ıskartanın düşürülmesi ile verimlilik artışı sağlanmıştır (Özveri ve Çakır, 2012).

Yetimler, gerçekleştirdiği yüksek lisans tezinde Altı Sigma'nın teorik anlatımına yer vermiş ve uygulamasını ankastre fırın üzerine gerçekleştirmiştir. Henüz tasarım aşamasındayken Altı Sigma uygulamalarını kullanarak seri imalattan önce hata modlarını bulup olası problemlerin önüne geçilmiştir. Bu tez çalışmasında da aslında illa hata çıktığı zaman Altı Sigma kullanılacak diye bir kuralın olmadığı, aksine tasarım aşamasındayken gerekli uygulamalar gereğince gerçekleştirildiğinde bir çok hatanın önlenebildiği ve bu sayede verimlilik ve yüksek maliyetli çözümlerden kaçınıldığı görülmüştür (Yetimler, 2018).

Bu çalışmanın uygulama bölümü, Arvanitis ve arkadaşlarının yoğunlaştığı motor aktarma organları gürültü kalitesi iyileştirme konusunda kullandığı dizayn için Altı Sigma metodolojisi (Arnavitis et al., 2015), Torrezan ve Fraga'nın orta sınıf hafif ticari araçlar kardan mili analizleri üzerine çalıştığı Altı Sigma projesindeki çıktılar (Torrezan and Graga, 2002) ve Zutshi ve arkadaşlarının arkadan itişli araç sistemlerinde NVH performansının artırma konulu Altı Sigma çalışmasının çıktılarının tamamı ele alınarak ve literatür araştırmalarındaki diğer bulgular ile Altı Sigma'nın çeşitli sektörlerdeki uygulamaları irdelenmiş ve 3. Bölümde yeni gerçekleştireceğimiz bir Altı sigma uygulaması ile bir araç titreşim ve gürültü problemini altı sigma yaklaşımıyla çözülmüştür. Arvanitis DMAIC yerine DFSS'i, Torrezan düşük yerine yüksek hızdaki titreşim ve gürültü problemlerini, Zutshi ise 1. Harmonik hareketten kaynaklı gürültünün

farklı bir kök sebebi olduğunu belirtmiş ve 3. Bölümdeki uygulamanın literatürde farklı bir yer edinmesini sağlamıştır.

2. ALTI SİGMA METODOLOJİSİ

2.1. Altı Sigma'nın Tanımı

Altı Sigma kavramı, pek çok bakış açısı ile birden fazla kez tanımlanmış ve her tanımlama bu metodolojinin farklı yönlerini betimlemiştir. Son yıllarda her sektörde ve literatür taramalarında karşılaştığımız bu metodolojiyi ilk kez “bir pazarda konumunuz üçüncülük veya dördüncülük ise, birinci neyle olduğunda siz zatiirree olursunuz” diyen Jack Welch ve arkadaşları bilinir hale getirmiştir (Dirgo, 2006).

Sigma sembolü Yunan alfabesine ait bir harftir. Her harf gibi büyük ve küçük harf olmak üzere ikiye ayrılır. Büyük Sigma ifadesi (Σ) toplamının gösterimi olarak bilinir, küçük Sigma (σ) ise istatistik bilimi için en önemli ölçü birimi olarak tanımlanmaktadır. (Neuman and Cavanagh, 2000). Standart sapmanın karesi ise varyans olarak adlandırılır ve değişkenliğin ölçüsüdür.

Mikel J. Harry ve Richard R.Schroeder, 80’li yıllarda ilk olarak Motorola firmasında bu metodolojinin liderliğini yapmış ve kendi kitaplarında Altı Sigma’nın tanımını : “Sadece bir işletmenin kullandığı fazladan kaynak ve israf düzenini azaltması değil, müşteri yeti sınırını arttıran da bir prosestir” olarak yapmıştır. (Harry ve Schroeder, 2000)

Hem etkinliği, hem de verimliliği aynı zamanda gerçekleştiren bir metodoloji olduğu da belirtilen (Eckes, 2005) Altı Sigma’nın, kalite sorunlarının kök sebebini bulmak ve bunlara kontrol mekanizmaları oluşturmak amacıyla istatistiksel metodlarla veri analizine giriş sağlamak olarak da belirtilir. (Markarian, 2004)

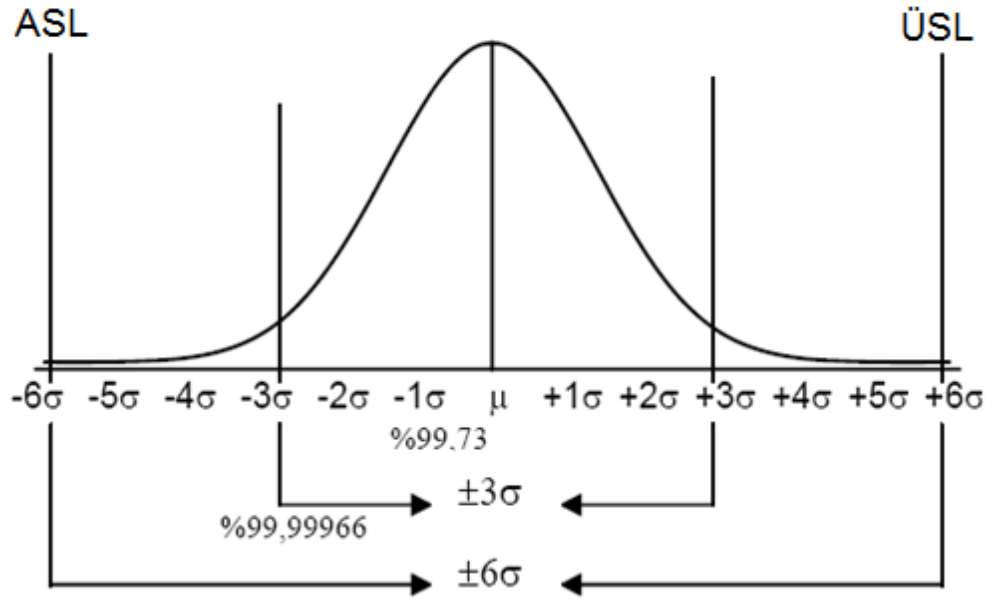
Altı Sigma metodolojisini uygulayan bir kaç öncü firma vardır. Jack Welch’in 20 yıl boyunca CEO’luğunu yaptığı GE firmasının tanımı ise “Müşterilerimize temas eden her durumu, her ürünü ve her türlü hizmeti en iyiye taşımaya odaklanan bir disiplindir” şeklindedir.

Başka bir tanımlamada “Bir ürün veya hizmet üreten süreçte sıfır hatayı hedefleyen, optimizasyonu yapılmış bir metodolojidir. Global ölçekte bir performansa ulaşılmasını ve bu ulaşılan düzeyin sürdürülmesini sağlar. Altı Sigma metodolojisi bir araç değil, tam olarak bir sonuçtur” denmiştir (Wilson, 1999).

Altı Sigma'ya ait daha kapsamlı tanımlara bakacak olursak; “Hizmet ve üretim proseslerinde problemlerin kök sebebini bulmaya ve yok etmeye, süreçlerin maliyetini ve amortisman zamanlarını düşürmeye, kalite verimliliğinin artırılmasına, müşterilerin tüm beklentilerini karşılamaya yarayan iyileştirme yaklaşımı” denmektedir (Evans and Lindsay, 2005).

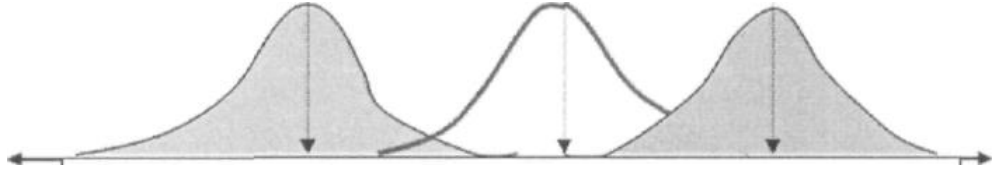
Genel olarak tanımları birbirine göre incelersek, müşteri yaklaşımını, kalite iyileştirmesini, israfa giden maliyeti azaltmayı, verimlilik arttırılmasını kar oranının yukarı çekilmesini ve Altı Sigma metodolojisinin bir iyileştirme süreci olduğu sonucuna varılır (Ünlüsoy, 2001).

Altı Sigma denilen metodoloji aslında tanımlandığı üzere bir standart sapma demektir. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere toplam standart sapma değerinin altı olduğu grafiksel olarak gösterilmiştir.

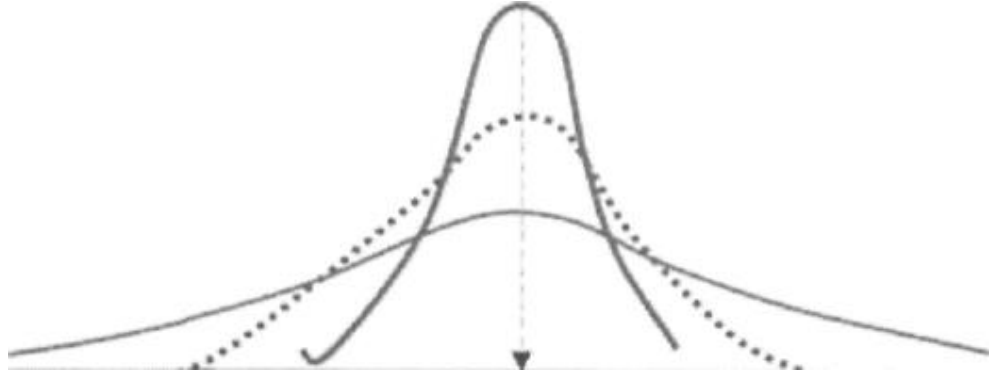


Şekil 2.1 : Standart Sapma Olarak Altı Sigma Eğrisi.

Bu grafiği daha basit bir şekilde yorumlamak adına, ortalama değerleri farklı fakat standart sapmaları eşit durumlar Şekil 2.2 ile, bu durumun tam tersi yani sapmaları farklı fakat ortalamaları eşit durum ise şekil 2.3 ile gösterilmiştir.

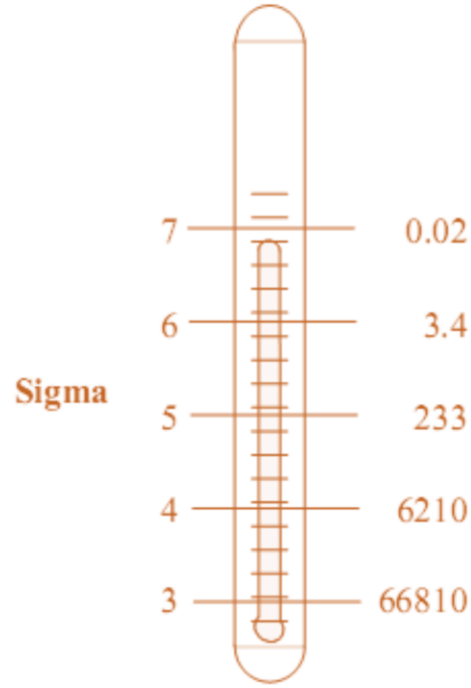


Şekil 2.2 : Aynı Standart Sapmaya Eşit Fakat Ortalamaları Farklı Dağılımlar.



Şekil 2.3 : Ortalamaları Aynı Fakat Farklı Standart Sapmaları Olan Dağılımlar.

Altı Sigma ifadesinin sayısal olarak belirli bir anlamı vardır. Sigma denilen bu seviyeyi uygulayan şirketler, bunu bir endekse dönüştürmüştür. Yani bunun anlamı, kaliteyi düşüren maliyetler, ürün başına çıkan hata, proses zamanı ve kalite verimliliği gibi terimlerin tamamı sigma seviyesi ile ilişkilidir. (Polat vd., 2005). Örnek verilirse, sigma seviyesinin yukarı çıkması hata payının düşmesi anlamına gelir. Bir milyon ihtimalde hata (DPMO) bu metodolojinin terimidir. Altı Sigma'nın çıktısı bu hata oranının 3.4'ten az olmasını hedefler. Yani bir prosesin Altı Sigma değerinde kalitesi olmasının anlamı o prosesin, ürünün veya hizmetin bir milyonda 3.4 adet hatası olduğu anlamına gelir (Wyper and Harison, 2000). Toplam hatalı ürün sayısının belirlenmesindense, DPMO'yu Sigma seviyesi olarak belirtmek bir çok karışıklığın önüne geçerek süreci yalınlaştırır ve Şekil 2.4'de bu gösterim gerçekleştirilmiştir.



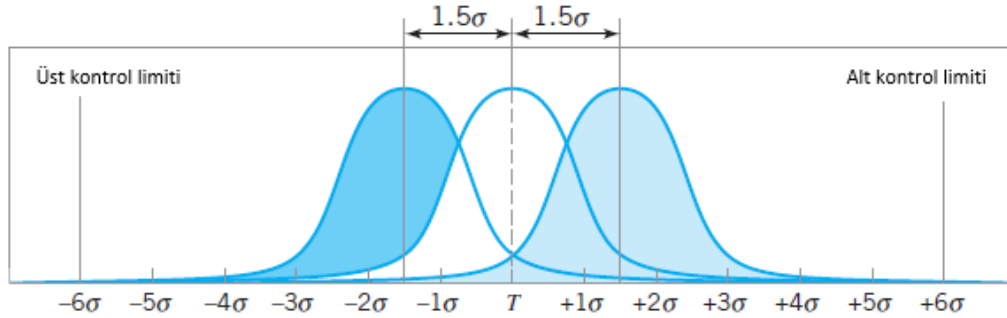
Şekil 2.4 : DPMO ile Sigma Ölçeği.

Buradan çıkarılan sonuç, Sigma değerinin anlamı prosesin ne kadar iyi yapıldığı demektir. Yüksek Sigma değeri hatasız bir proses anlamına gelmektedir ve prosesin yeteneğini Sigma değeri belirlemektedir. Genel olarak firmalar 3-4 Sigma değerini prosesleri için yeterli bulurlar fakat bu gerçek hayatta çok da verimli bir değer değildir. Örneğin 1.000.000 \$ yatırımın 3.8 Sigma değeri ile kaybı 10.000 \$ iken, 6 Sigma değerindeki kaybı yalnızca 3.4\$’dır. Ya da aylık elektrik kesintisi yine 3.8 Sigma değerinde 7,2 saat gelirken, 6 Sigma ile çalışıldığında 8.8 saniye gibi kısa bir süre kalmaktadır. 3.8 Sigma %99 hatasız üretim anlamına gelirken, 6 Sigma’nın yüzde karşılığı %99.99966’dır ve Tablo 2.1’de değerler daha net belirtilmiştir. Bu tabloda anlatılmak istenen, Üç Sigma kalite hedefi olan bir firmanın milyonda hata sayısı 2700’dür fakat Altı Sigma’yı hedef olarak belirleyen firmaların hata oranı milyarda sadece 2’dir (Girenes, 2006).

Tablo 2.1: Sigma Seviyeleri ve Milyonda Kusur Sayıları.

Sigma	Yüzde (%)	DPMO
+ - 1 σ	68,27	317300
+ - 2 σ	95,45	45500
+ - 3 σ	99,73	2700
+ - 4 σ	99,9937	63
+ - 5 σ	99,999943	0,57
+ - 6 σ	99.999.998	0,002

Fakat altı sigma tanımında bu değer milyonda 3.4 olarak geçmektedir çünkü 1.5 sigma kayması denen bir tanımlama vardır. Bunun anlamı ortalama değerin 1.5 sigma kaydırılması demektir çünkü bu kaydırma normal dağılımı daha gerçekçi yapmaktadır. Buna istinaden Şekil 2.5’de 1.5 sigma kaydırılmış şekilde daha gerçekçi olan dağılım durumunun eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.5: Ortalama Dağılımın 1.5 Sigma Kaydırılması.

Buna bağlı olarak da Tablo 2.2’de 1.5 sigma kayma durumu dahil olarak hata oranları ve DPMO belirtilmiştir. Bu çok açık bir şekilde toleransların ne kadar dar ve bir o kadar etkili olduğunu gözler önüne sermektedir (Girenes, 2006). Basit biçimde Sigma değerinin tanımlaması DPMO ölçeği ile gösterilmiştir, bu şekilde Altı Sigma’nın istatistiksel olarak tanımlaması yapılmıştır.

Tablo 2.2: 1.5 Sigma Dağılım ile Sigma-DPMO İlişkisi.

Sigma	Yüzde (%)	DPMO
+ - 1 σ	30,23	697700
+ - 2 σ	69,13	608700
+ - 3 σ	93,32	66810
+ - 4 σ	99,379	6210
+ - 5 σ	99,9767	233
+ - 6 σ	99,99966	3,4

2.2. Altı Sigma'nın Tarihçesi, Yayılması ve Getiri Örnekleri

Motorola Firması, 1980'li yılların ortalarında Altı Sigma'yı ilk uygulayan firma olmuştur ve bu sayede 1988 yılında Malcolm Baldrige ulusal kalite ödülünü kazanan ilk firma olma başarısını göstermiştir. 1990'ların başında ise Altı Sigma artık bir metodoloji olarak kabul edilmiştir ve TÖAİK ortaya çıkmıştır.

İlk çıkış noktası, firma ürünlerinin Japon üretimi ürünler ile aynı fonksiyona sahip olmasına rağmen daha pahalı olduğunu farketmeleri ve bu bakımdan kendi alanındaki müşterilerin Japon üretimi ürünlere yöneldiğini belirlemişlerdir. Motorola çalışanları, aslında Japon ürünlerinin kalitesiz olduğunu ve müşteri için kendi ürünlerinin kesinlikle fark yarattıklarını düşünmüşlerdir çünkü çalışanların düşündüğü en önemli iki nokta Japon mallarının kalitesiz olduğuna ve proses kontrollerinde ki bir çok basamağı yapmadıklarını yöneliktir. Fakat bu düşüncelere istinaden Amerikan Kalite Derneği, Motorola'nın bir alt firması olan Quasar adlı televizyon fabrikasında Japonların Matsushita markası bu fabrikayı satın alıp uyguladığı iyileştirme çalışmalarını anlatan bir döküman paylaşmış, bakım ve kontrol masraflarının artmasının en büyük sebebi proseste ki verimsizlikler olduğunu belirtmiştir (Pande et al.; 2000). Yani Quasar firmasında Japonların katkısı ile maliyetlerin düşürülebileceği açık şekilde görülmüştür. Bunu da fabrika yönetimini devir aldıktan sonra üretim hata oranını hemen 20 kat azaltarak göstermişlerdir. Bu şekilde de Motorola üst kademesi kendini sorgulamış ve Altı Sigma metodolojisini benimsemişlerdir.

Proseste ki yerleşik problemler, düzgün bir plan dahilinde ölçülerek, istatistiki analiz yöntemleri de kullanılarak iyileştirilmiştir. Japonların burada göstermek istediği durum, ürünün kalitesinden çok, sürecin kalitesine odaklanmasıdır.

Motorola, başarılarının ardından bu metodolojiyi çok fazla benimseyerek, 1993 yılına girilirken hedeflerinin 6 Sigma olduğunu belirttiler ve buna istinaden firma içinde milyon yerine birim başına gelecek hata sayısı ve genel hata azaltma kavramları temellendirildiler. Bu sayede geliştirdikleri ürünlerin kalite arttırımı ve ürün gelişimi metodolojinin araçları ile sağlandı (Işığışık, 2006).

Motorola'nın ilk defa uyguladığı bu metodolojinin yankıları dünyada yerini bulmuş, IBM hemen ardından gelerek bu tekniği uygulamaya başlamıştır. 1996'ya gelindiğinde GE (General Electric), metodolojiyi tüm firmada yaymıştır ve kalite yönetimi dışında daha ayrı bir teknik olarak yaklaşmıştır (Eckes, 2005). GE, Altı Sigma metodolojisini uygulamaya başladıktan iki sene sonra 700 Milyon dolar ciro artışı gerçekleştirmiştir. Yıl 2000 olduğunda bu artış 1.5 Milyar dolar mertebesine ulaşmıştır.

General Electric firması'nın ilk başta Altı Sigma'yı temel kalite yönetim mantığı olarak oturtması sancılı olmuştur. GE çalışanları süreç başladığında istatistik bilimini öğrenmek zorunda kalmıştır ve bunu kabullenmeleri hiç kolay olmamıştır. Fakat günümüzde gelinen noktada artık istatistik bilimini kullanmak GE için de, diğer Altı Sigma metodolojisini temellerine oturtan firmalar için de bir rutin olmuştur. First-time-true yani ilk denemede doğru sonuç almak mantığı tüm Altı Sigma kullanan firmalarda birincil hedef halini almıştır (Antony and Banuelas, 2002).

Daha sonra Altı Sigma metodolojisini uygulayan bir firma da Ford Motor Company olmuştur. 2001 yılındaki araştırmaların sonucunda dünyadaki en büyük yedi otomotiv içerisinde kalitede son sırayı alan Ford, bundan tam iki sene sonra dördüncülüğe yükselmiştir. Bunun nedeni firmanın bu yıldan sonra Altı Sigma'yı kullanmaya başlamasıdır. 2000 yılında 25 ayrı müşteri şikayeti belirlemiş ve montaj hattındaki ekiplere bu problemleri çözülmesi için Altı Sigma proje görevi verilmiştir. Ford'un şirket olarak hedeflerinden birisi tüm çalışanlarının yeşil kuşak yapıp, Altı Sigma'ya hakim olmasını sağlamaktır. 2000 yılında 52 milyon dolar gelir olarak geri dönen Altı Sigma çalışmaları, 2001 yılında 300 milyon \$'a çıkmıştır (Paton, 2003).

Ülkemizde bulunan pek çok global ve milli firmalar Altı Sigma metodolojisini uygulamalarına almıştır. Bunlardan ilki TEİ'dir (Turkish Engine Industry). Ardından 1999 yılında Arçelik metodolojiyi kullanan ikinci firma olmuştur. Şu an B/S/H, Borusan, Ford Otosan, Kordsa, Vitra gibi Türkiye'nin köklü firmaları Altı Sigma zemininin tamamen oturtmuş ve üretiminin her alanında bu metodolojiyi kullanıyor durumdadır. Altı Sigma metodolojisinin kullanımının ülkemizde en büyük yayıldığı dönem 2001 krizi ile gerçekleşmiştir, çünkü kullanım kalite çıktısını ve israfın düşürülmesini amaçlamaktadır. Bunun en büyük sebebi, Altı Sigma metodolojisi kullanımının çok kısa bir sürede kazanca çevrildiği gözlenmiştir. Tablo 2.3 de görüldüğü üzere global olarak bilinen firmaların kazanç ve bu kazancı elde ettiği süreye bakıldığında, ülkemizdeki firmaların ekonomik kriz dönemin Altı Sigma'ya yoğunlaşması uygun görünmektedir (Uslu, 2002).

Tablo 2.3: Firmaların Elde Ettiği Kazanç ve Bunun Süresi.

FİRMALAR	KAZANÇ	SÜRE
General Electric	1.5 Milyar \$	3 yıl
Motorola	2.2 Milyar \$	2.6 yıl
Allied Signal	1.2 Milyar \$	2 yıl
ABB	900 Milyon \$	1 yıl
Texas Instruments	600 Milyon \$	1.8 yıl
Nokia	300 Milyon \$	2 yıl
Siebe PLC	100 Milyon \$	9 ay

Bu tablodan Allied Signal firması, 1999 yılından itibaren Altı Sigma'yı başarıyla devreye almış ve ilk senesinde 600 milyon dolar tasarruf elde etmiştir. Sorun çözüm maliyetlerinin azaltılması ile beraber ürün tasarım proseslerine de Altı Sigma metodolojisini sokan firma yöneticileri, metodolojinin bir diğer katkısı olan yalınlaştırma

özelliği sayesinde, 42 ay olan yeni üretim tasarım süresini tamı tamına 33 aya indirerek %6 verim sağlamıştır ve bu dar kar oranını %13 arttırmıştır (Pande et al., 2000).

Tekrardan General Electric firmasına bakıldığında, Jack Welch önderliğinde metodoloji hayata geçirilmiş, Altı Sigma'nın şirket içinde yayılması için yalnızca eğitimlere 400 milyon dolar harcanmış, fakat bunun karşılığında daha ilk senede 600 milyon dolar kazanç elde etmiştir. GE firması kalite odağını arttırdığı ilk yıl Üç Sigma değerinde çıktı elde ederken, Altı Sigma metodolojisi ile beraber iki sene içinde bu seviyeyi Üç Buçuk Sigma'ya, en son geline noktada ise 5.7 Sigma seviyesini çıkararak milyonda hata oranını minimuma getirmiştir. (Larson, 2003). Güç sistemleri grubuna ait çark sistemlerinde bazı titreşim problemleri meydana gelmiştir ve bunların neticesinde çatlama problemleri meydana gelmiştir. Bu problemin çözümü için Altı Sigma metodolojisi uygulanmış ve söz konusu titreşimler çok yüksek seviyede azaltılmıştır (Eckes, 2003).

2.3. Altı Sigma'nın Hiyerarşik Yapısı

Altı Sigma projelerinin ve metodolojinin uygun şekilde yürürlüğe sokulup sonuç alınabilmesi için, proje ekibindeki kişilerin üstleneceği görevlerin önemi çok büyüktür. Proje ekibinde bulunanlara alınan eğitime göre çeşitli ünvanlar verilir. Her bir ünvan çeşitli sorumluluklar içermek ile beraber, kurumdan kuruma göre ünvan isimleri değişebilmektedir.

Gruplandırma şekli ile altta sırayla açıklanan konsey ve kuşaklar genel olarak büyük çaplı firmaların kullandığı düzeni açıklamaktadır (Üsküp, 2011).

