

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORU
(FDAM)
TASARIMI VE ANALİZ ÇALIŞMALARI

Kadir CERAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2003

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORU
(FDAM)
TASARIMI VE ANALİZ ÇALIŞMALARI

Kadir CERAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK

GEBZE
2003

Kadir CERAN'nın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun.....tarih ve/.....sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

ÜYE : Doç Dr. E. Murat ESİN

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun.....tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Elektrik ve elektromekanik ürünlerin pazara sunum süresi, günümüz rekabetçi pazar şartlarında çok kısa sürede olmaktadır. İyi tasarım, yüksek kalite ve düşük maliyet, bu ürünler için bir gerekliliktir. Daimi mıknatıslı motorlar, mıknatıs teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak günümüzde bir çok avantajı üzerinde toplamıştır. Elektrik motorlarının, bu yeni teknoloji ile yeniden tasarlanması, bu süreç içerisinde modern mühendislik teknikleri ve yazılımlarını kullanarak disiplinlerarası işbirliği ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, bulaşık makinası ana sirkulasyon motoruna bu yeni teknolojinin uygulaması yapılmıştır. Bu süreç içerisinde mevcut tasarım öncelikle geliştirilmiş, bu geliştirilen platform üzerinde de elektrik ve elektronik çalışmalar ile yeni motor tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sırasında birçok labaratuvar testi, mekanik test, saha testi, ölçüm, mekanik ve elektriksel bilgisayar modellemeleri yapılmıştır. Bu çalışmaları takiben prototip üretim ve sonrasında seri üretim gerçekleştirilmiştir.

SUMMARY

Time-to-market for electrical and electromechanical products is very short at today's competitive market. Robust design, high quality and low cost is a must for these products. Permanent magnet motors have many advantages due to the development of magnet technology. Redesign of electrical motors with this new technology can be possible by using modern engineering techniques and softwares in a multidisciplinary environment. This study covers the implementation of new technology to the dishwasher motor. Firstly, the mechanical design is improved then electrical and electronical modifications are applied to this new designed motor. This study covers many laboratory tests, mechanical tests, field tests measurements, mechanical and electrical-computer simulations. Finally prototypes are built and then mass production is verified.

TEŞEKKÜR

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda; değerli bilgilerini bizlerle paylaşan Bölüm Öğretim Üyeleri'ne, çalışmalarımın her aşamasında yardımcı olup, yol gösteren Yrd. Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK'e, Arçelik Elektrikli Süpürge ve Motor İşletmesi Ürün Geliştirme Yöneticisi Harun Açıkgöz başta olmak üzere, tüm Motor Ürün Geliştirme Bölümü çalışanlarına, ve beni her zaman destekleyen, çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı olmaya çalışan değerli Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Temel Manyetik ve Elektriksel Özellikler	1
1.2.1. Manyetik Alan Temel Büyüklükleri	1
1.2.2 Elektrik Makinaları Kanunları	2
1.2.3 Temel Olarak Elektrik Makinaları	6
1.2.4 DC Motor Modelleri ve AC Motor Grafikleri	7
1.3 Daimi Mıknatıslı Motor Teknolojisi.....	11
1.3.1 Daimi Mıknatısların Elektromagnetik Uyarılma ile Kıyaslanması	11
1.3.2 PM Motorların Sürülmesi	13
1.3.3. Daimi Mıknatıslı Elektrik Motorlarının Sınıflandırılması.....	14
1.3.4. Daimi Mıknatıslı Motorlardaki Yönelimler.....	15
1.3.5. Daimi Mıknatıslı Motorların Kullanım Alanları.....	16

2. BULAŞIK MAKİNASI ANA SİRKULASYON MOTORU GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI:	19
2.1 Mevcut Motor	19
2.2 Mevcut Motorda Yapılan Mekanik Tasarım Çalışmalarına Örnekler	21
2.2.1 Yeni Kapak Tasarım Çalışmaları	21
2.2.2 Kalıp Çalışmaları	26
2.2.3 Rulman Hesabı ve Rulman Seçimi	30
2.2.4 Kapak Tasarımı Doğrulama Çalışmaları	42
2.3 Elektrik ve Magnetik Olarak Yapılan İyileştirme Çalışmaları	52
2.4 Tolerans Analizi	55
2.4.1 Literatür Çalışması	55
2.4.2 Tasarımın Ürün Üzerine Etkileri	60
2.4.3 Tasarım Faktörü Olarak Ölçüsel Tolerans Analizi	65
2.4.4. Tolerans Analizi Metodları	68
2.4.5. Tolerans Analizi ile İlgili Teorik Bilgiler	69
2.5. I-DEAS ile Gerçekleştirilen Tolerans Analizi Çalışmaları	75
2.5.1. Genel Bilgiler	75
2.5.2 Toleranslandırma	77
2.5.3 Tolerans Ekleme	77
2.5.4 Bulaşık Makinası Motorlarındaki Yaylı Pul Parçasının Tolerans Analizi....	79
2.5.6 Bulaşık Makinası Motorlarındaki 18,5 Ölçüsünün Tolerans Analizi	84
2.5.7 Monte Carlo Yöntemi ile Gerçekleştirilen Tolerans Analizi Çalışmaları....	87
3. SONUÇ VE ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR DİZİNİ	98
ÖZGEÇMİŞ	103