Bu hiyerarşik yapı sırası ile; Üst Kalite Konseyi, Yönetim Temsilcisi, Kalite Şampiyonu, Uzman Kara Kuşak, Kara Kuşak ve Yeşil Kuşak şeklindedir.

2.3.1. Üst Kalite Konseyi

Altı Sigma gerçekleştirilirken, örneğin bir TÖAİK metodolojisi ile gerçekleştirilecek bir projeyi hiyerarşinin orta kademesinde bulunan yeşil ve siyah kuşak ünvanına sahip kişiler yürütür. Fakat yalnızca Altı Sigma için değil, her konuda geçerli olan ve yazılı

olmayan bir kural vardır, üst kademe projeye yeteri kadar ilgi göstermez ise sonuçta hiç bir çıktı elde edilemez. Bu yetkiyi verecek olan kademe üst kalite konseyidir ve yetkileri şu şekilde sıralanır (Baş, 2003) :

- Yapılacak Altı Sigma uygulamasına boyutunu, kapsayacağı konuları tayin etmek
- Projede çalışacak ekibin göreve ve sorumluluklarını belirleyip Altı Sigma projesini yönetmek
- Oluşturulan projenin gidişatına göre kapsam değişikliği ve proje ekibinin bu değişikliğe adapte etmek
- Proje süresince olası karşılaşılan büyük sorunları çözmek ve ilgili kaynağı temin etmek
- Tüm projeleri düzenli bir şekilde takip etmek ve gerekli yerlerde ilgili ekibi yönlendirmek
- Bu çalışmanın sonucunda bir know-how çıkararak bağlı bulunduğu şirketin diğer alanlarında bu çıktıları kullanmak

2.3.2. Yönetim Temsilcisi

Meydana gelebilecek anlık büyük problemleri çözebilmek adına konseyin kararlarını beklememek ve yönetim adına karar alabilecek üst yönetimden atanan kişi yönetim temsilcisi sıfatı ile yürütülen projeye dahil olur. Üst yönetim tarafından projeye verilen önemi gösterebilmek adına etkili bir yöneticinin bu konuma atanması gerekmektedir.

Yönetim temsilcisinin yetkileri şu şekildedir (Baş, 2003) :

- Gerçekleştirilecek projeye ait tüm eğitimleri düzenlemek ve planlamak
- Gerektiğinde dışkaynaklardan ilgili desteği sağlamak
- Proje şampiyonuna destek olmak ve ekiplerin oluşturulmasını sağlamak
- Proje ekiplerinin oluşturduğu projeleri ve bu ekipleri onaylamak

- Yetkisinin yetmediği durumlarda üst kalite konseyine basamak olmak
- Proje çıktılarından dökümanlar hazırlayıp bir üst makama sunumu gerçekleştirmek

2.3.3. Kalite Şampiyonu

Bu ünvanı bulunan proje çalışanı, gerçekleştirilen Altı Sigma projelerini üst yönetimin direktifi ile takip eder. Altı Sigma ile Toplam Kalite Yönetimi'ni ayrıldığı yerlerden birisi bu ünvana sahip olan birisinin projede olmasıdır. Çünkü kalite yönetiminde sorumluluk bir grupta iken, Altı Sigma projelerinde kalite şampiyonu projeyi yönlendirebilir (Fred, 1993).

Bir kalite şampiyonunun yetkileri şu şekilde sıralanır :

- Oluşturulan Altı Sigma'nın firma amaçları için uygun olmasını belirlemek
- Proje ekibinin kaynaklarının elde edilmesini sağlamak
- Birden fazla ekibin çalıştığı durumlarda ekipler arası koordinasyonu sağlamak
- Ekip içi motivasyonu sağlayıp, proje seyrinde yavaşlama gözlemlendiğinde ilgili aksiyonları almak, gerekirse ekibe yeni üyeler katmak
- Zaman planını belirleyerek Altı Sigma projesinin çıktı zamanını ayarlamak
- Oluşabilecek her hangi bir proje değişikliği veya projeye bağlı olarak kapsam değişikliğini incelemek ve onayını vermek

2.3.4. Uzman Kara Kuşak

Uzman Kara Kuşak olarak projede yer olan bir çalışan, Altı Sigma'ya dair en yüksek teknik bilgiye sahip kişidir. Eğer firma içerisinde uzman kara kuşak sıfatında birisi yok ise dışkaynak olarak şirkete katılabilir (Thawani, 2004).

Uzman Kara Kuşak sıfatına sahip olan birinin yetki alanları şu şekildedir :

- Kalite Şampiyonlarının belirlediği zaman planına destek vererek Altı Sigma'nın tamamlanacağı tarihin aydınlatılmasına yardımcı olmak
- Proje ekibinin kullanacağı Altı Sigma araçlarının belirlenmesi konusunda teknik destek sağlamak
- Gerçekleştirilen Altı Sigma'dan kazanılan know how'ları bir üst makamına sunmak
- Şirket içi Eğitimlerden sorumlu olmak ve Altı Sigma Yeşil Kuşakları yetiştirmek

2.3.5. Kara Kuşak

Kara Kuşak ünvanına sahip bir kişi Altı Sigma proje takımına liderlik görevine sahiptir. Birincil sorumluluğu Altı Sigma projelerinin başlatmayı içerir, bunlar proje konusu seçiminden sonucun alınmasına kadar geniş kapsamlıdır. Özellikle Altı Sigma'ya ait teknik araçları kullanması gerekmektedir ve bu sayede olası problem atik davranabilme yetisine sahip olmalıdırlar. Bu sıfatı kazanabilmek için Uzman Kara Kuşaklar tarafından dört haftalık bir eğitim vardır. Bu eğitimi başarı ile tamamlayıp minimum iki kara kuşak projesi devreye almadan ilgili ünvana sahip olamazlar (Sitnikov, 2002).

Kara kuşak sıfatına sahip birisinin yetkileri şu şekildedir :

- İlgili kalite şampiyonuna yeni bir proje konusu teklif etmek ve başlatmak
- Her hangi bir konu değişikliğinde yine kalite şampiyonuna kapsam değişikliğini dile getirmek ve anlaşılmak
- Proje ekibini belirlemek ve bu konuda Kalite Şampiyonu ile beraber hareket etmek
- Proje ekibinin görev dağılımını gerçekleştirmek
- Altı Sigma projesinin yönetimini sağlamak ve gerçekleştirilen zaman planına uymak, ekibi uydurmak
- Eğer varsa kaynak eksiklerini gidermek, ulaşamayacağı durumda Kalite Şampiyonuna ilgili bilgileri iletmek

- Proje ekibine destek olmak, hangi araçlar kullanılacak ise bunları ekibe teknik olarak göstermek

2.3.6. Yeşil Kuşak

Bir Altı Sigma projesinin ekibinde yer alan, üstte anlatılan ünvanlar dışında kalan tüm kişilere Yeşil Kuşak adı verilir ve ilgili Altı Sigma eğitimini tamamlayıp sınavı geçtikten sonra bu ünvana sahip olur. Proje faaliyetlerini yürüten kişiler Yeşil Kuşaktır. Aldığı eğitim ve yaptığı işten ötürü analiz ve ölçüm bilimleri konularına yatkın olmalıdır (Coronado and Antony, 2002).

Hiyerarşik yapıyı özetlemek istersek, Kara Kuşak toplamda yüz kişiden sorumlu denirse, bunlardan yirmi tanesi Yeşil Kuşak olmalıdır. Yirmi Kara Kuşak da bir adet Uzman Kara Kuşak sıfatına sahip birine bağlanır. Bu hesaplama ile toplamda iki bin işçi var ise bir adet Uzman Kara Kuşak yeterli olmaktadır ve toplamda beş işçiye karşılık bir Yeşil Kuşak liderlik etmektedir.

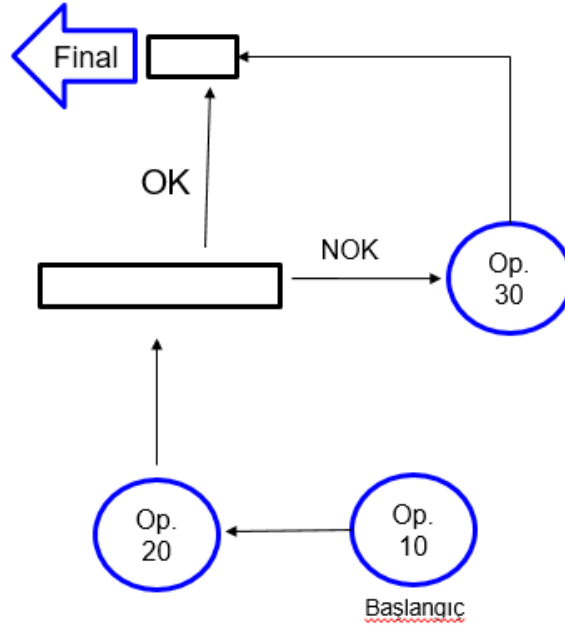
2.4. Altı Sigma'nın Araçları ve Kullanılan İstatistikî Teknikler

TÖAİK metodolojisini uygularken Altı Sigma'ya ait bir çok istatistikî teknik ve araçlar kullanılır. Bu teknik ve araçlar ölçüm, kontrol ve analizlerde yapılan çalışmaya güvenilirlik sağlarlar ve ilgili projenin sonuçlanmasına birinci dereceden katkıda bulunurlar. Bu teknikleri bilmeden ve araçları kullanmadan bir Altı Sigma projesini yapabilmek imkansızdır. Her bir Yeşil Kuşak Altı Sigma'nın ilgili araçların kullanımında pratiklik sahibi olmalı ve metodolojinin hangi adımında hangi tekniği kullanmasını başlangıç seviyesinde olarak bilirler. Bu araçların kullanılmasında ki yönlendirmeyi Siyah Kuşaklar yapar. Çalışmanın bu bölümünde, üçüncü bölümde gerçekleştirilecek uygulamada kullanılan istatistikî yöntemler, teknikler ve araçlardan bahsedilip yapılan uygulamanın daha anlaşılabilir olması sağlanacaktır. Toplamda sekiz farklı teknikten bahsedilecek olup, bunlar; Proses Diyagramı, Hata Türü ve Etkileri Analizi, Balık Kılçığı Diyagramı, Pareto Diyagramı, Ölçüm Sistemi Analizi, Deney Tasarımı ve Bağımsız Gruplar Testi olarak belirlenmiştir. Anlatım sırası, TÖAİK'de kullanım sırasıyla birebir

aynı olacağından dolayı üçüncü bölümde gerçekleştirilecek olan uygulamanın anlaşılabilirliği arttırılacaktır.

2.4.1. Proses Diyagramı

Üretim sistemlerinde nihai ürün için yada hizmet sektöründe takip edilen hizmet için olması gereken sürecin görüldüğü haritaya proses diyagramı adı verilir. Bu diyagramda süreç ile ilgili ana prosesler ve bunlara ait akış gösterilir.

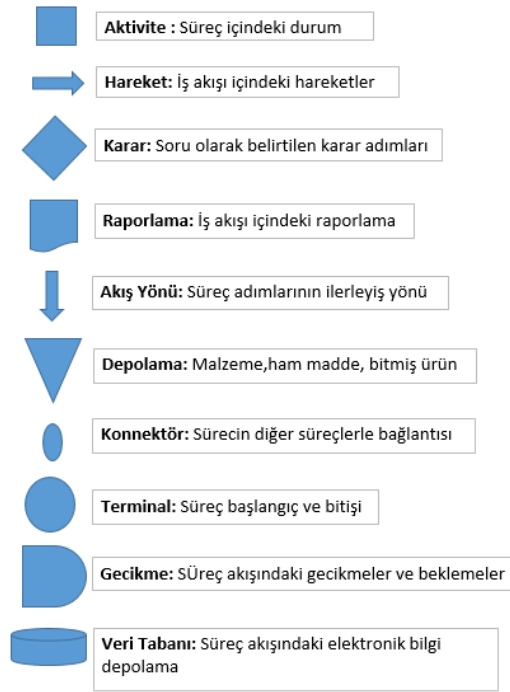


Şekil 2.6 : Örnek Proses Diyagramı Gösterimi.

Proses diyagramları genel olarak TÖAİK metodolojisinin ilk kısmı yani tanımlama kısmında kullanılmakta ya da bir proses iyileştirilmesi gerçekleştirilecekse iyileştirme adımlarında tercih edilmektedir. Eğer ilk adım yani tanımlama adımında proses diyagramı kullanılıyor ise mevcut proses adımlarından bu diyagram oluşturulur. Fakat iyileştirme aşamasında kullanılan proses diyagramında olması gereken ve değişen süreçler tanımlanmaktadır. Proses diyagramları çeşitli sembollerin bir araya getirilmesiyle oluşturulur ve düzenlenir. Proses diyagramı kullanım amaçlarını ve diyagram hazırlanırken dikkat edilmesi gerekenler şu şekilde sıralanır :

- Sürecin sınırları ve içerikleri net ifade edilmelidir.
- Mutlaka bir başlangıç ve bitiş kısmı olmalıdır, prosesi ortadan başlayamaz.
- Haritadaki detaylar önceden belirlenip diyagram oluşturulmalıdır.
- Proses diyagramının her adımından sorumlu olan bir temsilci olmalıdır.
- Operasyonlar birbirine bağlantısı ok işaretleri ile yapılmaktadır

Proses diyagramları hazırlanırken çeşitli sembollerden yararlanılır ve sembollerin anlamları vardır. Bu sembollerin anlamları Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

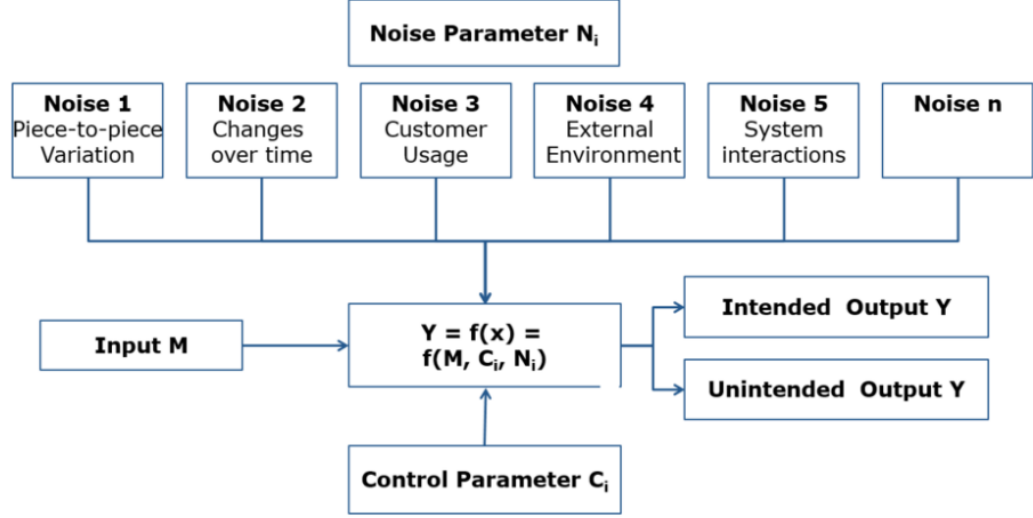


Şekil 2.7: Proses Diyagramı Sembolleri.

2.4.2. Parametre Diyagramı

Parametre diyagramları bir blok diyagramdır ve bu diyagram sistem içerisindeki farklı parametrelere arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Hata modları belirli kategorilere indirgenmiştir. Şekil 2.8’de örnek bir parametre diyagramı tanımlanmıştır. Proses gürültü

faktörleri genel olarak çeşitli ana gruplara ayrılır ve bu girdilerin sonunda potansiyel hata modları belirlenir.



Şekil 2.8: Genel Bir Parametre Diyagramı Örneği.

Öncelikle ilk yapılması gereken prosesin belirlenmesidir ve proses tanımlanmalıdır. Belirlenen proses en ortada tanımlanır. Daha sonra sol tarafındaki girdiler verilmelidir ve istenen çıktı belirlenmelidir. Sonraki adımda ürün veya hizmetin fonksiyonu ve karakteristiği belirlenmelidir. Devam eden adımda ise proses gürültü faktörleri tanımlanır ve her kategoriye ait hata durumları tanımlanmalıdır. Kontrol dışı olan tüm faaliyetler gürültü faktörü olarak adlandırılır. Bunlar da ilk başta belirtildiği üzere farklı kategoride incelenir; proses akışı, insan, makine, malzeme, çevre olarak tanımlanabilir ve bu gibi kategoriler belirtildiği üzere kontrol dışı faaliyetlerdir ve proseste elde olmayan girdiler olarak tanımlanır ve gürültü faktörleri olarak adlandırılır.

2.4.3. Hata Türü ve Etkileri Analizi

Hata türü ve Etkileri Analizi (FMEA), çıkabilecek bütün muhtemel hataları ve bu problemlerin ilgili sistemlerde yarattığı etkileri, buna bağlı olarak da bu hataların oluşma ihtimallerini ve eğer bu hata oluşursa bunun belirlenme olasılığını kapsar. FMEA'in en önemli katkılarından biri, hata daha gerçekleşmeden önleyici bir yaklaşım ile hata modu

görünmeden yakalamaya çalışmasıdır. İki türlü FMEA çeşidi vardır, bunlardan bir tanesi DFMEA denilen dizayn üzerine yoğunlaşan DFMEA, diğeri ise PFMEA yani proses iyileştirme olarak geçen hata türü ve etkileri analizidir. FMEA'in kapsamında kontrol noktaları, test spesifikasyonları, önlem alınması gereken noktalar ve hata yüzdesini aşağıya çekecek tüm faaliyetler yer alır (Pyzdek, 2003) .

FMEA'in en büyük hedefi, daha önceden bilinen potansiyel hataları, son kullanıcıya ürün veya hizmet ulaşmadan önlemek olduğundan dolayı bazı kestirimler gerçekleştirilir. Bu yapılacak olan tahminler tamamen know how bazlıdır ve her detay tek tek irdelenmelidir.

Hata türü ve Etkileri Analizi, tüm hata türleri adına her satır için bir Risk Priority Number (RPN) yaratır. Bu değer arttıkça hata modunun hem ortaya çıkabilmesi hemde kategori bakımından ciddiyeti artar. Eğer bir satırda RPN büyük ise bu hata modunun daha dizayn aşamasında yok edilmesi gerekmektedir. RPN değeri, Hata Olasılığı (OCC) x Önem Derecesi (SEV) x Saptanabilirlik (DET) şeklinde hesaplanır.

FMEA'in genel yapısı Tablo 2.4'de gösterilmiştir. Buna istinaden ilk başlangıçta sıra numarası verilmesi ile başlayan süreç, sürece başlık verilmesi, olası hataların listelenmesi, önem derecelerinin belirlenmesi, mevcut kontrollerin listelenmesi, RPN değerinin hesaplanması ile devam edildikten sonra, izlenecek yollar için öneriler sunulur ve RPN değeri yeniden hesaplanarak FMEA işlevini yerine getirmiş olur.

Tablo 2.4: Jenerik FMEA Döküman Gösterimi.

#	Süreç İşle mi	Olas ı Hata Mod u	Olas ı Hata Etkile ri	SE V	CLAS S	Olas ı Hata Nedenle ri	OC C	Mevcut Süreç Kontrolle ri	DE T	RP N	Öneril en Yol	Sorum lu Person el	Yapılac ak İş	SE V	OC C	DE T	RP N

Üst bölümde RPN'in nasıl hesaplandığı belirtilmişti. Kullanılan değerler OCC, SEV ve DET olarak tanımlanmıştı. OCC değerleri Tablo 2.5'de, SEV değerleri Tablo 2.6'da ve DET değerleri Tablo 2.7'de belirtilmiştir.

Tablo 2.5: Hata Olasılığı Değerlendirilmesi.

Hata Olasılığı	Hata Oranları	Cpk	Derece
Kesin	$\geq 1/2$	$< 0,33$	10
Çok Yüksek	$1/3$	$\geq 0,33$	9
Yüksek	$1/8$	$\geq 0,51$	8
	$1/20$	$\geq 0,67$	7
Orta	$1/80$	$\geq 0,83$	6
	$1/400$	$\geq 1,00$	5
	$1/2000$	$\geq 1,17$	4
Düşük	$1/15000$	$\geq 1,33$	3
Çok Düşük	$1/150000$	$\geq 1,50$	2
Olanaksız	$\leq 1/1500000$	$\geq 1,67$	1

Tablo 2.6: Önem Derecesi Değerlendirilmesi.

Etki	Önem Derecesi	Derece
Tehlikeli – İkaz Olmadan	Emniyetle ilgili bir arıza – Hata bir ikaz olmadan meydana gelir	10
Tehlikeli - İkazla	Emniyetle ilgili bir arıza – Hata bir ikazla meydana gelir	9
Çok yüksek	Ürün birincil fonksiyonlarını kaybederek kullanılamaz hale gelir.	8
Yüksek	Ürün performansı azalmış bir şekilde kullanılabilir. Müşteri memnuniyetsizliği ortaya çıkır.	7
Orta	Ürün kullanılabilir ama müşteri ürünü kullanırken bazı rahatsızlıklar duyar	6
Düşük	Ürün kullanılabilir ama müşteri ürünü kullanırken biraz rahatsızlık duyar	5
Çok düşük	Hata müşterilerin çoğu tarafından fark edilir.	4
Küçük	Hata ortalama müşteri tarafından fark edilir	3
Çok küçük	Hata ancak dikkatli müşteriler tarafından fark edilir	2
Etkisiz	Hatanın hiç etkisi yok.	1

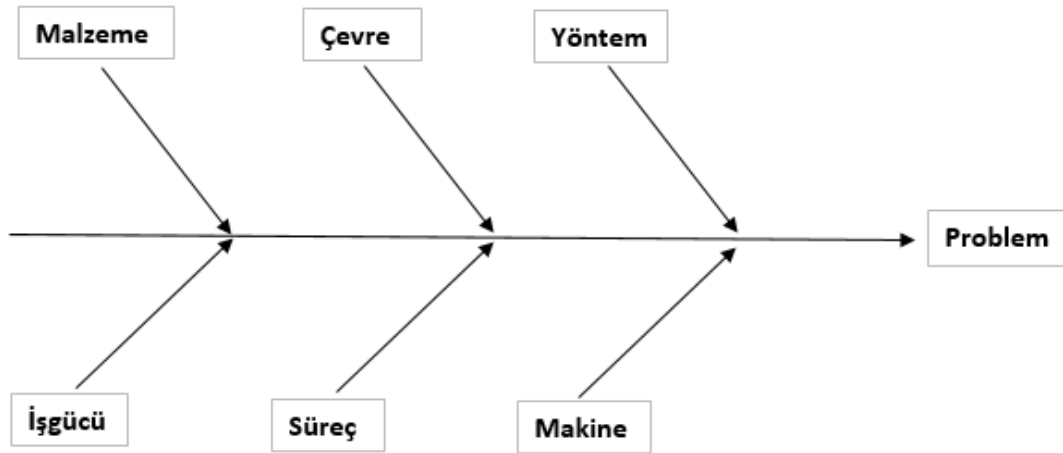
Tablo 2.7: Saptanabilirliğin Değerlendirilmesi.

Etki	Önem Derecesi	Derece
Olanaksız	Kontroller hata türünü saptayamaz	10
Çok uzak bir olasılık	Kontroller hata türünü çok zor saptar	9
Uzak bir olasılık	Kontrollerin hata türünü saptaması zor	8
Çok düşük	Kontrollerin hata türünü saptama olanağı çok düşük	7
Düşük	Kontrollerin hata türünü saptama olanağı düşük	6
Orta	Kontrollerin hata türünü saptama olanağı orta derecede	5
Ortanın üstü	Kontrollerin hata türünü saptama olanağı ortanın üstünde	4
Yüksek	Kontrollerin hata türünü saptama olanağı yüksek	3
Çok yüksek	Kontrollerin hata türünü saptama olanağı çok yüksek	2
Kesin	Kontrollerin hata türünü saptaması hemen hemen kesin	1

2.4.4. Balık Kılçığı Diyagramı

Balık kılçığı diyagramı aynı zamanda sebep – sonuç diyagramı olarak da bilinmektedir. Bir problem ortaya çıkarken sebep olan kök nedenleri ve sonuçlarının gösterimini içermektedir (Montgomery, 2001). Görüntü itibari ile balık kılçığına benzediği için bu şekilde adlandırılmıştır. Ayrıca diyagramı geliştiren Dr. Ishikawa adı ile de belirtilmektedir.

Soldan başlanarak uzun bir çizgi çizilir ve sonuna sonuç kutucuğu konarak temel kılçık belirtilir. Daha sonrasında etrafına ilgili kategorilerden yan kılçıklar çizilir ve diyagram elde edilir. Bu diyagramın kullanılmasının en büyük sebebi hangi problemin en büyük olduğunun saptanmasıdır. Şekil 2.9’da örnek bir balık kılçığı diyagramı verilmiştir. En genel hata kategorileri; malzeme, çevre, yöntem, işgücü, süreç ve makine adı altında toplanılır ve problemle etki edebilecek kök sebepler bu kategorilerin altına yerleştirilip proje ekibinin tartışmasına açılır. Burada hem fikir olunacak en büyük etkenler belirlenerek çıktı elde edilir ve bunlar kritik girdi olarak tanımlanır. Bir Pareto diyagramı çizilmek isteniyorsa, öncelikle balık kılçığı diyagramından kritik girdiler elde edilmelidir ki buna göre analiz sonuçları yapılmalıdır (Pyzdek, 2003).



Şekil 2.9: Örnek Balık Kılçığı Diyagramı.

2.4.5. Pareto Diyagramı

Pareto diyagramı, içerisinde hem problemlerin kök nedenlerini hem de her problem için bu problemlerin miktarını içerir. Pareto diyagramının temel prensibi %80 - %20 kuralına dayanır. Buna göre problemlerin kök nedenlerinin etkilerinin %80'i, bu kök nedenlerin toplamının %20'sinden kaynaklanır. Bu yaklaşımın katkısı, en önemli kök sebepleri bulup ayırt etmek üzerinedir. 80-20 kuralı olarak da bilinen Pareto mantığı, öncelikle ekonomi alanında kullanılmaya başlanmış, ardından da çeşitli alanlara yayılmıştır. Kısaca, ortadaki problem bir malın kullanılmayacak haline gelmesi ise, bu malın kullanılmayacak hale gelmesinde ki toplam sayının %80'i, toplam kök sebeplerin %20'sine denk gelmektedir (Larson, 2003).

Hata adeti üzerinden Pareto Diyagramı örneği Tablo 2.8'de belirtilmiştir. Buna göre bir fabrikanın üretim prosesinde gerçekleşen bir problem nedeniyle çeşitli kategoride hatalar belirlenmiş ve bu adetler belirtilmiştir. Buna istinaden paslanma hatasının en fazla görüldüğü, en az da darbe hatalarına rastlandığı saptanmıştır. Bu veriler doğrultusunda ikinci aşama olan yüzde hesaplamaya geçilmiştir.

Tablo 2.8: Hata türü ve Adetleri.

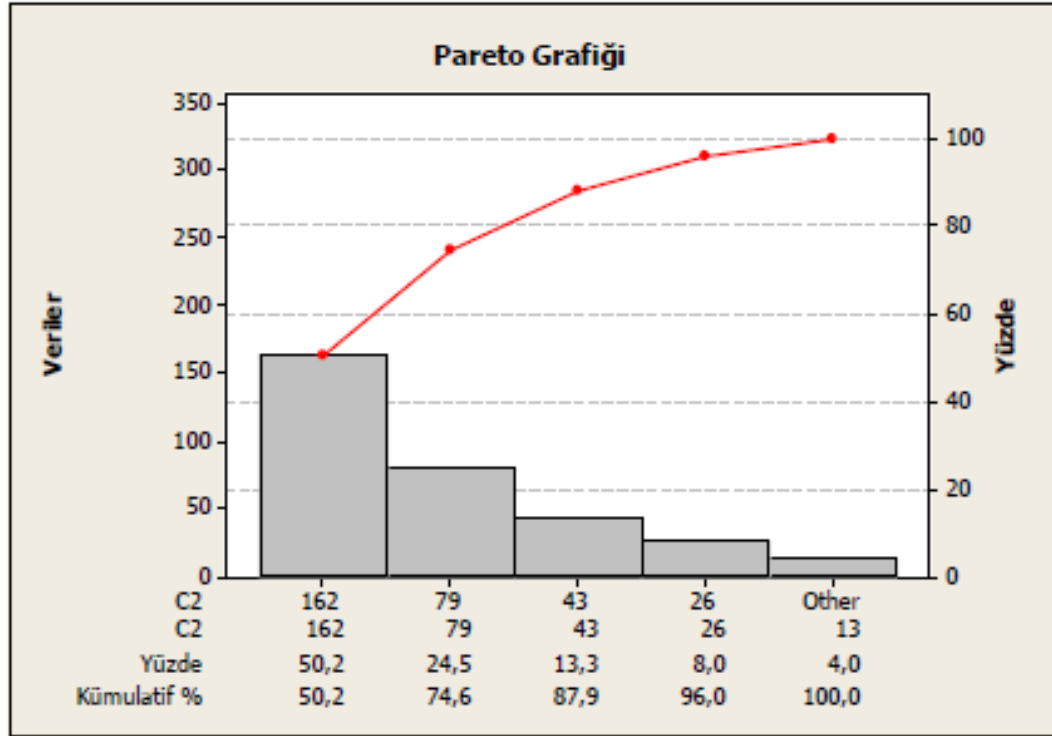
Hata Türü	Adet
Operasyon eksikliği	43
Paslanma	162
Ölçüm	26
Darbe	13
Çapak bırakma	79

Tablo 2.8'de ki verilerden yola çıkarak, Tablo 2.9'da ise toplam hatalar içerisindeki hata yüzdeleri belirlenerek en çok hangi kök sebebin etkili olduğundan başlanıp sıralama gerçekleştirilmiştir. Buna istinaden diyagramının çizilebilmesi için ilk hata türünden son hata türüne kadar oranlar belirlenmiş ve 80-20 prensibinin kullanılması için gerekli hazırlıklar tamamlanmıştır. Bir hata türünün adeti, toplam tüm hata türlerinin adetine bölünerek hata oranı belirlenmiştir.

Tablo 2.9: Hata Türlerinin Adetlere Bağlı Yüzdeleri.

Hata Türü	Adet	Oran Yüzdesi
Paslanma	162	0.50
Çapak Bırakma	79	0.24
Operasyon Eksiği	43	0.13
Ölçüm	26	0.08
Darbe	13	0.04
Toplam Hata	322	100

Elde edilen veriler doğrultusunda, kümülatif toplam mantığı uygulanarak, etkilerin %80 yüzdesini yakalamaya çalışarak hataların %20'sinden kaynaklandığı ve bu durumda Şekil 2.10'da Pareto Diyagramı'ndan da görülecek üzere paslanma, çapak bırakma ve operasyon eksikliği hata türleri %80 etkiyi yaratmaktadır ve bu 3 neden çözülebilirse en verimli iyileştirme sonuçları alınacaktır.



Şekil 2.10: Analizler Sonucu Pareto Diyagramı.

Pareto diyagramı örneğinden de anlaşılacak üzere, bu diyagram yöntemini kullanmanın en büyük çıktısı, hata türlerinden bazılarını eleyerek nokta atış yapılmasına olanak sağlamasıdır.

2.4.6. Ölçüm Sistemi Analiz (Gage R&R)

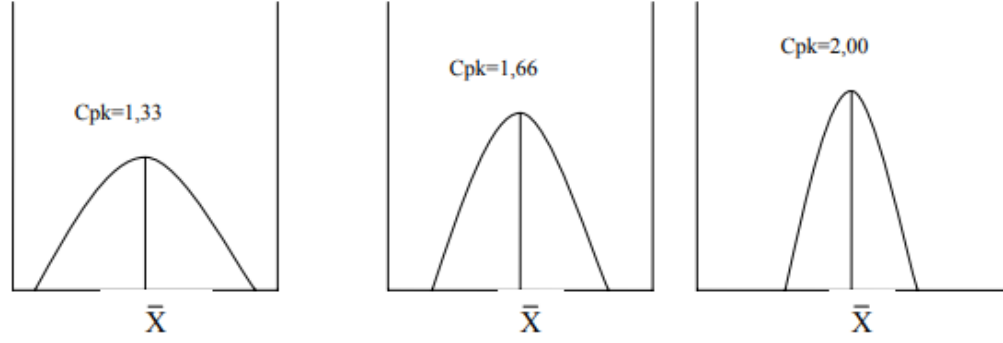
İşletmeler üretim bandından çıkardığı ürünün ölçümlerinin güvenilir olmasını sağlamakla mükelleftir. Bu doğruluğu sağlamak adına çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Eğer problemin kök sebebi ölçüsel bir hata ise, ölçüm sistemleri analizinin en büyük amacı bu kök sebebi ortadan kaldırmaktır. Aynı zamanda Gage R&R olarak da tabir edilen bu analiz, ölçümün anlamı olan gage, ilk R harfi için Reproducibility yani yeniden üretilebilirlik ve ikinci R harfi için Repeatability yani tekrarlanabilirlik prensiplerinden oluşur (Pande and Holp, 2002).

Tekrarlanabilirlik; kullanılan ölçüm makinasının kararlılığını belirler. Bir ürünün, yalnızca aynı ürün üzerinde tek bir makina kullanılarak bir kaç defa ölçüm yapması ve bunu bir operatörün yapması beklenir. Bunun sonucunda çıkan değişken değerler ile tekrarlanabilirlik belirlenir.

Yeniden üretilebilirlik ise, operator değişkenliğinin girdi olarak kullanıldığı değerdir. Tek bir ürünün ölçümü alınırken aynı ölçüm makinaları kullanılmalı fakat farklı operatörler tarafından gerçekleştirilmelidir. Buradaki çıktı operatörlerin alacağı sonuçlar arasındaki farkın hesaplanması yolu ile elde edilecektir.

Yapılan bu üretilebilirlik ve tekrarlanabilirlik prosesleri ile Gage R&R değerleri belirlenir. Bu değer, ölçüm sisteminden gelen değişkenlikler toplamının, toplam değişkenliğe bölünmesi ile ortaya çıkar ve bu değer en fazla %30 olması beklenmektedir. Burada ki en önemli değişkenlik proses yetenek katsayılarıdır. Bunlar Cp ve Cpk olarak tanımlanmıştır. Cp, proses yetenek katsayısı anlamına gelmektedir ve prosesin dağılımı ile ilgili bilgi verir. Cp, Spek limit aralığının kontrol limit aralığına bölünmesi ile bulunur ve bu değer minimum 1.33 olması gerekmektedir. Cpk ise, proses yetenek katsayısı olup, Cp'den farkı hem proses dağılımını hem de prosesin meydana getirilişi ile ilgili bilgi vermektedir. Bazı proseslerin dağılımı simetrik olarak ortaya çıkmaz ve limitlere daha yakın çalışır. Eğer minimum veya maksimum toleransa yakın bir

ölçüm sonucu istenmiyor ise, Cpk'ya bakılıp karar verilir. Bu değerin de minimum 1.33 olması beklenir. Çeşitli Cpk değerleri için örnek dağılım grafikleri Şekil 2.11'de belirtilmiştir.



Şekil 2.11: Çeşitli Cpk Değerlerine Ait Örnek Grafikler.

2.4.7. Deney Tasarımı (DoE)

DoE, yani Design of Experiment anlamına gelmektedir. Deney tasarımının çeşitli basamakları vardır. Bunlar planlama, tasarlama ve analiz olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Buna bağlı olarak deney tasarımları üç farklı prensibe sahiptir. Bunlar da bloklaşma, rastgele seçme ve tekrarlama olarak adlandırılır (Antony, 2003).

Bloklaşma; deney tasarımının daha verimli hale getirmek üzere kullanılan prensiptir. P diyagramında bahsedilen gürültü nedenlerine bağlı fakat konu dışında kalan girdilerin etkilerini azaltmak veya tümünden yok etmek amacı ile kullanılır. Örneğin; bir işletmenin çıkardığı üründe dayanım arttırmaya yönelik bir çalışma var ve çıkardığı ürünün iki seviyesi ve buna bağlı dört faktör olursa, ilgili çalışan tarafından sekiz farklı deney testi yapılması gerekmektedir. Fakat zamanlama durumuna bakıldığında bir günde en fazla dört deney testinin gerçekleşmesine imkan var ise, testin gerçekleştireleceği günler ayrı blok olarak seçilmeli, bu sayede verimlilik artırılmalıdır (Antony, 2003).

Rastgele seçme; eğer sistem değişken iste gerçekleştirilmelidir. Statik yürüyen bir proseste buna ihtiyaç yoktur. Ortamın sıcaklığından operator hatasına kadar her türlü

durumu kontrol altına alabilmek adına değişken proseslerde rastgele seçim yöntemi uygulanmalıdır.

Tekrarlama; gerçekleştirilecek testlerin bir sıraya bağlı kalınmadan yapılması anlamına gelir. Bunun tam olarak anlamı, deneyin tamamının ya da bir bölümünün daha fazla şart altında yapılmasıdır. Tekrarlamanın en büyük katkısı deneysel bir hata gerçekleşmiş ise bunun tespit edilmesini sağlamaktır (Antony, 2003).

Deney tasarımı süreci adına, eğer proses daha yalın ve girdi sayısı bir veya ikiyi geçmiyor ise, basit testler problem ortaya çıkarmaya yeterli olacaktır. Fakat daha karmaşık süreçlerde deney tasarımı şarttır. İyileştirme sürecinde kullanılan deney tasarımı tekniği, tüm kombinasyonların bir çıktı verdiği süreçtir. Deney tasarımında sırası ile:

- İlgili sorunun tanımı yapılır,
- Çıktı olarak hangi verinin kullanılacağı saptanır,
- Kritik girdiler belirlenir,
- Test yöntemleri belirlenir ve uygulamalar gerçekleştirilir,
- İlgili test sonuçlarının analizleri yapılır ve sonuçlanır.

2.5. Altı Sigma’da TÖAİK Metodolojisi ve Adımları

TÖAİK; Altı Sigma metodolojisine bağlı bir çözüm sürecinin haritasıdır. Ortaya çıkan bir problem veya iyileştirme süreci için plan ve program oluşturur, çeşitli basamaklar içerir ve günümüz firmalarının en çok kullandığı Altı Sigma metodolojisidir.

Tanımlama, ölçme, analiz, iyileştirme ve kontrol basamaklarından oluşan TÖAİK metodolojisi müşteri memnuniyetini sağlamak adına kullanılan global bir tekniktir (Forrest, 1999).

Toplam 5 adet basamağı bulunan TÖAİK metoduna ait basamaklarda temel olarak hangi sorumlulukların yerine getirildiği Tablo 2.10’da belirtilmiştir. Buna istinaden sırası ile uygulanacak olan basamak basitçe şu şekildedir:

- Problem tanımının yapılması,
- İlgili kök sebeplerin ölçümlerinin sağlanması,

- Belirlenen kritik girdilerin analizi,
- Elde edilen çıktılar ile iyileştirme basamağı,
- Yapılan iyileştirme neticesinde kontrol

Tablo 2.10: TÖAİK Basamakları ve Temel İçerikleri.

Tanımlama :	-Ekibin oluşturulması ve problem tanımı -Sürecin planlanmasının yapılması -Projenin kritik karakteristiklerinin saptanması
Ölçme :	-Kritik girdilerin belirlenmesi -Veri toplamak için planlama yapılması
Analiz :	-Değişkenlik kaynaklarının belirlenmesi -Kritik girdilerin analizlerinin gerçekleştirilmesi -Süreç yeterliliği saptanması -Problem kök sebebinin bulunması
İyileştirme :	-Kök sebebin iyileştirilmesi -Kritik girdiler arası ilişkinin belirlenmesi -Birincil çözümün oluşturulması
Kontrol :	-İyileştirilen kök sebebin kontrolünün sağlanması -Süreç yeterliliğinin yeniden belirlenmesi -Projenin tamamlanması

2.5.1. Tanımlama (Define)

Tanımlama adımı TÖAİK metodolojisinin ilk adımıdır. Bu bölümde çözülmesi gereken bir problem veya kalite iyileştirme projesine ait kapsamlar ve projenin amacı belirlenir. Altı Sigma, ilk bölümde bahsedildiği üzere finansal ilkeler üzerine de iyileştirme sunmaktadır, bu bakımdan yapılacak projenin yalnızca kalite iyileştirmesi

olarak bakılmaması ve maliyet azaltmaya yönelik de bir çalışma olması gerekmektedir. Bu sayede toplam kalite yönetiminden ayırım sağlanmalıdır (Pande vd., 2000).

Tanımlama adımının ulaşmak istediği hedefler şu şekildedir:

- İlgili projenin hedeflendirilmesi,
- Zaman planının oluşturulması ve sürecin başlangıç bitişinin sınırlandırılması
- Müşteri tanımının yapılması, buna istinaden gerekenlerin saptanması
- İlgili sistemin veya ürünün detaylı olarak belirtilmesi
- Çözülecek problem veya kalite iyileştirmesinin tanımlanması
- Proje süresince gerekli olan kaynakların temin süreci

Tanımlama adımında kullanılması gereken bazı Altı Sigma araçları şu şekildedir:

- Müşterinin sesi
- Proje formu
- Problem veya ilgili projenin ürün analizi
- Süreç Haritası
- Kırılım ve trend grafikleri
- Ürün dağılım grafikleri

2.5.2. Ölçme (Measurement)

Ölçme adımında, projenin temel amacı problem çözümü veya kalite iyileştirmesi ise bunun sağlamak adına tüm veriler ve bilgiler toplanır ve bu projenin tamamıyla açıklanması sağlanır. Kritik girdilerin belirlenmesi bu adımda gerçekleşmektedir bu bakımdan problemin tanımlanmasının net olması önemlidir. Ölçme adımına ait olan hedefler şu şekildedir:

- İyileştirme çalışması veya ilgili problemin detaylarıyla tanımlanması
- Prosesin mevcut durumu

- Problemin olası kök sebeplerinin net olarak analiz kısmından önce belirlenmesi

Ölçme basamağının en önemli hedefi kritik girdilerin belirlenmesi olduğu için çeşitli Altı Sigma araçları kullanılır. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

- Parametre Diyagramı
- Hata Türü ve Etkileri Analizi
- Balık Kılçığı Diyagramı
- Pareto Diyagramı
- Kıyaslama (Benchmark)
- Süreç yeteneği analizi
- Grafik teknikleri
- Zaman serisi histogramları

Parametre diyagramı ve Hata Türü ve Etkileri Analizi dökümantasyonlarından elde edilen verilen ile bir balık kılçığı diyagramı çizilir. Balık Kılçığı diyagramından problemin kök sebebini etkileyecek nedenler ile bir Pareto diyagramı hazırlanır, bu sıralama ile kritik girdiler belirlenerek ilgili kritik girdilerin analiz kısmına geçilir. Burada ki amaç, saptanan her bir nedenin analizini, ilgili veriler ve testlerle gerçekleştirerek problem kök sebebinin olup olmadığını saptamaktır.

2.5.3. Analiz (Analysis)

Analiz basamağında; ölçme basamağından gelen kritik girdilerin tamamının test edilmesi, kontrol edilmesi sağlanarak her kritik girdinin problemin kök sebebi olup olmadığına bakılır. Eğer kritik girdilerden bir neden problemin kök sebebi ise, ortaya bir hipotez çıkarılır ve iyileştirme adımına geçilir. Analiz kısmında kullanılan bir çok Altı Sigma aracı vardır ve bunlar şu şekildedir:

- Proses kontrol kartları
- Histogramlar
- Frekans dağılımları
- Proses kapabilite hesaplamaları
- Hipotez testleri
- İstatistiksel ve örnekleme analizi
- Serpme Diyagramları

Bu basamakta kullanılan Altı Sigma araçları, sürecin girdisi ve çıktılarını oluşturmak amaçlı parametreleri belirler. Temel olarak analiz basamağı; problemin nedenlerini aramak demektir. Ölçme basamağından gelen tüm kritik girdiler, yukarıda belirtilen araçlar kullanılarak tek tek kontrol edilir ve hatalı görünen maddeler iyileştirme basamağında kullanılmak üzere $y = f(x)$ fonksiyonuna dahil edilir ve böylelikle iyileştirme basamağına geçiş sağlanıp ilgili kritik girdiler ile ilgili aksiyonlara geçilir.

2.5.4. İyileştirme (Improvement)

İyileştirme basamağı; ilgili problem veya kalite iyileştirmesini içeren projeye ait kök sebebin ortadan kalktığı ya da etkilerinin azaltıldığı yerdir. Bu aşamada artık kök sebepler bulunmuş ve ilgili problem veya problemler için iyileştirme aşamasına geçilmiştir. Problemin nedenlerini ortadan kaldırmayı hedefleyen iyileştirme sürecinde alınan aksiyonlar ile beraber ilgili kök neden kontrol aşamasına gönderilir.

İyileştirme aşamasında kullanılan araçlar şu şekildedir:

- Beyin fırtınası
- Deney Tasarımı
- Hipotez Testleri
- T-Test

İyileştirme basamağında kullanılması gereken en önemli araç deney tasarımıdır. İlgili fonksiyon ve bloklamanın iyi bir şekilde programlanması, deney tasarımı sonucunda çıkacak kök sebep iyileştirmesini etkileyecektir (Janov, 1994).

2.5.5. Kontrol (Control)

Kontrol basamağında; iyileştirme adımından gelecek çıktıyı kontrol altına almak ve seri üretimde hatanın önüne geçmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılır. Ortaya çıkan know-how'ı korumak bu basamağın en önemli hedeflerinden biridir. İlgili proje ekibi, iyileştirilmiş olan prosesi süreç başındakilere devir eder.

Kontrol basamağının üç temel başlıkta çıktısı bulunmaktadır, bunlar şu şekildedir:

- İyileştirme basamağı sonucunda meydana gelen tavsiyeler
- İyileştirme basamağı sonucunda ortaya çıkan know-how
- Tüm kritik girdilerin son durumu

Kontrol basamağında kullanılan bazı araçlar şu şekildedir:

- T-Test
- Proses standartizasyonu
- Proses Kontrol Kartı
- Proses Kontrol Planı
- Standart sapma hesaplamaları

3. HAFİF TİCARİ ARAÇLAR ÜZERİNE BİR ALTI SİGMA UYGULAMASI

İlgili uygulama; Türkiye'nin en büyük otomotiv ihracatçısı ve otomotiv Ar-ge tesisine sahip, toplamda 2 farklı şehirde 3 fabrikası bulunan ve 10.000'den fazla çalışanıyla alanında lider olan firmanın 2020'nin ilk çeyreğinde devreye aldığı yeni model orta sınıf ticari araç üzerinde çıkan ve araç satışını engelleyen bir titreşim ve gürültü probleminin DMAIC metodu ile çözümü üzerine yapılmıştır.

İlgili firmanın kullandığı global ürün geliştirme takvimine göre ortalama dört yıllık bir zaman diliminde yeni bir araç devreye alınabilmektedir. Bu takvimin son dört ayı tamamen fabrikada seri üretime devreye alma proseslerini içermektedir ve aracın üretildiği tüm parçalar seri imalattan çıkmaktadır, prototip her hangi bir parça veya proses kullanılmamaktadır.

Bu son 4 ay içerisinde ilgili orta sınıf ticari araç devreye alınırken, 70 km/h hızında yüksek seviyede gürültü ve titreşim problem hissedilmiştir. Bu problem araç satışından hemen önce ve tam seri imalat devreye alınırken yaşandığı için problemin kök sebebinin hemen bulunması ve çözülmesi gerekli görülmüştür. Kök sebep bulunması yalnızca ham dataların düz bir şekilde toplanması ile gerçekleşmemiş ve bu nedenle gözden kaçan sebepleri daha açık görebilmek, hızlı şekilde müdahale edebilmek adına Altı Sigma araçlarına başvurulmuştur.

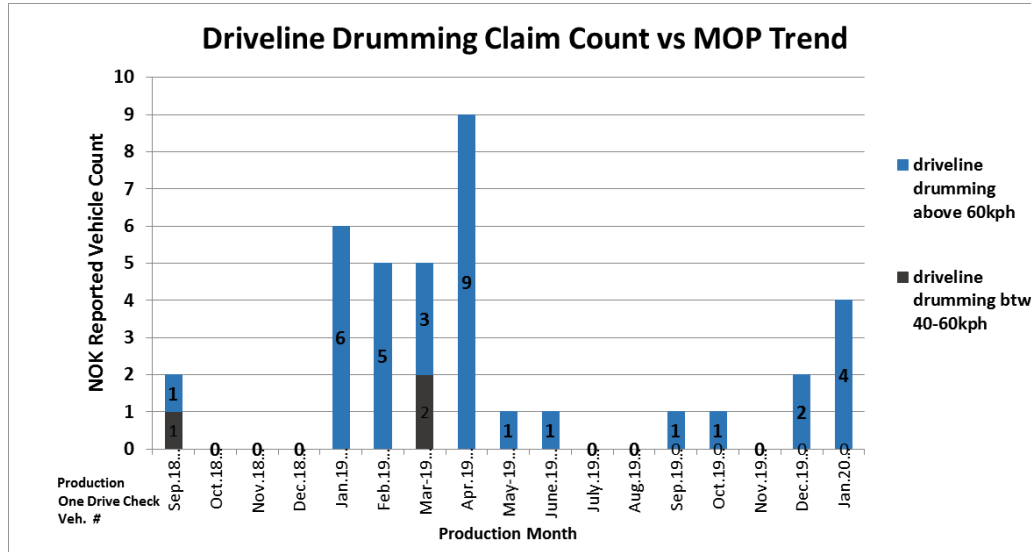
Hafif ve orta sınıf ticari araçların geliştirilmesinde, binek araçların geliştirilmesinden daha farklı stratejiler izlenmektedir. Ticari araçlarda maliyet azaltma projeleri daha etkin olduğu için konfor anlamında binek araçlardan daha geride kalabilmektedir çünkü ticari araçlar için konfor maddesi önceliklendirilmemiştir. Bu bakımdan yol üzerinden akacak gürültü ve titreşimlere karşı ticari araçlar çok hassastır. Müşteri hassasiyeti de düşünüldüğünde, hem maliyet azaltmanın hem de gürültü ve titreşim seviyesinin hedefin altında kalmasının istenmesi, hafif ve orta sınıf ticari araçlarının motor aktarma sistemlerini tasarlarken zorlamaktadır.

İlgili aracın yalnızca VAN ve BUS modellerinde meydana gelen bu titreşim ve gürültü probleminin DMAIC metodolojisi ile kök nedeni bulunacak ve ilgili kontrol aşamasında problemin tekrar oluşmaması için ilgili testler ile desteklenecektir.

3.1 Tanımlama (Define)

Belirtilen orta sınıf ticari araç devreye alma çalışmalarının son bölüm fazlarında, araçlar 70-75 km/h hızlarında seyir halinde iken hissedilebilir şekilde davul sesine benzeyen bir gürültü ve direksiyon titreşimine rastlanılmıştır. Bu tarz problemler genel olarak birincil harmonik hareket hataları olarak adlandırılmaktadır ve sıradaki bölümde bu teknik terim açıklanacaktır.