EK 2 I-DEAS Tolerans Analizi Sonuçları

EK 3 Manyetik Analiz Sonuçları

EK 4 Labartuvar Çalışmaları

EK 5 Elektriksel Test Çalışmaları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAE	Computer Aided Engineering
FEM	Finite Element Modelling
RP	Rapid Prototyping
PM	Permanent Magnet
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
AC	Alternating Current
DC	Direct Current
EMK	Elektromotor Kuvvet
FDAM	Fırçasız Doğru Akım Motoru
B	Manyetik Akı Yoğunluğu
MMF	Magnetomotive Kuvvet
Φ	Manyetik Akı
H	Manyetik Alan Şiddeti
PT	Pompa Tarafı
PTA	Pompa Tarafı Aksi
RSS	Root Sum Squares
WOW	Worst on Worst
α	Bara / Skew Açısı
β	Helis Açısı
σ	Sigma

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1.1. Basit elektrik devresi	3
1.2. Akım geçen telde oluşan magnetik kuvvet yönü	3
1.3. V hızı ile hareket eden iletken etkiyen kuvvet yönü	4
1.4. EMK oluşumu	5
1.5.Seri bağlama modeli	7
1.6.Shunt bağlama modeli	7
1.7.Bileşik bağlama modeli	7
1.8. Uyarılmalı çokfazlı AC motorda devir moment eğrisi	8
1.9. Senkron çokfazlı AC motorda devir moment eğrisi	9
1.10. Uyarılmalı tekfazlı AC motorda devir moment eğrisi	9
1.11. Uyarılmalı tekfazlı AC motorda devir moment eğrisi	9
1.12. Universal tekfazlı AC motorda devir moment eğrisi	10
1.13. Universal motor montaj resmi	10
2.1. Bulaşık makinası ana sirkulasyon motoru	19
2.2. Pompa tarafı PT bakışı montaj grubu	20
2.3. Pompa tarafı aksi PTA bakışı montaj grubu	20
2.4. Pompa tarafı eski kapak resmi	21
2.5. Pompa tarafı kapak açık tasarım	22
2.6. Pompa tarafı kapak kapalı tasarım	23
2.7. Pompa tarafı kapak vidalı tasarım	23
2.8. Pompa tarafı kapak tırnaklı ve vidalı tasarım	24
2.9 Pompa tarafı kapak tırnaklı ve vidasız tasarım	25
2.10. PT kapak erkek çekirdek CAD datası	26
2.11. PT kapak kalıbı erkek taraf	27
2.12. PT kapak kalıbı erkek çekirdek detayı	27
2.13. PT kapak dişi çekirdek CAD datası	28
2.14. PT kapak kalıbı dişi çekirdek detayı	28
2.15. Yeni ve eski PT kalıplama şekilleri	29
2.16. Rotor-mil ve rulman grubu	30