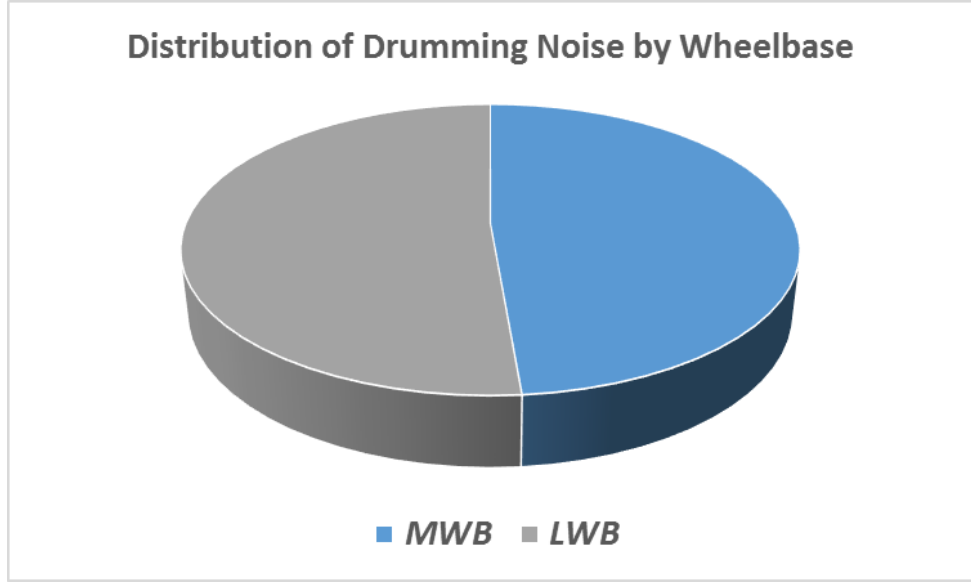
Şekil 3.1’de bu hatanın görüldüğü kırılımlar verilmiştir. İlgili hata modu yalnızca devreye alınan araçlarda değil, bir önce ki yıl seri imalatda da benzer hatalara rastlanılmıştır. Genel olarak bakıldığında 60 km/h ve üzeri görülen hatalar tüm aylarda daha fazladır.



Şekil 3.1: Üretim Bazlı Hata Tekrar Adetleri.

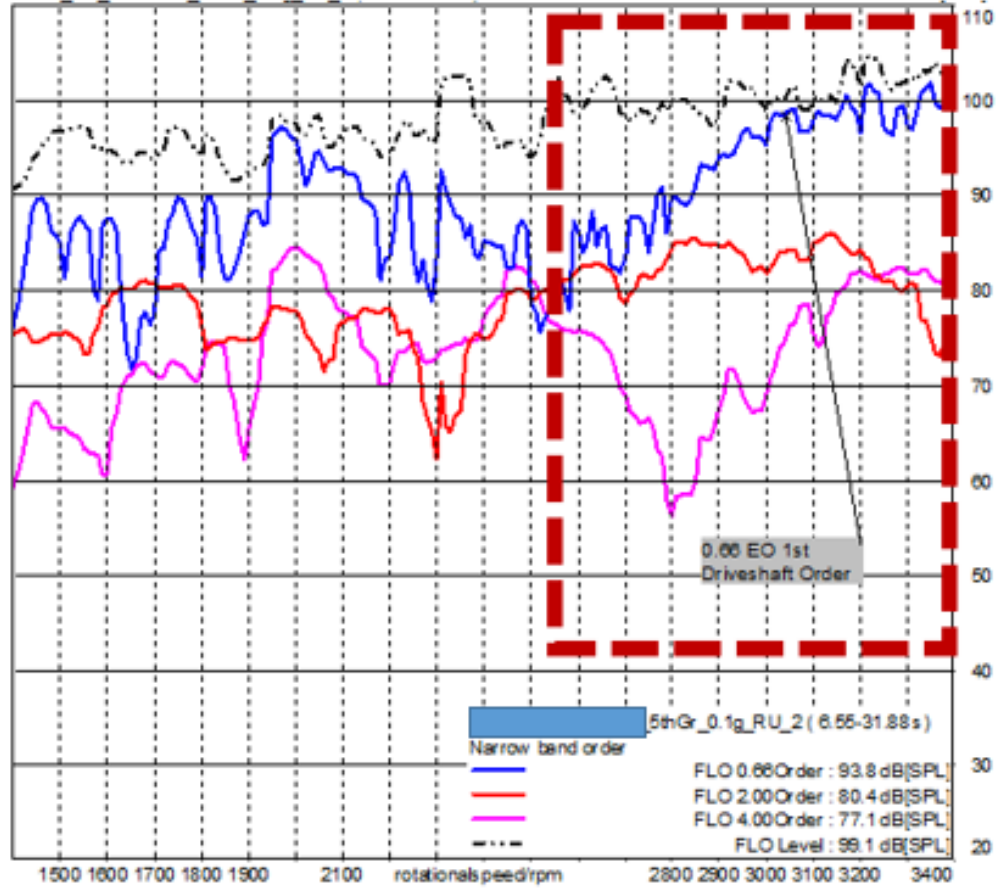
Şekil 3.2’de ise bu kırılımın araç dingil mesafesine bazlı pasta dilimi grafiği verilmiştir. MWB olarak belirtilen orta dingil mesafeli, LWB olarak belirtilen ise daha

uzun dingil mesafeli araç anlamına gelmektedir. Dingil mesafesinin anlamı ön ve arka teker merkezleri arasındaki mesafe anlamına gelmekte olup, araçların boyları buna göre tanımlanmaktadır. Bu pasta dilimi grafiğine istinaden, dingil mesafesinin ses probleminin kök bir sebebi olmadığı görülmektedir, çünkü her iki araç özelliğinde de ses ve gürültü problemi alınmaktadır.



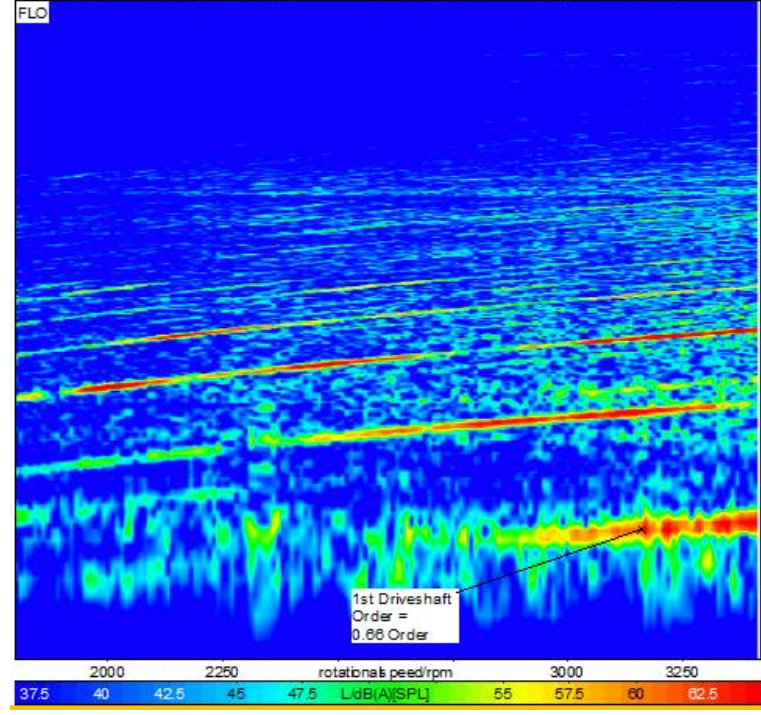
Şekil 3.2: Araç Uzunluğuna Göre Kırılım.

Tanımlama kısmının girişinde belirtildiği üzere motor aktarma organlarının birincil harmonik hareket etkisi ile bu gürültü ve titreşim problemi ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.3’de problemin temel nedenini gösterecek grafik belirtilmiştir. Buna istinaden ikinci motor harmoniği yani kırmızı ile belirtilen çizgi motorun patlama anındaki kulak hizasında duyulan gürültü belirtilmiştir. Buna karşılık mavi çizgi ile belirtilen de motor aktarma organının birinci harmonik hareketinin gürültü seviyesini göstermiştir. Grafiği yorumladığımızda, motor aktarma organından gelen sesin, motorun patlama anındaki sestten çok daha fazla olduğu saptanmış, buna istinaden istenmeyen gürültü ve titreşimin nedeninin motor aktarma organlarının birincil harmonik hareketinden geldiği saptanmıştır. 0.66 rakamı, motorun ikinci harmonik hareketi 2.00’ın 5. vites dişli oranına bölünmesiyle ortaya çıkar. Hesaplanan değer, ölçülen değer ile aynı olduğu için sorunun aktarma organlarının birinci harmonik hareketinden kaynaklandığı ispatlanmıştır.



Şekil 3.3: Harmonik Hareket Bazlı İç Gürültü Grafiği.

Bu grafiği renk haritası görünümü Şekil 3.4’de verilmiştir. Buna istinaden aracın çalıştığı 2500 motor devrinden sonra, 0.66. harmonik harekette yani aktarma organlarının birincil harmonik hareketinde desibelin fazlalaştığı ve giderek arttığı gözlemlenmiştir.



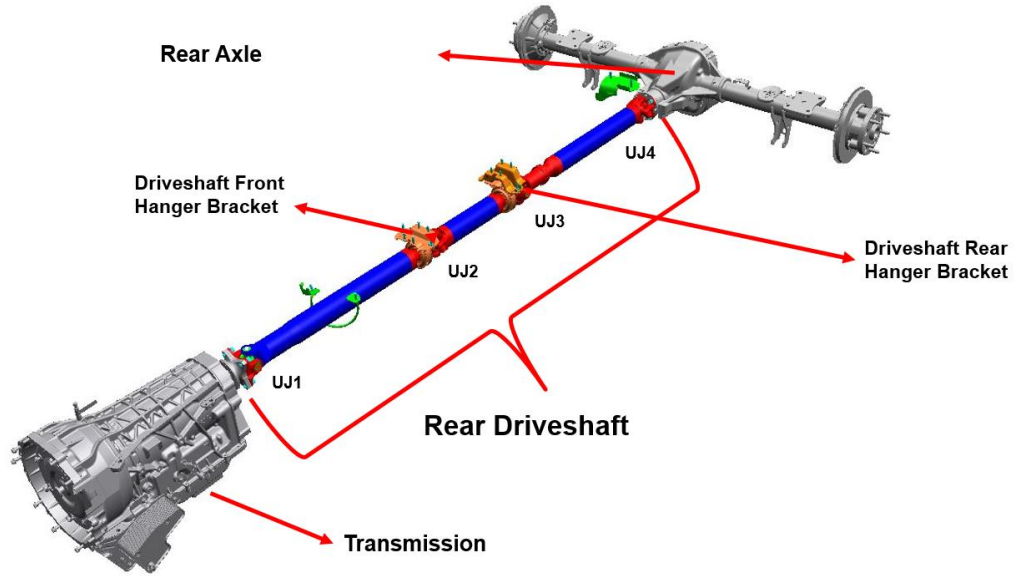
Şekil 3.4: Harmonik Hareketin Renk Haritasında Gösterimi.

3.1.1 Arkadan İtişli Aktarma Sistemleri ve Birincil Harmonik Hareket

Otomotiv endüstrisinde araçlar dizayn aşamasında çekiş sistemine göre temel olarak iki farklı şekilde dizayn edilmektedir. Bunlar basit olarak önden çekişli veya arkadan itişli olmak üzere ikiye ayrılır ve bunların alt kategorileri de vardır. Örneğin sürekli hem ön ve arkadan tahrikli ya da yeni nesil dört adet elektrikli motor ile tüm tekerleklerden tahrik gibi. Fakat temel olarak ön ve arka tahrikli sistemler olarak ikiye ayrılır. Bu uygulamadaki araç arkadan itişli yani arkadan tahrikli mekanizmaya sahiptir. Genel olarak ticari araçlar ağır yük taşıdığı için arkadan itişli olarak tercih edilmektedir. İlgili aracın aktarma organları görünümü Şekil 3.5’de belirtilmiştir. Titreşim ve gürültüye neden olan parça aktarma organı olan kardan mili yani şafttır (rear driveshaft).

Şaft sistemleri Şekil 3.5’de görüldüğü üzere iki farklı askı yeri ile aracın alt gövdesine asılır. UJ olarak isimlendirilen parça istavrozdur ve aracın şanzımanından arka aksına kadar uzanan şaft sisteminin açılarını verip, tork transferini komple sistem olarak

aracın önünden arkasına iletmeyi sağlar. Şaft açılarının tasarımı, hem istavroz rulmanlarının ömrü hem de araçtaki gürültü ve ses problemlerinin etkisini azaltmak için çok önemlidir. Şaft, hem şanzımana hem de arka aksa bir flanş yardımıyla bağlanır ve bu flanşlar sıkı geçme özelliğe sahiptir ve dört adet civata ile bu flanşlar arası bağlantı tamamlanır. Sıkı geçme bölümü orta pilot noktasındadır ve sıradaki bölümlerde ilgili kontroller sağlanırken detaylı bilgi verilecektir.

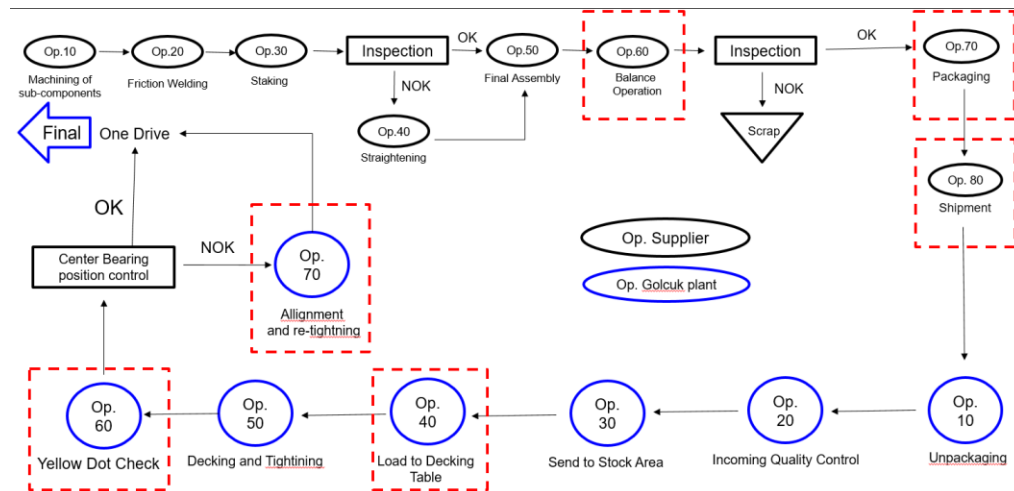


Şekil 3.5: Arkadan Tahrikli Araç Sistemleri Gösterimi.

Birincil motor aktarma organları harmonik hareketi; kardan mili yani şaftın bir tam turu dönüşü anlamına gelmektedir. Önceki bölümde tabir edildiği üzere, ikincil motor harmonik hareketinin anlamı motor patlama anı, yani şaftın ilk dönüşü anlamına gelmektedir. İlgili vites dişli oranı 1.00 olduğu vites sayısında grafikte bu harmonik hareketi 1.00’da görecektik, fakat titreşim ve gürültü problemi 5. Viteste gerçekleştiği için, motorun ikincil harmonik hareketinin ilgili dişli oranına bölünmesiyle şaftın hareketinin harmoniği ortaya çıkmıştır ve bu da 0.66 olarak hesaplanıp, grafikler ile örtüşmüştür.

3.1.2 Kardan Mili Üretim ve Montaj Prosesi

Kardan mili üretim prosesi bir çok mekanik operasyonu içermektedir. Proses diyagramı Şekil 3.6’da belirtilmiştir. Kardan mili alt parçaları üretiminden sonraki birleştirme kısmını içeren proses diyagramına göre OP.20 sürtünme kaynağı operasyonu ile kardan mili birleştirme prosesine başlanır. Daha sonrasında istavrozların montajına (staking) devam edilir ve balans operasyonundan önce son kontroller sağlanır.

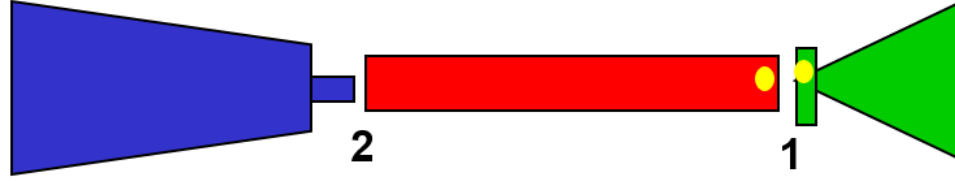


Şekil 3.6: Kardan Mili Üretim ve Montaj Proses Diyagramı.

Kardan mili balans operasyonundan çıktıktan sonra paketleme operasyonu gerçekleşir ve ardından sevkiyat araç fabrikasına sağlanır. Buradan sonra araç fabrikasına gelen parça paketlerinden veya sandığından açılıp giriş kalite kontrole teslim edilir ve burada parçanın fiziksel kontrolleri gerçekleştirilip stok sahasına temini sağlanır. Araç montaj sırası geldiğinde ise ilgili kardan mili Op.40'da görüldüğü üzere montaj sehпасına yerleştirilir ve aracın altından yükseltilerek iki adet askının civataları ve şanzıman ile arka aks bağlantı civataları sıkılarak montaj gerçekleşir.

Kardan milinin araca montaj operasyonundan sonra montaj doğruluğunu sağlayabilmek adına bir kaç kontrol vardır. Bunlardan ilki Op.60'da belirtilen sarı nokta kontrolüdür. Sarı nokta, Şekil 3.7'de belirtildiği üzere kardan milinin arka aks bağlantı flanşına ve arka aksın kendi flanşına konan bir işaretir. Bu işaretin saft için anlamı, o

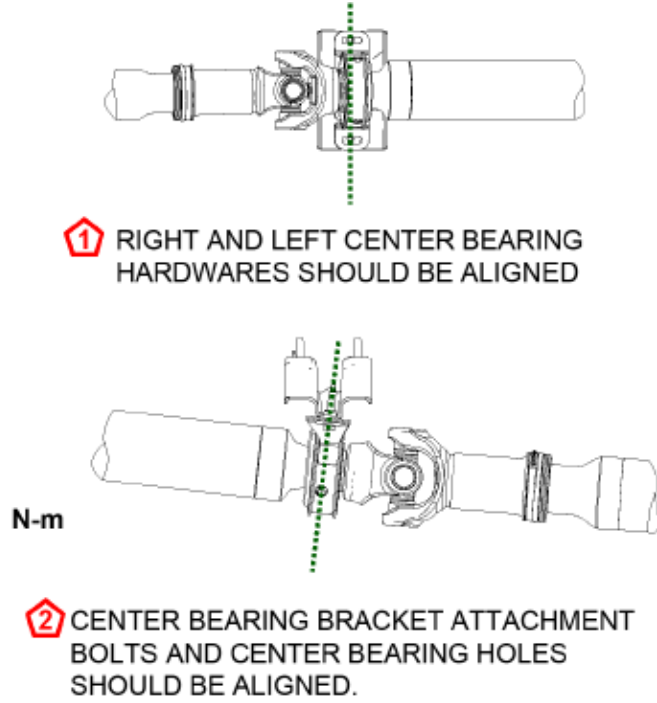
noktanın minimum balanssızlık noktasına sahip olduğudur, aks için anlamı ise maksimum balansının olduğu noktadır. Bu iki nokta bir biri ile eşlendiği zaman iki sistemin minimum ve maksimum olması, olası balans çatışmasının önüne geçerek ortalama bir değer elde edip aracın gürültülü veya titreşimli olmamasını sağlamaktadır. Potansiyel gürültü sebeplerinden bazıları, bu noktaları eşlemeden montajın gerçekleşmesi olabilmektedir.



Şekil 3.7: Kardan Mili ve Arka Aks Sarı Nokta Gösterimi.

Bir diğer kontrol ise kardan milinin asıldığı iki adet askının ayarının düzgün yapılp yapılmadığı kontrolüdür. Op.70 ile bu askıların ayarı, Şekil 3.8’de belirtildiği gibi yapılmalıdır. Buna istinaten parçanın ilgili eksenlere paralel olarak montaj yapılması gerekmektedir. Askı parçasının içi kauçuk malzemeden yapıldığı için, eksenden kaçıklık gerçekleştiği zaman, araçta titreşim ve gürültüye sebebiyet verme olasılığı vardır, bu bakımdan montaj prosesine göre sarı nokta ve askı kontrolleri titreşim ve gürültü problemlerinin direkt önüne geçmektedir.

En son operasyon ile araçlar belirli bir frekans ile tek sürüş testine götürülür. İlgili test sürüşlerinde problem tespit edilirse, hangi sistemde problem var ise genel bir tarama gerçekleştirilir ve ilgili iyileştirmeler gerçekleştirilir. Bu problemde, orta ve uzun dingil mesafeli tüm otomatik şanzıman araçlar tek sürüş testine gönderilmiştir, frekanstan bağımsız olarak 1/1 kontrol gerçekleşmiş ve buna istinaden tüm araçlarda problem olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.8: Kardan Mili Askı Ayarı Gösterimi.

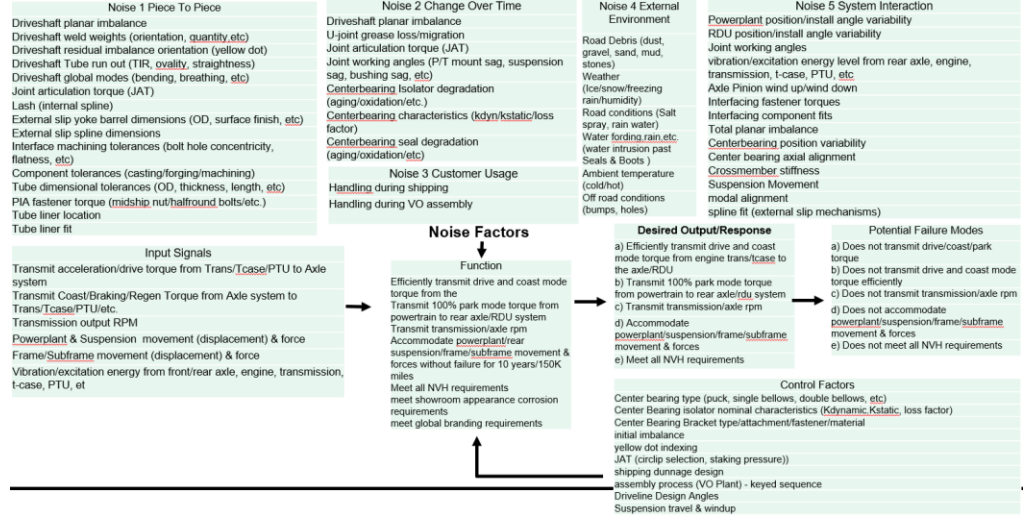
3.2 Ölçme (Measure)

Önceki bölümde bölüm içerikleri bahsedildiği üzere bu bölümde kritik girdiler belirlenecek ve kritik girdilerin belirlenebilmesi için ilgili altı sigma araçları kullanılacaktır. Buradaki kritik girdiler, bir sonraki bölüm olan analiz kısmında kullanılıp, ilgili kontrol ve testler gerçekleştirilip problemin kök sebebi bulunmaya çalışılacaktır.

3.2.1 Kardan Mili Parametre Diyagramı (P-Diagram)

Kardan mili parametre diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Buna istinaden gürültü ve titreşim problemini tetikleyecek beş farklı gürültü girdisi kategorisi mevcuttur. Bunlar parça parça, zamanla değişebilir girdiler, çevresel şartlar, diğer sistemlerle ilişki ve müşteri kullanımı olarak ayrılmıştır. Bu kategorilerin altındaki her sebep potansiyel bir gürültü ve titreşim problemine sebep verme ihtimaline sahiptir. İleriki bölümlerde Altı

Sigma'ya ait diğer araçlar ile buradaki girdiler indirgenip analiz ve test için belirlenecek girdiler belirlenecektir.



Şekil 3.9: Kardan Mili Parametre Diyagramı.

3.2.2 Hata Modu ve Türleri Analizi (DFMEA)

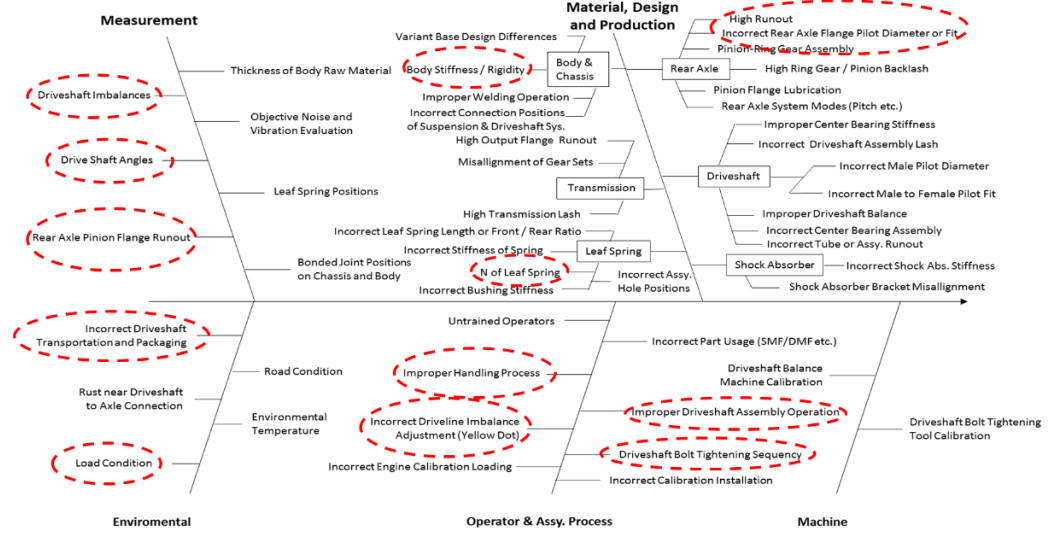
Kritik girdileri balık kılçığı diyagramına oturtmadan önce, parametre diyagramı ve hata türü modu ve türleri analizinin vereceği çıktılar önemlidir. Önceki bölümde parametre diyagramındaki gürültü girdileri belirtilmiştir. Tablo 3.1’de kardan miline bağlı gürültü ve titreşim problemlerine ait hata modu ve türleri belirtilmiştir. Potansiyel hata modu olarak ilk sütunda, herhangi bir gürültü, titreşim, rahatsızlık hissetmeden tork transferinin gerçekleşmemesi şeklinde belirtilmiştir. Buna bağlı olarak da potansiyel etki olarak müşteri memnuniyetsizliği ve diğer sistemlere verebileceği zarar tanımlanmıştır. Potansiyel olarak kök sebepler ise listelenmiştir. Bunların içerisinde sıkı geçme flanş çapından montaj askı ayarına kadar bir çok madde bulunmaktadır.