2.17. Yaylı pul ile ilgili teknik özellikler	32
2.18. On adet yaylı pul ile yapılan F-x ölçümleri	33
2.19. Motor-pompa bağlantısında kullanılan keçenin ölçüleri	34
2.20. Keçe grubu yay karakteristik eğrileri	34
2.21. Rotor çekirdek grubu ve açılarının tanımlanması	35
2.22 Rotor paketinde ALFA ve BETA açılarının gösterimi	36
2.23. Düzlemde ALFA ve BETA açılarının gösterimi	37
2.24. Rotor paketinin üstten görünüşü	37
2.25. Radyal ve eksenel yükler	38
2.26. Rulmanlarda ömür üzerinde çok etkili olan kontaminasyon problemi	42
2.27. Rulman üzerindeki yuvarlanma dairelerindeki düzgünsüzlükler	42
2.28. Kapak üzerindeki sonlu eleman ağı ve yükleme şekilleri	45
2.29. Kapak üzerinde yüklü ve yüksüz durumdaki gerilmeler	46
2.30. Kritik bölgedeki gerilmeler	47
2.31. FEM analizi ile kırılmanın beklendiği bölge	48
2.32. Test sonrası kırılma bölgesi	48
2.33. LLOYD LR10K test düzeneği	49
2.34. 20 adet kapakta ölçülen maksimum kuvvet değerleri	50
2.35. 20 adet kapakta ölçülen yük altında yer değiştirme grafikleri	51
2.36. Daimi mıknatıslı rotor	53
2.37. FDAM rotor tekli gruplama CAD modeli	54
2.38. FDAM rotor magnetleme cihazı CAD modeli	54
2.39. Tasarım değişikliği-zaman yaklaşımları	63
2.40. İmalat sonrasında ölçü dağılımları	67
2.41. Gaussian-Normal dağılım	70
2.42. Monte Carlo metodu adımları	72
2.43. $\pm 3\sigma$, $\pm 4,5\sigma$ $\pm 6\sigma$ dağılım aralıkları	74
2.44. $\pm 3\sigma$ ya göre OK ve RED bölgeleri	74
2.45. Yay ölçüm sonuçları	79
2.46. Yay ölçüm grafikleri	80
2.47. 3-D ortamda parçalar biraraya getirilerek montaj oluşturulur	81
2.48. Montaj üzerinde parçalardan aynı düzlemde kesit alınır	81
2.49. Tolerans analizi ile ilgili parçalar ayıklanır	82

2.50. Tolerans analizi yapılacak ölçü diğer tanımlı ölçüler cinsinden tam olarak ifade edilir	82
2.51. Ayrıntılı analiz karşılaştırmaları	85
2.52. Tolerans bandının altan kısılması halindeki dağılım	86
2.53. Tolerans bandının imalat dağılımı	86
2.54. Simulasyon öncesi başlangıç değerleri	88
2.55. PT kapak SPC datası	89
2.56. PTA kapak SPC datası	89
2.57. Üçgen sayı türeticisi	90
2.58 Dağılım türetme fonksiyonu	91
2.59 Dağılım modelleri	91
2.60 İterasyon sonrası sonuçlar	93
2.61 Simulasyon sonuçları	94
2.62. Simulasyon sonrası kümülatif dağılım	95
2.63. Simulasyon sonrası end-play dağılımı	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
2.1. Müşterinin Algıladığı Kalite Kriterleri	62

1.GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, tek fazlı asenkron motorlara örnek teşkil eden, bulaşık makinası ana sirkulasyon pompası motoru konu olarak seçilmiştir. İlk olarak elektrik motorlarının temelleri ile ilgili elektriksel ve magnetik özelliklere yer verilmiştir. Bu kısımda verilen bilgilerin amacı; elektrik motorları için yapılan labaratuvar testlerini, deneylerini ve bilgisayar ortamında yapılan modelleri; mekanik tasarım çalışmalarına girdi olarak kullanırken doğru olarak yorumlamayı hedeflemektedir. Bu temel bilgilerin üzerine, elektrik motorları üzerine son senelerde yapılan çalışmalar ve bu konu ile ilgili yönelimlere yer verilmiştir.

Çalışmanın amacı, var olan elektriksel, üretim, kalite, tasarım ve mekanik bilgilerinin, eş zamanlı mühendislik çalışma prensipleri yardımı ile, disiplinler arası paylaşılarak, modern ürün geliştirme süreçlerini ve mühendislik araçlarını (CAD/CAM/CAE, manyetik ve elektriksel analiz, hızlı prototipleme, 6 σ , FMEA.. vb) kullanarak yeni teknoloji ürünü, rekabetçi bir motor üretimidir. Bu çalışmalar sırasında, sonlu elemanlar analizi ile tasarımın doğrulanması ve tolerans analizi ile kavramsal tasarım aşamasında, olası üretim problemlerinin öngörülebilmesi vurgulanmıştır.

1.2. Temel Manyetik ve Elektriksel Özellikler

1.2.1. Manyetik Alan Temel Büyüklükleri

Manyetik Akı (Φ): Manyetik kuvvetler tarafından oluşturulduğu varsayılan alan çizgileridir. Birimi Weber' dir.

Manyetik Akı Yoğunluğu (B): Birim alandan geçen manyetik akıdır.

$$1 \text{ Weber/m}^2 = 1 \text{ Vs/ m}^2 = 1 \text{ Tesla (T);} \quad 1 \text{ T} = 10^4 \text{ Gauss} \quad (1.1)$$

Magnetomotive Kuvet (MMF): Manyetik potansiyel farkı.

$$F=NI \text{ (amper-sarım)} \quad (1.2)$$

Manyetik Alan Şiddeti (H): (Manyetiklenme kuveti) Birim uzunluktaki magnetomotive kuvet.

$$1 \text{ Amper-sarım/m} = 0.0126 \text{ Oersted} \quad (1.3)$$

1.2.2 Elektrik Makinaları Kanunları

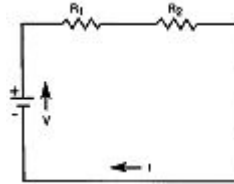
Faraday Yasası

Manyetik endüksiyon

$$E_g = -N \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad E_g = Blv \quad (1.4)$$

Kirchhoff Yasası

Elektrik devre hesabı

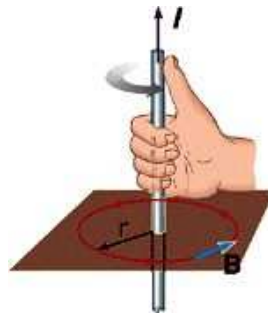


Şekil 1.1. Basit elektrik devresi

$$\sum (V + E) = \sum IR \quad (1.5)$$

Ampere Yasası

Manyetik alan halkalanma kuralı

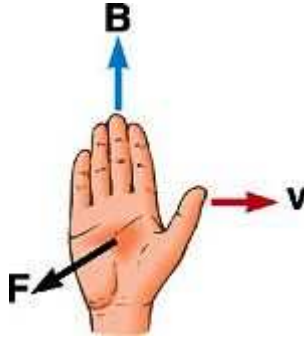


Şekil 1.2. Akım geçen telde oluşan magnetik kuvet yönü

$$\oint H_l dl = NI \quad (1.6)$$

Biot-Savart Yasası

Manyetik alan içerisinde, iletken üzerindeki kuvvet hesabı



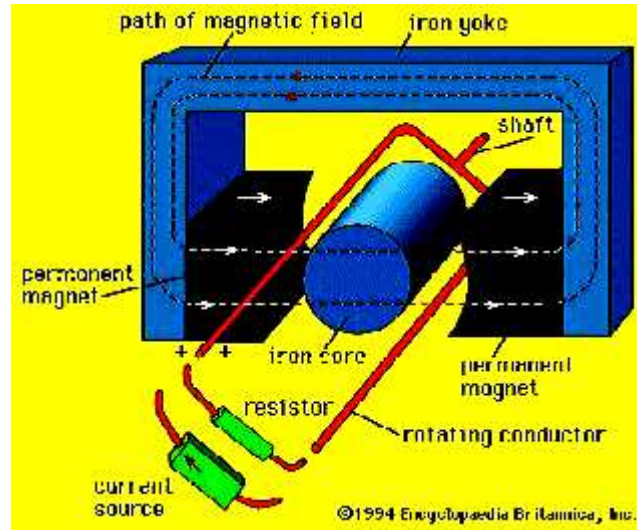
Şekil 1.3. V hızı ile hareket eden iletkene etkiyen kuvvet yönü

$$F = BIl \quad (1.7)$$

$$T = \left[K \frac{N\Phi p}{a} \right] I \quad (1.8)$$

Faraday Yasası

Herhangi bir manyetik alan içerisinde bulunan iletken hareket ettirilirse, bu iletkende elektromotor kuvvet (EMK) doğar; ya da değişken bir manyetik alan içerisinde bulunan iletkende EMK doğar.



Şekil 1.4. EMK oluşumu

Lenz Yasası

EMK tarafından endüklenen akım, kendini oluşturan akının yönüne zıt olacak şekilde bir akı endükler.

1.2.3 Temel Olarak Elektrik Makinaları

En genel anlamda hareketli elektrik makinaları ikiye ayrılabilir:

- Motorlar; elektrik enerjisini, mekanik enerjiye,
- Jenaratörler; mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine,

çevirirler.

Bu dönüşüm sırasındaki kayıplar ısı olarak ortaya çıkar. Elektrik makinalarındaki kayıpların az oluşu, verimlerinin yüksek olmasına olanak vermektedir.