Tablo 3.1: Kardan Mili Gürültü ve Titreşimi Etkileyen DFMEA Maddeleri.

Potential Failure Modes	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Potential Cause / Mechanism of Failure	Occ	Current Design Controls		Det	R.P.N.
					Prevention	Detection		
Does not transmit drive/coast torque and speed without objectionable noise/vibration/harshness - Center bearing (bearing, isolator, P/A bracket) Failure	Customer dissatisfaction Damage to interfacing components	5	centerbearing degradation/failure over time due to incorrect vehicle assembly process specified (resulting in isolator preload)	3	Assembly illustration keyed sequence	Illustration – DPA5, prototype s/o, Vhc. durability	8	120
			incorrect yellow dot tolerance requirement specified	2	Design rule	VERDI analysis, Vhc. NVH test, assembly CETP	2	20
			incorrect male pilot diameter specified	2	Diameter spec. on print	Dimensional s/o	2	20
			incorrect male pilot diameter tolerance specified	2	Diameter spec. on print	Dimensional s/o	2	20
			incorrect male to female pilot fit specified	2	Design rule	Interface stack-up, prototype builds, dimensional s/o	2	20
			incorrect pilot engagement specified	3	Design rule	Interface stack-up, prototype builds, dimensional s/o	2	30
			incorrect pilot depth specified	3	Design Rule, depth spec. on print	Interface stack-up, prototype builds, dimensional s/o	2	30
			incorrect assembly/service process/sequence specified (resulting in interface misalignment)	5	Assembly illustrations	DPA5 checks, prototype builds	5	125
			incorrect handling process specified	5	Design requirements	Assembly CETP	5	125
			balance change due to damage from incorrectly specified shipping/handling/assembly processes (i.e. dented tube, etc.)	4	Design requirements, handling spec.	Handling spec review, assembly CETP	5	100
			incorrect planar imbalance magnitudes specified	2	Design rules, Design requirements, balance spec. on print	VERDI analysis, Propshaft NVH Vhc. Test, balance s/o data	3	30
			incorrect tube/assembly runout specified	1	Design requirements, runout spec. on print	Runout s/o data, runout measurement CETP	1	5
			incorrect yellow dot requirement specified	2	Design requirements, yellow dot define on print	VERDI analysis, assembly CETP	1	10

3.2.3 Balık Kılçığı Diyagramı ile Kritik Girdi Seçimi

Parametre diyagramı, hata modu ve türleri analizi ve ilgili sistem know-howları katkısı ile Şekil 3.10'da problemin kök sebepleri olabilecek maddeler ile balık kılçığı diyagramı oluşturulmuştur. Problemin kök sebeplerine bağlı kategoriler beşe ayrılmıştır. Bunlar ölçüm, malzeme dizayn ve üretim, çevresel nedenler, operatör veya montaj hataları ve makine hataları olmak üzere ayrılmıştır.



Şekil 3.10: Balık Kılçığı Diyagramı.

Balık kılçığı diyagramına göre; ölçüm kısmından kardan mili balanssızlığı, kardan mili montaj açıları ve arka aks salgı değeri seçilmiştir. Malzeme, dizayn ve üretim altındaki maddelerden ise dış gövde katılığı ve rijitliği ve arka süspansiyon makas sayısı ve arka aks flanşı sıkı geçme çap ölçümü seçilmiştir. Çevresel şartlar için ise araç ağırlığı durumu ve montaj prosesleri seçilmiştir. Operatör ve montaj kısmı için ise kardan milinin yine hatalı montajlanması, sarı noktaya bakılmaması, civataların hatalı sıkımı gibi prosesler geçilmiştir. Makina anlamında bir madde seçilmemiş ve balans sonuçları için ölçüm kategorisinde seçim gerçekleştirilmiştir. Buradaki girdiler ile oluşturularak Pareto diyagramı neticesinde kritik girdiler belirlenip, analiz kısmında tüm çalışmalar gerçekleştirilecektir.

3.2.4 Pareto Diyagramı Oluşturulması

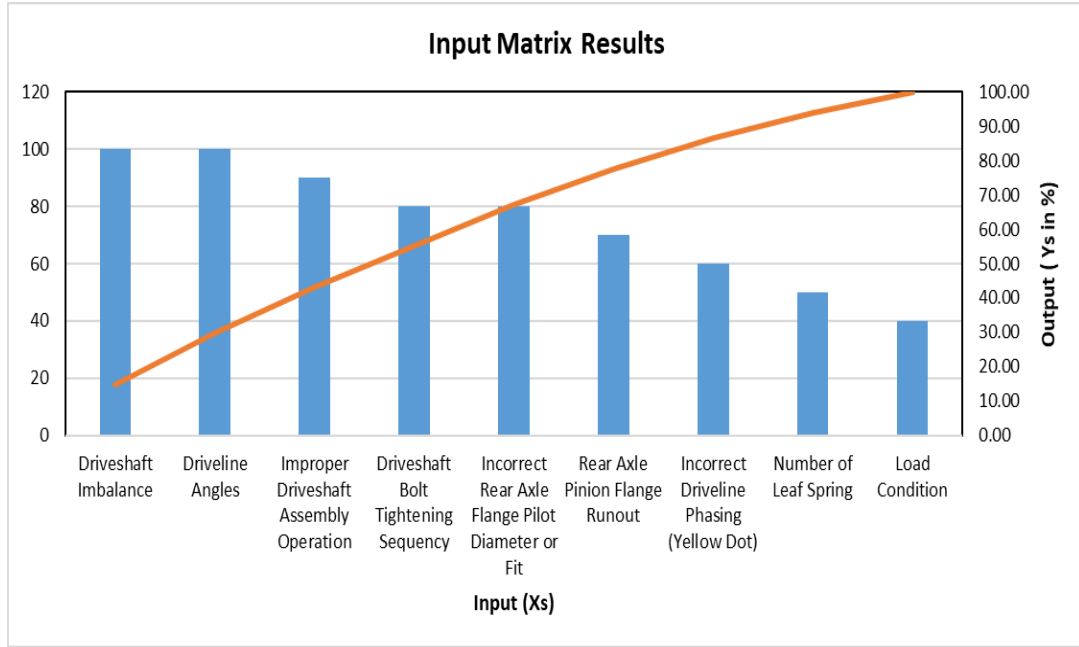
Hem motor aktarma sistemleri know how'u, hem DFMEA çıktıları ve parametre diyagramı gürültü girdileri ile oluşturulan balık kılçığı diyagramından seçilen kritik girdiler önceli bölümde belirtilmiştir. Bu kritik girdilerin hangilerinin daha etkili olduğu ve hangi müdahaleler gerçekleştiğinde bu titreşim ve gürültü problemlerinin azabileceğine yönelik bir Pareto diyagramı oluşturulmuştur. Tablo 3.11'de Pareto tablosu oluşturulmuş

ve kritik girdiler sol tarafta belirtilmiştir. Sağ tarafta ise gürültü problemine etki ağırlığı, ve buna bağlı olarak ağırlığı hesaplanmıştır.

Tablo 3.2: Pareto Tablosu.

		Output Variables (Ys)	Description	1
				Drumming Noise
Input Variables (Xs)			Weight	10
		Rankir 		
1	Driveshaft Imbalance			
2	Driveline Angles			
3	Improper Driveshaft Assembly Operation			
4	Driveshaft Bolt Tightening Sequency			
5	Incorrect Rear Axle Flange Pilot Diameter or Fit			
6	Rear Axle Pinion Flange Runout			
7	Incorrect Driveline Phasing (Yellow Dot)			
8	Number of Leaf Spring			
9	Load Condition			

9 farklı girdi ile Pareto diyagramının çizimine hazırlık yapılmıştır. En yüksek etkisi olabilecek etkiler numaralandırılmış ve ağırlık puanları hesaplanarak Pareto diyagramı Şekil 3.12’de belirtilmiştir. Kümülatif toplam ile %80 - %20 mantığı oluşturulmuş ve analiz kısmında kullanılacak kritik girdiler belirlenmiştir. Belirlenen 6 kritik girdi ile problemin %80’ine etki edeceği düşünülerek analiz ve iyileştirme kısmındaki tüm test ve deneyler bu kritik girdileri çözmek veya araştırmak için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11: Pareto Diyagramı.

Pareto diyagramından çıkan sonuca göre kümülatif toplamın %80'i bulunduğu 6 kritik girdi altta sıralanmıştır, buna istinaden analiz kısmında olası tüm muhtemel kök sebeplere bakılıp ilgili maddelerin görülen titreşim ve gürültü problemine sebep olup olmadığına bakılıp, bu problemlerin iyileştirilmesi ve kontrolü sıradaki basamaklarda sağlanacaktır:

- Kardan mili balanssızlığı
- Kardan mili açıları
- Kardan mili montaj operasyon hataları
 - Arka aks bağlantı civataları sıkım sırası
 - Kardan mili askı montaj hatası
- Arka aks flanşı sıkı geçme çapı
- Arka aks flanşı salgı değeri

Analiz kısmı, kardan mili balans değerlerinin üretim kartından yapılan kontrollerle başlayıp, daha sonra dizayn olarak çıkabilecek hatalar değerlendirilip, en sonunda da arka aks üretim hataları ele alındıktan sonra analiz kısmı son bulacaktır.

3.3 Analiz (Analysis)

3.3.1 Kardan Mili Balanssızlığı

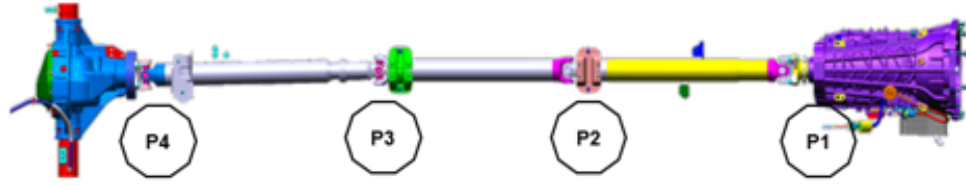
Kardan milinin üretim prosesi diyagramında belirtildiği üzere şaft üzerinde sevk edilmeden önce en son yapılan operasyon balans operasyonudur. Balans operasyonu, araç boyunca önden arkaya uzanan şaft sisteminin düzensiz ağırlıklarını belirli bir spesifikasyon içerisinde tutarak araçta her hangi bir gürültü ve titreşim problemine sebep vermemek amacıyla yapılır. Bu sayede kardan mili sistemleri şanzıman ve arka aks ile uyum içerisinde çalışıp, iki sistemin düzensizliklerini de kendi içinde indirgeyip araç içerisinde bu düzensizlikleri ilgili balans seviyesine getirilerek sönümler. İlgili balans operasyonu, kardan milinin 4000 rpm hızında çevrilerek gerçekleştirilmektedir.

Sorunlu olarak bulunan 4 adet aracın kardan millerinin balans sonuçları tedarikçiden talep edilmiştir. 1/1 olarak kaydedilen bu sonuçlar Tablo 3.3’de belirtilmiştir.

Tablo 3.3: Problemlı Araçların Kardan Millerinin Balans Sonuçları.

Shaft No	P1 (2,62 gr)	P2 (2,38 gr)	P3 (1,90 gr)	P4 (1,90 gr)
1	2.3	2.0	1.2	0.9
2	2.3	1.9	1.4	1.3
3	1.3	1.7	1.3	1.4
4	1.6	1.8	1.5	1.4

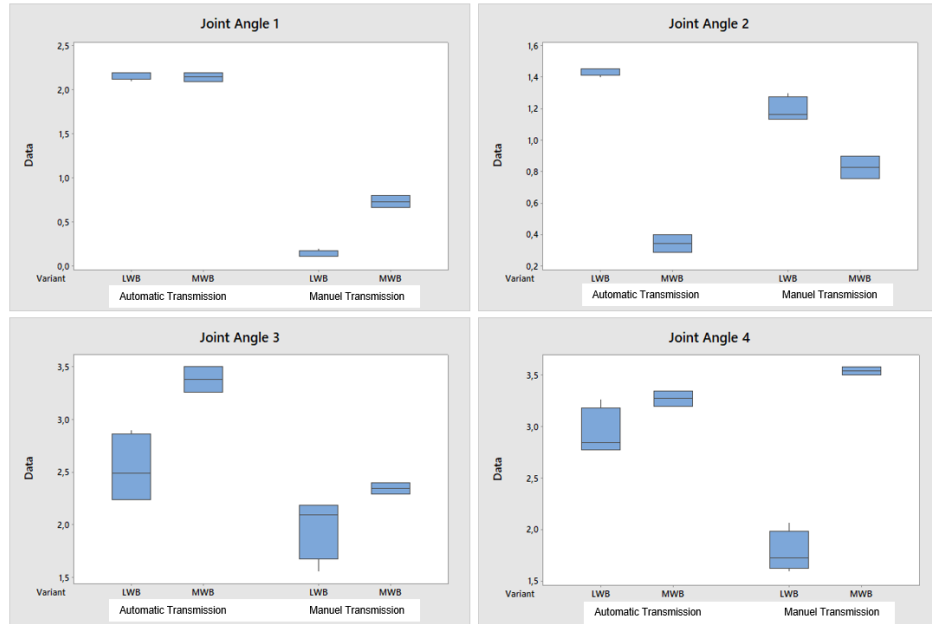
Bu tabloya göre, P1 bölümü ön boru, P2 bölümü orta boru, P3 ve P4 ise arka aksa bağlanan boruyu göstermektedir, bunun ile ilgili detay Şekil 3.14’de belirtilmiştir. P1 ve P2 değerlerinin maksimum çıkması gereken değerler sırası ile 2.62 gr. ve 2.38gr. , P3 ve P4’ün ise 1.90 gr. olarak belirtilmiştir. Çıkan sonuçlara göre tüm şaftlar balans speği içerisinde bulunmuş olup, her hangi bir şekilde gürültü veya titreşim problemine sebep olacak aksi bir sayısal değer ile karşılaşılmamıştır.



Şekil 3.12: Balans Düzlemleri Gösterimi.

3.3.2 Kardan Mili Çalışma Açıları

2020 yılının başında devreye alınmaya çalışılan arkadan itişli orta sınıf ticari araçlar, bu varyantı ile ilk defa otomatik şanzıman ile devreye alınmaktadır. Bu sebeple araç alt yapısı, güncel seri araç ile aynı değildir. Şanzıman mevcut seri imalat koşullarından daha büyük olduğu için, kardan mili çalışma açıları, normalden daha farklıdır ve arada bir varyasyon vardır. Şekil 3.14’de belirtilen P2 noktası, seri imalat koşullarındaki araçtan arka aksa doğru daha yakın bir yerden araca monte edilmektedir böylelikle çalışma açıları otomatik ve düz şanzıman arası değişmektedir.



Şekil: 3.13: Otomatik ve Düz Şanzıman Arası Açı Varyasyonu.

İlgili box-plot'un yorumu; Joint Angle 1 olarak bahsedilen birinci istavroz yani şanzıman bağlantı flanşının istavrozu olarak geçmektedir. Otomatik şanzımanın konumu itibarıyla şaft ile yaptığı açı, düz şanzımana göre çok daha fazladır. Doğal olarak ilk borudan itibaren başlayan açı farklılıkları, diğer üç istavrozu da etkilemiş ve Şekil 3.15'de aradaki açı farklılıkları açık şekilde gösterilmektedir.

Buna istinaden seri imalat koşullarındaki düz şanzımanlı araçların da açıları ölçülüp tek sürüş testine çıkılmış, ve her hangi bir hatalı gürültü veya titreşime rastlanılmamıştır. Açı ölçer ile ölçülüp hesaplanan değerler Tablo 3.4'de belirtilmiştir ve hiç bir aracın yol testinde 70 km/h hızda benzer bir ses ile karşılaşmamıştır.

Tablo 3.4: Seri İmalat Düz Şanzıman Araçların Açı Ölçümü ve Tek yol Test Sonuçları.

Trans Plane	1 st U-joint	2 nd U-Joint	3 rd U-Joint	Drive Test
0.6	1.1	2.5	2.9	OK
0.2	1.5	2.1	2.4	OK
0.5	1.6	2.5	2.5	OK
0.6	0.9	2.6	2.8	OK
0.8	1	3.2	3	OK
0.5	1.2	2.4	3	OK
0.4	1.3	2.4	2.7	OK
1.1	1.3	3.2	3.1	OK
0.7	1.3	2.7	3.3	OK
0.7	1	2.2	3	OK
0.1	1.1	2.5	3.6	OK
0.1	1.1	2.7	3.7	OK
0.1	0.9	2.6	3.9	OK

Bunun sonucunda bir kardan mili açı değişim çalışması gerçekleştirilmiştir. Buna istinaden Tablo 3.5'de detayları belirtilen çalışmaya göre, otomatik şanzımanlı ve titreşim

ve gürültü şikayeti alınan aracın ilk açıları açı ölçer yardımı ile ölçülmüş ve mevcut durum bu tabloda ilk sırada verilmiştir. Buna istinaden seri imalat koşullarındaki araçlardan problem gelmediği düşünülerek, aracın kardan milinin ve arka aksın asıldığı yerlere çeşitli lama, burç ve şim takviyeleri yapılarak aracın seri imalat koşullarına yakın bir açığa gelmesi sağlanmış, en son deneyde de kardan milinin açısız bir şekilde dümdüz olması sağlanmıştır. Tablo 3.5’de sonuçları da paylaşılan bu deneyin sonucunda kardan mili çalışma açılarının bu gürültü ve titreşim problemine neden olmadığı kararına varılmıştır. Kardan milinin çalışma açıları seri imalat ile hemen hemen aynı, çok düşük, ve sıfır olması durumunda araçta hiç bir değişiklik olmayıp, açıların düzensizliğinden kaynaklanan 30-40km/h ‘da yeni titreşimler de meydana gelmiştir. Bu bakımdan kök sebebin açı olmadığı kararına varılmıştır ve bu kritik girdi de elenmiştir.

Tablo 3.5: Otomatik Şanzımanlı Aracın Açı Değişimi Çalışması ve Etkisi.

Series	Body Type	RWD/AWD	Trans Plane	1 st U-joint	2 nd U-Joint	3 rd U-Joint	Drive Test
350M	REGULAR CARGO VAN	RWD	3.1	2.3	2.1	1.9	NOK
			1.5	1.2	2.1	1.9	NOK
			0.3	0.2	2.1	1.9	NOK
			0.3	1.1	0	1	NOK & Driveline
			x	x	x	x	Drumming occurrence speed changed from 72-80kph to 62-70kph

3.3.3 Kardan Mili Montaj Operasyonu Hataları

Kardan mili proses diyagramında, üretim operasyonları sonrası sevkiyat operasyonları ile beraber fabrikada ki montaj prosesi başlar. Burada aracın gürültülü ve titreşimli çalışmasını etkileyecek kritik girdiler ölçüm basamağında belirlenmiştir.

Bunlardan ilki ve en önemlisi, kardan milinin araca takıldığı bölgelerde kullanılan, içi kauçuk olan askı parçasının doğru bir şekilde montajının gerçekleşip

gerçekleşmediğidir. Kardan mili askı ayarı, Şekil 3.8’de teknik resimden alınan gösterim ile belirtilmişti. İlgili gürültü ve titreşim probleminin bu ayar kaçıklığının sebep olabileceği düşüncesi ile bir deney çalışması gerçekleştirilmiştir. Buna istinaden Şekil 3.14’de gösterildiği üzere, askı parçası montaj prosesi ve kontrolüne göre tamamen zıt şekilde montajı gerçekleştirilmiş. Şekilde görüldüğü üzere, askı parçasının içinde yer alan kauçuk malzeme tamamen kastırılmış olarak takılmış ve araçlardaki gürültü ve titreşimin sebebinin bu olup olmadığına dair tek yol sürüş testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14: Kardan Mili Hatalı Askı Montajı Testi.

Bu hatalı montaj işlemi, bir adet gürültü ve titreşim problemi olmayan araçta ve bir adet de bu problemin yaşandığı araçta gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerde öncelikle bilerek montaj hatası yapılarak araç kullanılmış, daha sonra bu hata düzeltilip ayar gerçekleştirilerek sürüş testine yeniden çıkmıştır. Alınan sonuçlar Tablo 3.6’da belirtilmiştir. 302 numaralı araç hali hazırda problemin yaşandığı araç iken, 305 numaralı araç her hangi bir problemi olmayan araçtır. Tek yol sürüş ekiplerinin incelemesine göre, hatalı montaj işlemi, araçlarda her hangi yeni bir gürültüye sebep doğurmamış, mevcut koşulları da en ufak etkilememiştir. VER puanı bunun neticesini göstermektedir. VER

puanı, tek yol sürüş ekipleri uzmanları tarafından verilen bir ölçüm barem sistemidir. Buna istinaden çeşitli manevralar ile aracı deneyen ekipler, minimum VER 6 puan verdiği takdirde araç satılabilir seviyede olduğu anlamını taşır. Buna istinaden VER 5.5 olan gürültü ve titreşimli araç satılamayacak durumda iken, VER 6.5 araç satılabilir durumda demektir. Buna istinaden VER puanlarının anlamı Tablo 3.7’de belirtilmiştir.

Tablo 3.6: Hatalı Askı Montajlı Araç Test Denemeleri Sonuçları.

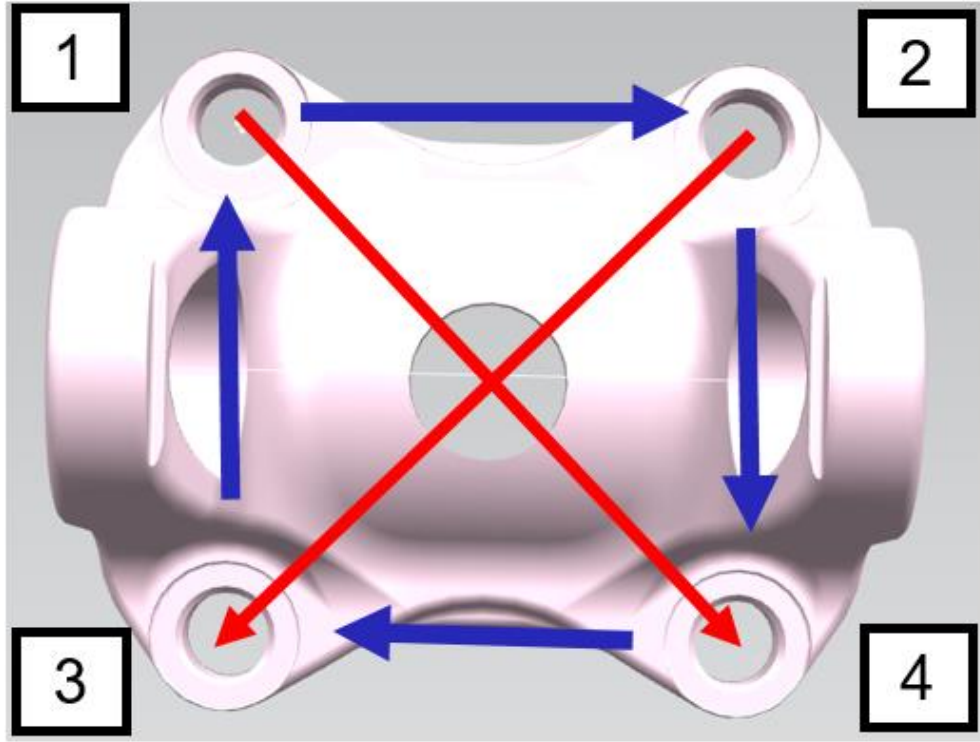
Shaft #	Alignment	VER
TH.01141.0302	Yes	5.5
	No	5.5
TH.01141.0305	Yes	6.5
	No	6.5

Tablo 3.7: VER Puan Baremi Anlamları.

VER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Signal	unsatisfied					satisfied				
Failure Mode	All customers		Average customers		Critical customers		Knowledge customers			

Askının hatalı montajlı takılması ihtimaline karşılık gerçekleştirilen bu testte, yeni model araçtaki gürültü ve titreşimin nedeninin bu olmadığı saptanmıştır. Ek olarak, herhangi problemi olmayan bir araçta da yeni bir gürültü ve titreşim yaratılmamıştır, bu bakımdan ilgili kritik girdinin etkisi olmadığı saptanmıştır.

Bir diğer muhtemel montaj hatası, kardan mili ile arka aks arasındaki bağlantı civatalarının hatalı sıra ile sıkılması sonucu kasıntıya sebep vermek olarak saptanmıştır. Şekil 3.15’de tanımlandığı üzere, kardan mili arka aks bağlantı flanşına ait 4 adet civata mevcuttur. Bu civataların montajı yapılırken çapraz sıkım kuralına uyulması zorunludur. Eğer saat yönünde veya saat yönünün tersinde civataların torklanma yani sıkılma işlemi gerçekleşirse, ilgili flanş sıkılan ilk iki civatadan kavrma yapacak, ve diğer iki civatanın altında boşluk kalma riski olacaktır. Bu hatanın ihtimaline karşılık 4 adet deney çalışması gerçekleştirilmiştir.