Motorlar; sanayii, ulaşım, büro makinaları, ev aletleri, beyaz eşya, otomobiller, robotlar, tezgahlar, tıp teknolojisi ve silah sistemleri gibi birçok kullanım alanına sahiptir. Özellikle elektronik ile ilgili gelişmeler sonucunda motorların kontrolünde çok büyük ilerlemeler kaydedilmektedir. Örneğin bir evde kullanılan motorların başlıcalarını sıralanırsa ;

- Buzdolabı, kahve makinası, mikser, mutfak robotu,
- Çamaşır, bulaşık, kurutucu makinaları,
- Elektrikli süpürge, vantilatör,
- Bahçe makinaları, onarım makinaları
- CD çalar, bilgisayar, video

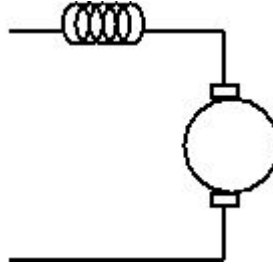
gibi çok geniş bir kullanım sahası olduğunu görmek mümkündür.

Jenaratörler ise, gemi, uçak, raylı taşıma araçları, güç besleme sistemleri için elektrik üretmek amaçlı kullanılırlar.

1.2.4 DC Motor Modelleri ve AC Motor Grafikleri

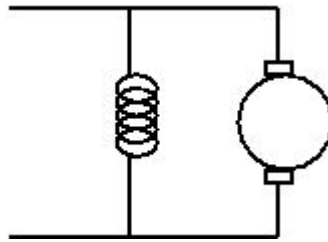
1.2.4.1 DC Motor Modelleri

- Seri Model



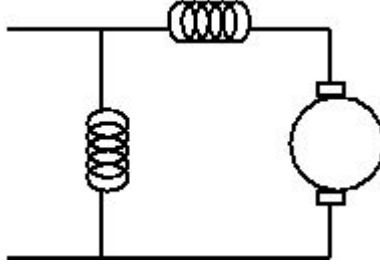
Şekil 1.5. Seri bağlama modeli

- Shunt Model



Şekil 1 .6. Shunt bağlama modeli

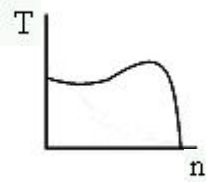
- Bileşik Model



Şekil 1.7. Bileşik bağlama modeli

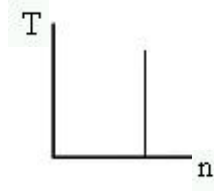
1.2.4.2 AC Motorlarda Moment-Devir Grafikleri

- Uyarılmalı çokfazlı AC motorlar



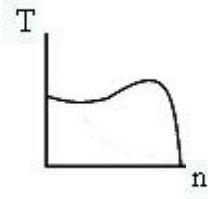
Şekil 1.8. Uyarılmalı çokfazlı AC motorda devir moment eğrisi

- Senkron çokfazlı AC motorlar



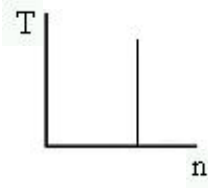
Şekil 1.9. Senkron çokfazlı AC motorda devir moment eğrisi

- Uyarılmalı tekfazlı AC motorlar



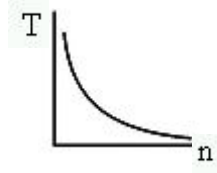
Şekil 1.10. Uyarılmalı tekfazlı AC motorda devir moment eğrisi

- Senkron tekfazlı AC motorlar



Şekil 1.11. Uyarılmalı tekfazlı AC motorda devir moment eğrisi

- Universal tekfazlı AC motorlar



Şekil 1.12. Universal tekfazlı AC motorda devir moment eğrisi



Şekil 1.13. Universal motor montaj resmi

1.3 Daimi Mıknatıslı Motor Teknolojisi

1.3.1 Daimi Mıknatısların Elektromagnetik Uyarılma ile Kıyaslanması

Daimi mıknatıs (Permanent Magnet, PM) kullanılarak imal edilen motorların, genel olarak klasik elektromagnetik uyarılma ile çalışan motorlar ile kıyaslandığında şu avantajları sağladığı gözlenmektedir [Gieras and Wing, 1994]:

- Alan uyarılması için, ekstra elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmadığından, uyarılma kayıplarında azalma; dolayısı ile verimde artış
- Elektromagnetik uyarılma ile kıyaslandığında, (aynı hacim için) daha yüksek tork ve çıkış gücü elde edilmesi
- Elektromagnetik uyarılma ile kıyaslandığında, hava aralığında daha yüksek magnetik akı elde edilmesi ve sonucunda daha yüksek dinamik performans elde edilmesi
- İmalat kolaylığı
- Bakım kolaylığı
- Maliyet avantajı

PM motorların ilk kullanımı 19. yy'ın başlarıdır. Ancak o zaman kullanılan (çelik ve tungsten çeliği) ağır magnetik malzemelerden dolayı çalışmalardan iyi sonuç alınamamıştır. Günümüzde, PM sistemlerinde dc komutatörlü ve slotlu rotor (ferrit mıknatıs) kullanılmaktadır. Daha ucuz olan baryum ferrit veya stronsiyum ferritin statorda kullanıldığı PM uygulamaları, görünür gelecekte taşıtlarda, oyuncaklarda ve beyaz eşyalarda kullanıma geçecektir [Gieras and Wing, 1994].

Kafesli motorlar, 20. yy. daki en popüler elektrik motorları olmuşturlardır. Son zamanlarda, güç elektroniği ve kontrol teknolojilerindeki gelişmeler ışığında uygulama alanlarında gelişme kaydetilmektedir. Bu motorların en büyük avantajları arasında; basit yapıları, tamirlerinin kolay olması, komütatörün bulunmaması, düşük maliyet ve makul güvenilirlik kriterlerini sağlaması gösterilebilir. Senkron motorlar ile kıyaslandığında dezavantajları arasında, hava aralığının az olması rotorlarındaki kırıma problemleri, düşük verim ve düşük güç faktörü gösterilebilir.

Fırçasız PM motorların kullanılması, uyarılmalı motorlarının kullanımından daha çekici hale gelmiştir. Bunun nedeni kullanılan mıknatısların, düzgün haldeki performansı (steady-state performansı) iyileştirmesi yanısıra; güç yoğunluğu (kütle-çıkış gücü), dinamik performans ve kalite üzerine olumlu etkileri bulunmaktadır. Kullanılan mıknatısların maliyetindeki düşüş, bu motorların kullanım popüleritesini artırmaktadır. Yarı iletkenler alanındaki gelişmeler göstermiştir ki, fırçasız motorların kontrolü, motorun çalışma aralığının genişleyip bu aralıktaki veriminin de iyi olması şartı sağlanarak, daha da kolay ve ucuz bir yöntem olarak gelişmektedir.

Servo motor teknolojisi, konvansyonel DC ya da iki fazlı AC motor sürücülerinden, üç fazlı fırçasız vektör kontrollü AC motor sürücülerine dönmektedir. Bu motorlar, hafiflik, hızlı cevap, sürekli ve yüksek tork elde edilmesinin gerektiği durumlarda öne çıkmaktadırlar.

Fırçasız AC veya DC motorlarda, mıknatıslar rotor üzerine dizilmiştir ve armatür sargısı stator üzerinde bulunmaktadır. Bu yüzden armatür üzerindeki akımın kömür ya da komütatör üzerinden geçmesine gerek bulunmamaktadır; esasen bir motor üzerindeki tamir gerektiren ana parçalar da bu elemanlardır. Motorlara ait %90 bakım, kayar kontakt üzerinedir. DC komütatör motorlarında güç kayıplarının ana nedeni, rotordur. Rotor ısı transferini ve dolayısı ile armatür sarımlarındaki akım yoğunluğunu engellemektedir. PM motorlarındaki ana güç kaybı ise, statorda oluşmaktadır. Bu ısı transferi açısından daha iyi bir durumdur. Fırçasız PM motorların dinamiğinde gelişmeler hızla devam etmektedir, bunun nedeni, rotorun

daha düşük ataleti, geniş hava aralığı magnetik akı yoğunluğu ve hıza bağımlı akım limitinin bulunmaması gösterilebilir [Gieras and Wing, 1994].

Fırçasız PM motorun elektromekanik sürüşü uyarılmalı'ya göre, motoru 10-15 kW daha avantajlı çıkarmasından dolayı daha uygulanabilir hale gelmiştir. Ayrıca Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde 1 MW güçlü fırçasız PM motor çalışmaları sürdürülmektedir. Yüksek performanslı mıknatısların ferrite ve Alnico mıknatısı yerine kullanılması ile, çıkış gücü / kütle oranı, geliştirilmiş dinamik performans ve yüksek verim ana ilgi alanı olmuştur. Bu kriterin uygulama alanı olarak öne çıktığı sahalar içerisinde, bazı bilgisayar uygulamaları, robot ve tezgahlarda kullanılan servo motorlar gösterilebilir [Gieras and Wing, 1994].