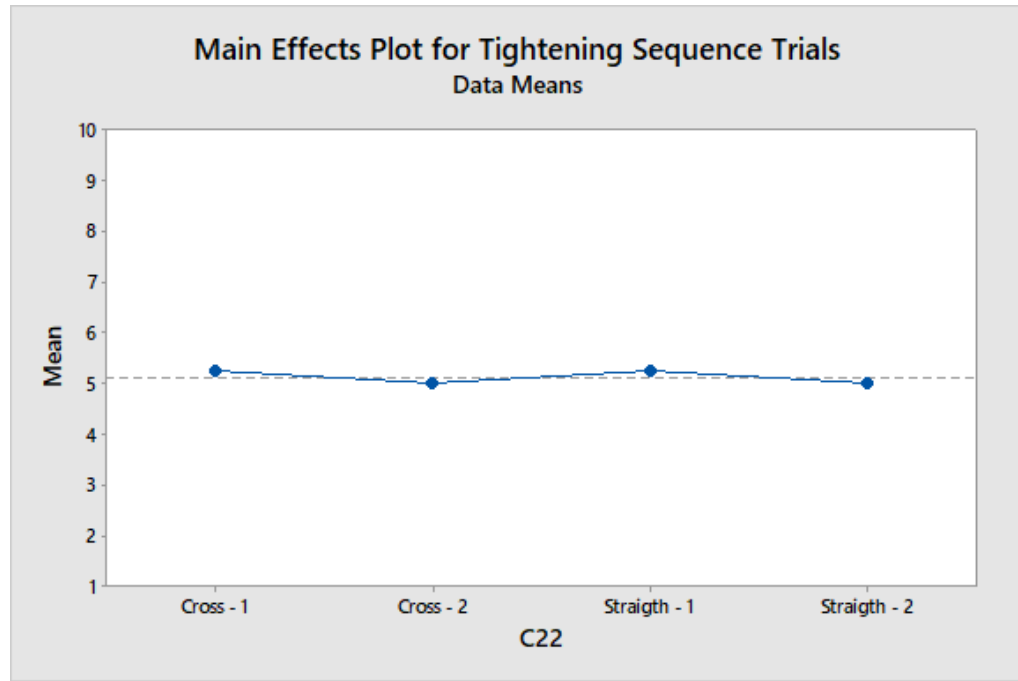


Şekil 3.15: Kardan Mili Arka Aks Bağlantı Flanşı Civata Sıkma Sırası.

Bu deney çalışmasının sonuçları main effect plot ile Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Buna istinaden Şekil 3.15 üzerinden anlatım ile :

- Cross 1 : 1-4-2-3 sırası ile civata sıkımı
- Cross 2 : 2-3-1-4 sırası ile civata sıkımı
- Cross 3 : 1-2-3-4 sırası ile civata sıkımı
- Cross 4 : 4-3-2-1 sırası ile civata sıkımı

Şeklinde ifade edilmektedir. Her bir sıkımdan sonra araç tek yol sürüş testine alınmış ve ilgili VER puanları main effects plot üzerinde gösterilmiştir. Mean'e bakıldığında VER ortalaması 5.5'u geçmemiş, civata sıkım sırasının her hangi bir etkisine rastlanmamıştır. Buna istinaden bir kritik girdinin daha etkisi olmadığı kararına varılmıştır.

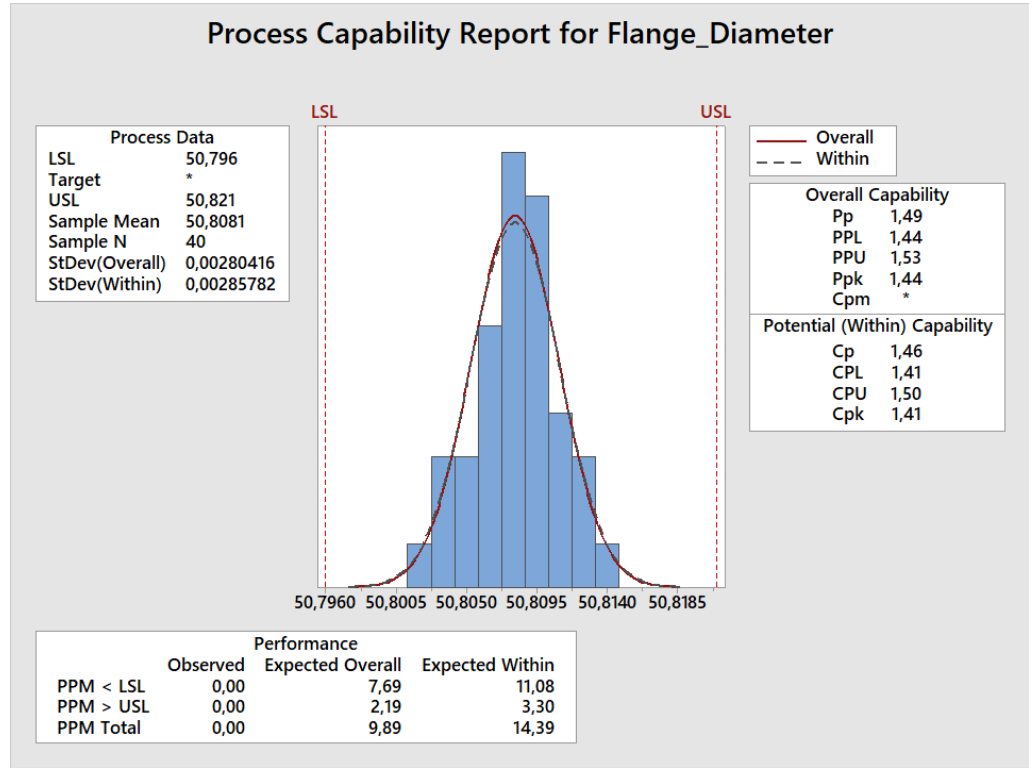


Şekil 3.16: Civata Sıkım Sırası Test Sonuçları Mean Diyagramı.

3.3.4 Arka Aks Flanş Sıkı Geçme Çapı

Bir önceki bölümde de ifade edildiği üzere, kardan milinin arka aksa bağlantısı bir flanş yardımı ile gerçekleştirilir. Kardan milinin karşılığında da buna benzer bir flanş vardır ve iki flanş birbirine bir önceki testteki 4 civata ile bağlanır. Aks flanşının orta kısmında 2 mm. kalınlığında, yaklaşık 50.7 mm. çapında bir pilot çapı vardır ve iki flanş

arası hizalama ve sıkı geçme operasyonu bu bölüm vasıtasıyla gerçekleşir. Eğer bu çap üst limite yakın veya üst limitten fazla değere sahipse, kardan mili flanşı tam olarak oturtmayacaktır, böylelikle iki flanş arası boşluk kalacak ve potansiyel gürültü ve titreşim problemine olanak sağlanacaktır. Arka aks flanşı tedarikçisinden 40 adet parça özelinde bu çapların ölçüm masterlarından sonuçları talep edilmiştir. 40 adet parçanın ölçüm sonuçları Minitab programına işlenmiş ve Şekil 3.17’de proses kapabilitesi sonuçları belirtilmiştir. Buna istinaden çizilen grafikte de görüldüğü üzere parça ölçümleri genel olarak üst spek ve alt spek arası orta noktada toplanmıştır. Buna istinaden Cpk değeri 1.41 ve bu değer 1.33’den yüksek olduğu için proses kapabilitesi ve ölçüm sonuçlarının yeterli olduğu, arka aks pilot çapında her hangi bir varyasyon olmadığı ve ilgili titreşim ve gürültü probleminin kaynağının bu kritik girdinin gerçekleştirmediği sonucuna varılmıştır. İlgili kritik girdinin sebep olmadığı kanıtlanmıştır.



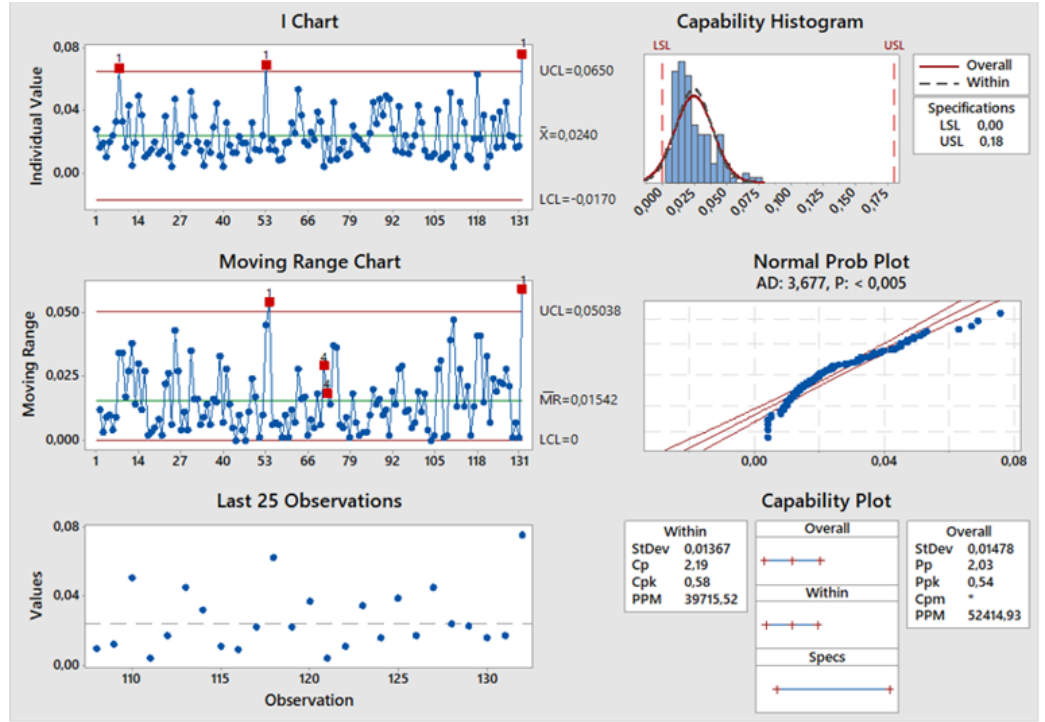
Şekil 3.17: Arka Aks Flanş Pilot Çapı Ölçüsü Proses Kapabilitesi.

Böylelikle Pareto Diyagramında nokta atış olarak seçilen bir maddenin daha kök sebebinin bu olmadığı belirlenmiştir.

3.3.5 Arka Aks Flanşı Salgı Değeri

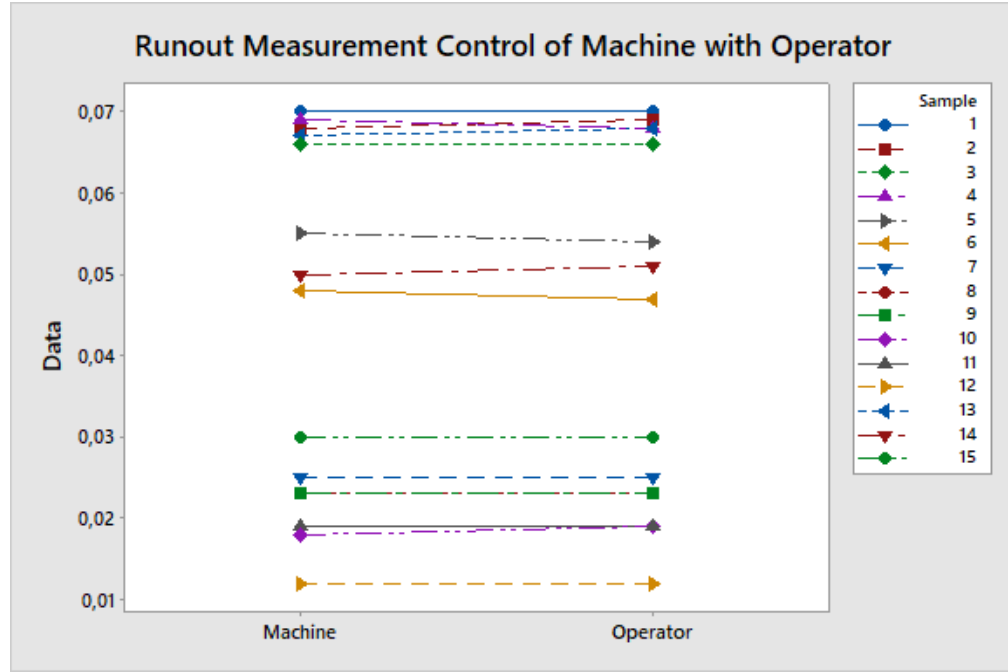
Salgı değeri, dönen bir cismin dönme çapının toplamda oluşturduğu salınım anlamına gelmektedir. Örneğin 100 mm. çapında bir silindirin dönerken yaptığı salınımı ölçmek için bir komparatör saati kullanılır. Komparatör saatinde okunan değerler 0.3 – 0.4 – 0.5 mm gibi değerlerdir. Bunlar ölçülen o noktanın, normalde olması gereken koordinattan 0.3 mm yukarıda, - yönde ise aşağıda olduğunu belirtir. Arka aks flanşının salgı değerinin gürültü ve titreşim problemlerine etkisi yüksektir. Eğer salgı çok yüksek ise iki sistemin birleştiği yer yalpalama hareketi gerçekleştirecek ve araç içinde bu hareket gürültü ve titreşim olacaktır.

Bu ihtimale karşılık arka aks tedarikçisinden proses kontrolü yapabilmek adına, seri hat salgı ölçüm cihazından son 50 ölçüm sonuçları tedarik edildi. Minitab yardımıyla işlenen veriler sonucunda kapabilite histogramları çizildi. Şekil 3.18’de detayları aktarılan kapabile hesaplamalarına göre, Cpk değeri 0.58 ile çok düşük, fakat Cp değeri, 2.19 ile çok iyi seviyede saptandı. İlgili prosesin üst spek limiti ve alt spek limitinin tam ortasında olması istenmemektedir. Salgı değerinin olabildiğinde en minimumda tutulması istenmektedir. Bu sebeple prosesin kararlı olması daha önemlidir ve Cp değeri bu sonucun saptanması açısından yeterlidir. Salgı değeri minimuma yakın çalışılığı ve her hangi spek dışı bir durum olmadığı saptanmıştır.



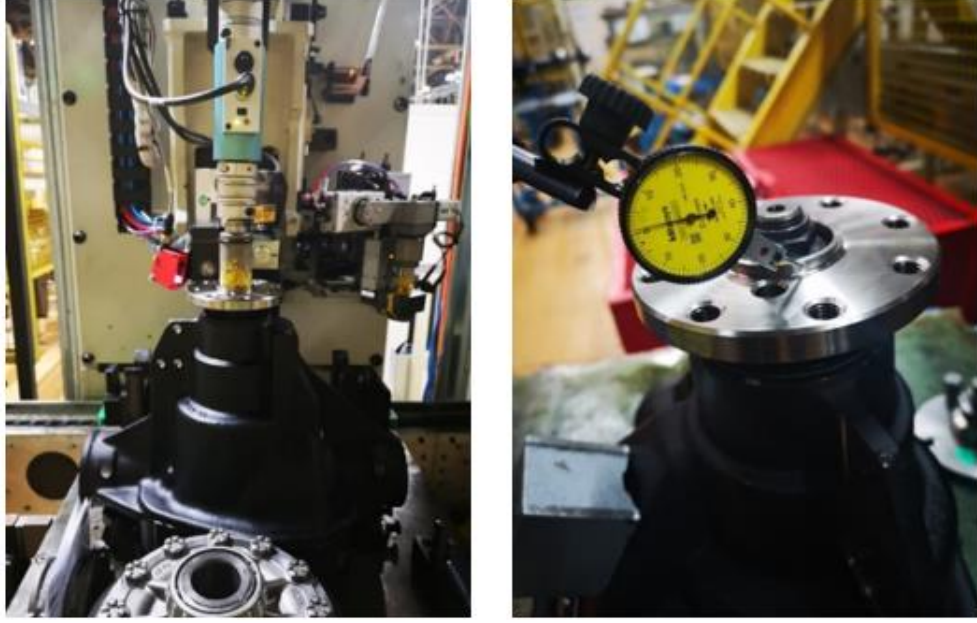
Şekil 3.18: Arka Aks Salgı Değeri Proses Kapabilitesi.

Salgı değerinin verileri seri hat üzerindeki makinadan alındığı konunun başında belirtilmişti. Toplamda 15 adet farklı aks kullanılarak bunların hem makinadan alınan verileri irdelenmiş, hem de operator tarafından manuel ölçüm yöntemi ile salgı ölçümleri gerçekleştirilip makinanın doğruluğu saptanmıştır. Şekil 3.19’da belirtilen ölçüm verileri birbirleri arasında karşılaştırıldığında, makinadan alınan sonuçlar ile operatörün ölçümleri arasında her hangi bir varyasyon saptanmamış, böylelikle spesifikasyon dışı bir arka aks salgı değerine ulaşılamamış, ilgili kritik girdinin etkili olmadığı kanıtlanmıştır. Şekil 3.20’de detaylı şekilde ölçümlerin nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



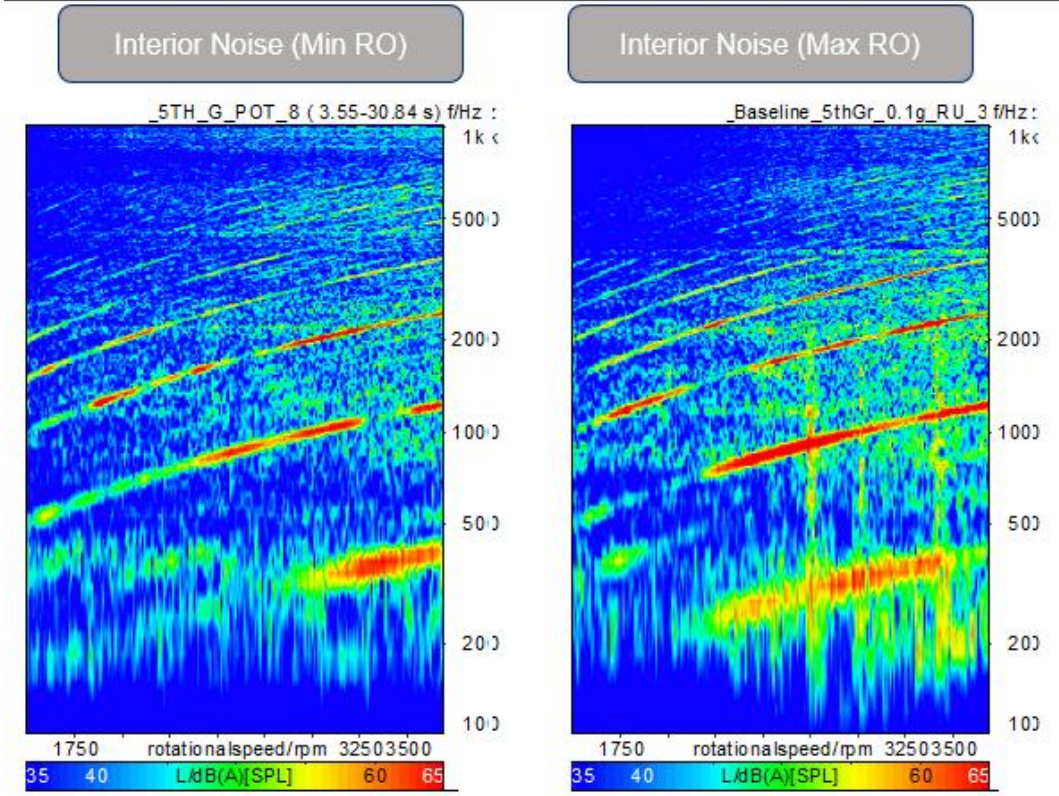
Şekil 3.19: Salgı Değerinin Makina ve Operatör Ölçüm Kontrolü.

Analiz basamağındaki çalışmaların sonucunda tüm kritik girdi verilerine bakılmış, fakat elde gürültü ve titreşim problemini etkileyen rijit kök sebep bulunamamıştır. Gözden kaçırılan bazı nedenlerin olduğu düşünülmüş ve sonuç olarak sıradaki adım olan iyileştirme basamağında bir deney tasarımı yapılmasına karar verilmiştir. Bu deney tasarımı çalışmasında, ölçüm kısmında karar verilen ve Pareto diyagramının üst bölümlerinde yer alan kritik girdiler ile, kontrol basamağı için yeterli çıktı ve gerçek kök sebebin bulunup aktarılması ve problemin kontrol altına alınması üzerine çalışılacaktır.



Şekil 3.20: Seri Hat ve Operatör Ölçüm Gösterimleri.

Arka aks flanş değeri salgı değerinin, gürültü ve titreşim problemine olan etkisini farklı şekilde de kanıtlayabilmek adına, alt tedarikçiden bir adet üst limitte, bir adet te alt limitte salgı değerine sahip arka aks temin edilmiştir ve ikisi arasında iç gürültü yol testi gerçekleştirilmiştir. Bulunan bulgular Şekil 3.21’de ki renk haritasında ifade edilmiştir. İç gürültüyü ifade eden bu renk haritasında sol tarafta bulunan araç minimum salgı değerine sahip iken, sağ taraftaki araç maksimum salgı değerine sahiptir ve ilgili order çigisine bakıldığında her iki durum için çok rijit bir değişiklik veya bulguya rastlanılmamış, ilgili titreşim ve gürültü hissi aynı şekilde devam etmektedir.



Şekil 3.21: Maksimum & Minimum Arka Aks Salgı Değerli Araçların İç Gürültü Karşılaştırması.

Bu ölçüme istinaden arka aks flanşının salgı değerinin bu titreşim ve gürültü problemine major hiç bir katkısı olmadığı saptanmış ve kritik girdiden bu madde de elenmiştir.

3.4 İyileştirme (Improvement)

Normal şartlar altında iyileştirme basamağında, analiz kısmında elde edilen bulguların iyileştirme çalışmalarının yapılması, akabinde bunların kontrol basamağına iletip kontrol altında tutulup ilgili problemin kök sebebinin tekrarlanması ihtimalini düşürülmesi gerekmektedir. Ancak analiz kısmında elde edilen bulgular ile kök sebepe varılamamış ve iyileştirme basamağında bir deney tasarımı yapılmasına karar verilmiştir. Buna istinaden ortaya çıkan problemin iyileştirilmesinden yola çıkılarak kök sebepe inilecektir.

3.4.1 Deney Tasarımı (DoE)

Gürültü ve titreşim problemi üzerine yaratılan deney tasarımı, bu problemlerin ortaya çıkmasına neden olacak kritik girdiler ile üretilmiştir ve buna yine Pareto Diyagramı üzerinden karar verilmiştir. Bu fonksiyon için kritik girdi olarak:

- Gürültü ve Titreşim Problemi=

$$f\{(Yaprak Yay Sayısı), (Arac Agirligi), (Saft Sari nokta fazlama)\}$$

olarak alınmıştır. Bunun nedeni yalnızca bu 3 maddenin henüz kontrol edilmemesidir.

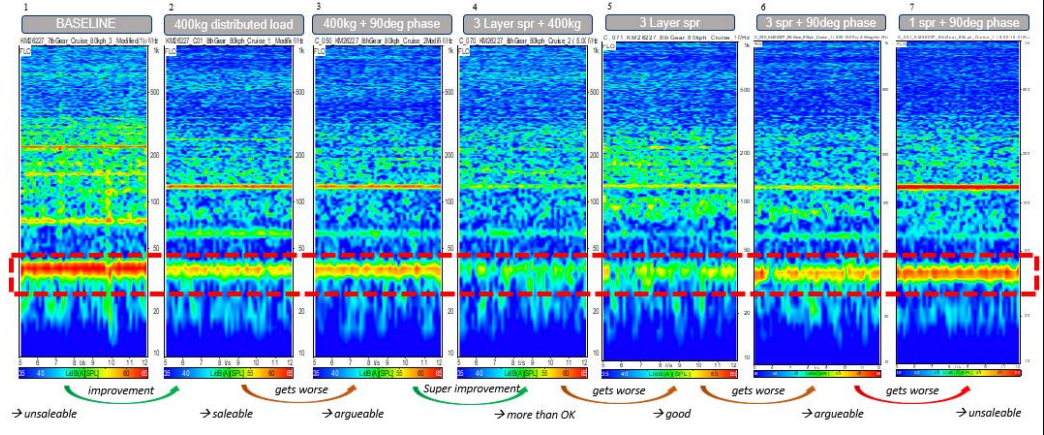
Buna göre bu üç girdiyi belirli bir sıra ile uygulayarak en etkili kök sebep bulunup, buna ait maddelere yeniden yoğunlaşılacaktır. Firmanın orta sınıf ticari araçlarında arka tekerleklerin bulunduğu süspansiyon sisteminde toplam bir veya üçlü yaprak yay bulunur. Tekli yaprak yay sistemi transfer patikası adına daha hassas iken, üçlü yaprak yaylı sistemin sönümleme mekanizması daha başarılıdır. Fakat yaprak yay geliştirme faaliyetleri araç satılmasına yakın zamanda değil, araç oluşturulmaya başlanıldığında ilk iki sene içerisinde gerçekleştirilir ve uzun soluklu dayanım testlerine maruz bırakılmaktadır. Bu bakımdan dizayn aksiyonu olarak tüm araçlarda tek yaprak yerine üç yapraklı yay kullanılmasının önerilmesi söz konusu değildir. Ek olarak ilave maliyette getireceği için üst yönetim tarafından da bu desteklenecek bir çözüm metodolojisi değildir. Fakat test sırasında etkisinin görülebilmesi için deney tasarımı fonksiyonuna eklenmiştir. Belirtildiği üzere iki farklı yaprak çeşiti vardır. Buna ilave olarak araç içerisine ağırlık var ya da yok olarak iki seçenek mevcuttur. Son olarak fazlama da 2 seçenekli ya var ya yok şeklinde olmuştur ve fonksiyon stest tanımlanmış, yedi ayrı teste gerek duyulmuştur.