1.3.2. PM Motorların Sürülmesi

En genel olarak, bütün elektromagnetik sürüşler sabit hızlı, servo ve değişken hızlı olarak ayrılabilir [Gieras and Wing, 1994].

Sabit hızlı sürüşte, genelde senkron motor kullanılarak, hız sabit tutulur. Bu sürüşte elektronik dönüştürücü, geri besleme ya da başka bir motora hızdeğişim toleranslarında fazladan bir kısıtlama bulunmadıkça gerek duyulmaz.

Servo motor sistemlerinde, hız, konum gibi değişkenleri sürekli olarak kontrol eden ve burdan alınan verileri değerlendirip, sisteme gerekli müdahaleyi yaparak gerekli düzeltmeleri sürekli olarak uygulayarak farkı minimize etmeye çalışan bir yapı vardır. Servo motor sürüşünde, hassas kontrol amacı için konum ya da hız geri beslemesi vardır. Burada cevap zamanı ve doğruluk izlenen parametrelerin (hız, konum) izlenmesinde çok önemli rol oynamaktadır.

Değişken hızlı sistemlerde doğruluk veya cevap zamanı, motorun takip ettiği hız komutu, önemli değildir, hızın geniş bir aralıkta değişim ihtiyacı bulunmaktadır. Konum ve hızın kontrol edildiği bütün elektromagnetik sürüşlerde, güç elektroniği dönüştürücüsü güç kaynağı ile motor arasında yer almaktadır.

1.3.3. Daimi Mıknatıslı Elektrik Motorlarının Sınıflandırılması

Genel olarak , PM motorlar şöyle sınıflandırılabilir:

- DC kömütatörlü motorlar
- DC fırçasız motorlar
- AC senkron motorlar

DC komütatörlü motorların yapımı, elektromagnetik uyarılmalı DC motorlara PM eklenmesi ile olur. PM fırçasız DC motorlar ile AC senkron motor tasarımları pratikte birbirlerinin aynıdır. Tek fark, kontrol mantığı ve uyarma direncidir:

- AC senkron motorlar dönel alan yaratan sinüsoidalden daha az veya fazla bir dalga yapısı ile beslenir.
- PM DC fırçasız motorların armatürlerinde kare (trapezoidal) dalga formu, sadece iki fazlı sargı (Y tipi bağlantılarda) akımı aynı zamanda iletir ve devre anahtarının modeli rotorun açısal pozisyonu ile senkronize olur (elektronik komütasyon).

Senkron ve DC fırçasız motorların armatür akımları, fırça yolu ile iletilmez. Fırçasız motorların başka bir avantajı ise, güç kayıplarının, ısı transferi bakımından daha avantajlı olduğu statörde meydana gelmesidir. DC komütatörlü klasik motora kıyasla güç yoğunluğu artırılabilir. Hava aralığı magnetik akı yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklı dinamik iyileştirmelere açık durumdadır [Gieras and Wing, 1994].

Şu ana kadar, PM DC komütatörlü motor tipleri olarak aşağıdaki modeller yapılmıştır:

- Konvansyonel slotlu rotor yapılı motorlar
- Slotsuz rotor yapılı motorlar
- Hareketli bobin rotorlu motorlar
 - o Dış alan tipli
 - o Silindirik rotorlu iç alan tipli

PM AC senkron ve DC fırçasız motorlar olarak aşağıdaki modeller yapılmıştır

- Konvansyonel slotlu statorlu motorlar
- Slotsuz statorlu motorlar
- Silindirik tipli motorlar
- Disk tipi motorlar
 - o Tek taraflı disk tipi
 - o Çift taraflı disk tipi

1.3.4. Daimi Mıknatıslı Motorlardaki Yönelimler

Elektromekanik sürüş ailesi, elektrik ve elektronik marketindeki en büyük paya sahiptir. Yapılan market analizleri göstermektedir ki, her sene AC motorlarındaki artış az olmakla birlikte, PM DC motorlarında çok büyük artışlar gözlemlenmektedir [Gieras and Wing, 1994].

Küçük PM motorları özellikle bilgisayar uygulamaları, ofis aletleri, medikal aletler, ölçme teknolojisi, otomobiller ve robot uygulamalarında görülmektedir. Bu

konuda günümüz perspektifinden bakıldığında Uzak Doğu (Cin, Japonya ve Kore), Amerika ve Avrupa en büyük market alanına sahiptir.