Tablo 3.8’de belirtildiği üzere toplamda yedi farklı test uygulanacaktır. İlk test aracın mevcut sesli haliyle tek yapraklı yay, ağırlıksız ve şaft & arka aks sarı nokta uyumlu şekilde montajı gerçekleştirilip koşulacaktır. Daha sonrasında tabloya uygun şekilde sırası ile testler gerçekleştirilip, en kritik dizayn girdisi belirlenecektir.

Tablo 3.8: Deney Tasarımı Test Listesi.

Run Order	Leaf Spring Qty.	Additional Weight	Phasing angle
1	1	0	0
2	1	400 kg	0
3	1	400 kg	90
4	3	400 kg	0
5	3	0	0
6	3	0	90
7	1	0	90

Tablo 3.8’de belirlenen sıralama ile testlerin tamamı gerçekleştirilmiş, Şekil 3.22’de ki sonuçlar alınarak kök sebebin ne olduğuna yönelik yaklaşımlar sağlanmaya devam edilmiştir. Tüm test koşullarının iç gürültü renk haritaları incelenmiş, üç farklı kritik girdi içeren fonksiyonda bu girdilerden en kuvvetli olanı saptanmaya çalışılmıştır.

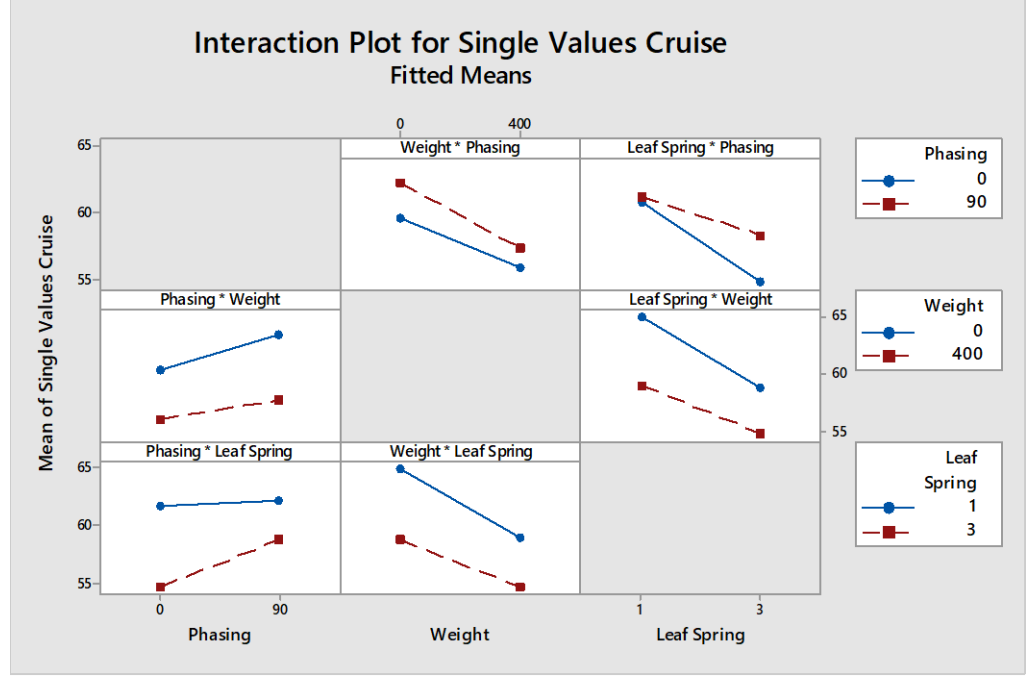


Şekil 3.22: Deney Tasarımı Test Sonuçları İç Gürültü Renk Haritaları.

Şekil 3.22'ye göre, test koşulu ilk adımda tek yapraklı yay, araca ağırlık eklemeyen ve kardan mili & arka aks sarı noktaları uyuşuyor şeklinde gerçekleştirilmiştir. Titreşim ve gürültü problemi açık şekilde kırmızı renk ile 0.66 order'da görülmektedir, bu zaten mevcut problemlili aracımızın durumudur. İlk olarak aracın içerisine 400kg. ağırlık eklenerek iç gürültü testi için yola çıkılmış, iç mikrofon verilerine göre araç satılabilir hale gelmiştir. 400kg. ağırlığı değiştirmeden, şaftın sarı noktası 90 derece dönük olarak şekilde araca bağlantı yapılmış ve yola tekrardan çıkılmıştır. Ses seviyesi öncekinden bir kademe daha üstte sonuç elde edilmiştir. Daha sonra sarı nokta eski durumuna getirilip, araç hem 400kg. ağırlık ile, hem de üç yapraklı yay ile enstrümanle edilip yol testine çıkılmıştır. Sonuç mükemmele yakındır ve en ufak bir detorasyona rastlanılmamıştır. Daha sonra üç yapraklı yay araçta bırakılıp, 400kg. yük araçtan çıkarılmış ve araç yalnızca üç yapraklı yay değişikliği ile yok testine çıkmıştır ve sonuç, 400kg. ve tek yapraklı yaylı araçtan çok daha iyi çıkmıştır. Yani yaprak yayın etkisi, ağırlığın etkisinden daha fazladır. Daha sonra 3 yapraklı yaylı durumda şaftın sarı noktası 90 derece fazlanarak iç gürültü yol testine çıkılmış, titreşim ve gürültü problemi yeniden açığa çıkmıştır. 90 derece fazlamayı bozmadan araca tekrardan tek yapraklı yay takılınca, sonuç aracın ilk bulunduğu kondisyonla aynı duruma gelmiştir.

Bu testin sonuçlarını daha rahat görebilmek adına bir interaction plot çizilmiştir. Şekil 3.23'de ki interaction plot'a göre, leaf spring*phasing grafiğinde görüldüğü üzere tek yapraklı durumda ister sıfır ister 90 derece fazlama yapılsın, iç gürültü seviyesi hemen hemen aynı bulunmuştur, böylelikle tüm girdilerin major etkisi varken, fazlamanın her

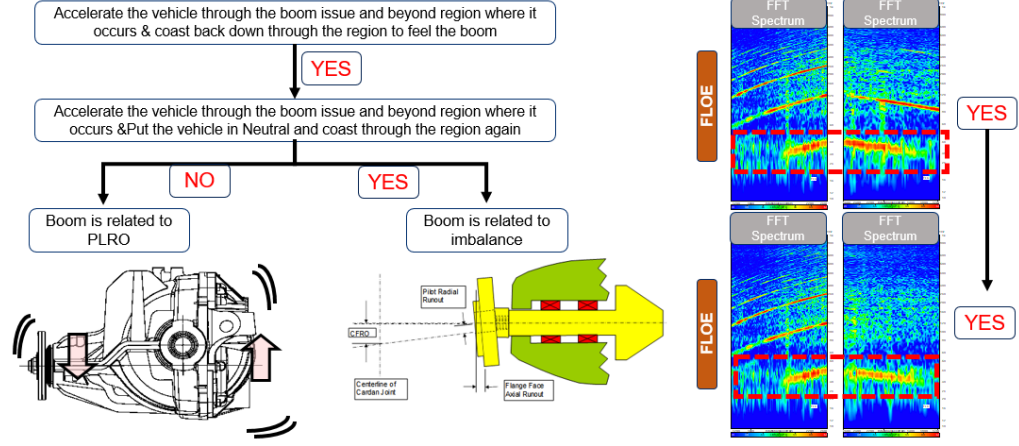
hangi bir şekilde tamamen bu problemi ortadan kaldırdığı bir deney çalışması ortaya çıkmamıştır. Hem yaprak yay değişimi, hem de ağırlık eklenmesi, transfer patikasını değiştirdiği için direkt etki ettiği düşünülmüş, kardan milinin fazlanması ile çok rijit bir fark elde edilememiştir.



Şekil 3.23: Deney Tasarımı Sonucu Interaction Plot Gösterimi.

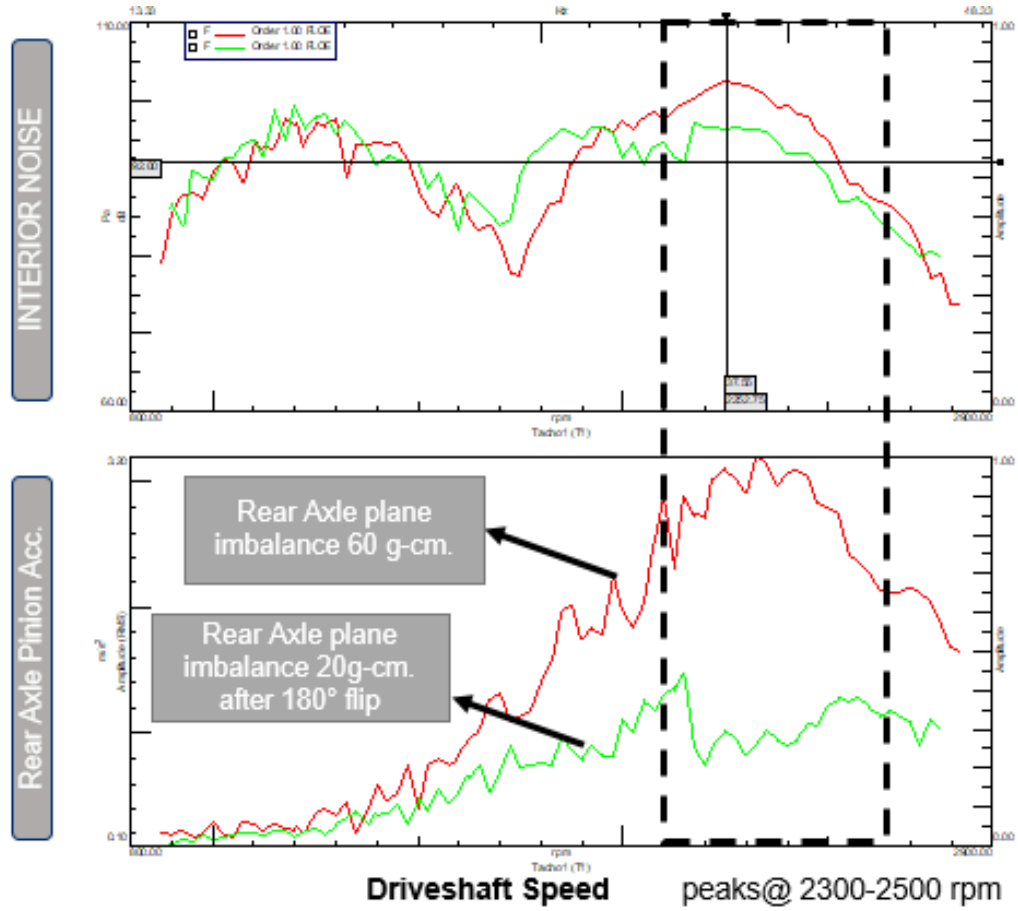
Bu deney çalışmasının neticesinde, fazlamanın diğer girdiler kadar etkisinin olmamasının sebebini incelemek amacıyla tekrardan en başa dönlmüştür ve Şekil 3.24’de ki sorular tekrardan sorulmuştur. Buna istinaden aracı ilk hareket ettirdiğinizde ve araç vitesteyken ayağınızı gazdan çektiğinizde aynı gürültü problemini alınıyorsa sıradaki soru şudur, araç yine aynı şekilde gürültünün hissedildiği yerin biraz üstüne kadar hızlanılır ve gürültü hissedilir, daha sonra vites boşa alınarak sesin yine gelip gelmediğine bakılır. Eğer gürültü gelmiyorsa, bunun nedeni arka aksın bağlanma açısıdır, çünkü vites boşa alındığı an artık sistem üzerinden tork akmayıp yalnızca boş dönüş gerçekleşecektir ve bu yanlış açı ancak tork altında gürültü yaratabilir. Eğer gürültü hala devam ediyorsa bunun nedeni komple sistem balanssızlığı anlamına gelmektedir. Bu araç probleminde vitesten bağımsız olarak her türlü koşulda gürültü ve titreşim alınmaktadır. Bu bakımdan

deney tasarımı sonucundan da fazlamanın etkisinin hissedilmediği, gürültü probleminin her türlü durumda da hissedilmesi nedeniyle komple kardan mili balans kritik girdisine tekrar yoğunlaşmıştır.



Şekil 3.24: Gürültü probleminin Balans değeri ve Arka Aks Açısı ile Etkileşimi.

Şekil 3.25’de ise neden kardan mili balans girdilerine yeniden bakılması gerektiğinin kanıtı niteliğinde bir testin sonucu yer almaktadır. Arka aks pinyonuna yerleştirilen ivme ölçer ve bilinen bir ağırlık ile arka aks ve kardan milinin birleştiği noktanın toplam balanssızlık değerine bakılmıştır. Buna istinaden sarı noktalar birleştirildiğinde 60g-cm çıkan değer, sarı nokta 180 derece çevrildiğinde 20g-cm olmuştur. Bu da açık şekilde kardan milinin genelinde bir sorun olduğunun kanıtı niteliğindedir, bu bilgiye ek olarak da açığa çıkan gürültünün 2300-2500 rpm civarında olduğu da açık şekilde görülmektedir. Böylelikle deney tasarımı tamamlanmış ve problemin kök sebebinin, ölçme kısmındaki ilk kritik girdimiz kardan mili balans operasyonu olduğu tespiti yapılmıştır. Buna istinaden test çalışmalarına tedarikçi parça seri hattında devam edilmiştir.



Şekil 3.25: Arka Aks ve Kardan Mili Toplam Balans Değeri Testi.

3.4.2 Kardan Mili Balans Tezgahları Doğrulama

Önceli bölümde bahsedildiği üzere, özellikle sarı nokta tam uyumlu takılmadığında daha düşük toplam imbalans değeri alındığından, kardan milinin genel anlamda bir balans orantısızlığı olduğu saptanmıştır. Buna ek olarak, yapılan testlerin neticesinde de daha önce ve seri hatta 4000 rpm devirde balans operasyonu yapılan şaftların balans operasyon devrinin 3200 rpm'e çekilmesi karar alınmıştır. Bunun nedeni 2300-2500 rpm dolaylarında ortaya çıkan sesin, 4000 rpm'de balanslanan bir şaftın daha fazla tetikleyebileceği, eğer balans devri düşürülürse bu devirlerde daha az hassasiyet olacağının belirlenmesidir.

Daha önce bahsedildiği üzere kardan mili tedarikçisinin balans makinası 1/1 olarak her şaftı %100 olarak ölçüp kontrol etmektedir. Analiz kısmında ilk maddede de

tedarikçiden bu ölçüm raporları alınmıştır ve balans değerleri spesifikasyon içerisinde gelmiştir. Daha önce seri imalat araçlardan sahadan gelen bazı ufak sayıda gürültü ve titreşim şikayeti üzerine değiştirilen kardan milinin tedarikçiye sevk edilmesinden sonra balans eğerleri hep spesifikasyon içerisinde çıkmış, bunun da artık bir know how olduğu düşünüldüğü için şimdiye kadar bu çalışmada hep aracın diğer kısımlarına odaklanılmış fakat sonuç alınamamıştır. Balans değerlerinin ilgili değer aralığında olması doğru olsa da, yapılan sarı nokta testinde bir anormallik tespit edilmiştir.

Buna istinaden daha önce balans değerleri tedarikçiden alınan shaftlar, farklı bir balans makinasına ilgili aparatlar ayarlanarak bu tezgaha bağlanmış ve Tablo 3.9'da belirtilmiştir.

Tablo 3.9: Farklı Balans Makinası Test Sonuçları.

Shaft No	P1 (2,62 gr)	P2 (2,38 gr)	P3 (1,90 gr)	P4 (1,90 gr)
1	7.1	18.3	6.2	7.5
2	3.4	20.8	10.1	7.0
3	8.3	10.6	7.8	5.8
4	8.0	21.3	6.1	5.0

İki balans makinasından çıkan sonuçların bu farkından dolayı bir box plot çizilmiş ve bu sonuçlar Şekil 3.25'de gösterilmiştir. T-Test sonucunda P2,P3 ve P4 balans noktalarının P değeri 0.05'den düşük çıktığı için istatistiksel olarak yüksek bir anlam farkı var yorumu kanıtlanmıştır. Subjektif olarak tablo incelendiğinde ise sonuçların ciddi anlamda spesifikasyondan yüksek olduğu durumu saptanmış ve seri hat üzerinde çalışan ve kardan millerinin ilk balanslarını gerçekleştiren balans makinası ilgili mühendisler ve tedarikçi çalışanları tarafından inceleme altına alınmıştır.



Şekil 3.26: İki Balans Tezgahı Arası T-Test Sonuçları.

Balans makinasının detaylı olarak incelenmesi sırasında ağırlık olarak P2 bölgesi pilot olarak seçilmiştir. Bunun nedeni ilgili balans değerleri tablosuna bakıldığında P2 bölgesindeki spesifikasyon limiti dışarısına çıkan değerlerin büyüklüğü çok fazladır. Her ne kadar P3 ve P4 bölgelerinin T-Test P değeri sonuçlarında yüksek anlamlı istatistiksel ifade olarak karşımıza çıksa da, yapılan subjektif tablo değerlendirilmesi ile ilgili bölgeye yoğunlaşmış ve Şekil 3.27’de ki hata modu yakalanmıştır.



Şekil 3.27: Balans Tezgağı Pin Erime ve Oturmama Problemi.

Ulaşılan bu hata modu neticesinde, kardan mili askıların oturduğu millerin P2 zemininde olanı, Şekil 3.27’de görüldüğü üzere uç bölgesi erimiş ve askı rulmanına tam olarak oturtmadığı için kardan mili bir boşluktaymış gibi devirini alıp balans işlemi gerçekleştirilmiş, yani aslında balans işlemi gerçekleştirilmemiştir. P2’deki hata tüm şaftı etkilediği, eklenen ağırlığın tüm borulara yayılması sağlandığı için de tüm kardan milinin balans değerleri hatalı olarak ölçülmüş, bunun neticesinde de arka aks bile birleştiği nokta da ki sarı nokta testi ve farklı bir balans makinasında ölçüm alınması, hata modunun yakalanmasını sağlamıştır. Daha önce bir know how olan ve balans değerinin her zaman iyi çıkması ve kardan milinin kök sebep olamayacağı gibi seri hat problemleri için de bir buluş olan bu hata modunu kanıtlayabilmek adına yeni bir pin üretilip takılmış ve ardından ikinci balans makinasında testi yapılan ve balansı bozuk olduğu bilinen kardan milleri, düzeltilen bu ilk balans tezgahına tekrar montajlanarak balans sonuçları alınmış ve bu sonuçlar Tablo 3.10’da gösterilmiştir. Yapılan bu düzeltme ile, birinci ve ikinci balans tezgahlarından çıkan sonuçlar hemen hemen aynı bulunmuş ve gerçek kök sebep nihayetinde tespit edilmiştir.

Tablo 3.10: Hata Modu Düzeltilen Birinci Balans Tezgahı Sonuçları.

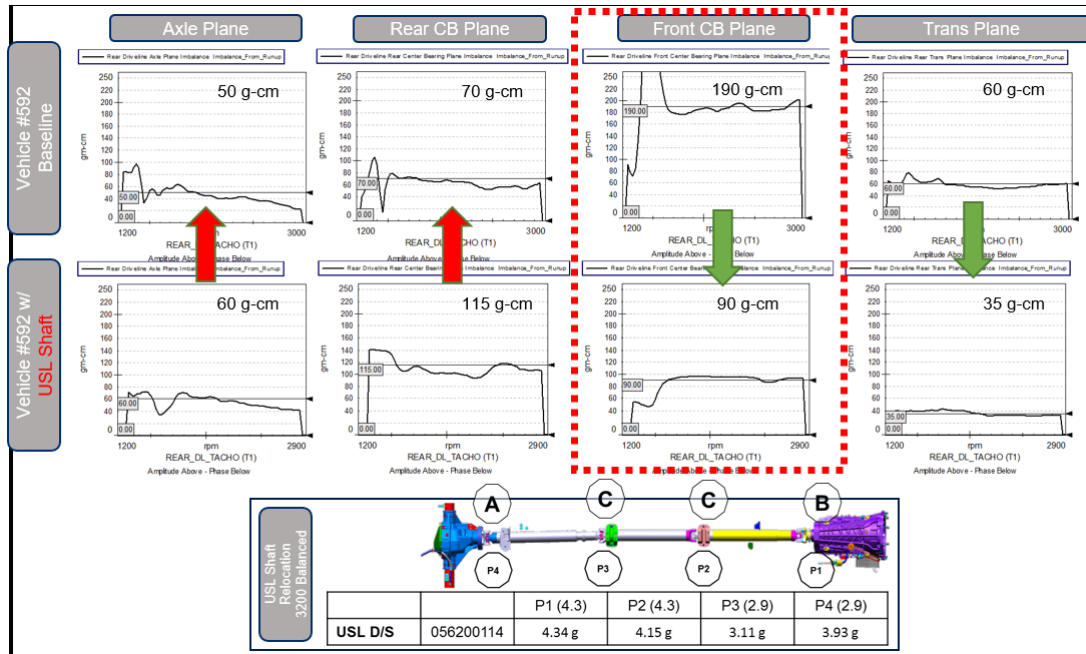
Front	Middle	Plunge Joint	Rear
P3 [g]	P4 [g]	P1 [g]	P2 [g]
6.8	20.8	5.1	7.2
3.7	20.3	10.7	7.3
8.5	11	7.4	5.3
8.4	13.4	6.7	4.4

Balans tezgahının düzeltilme işlemi bu şekilde kanıtlanmış ve ilgili şaftlar tekrardan balans operasyonu geçirerek araç fabrikasına sevk edilmesi sağlanmıştır. Kontrol basamağında yapılacak araç testleri ile doğrulama işlemleri gerçekleştirilecek ve ardından birinci balans tezgahı üzerine T-TEST uygulanarak proses kontrol altına alınacaktır. Buna ek olarak yeniden balanslanan tüm kardan milleri, önceki bölümde de ifade edildiği üzere balans devri 4000 rpm'den 3200 rpm'e düşürülerek gerçekleştirilmiş ve ekstra bir iyileştirme çalışması yapılmıştır. Araç testine gönderilen şaftların bir tanesi en yüksek spesifikasyon limitlerine yakın bölgede balans operasyonu yapılmış ve olası en yüksek balans limitinde aracın hareketleri incelenerek onay verilmesi sağlanmıştır ki ileride her hangi bir kalite probleminde bunun onayının daha önce verildiği ifadesi kullanılabilmesinin önü açılmıştır.

3.5 Kontrol (Control)

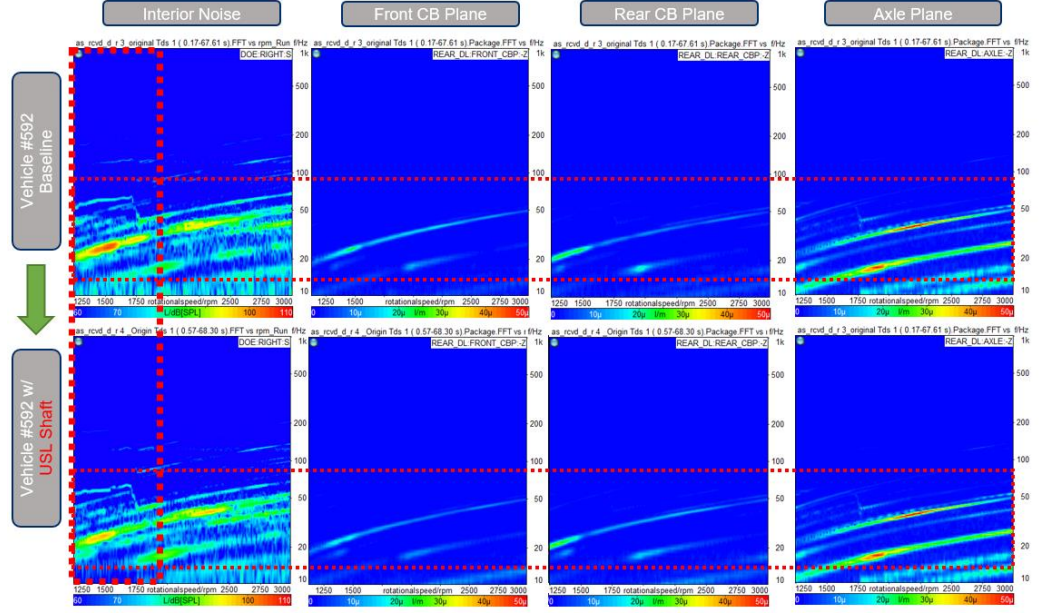
3.5.1 Araç Testi ile Kontrol Prosesi

Özellikle yüksek spesifikasyon limitine yakın değerlerde balans operasyonu yapılan ve bu işlemi de 3200 rpm’de gerçekleştirilen kardan mili, problemlili araca bağlanmış ve Şekil 3.28’de ki bulgular elde edilmiştir.



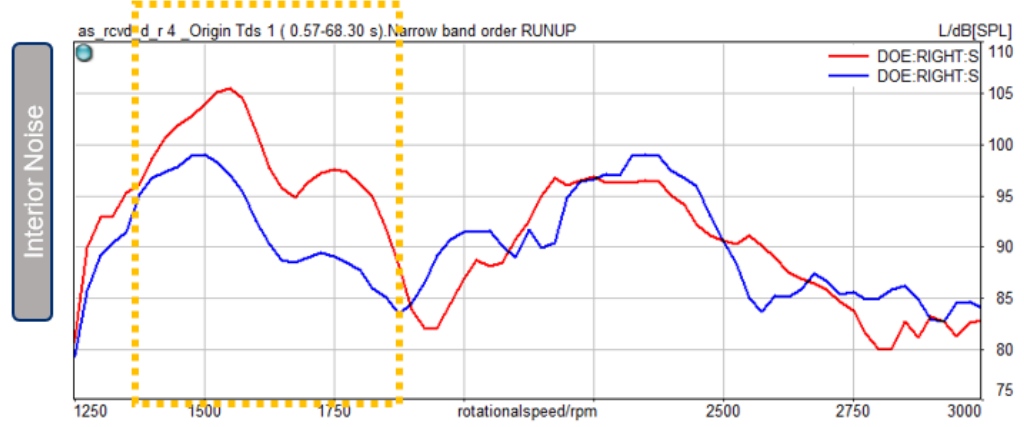
Şekil 3.28: Düzeltilen Balans Tezgahından Çıkan Kardan Milinin Araç Testi.

Baseline olarak verilen sonuçlar, P2 tarafındaki pin’in bozuk olduğu balans makinasından çıkan kardan milinin takıldığı aracın test sonuçları iken, alt tarafta görünen USL shaft ise, düzeltilmesi yapılmış balans tezgahından çıkan ve yüksek limitte yollanan kardan milinin sonuçlarıdır. Yapılan değerlendirme sonucunda özellikle P2 bölgesinde çok yüksek bir iyileşme sağlanmış, buradan akan yüksek ivme değeri çok fazla düşürülmüş ve diğer tüm planlerde de ivme değerlerinde ciddi bir iyileşme görülmüştür. Balans tezgahının onarıldığı bu şekilde kanıtlanmıştır. Araç içi gürültü seviyesinin düştüğünün kanıtlanması ise Şekil 3.29’da gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.29: Düzeltilen Balans Tezgahından Çıkan Şaftın Araç İçi Gürültü Testi.

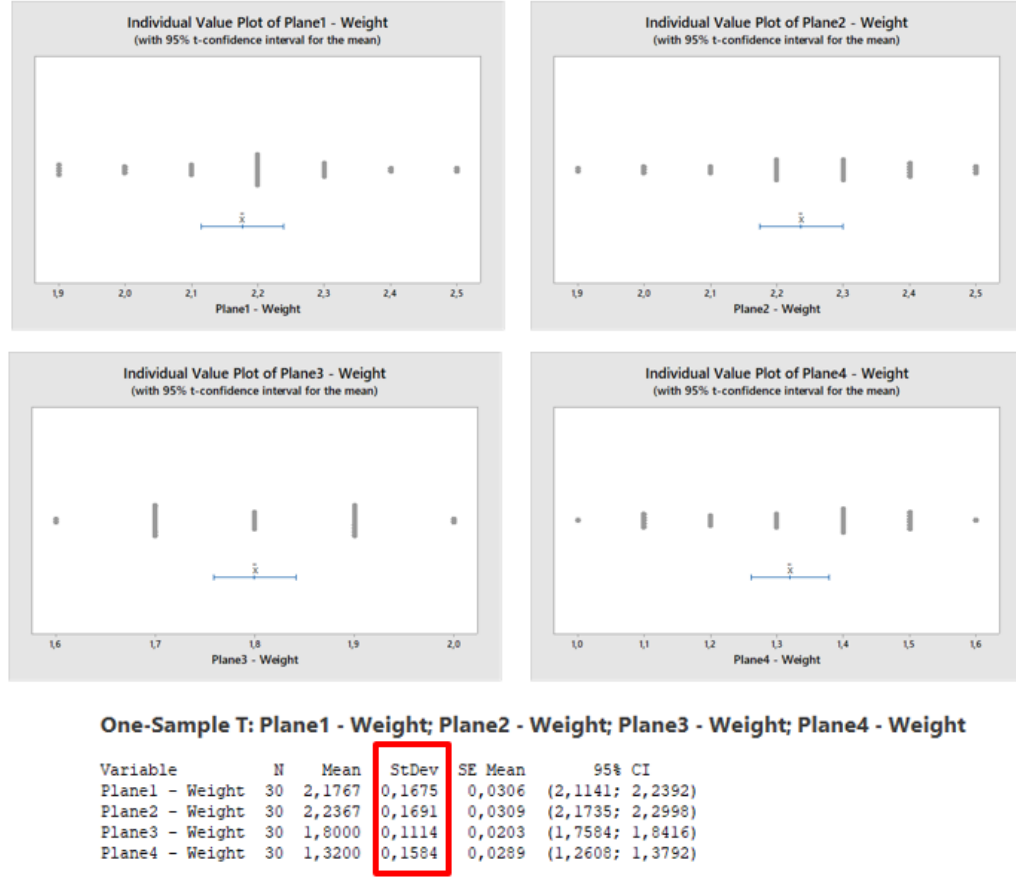
Şekil 3.29’da belirtilen renk haritasında, daha önce görülen iç gürültü datası karşılaştırıldığında kırmızı rengin bariz şekilde azaldığı ve 3200 devirde balanslamanın etkisinin de yüksek seviyede görüldüğü tespit edilmiştir. Bir önceki Şekil 3.28’de bölge bazında g-cm değerleri P2 değeri haricinde hemen hemen aynı kaldığı halde, P2 değerinin ciddi şekilde iyileştirilmesi ve balans devrinin değiştirilmesi neticesinde iç gürültü seviyesinde çok ciddi bir iyileşme görülmüştür. Bu şekilde kök sebebin araç içi gürültü verileriyle de kanıtlandığı saptanmıştır. Bu renk haritası, Şekil 3.30 ile bir plot diyagramına dökülmüş, ilgili devir aralığında 7dB’lik bir iyileştirme gerçekleştirilmiş ve bu da araçların satışa başlaması için tüm engelleri ortadan kaldırmıştır. Şekil 3.30’da kare içine alınan bölüm araçta gürültünün hissedildiği aralık olup, ilgili iyileştirmeler ve spesifikasyon değişimleri neticesinde kırmızı grafik şeklini almıştır ve araç verileri bu kök sebebin kontrol altına alındığını göstermektedir. Araç satış koşullarını sağlanmış, ilgili prosesin kontrol altına alınabilmesi için de tedarikçiye ait balans tezgahında bir T-Test yapılmasına karar verilmiş ve proses kararlılığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.30: Araç İçi Gürültü Plot Diyagramı.

3.5.2 Balans Tezgahı T-Test Kontrol Prosesi

Araç koşulları kontrol altına alındıktan sonra, ilgili balans tezgahında bir T-Test gerçekleştirilmiştir. Buna istinaden ilgili bir adet kardan mili balans tezgahına bağlanmış ve kardan milinin otuz kere üst üste balans sonucuna bakılmıştır. Her otuz tekrardan hemen önce ön ve arka fiksürlerden şaft sökölerek tekrardan takılmış ve proses kararlılığı bu şekilde izlenmiştir. Yapılan T-Test ile standart deviasyon sonucuna ulaşılmaq istenmiş ve Şekil 3.31’de ki box plot çizilmiştir.



Şekil 3.31: Onarılmış Balans Tezgahı T-Test Sonuçları.

Sonuçlar arası standart deviasyonun düşüklüğü, her bir tekrarda çıkan balans değerinin tutarlı olduğunu göstermektedir. Belirlenen kök sebep olan pin hatasını da doğrulayabilmek için, otuz kez tekrarlanan bu testte kardan mili tezgaha bağlanmadan her seferinde sökülmüş ve yeniden bağlanmıştır. Bu otuz tekrar ile hem gerçek kök sebep olan pin hatasını, hem de ikinci iyileştirme olan balans devrinin değiştirilmesinin kontrolü sağlanarak proses kararlılığı test edilmiş ve onaylanmıştır.

4. SONUÇ

Altı Sigma tekniğinde TÖAİK metodolojisi kullanılarak çözülen bu gürültü ve titreşim problemi sonucunda üç bulgu elde edilmiş ve literature katkı sağlanmıştır.

Bunlardan birincisi; TÖAİK metodolojisinin uygulanma yöntemi ile ilgilidir. Otomotiv sektöründeki problemler TÖAİK ile çözülürken, ölçme basamağında belirlenen girdiler ile analiz kısmında kök sebebe ulaşıp, iyileştirme adımında da bu kök sebebin düzeltilmesi sağlanıp, kontrol kısmında da kontrol altına alınması sağlanmaktadır. Fakat bu çalışmada incelenen problemde, ilk başta ki know how kullanımından dolayı balans değerlerinin spesifikasyon içinde gelmesinden de dolayı araç içindeki tüm veriler irdelenmiş, aslında diğer sistemler değiştiği zaman da bu gürültü ve titreşimden arınılmış, fakat gerçek kök sebebin bulunamaması ve araçların 400kg. ağırlık ile satılmasının imkansız olmasından dolayı iyileştirme çalışmasında dizayn tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede TÖAİK metodolojisi kullanılırken yalnızca analiz basamağında kök sebebe ulaşamayacağı, aynı zamanda iyileştirme basamağında da gerçek kök sebebin bulunabileceği kanıtlanmış ve bu metodoloji adına literatüre katkı sağlanmıştır.

İkinci olarak; balans operasyon devrinin araç içi gürültüsüne etkisinin büyük olduğu kanıtlanmıştır. Bunun nedeni, P2 bölgesindeki kök sebep düzeltilip tekrardan araç testi alındığında, toplam balanssızlık değerleri diğer bölgelerde hemen hemen aynı ve hatta daha fazla çıkarken P2'nin daha çok düşmesi tabi ki normal iken, renk haritasında P2 bölgesinin rengine bakıldığında çok da yüksek bir renk farklılığı saptanmamıştır. Bu sebeple balans devrinin değişmesi, araç içi gürültünün 7dB azalmasında büyük rol oynamıştır. Bu sebeple, birincil aktarma organları harmonik hareketini etkileyen en önemli girdilerden birinin balans ağırlık değerlerinden ziyade, balans değeri olduğu kanıtlanmış ve kardan mili operasyonları adına literatüre katkı sağlanmıştır.

Üçüncü ve son olarak; ölçme basamağında bir çok kritik girdi belirlenmiştir ve bunların hepsi gerek DFMEA, gerek Pareto Diyagramı, gerek de belirli bir know how ile ifade edilmiştir. Daha önce ki araç gürültü ve titreşim problemleri de incelenerek varılan bu yargıların en ütöpik durumları bile ölçüldüğünde araç içinde bir hassasiyete rastlanılmamıştır. Örneğin, arka aksın en yüksek salgı değerli ve en düşük salgı değerli olduğu araç testleri baz alındığında, renk haritası bize bariz bir farkın olduğunu

söylememiştir. Kardan mili askısının tamamen bozuk ve tam olarak doğru takılması durumunda da araç içi subjektif değerlendirme puanlarında hiç bir değişiklik olmamıştır. Kardan milini arka aksa bağlayan flanşın civalatalarının sıkım sırası özellikle bu tarz bağlantılar için kasıntı yapmaması adına hep literatürde ifade edilmektedir. Fakat yapılan sayıca fazla ve tamamen yanlış ve doğru olarak yapıp karşılaştırılan araç içi gürültü seviyelerinde bir fark gözlenmemiştir. Bunun sonucunda aslında çok etkisi olan olarak belirlenen kritik girdilerin, araç hassasiyetine de bağlı olarak bir değişime neden olduğu gözlenmemiş ve yeni nesil ticari araçların bu tarz değişimlere hassasiyetinin az olduğu kanıtlanmış ve literatüre katkı sağlanmıştır.

4.1. Çalışmanın Kısıtları

Gerçekleştirilen TÖAİK çalışmasının, özellikle kontrol basamağında çeşitli kısıtlamalar eşliğinde ilerlenmiştir. Bunun nedeni, araç üretim zaman planına uyabilmek için çok hızlı aksiyon alınıp, acil olarak bitirilmesi gereken bir kontrol aşaması gerçekleştirilmesi gerekmiştir. Kontrol basamağında gerçekleştirilen iki kontrolden birisi araç testi, diğeri ise balans makinası doğrulama üzerineydi. Bunlar araç satışı için yeterli kontroller olarak belirlenmiştir. Fakat bu iki kontrol basamağına da çeşitli kısıtlamalar eşlik etmiştir.

Veri toplanarak araç doğrulama çalışması, balans değeri düzeltilmiş yalnızca bir adet kardan milinin denenmesi sonucu doğrulanabilmiştir. Süre yetersizliğinden dolayı tek araç üzerinden veri toplanmış, diğer düzeltilen kardan millerinin takıldığı araçlar yalnızca subjektif değerlendirmeye maruz bırakılmıştır. Veri sayısının artması, ileride gürültü ve titreşim probleminin çıkma yüzdesini düşürecektir. Gelecek çalışmalarda, diğer araçlarda da subjektif değerlendirme yerine objektif değerlendirme yapılarak, daha yüksek balans seviyesinde kardan milleri üretilip, balans devrinin mi yoksa balans değerinin mi daha etkili olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmanın neticesinde hem balans devri değiştirilmiş, hem de balans makinasından kaynaklı spesifikasyon dışı balans değerleri normalize edilmiştir. Gelecek dönemlerde gerçekleştirilecek çalışmalarda hem devrin hem balans değerinin etkilerini görebilmek amaçlı objektif değerlendirme sayısı arttırılmalı ve ampirik değer yaratılmalıdır.

Balans makinasında ki problem giderildikten sonra, kontrol basamağında T-Test yapılmıştır. Bu test ile 30 tekrar yapıp, her defasında kardan mili tezgahdan sökölüp tekrardan takılıp varyasyona bakılmış, standart deviasyon değeri çok düşük olduğu için makinanın kararlılığı ispatlanmıştır. Tedarikçi de yapılan bu çalışmalar neticesinde, araç testine kardan millerini yetiştirebilmek için çalışmaya belirli senaryolar gelecekte eklenebilir durumdadır. Buna istinaden, 30 kez kardan milinin sökölüp takılıp yeniden çevrilmesi dışında, 30 kez de kardan mili 0 ve 180 derece olmak üzere bir ters ve bir düz bağlanarak kardan milinin her durum için balans değerleri kontrol altına alınabilir. Bu değerlerin alınması, gelecekte ki kardan mili balans operasyonuna katkı sağlayacaktır.

4.2. Yönetimsel Sonuçlar

Bu çalışmada, Altı Sigma'nın TÖAİK metodolojisi kullanılarak çözülen bir probleme yer verilmiştir. Her ne kadar ticari araç sistemleri üzerine spesifik bir problem ele alınsa da, üretim gerçekleştiren her işletme TÖAİK metodolojisi ile kalite metriklerini yukarı çekebilir ya da seri hat üzerinde çıkan bir problemi çözebilir.

TÖAİK yöntemi yalnızca üretim ve proses alanında değil, literatür araştırmasında da yer verdiğimiz çeşitli üretim dışı alanlarda da karşılaşılan problemlerin çözümleri için de kullanılabilir. İstatistiki araştırmalara açık olan her türlü proses, Altı Sigma yaklaşımı ile problem çözümü için uygundur. Dünya da ki büyük cirolara sahip firmalar, Altı Sigma veya Keizen tekniklerini kullanarak verimliliklerini arttırmaktadır. Küçük ve orta ölçekli işletmelerde de metodoloji uygulanmaya müsaittir. Bu çalışmada yer alan ve çözülen problemin basamakları detaylı olarak incelendiği takdirde, TÖAİK metodolojisinin hangi adımında probleme nasıl yaklaşılması gerektiği kolaylıkla anlaşılacak ve Altı Sigma metodolojisini henüz kullanmayan firma yöneticilerinin problem çözüm odaklarına yeni bir yöntem eklenerek, problem çözüm yeteneklerine katkı sağlayacaktır. Altı Sigma başarısı güvenilir veriler var ise elde edilebilecek bir metodolojidir. Bu nedenle Altı Sigma mantığını çalıştıkları şirketlere oturtmaya karar veren yöneticiler, tüm verilerin güvenilir ve sayısal olarak bir anlamı olduğundan emin olmalıdır. Varsayımlar ile istatistiksel çalışmalar gerçekleştirilmemeli, örnekleme sayısı ile TÖAİK'in başarıya ulaşması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Alper, B. (2019), "Lean six-sigma methodology and an application in a defense industry company", Master's thesis, Çankaya Üniversitesi.

Arvanitis, A., Orzechowski, J., Tousignant, T., & Govindswamy, K. (2015), "Automobile powertrain sound quality development using a design for six sigma (DFSS) approach", SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems, 8(2015-01-2336), 1110-1119.

Arzu, U., & Değirmen, M. (2018), "Endüstriyel işletmelerde enerji verimliliği ve enerji yönetimi", Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 4(2).

Aslan Y. (2016), "Minimizing the defect rate using six sigma DMAIC method; a case study in SUPSAN A.Ş.", Master's thesis, Kadir Has University.

Aşçı, M. G. (2017), "Tasarımda altı sigma araçları ve sanayide bir uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi.

Antony, J. ve Banuelas, R. (2002), "Key Ingredients For the Effective Implementation of Six Sigma Program", Measuring Business Excellence, Vol. 6, No 4, s. 20-27.

Antony J. (2003), "Design of Experiment for Engineers and Scientist".

Avunduk, H. (2019), "Yalin Altı Sigma: Bir Pet Şişirme Makinesinde Süreç İyileştirme Uygulaması", Electronic Journal of Social Sciences, 18(70).

Baş, T. (2003), "Altı Sigma", Kaliteofisi Yayınları.

Başaloğlu, C. (2007), "Altı sigma ve toplam kalite yönetimi uygulayan işletmelerde altı sigma'nın uygulanabilirliği", Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi.

Çalışkan, G. (2006), "Altı Sigma Ve Toplam Kalite Yönetimi. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi", 5(17), 60-75.

Çelebi, S. (2006), "Müşteri odaklı Altı Sigma ve imalat sektöründe bir uygulama", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Coronado, B. R. ve Antony, F. (2002), "Critical Success Factors for the Successful Implementation of Six Sigma Projects in Organizations", The TQM Magazine, c. 14, s. 2, ss. 92-99.

Dağlioğlu, G., Öztürk, Ö. G., & İnal, T. C. (2019), "Klinik Laboratuvarında Kalite Yönetimi: Altı Sigma Prosedürünün Uygulanması", Cukurova Medical Journal, 44, 272-280.

De Mast, J. (2006), "Six Sigma and competitive advantage", Total Quality Management and Business Excellence, 17(04), 455-464.

Dirgo, R.T. (2006), "Look Forward?: Beyond Lean and Six Sigma", Aircraft Braking Systems Corporation.

Eckes G. (2003), "Six Sigma for Everyone. Hoboken", John Wiley and Sons, Inc.

Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2014), "An introduction to Six Sigma and process improvement", Cengage Learning.

Fred R. M. (1993), "Six Sigma Quality Programs", Quality Progress, June, s.45.

Forrest W.B. (1999), "Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods", Wiley-Interscience.

Gerger, A., & Firuzan, A. R. (2016), "Use of six sigma method as a process improvement technique: A case study in aerospace industry", Academic Journal of Science, 6(1), 191-202.

Girenes, S.Ş. (2006), "Yalın Altı Sigma Metodolojisi ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gümüş, S. (2016), "Altı Sigma Metodolojisi: Tekstil Fabrikasında Bir Uygulama Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi.

Güvener, U. K. (2010), "Altı sigma yaklaşımı ve borusan şirketi uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi.

Harry, M.J. ve Schroeder, R.R. (2000), "Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations", ABD: Doubleday Business.

Honda, A. C., Bernardo, V. Z., Gerolamo, M. C., & Davis, M. M. (2018), "How lean six sigma principles improve hospital performance", Quality Management Journal, 25(2), 70-82.

Işığışok, E. (2006), "Altı Sigma Kara Kuşaklar İçin Hipotez Testleri Yol Haritası", Sigma Center Yönetim Sistemleri.

Janov, J. (1994), "The Inventive Organization"

Larson A. (2003), "Demystifying Six Sigma – A Company Wide Approach to Continuous Improvement"

Markarian, Jennifer, (2004), "What is Six Sigma?"

- Montgomery C. (2001), "Introduction to Statistical Quality Control", 4th Edition.
- Nalcioğlu, H. (2016), "Lean six sigma based methodology for the localization of material supply: an application in steel industry"
- Neuman, R. P., & Cavanagh, R. (2000), "The six sigma way: How GE, Motorola, and other top companies are honing their performance", McGraw Hill Professional.
- Ömürgönülşen, M., & Şahin, N. (2012), "Üretimde altı sigma yaklaşımının üretimde toplam kalite yönetimi anlayışı çerçevesinde bir uygulaması", Verimlilik Dergisi, 2012(4), 7-34.
- Özveri, O., & ÇAKIR, E. (2012), "Yalın Altı Sigma ve Bir Uygulama", Journal of Economics & Administrative Sciences/Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14(2).
- Pande, S. Peter, Neuman, Robert P., Cavanagh, Roland, R., "Six Sigma Yolu", Çev: Güder, Nafiz ve Tokcan, Güneş, Klan Yayınları.
- Pande-Neumann-Cavanaugh, (2000), "The Six Sigma Way – How GE, Motorola and Other Top Companies Are honing Their Performance"
- Pande, P. ve Holpp, L. (2002), "What is Six Sigma?", Mc.Graw-Hill.
- Paton, S.M. (2003), "Consumer-driven Six Sigma saves Ford \$300 million", Quality Digest.
- Pereira, A. M., Silva, M. R., Domingues, M. A., & Sá, J. C. (2019), "Lean Six Sigma Approach to Improve the Production Process in the Mould Industry: a Case Study", Quality Innovation Prosperity, 23(3), 103-121.
- Phruksaphanrat, B. (2019), "Six sigma DMAIC for machine efficiency improvement in a carpet factory", Songklanakarin Journal of Science & Technology, 41(4).
- Polat, A., Cömert, B. ve Arıtürk, T. (2005), "Altı Sigma Vizyonu"
- Pyzdek T. (2003), "The Six Sigma Handbook-Revised and Expanded (Complete Guide for Green Belts, Black Belts and Managers at All Levels", McGraw-Hill Companies, Inc.
- Ray, S., Das, P., & Bhattacharya, B. K. (2011), "Prevention of industrial accidents using Six Sigma approach", International Journal of Lean Six Sigma.
- Satı, Z. E., & Gülay, K. (2012), "Altı Sigma Yönteminin Bir Enerji Santralinde Uygulanması", Business & Economics Research Journal, 3(4), 143-163.

Senol, G., & Anbar, A. (2010), “Alti Sigma ve Finans Sektöründe Alti Sigma Uygulamaları/Six Sigma and Implementations of Six Sigma in Finance Sector”, Business and Economics Research Journal, 1(2), 73

Sitnikov, C.(2002), “The “Six Sigma Phenomena“ – Old or New Perception of Quality?”

Söyü Eren, N. (2017), “Süreç iyileştirme yöntemleri ve altı sigma uygulamaları bir işletme örneği”, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi.

Stewart, R. A., & Spencer, C. A. (2006), “Six-sigma as a strategy for process improvement on construction projects: a case study”, Construction Management and Economics, 24(4), 339-348.

Şahin, F. (2006), “6 sigmanın metal sanayine uygulanması”

Thawani, S. (2004), “Six Sigma Strategy for Organizational Excellence”, Total Quality Management and Business Excellence, c. 15, s. 5-6, ss. 655-664.

Torrezan, R. C., & Fraga, A. (2002), “Light Truck Driveshaft NVH Analysis and Development Using 6Sigma Tools (No. 2002-01-3409)”, SAE Technical Paper.

Türksel, M. (2008), “Altı Sigma Metodolojisi ve Tedarikçi Bazında Uygulanması”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Ünlüsoy, S. (2001), “Strategic Assessment of Six Sigma Implementations in Turkey”, Master of Science Thesis, Boğaziçi Üniversitesi.

Uslu, L. (2002), “Altı Sigma ve sanayi uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.

Uskup K. (2001), “Altı Sigma proje klavuzu”, Ford Otosan Dökümanları.

Yetimler, G (2018), “Yeni ürün devreye alma sürecinde altı sigma yaklaşımı ve bir uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

Yıldırım, C. (2011), “Lean six sigma methodology and an applied study”

Wang, C. C., & Chun-Ting, L. (2019), “An Empirical Study of the Machine Assembly Efficiency Improvement Based on Lean Six Sigma Technique”, TEM Journal, 8(2), 471.

Wheeler-Webb, J., & Furterer, S. L. (2019), “A lean six sigma approach for improving university campus office moves”, International Journal of Lean Six Sigma.

Wilson, M. P. (1999), “Six Sigma: Understanding the Concept, Implications and Challenges, Advanced System Consultants”, Advanced Systems Consultants.

Wyper, B. ve Harison, A. (2000), “Deployment of Six Sigma Methodology in Human Resource Function: A Case Study”, Total Quality Management. 11(4-5-6):720-727.

Zutshi, A., Avutapalli, B., Stagner, D., & Mutlu, H. (2007), “Applying Six Sigma Tools to the Rear Driveline System for Improved Vehicle Level NVH Performance (No. 2007-01-2286)”, SAE Technical Paper.

ÖZGEÇMİŞ

Can BAYDAR aslen Eskişehirli olup, 1990 Malatya doğumludur. 2008 yılında Eskişehir Fatih Anadolu Lisesi ve 2014 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Okulun son döneminde Borusan-Mannessmann Halkalı Fabrikası kalite departmanında yarı dönemli olarak çalışmış, mezun olduktan sonra ise iki yıl boyunca Mersin / Taşucu bölgesinde tek hat üzerinde çalışan dünyanın en büyük ikinci çimento fabrikası olan Medcem'in yapımında ve devreye alımının sonuna kadar saha mühendisi sıfatı ile kariyerine devam etmiştir. Kısa dönem (altı ay) askerlik görevini Ankara'da yerine getirdikten sonra 2016 Temmuz ayında Türkiye'nin en köklü otomotiv firmalarından birinin Ar-ge Merkezi'nde Ürün Geliştirme Mühendisi olarak göreve başlamış ve görevini sürdürmektedir. 2018 Şubat ayında Gebze Teknik Üniversitesi İşletme Yüksek Lisans bölümüne başlamıştır.