1.3.5. Daimi Mıknatıslı Motorların Kullanım Alanları

PM motorların kullanım alanları, mWs'den yüzlerce kW's ye kadar değişen bir aralıktadır. Ayrıca 1MW motor için çalışmalar günümüzde devam etmektedir. Kullanım alanlarını kısaca sınıflandırılırsa:

1.3.5.1 Endüstri Uygulamaları

Küçük ev aletleri ve endüstriyel makinalar (pompalar, fanlar, kompresörler), takım tezgahları, servo sürücüler, otomasyon sistemleri, taşıma sistemleri ve robotlar motorların endüstri uygulamalarında kullanıldığı başlıca alanlardır.

1.3.5.2 Günlük Uygulamalar

Havalandırma sistemleri, ATM'ler, otomatik bilet makinaları, saatler, park otomatları, bar kod okuyucular motorların günlük uygulamalarda kullanıldığı başlıca alanlardır.

1.3.5.3 Evsel Uygulamalar

Mutfak aletleri ve makinaları (buzdolapları, mikrodalga fırınlar, mikserler, bulaşık makinaları ..vb), banyo cihazları (saç kurutucular, elektrikli traş makinaları, elektrikli diş fırçaları, masaj aletleri ..vb), kurutucu ve çamaşır yıkama makinası, havalandırma ve ısıtıcı sistemleri, elektrikli süpürgeler, çim biçme makinaları, yüzme havuzu pompaları, oyuncaklar, görüntü ve ses sistemleri, güvenlik sistemleri (otomatik garaj kapıları ..vb) motorların evsel uygulamalarda kullanıldığı başlıca alanlardır.

1.3.5.4 Ofis ve İletişim Teknolojilerindeki Uygulamaları

Bilgisayarlar, yazıcılar, plotterlar, tarayıcılar, faks makinaları ve fotokopi makinaları motorların ofis ve iletişim teknolojilerindeki kullanıldığı başlıca alanlardır.

1.3.5.5 Ulaşım Sistemleri

Asansör ve yürüyen merdivenler, hafif raylı taşıma sistemleri, elektrikle çalışan araçlar, elektrikli gemiler ve hava kontrol sistemleri motorların ulaşım sistemlerinde kullanıldığı başlıca alanlardır.

1.3.5.6 Savunma Sanayii

Tanklar, füzeler, radar sistemleri, denizaltılar ve torpido sistemleri motorların savunma sanayiinde kullanıldığı başlıca alanlardır.

1.3.5.7 Havacılık Sanayii

Roketler, uzay mekikleri ve uydular motorların havacılık sanayiinde kullanıldığı başlıca alanlardır.

1.3.5.8 Medikal Sistemler

Dişçi aletleri, elektrikli sandalyeler, kompresörler, yapay kalp ve rehabilitasyon cihazları motorların medikal sistemlerde kullanıldığı başlıca alanlardır.

1.3.5.9 İş Makinaları

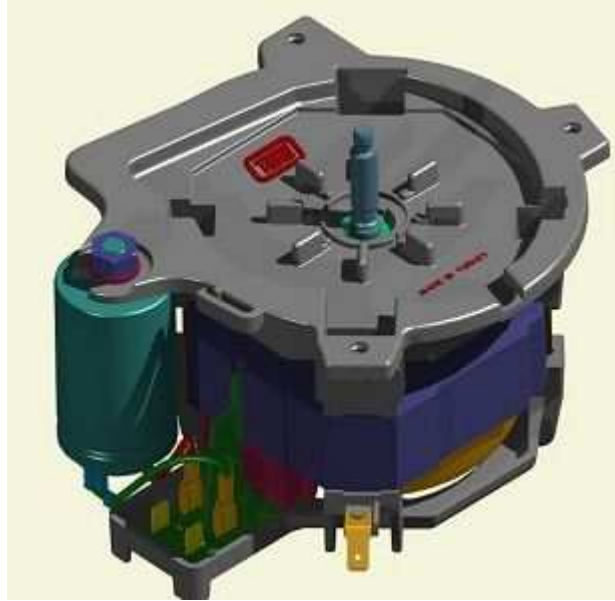
Deliciler, motorlu el aletleri, aşındırıcılar ve öğütücüler motorların iş makinalarında kullanıldığı başlıca alanlardır.

2. BULAŞIK MAKİNASI ANA SİRKULASYON MOTORU GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

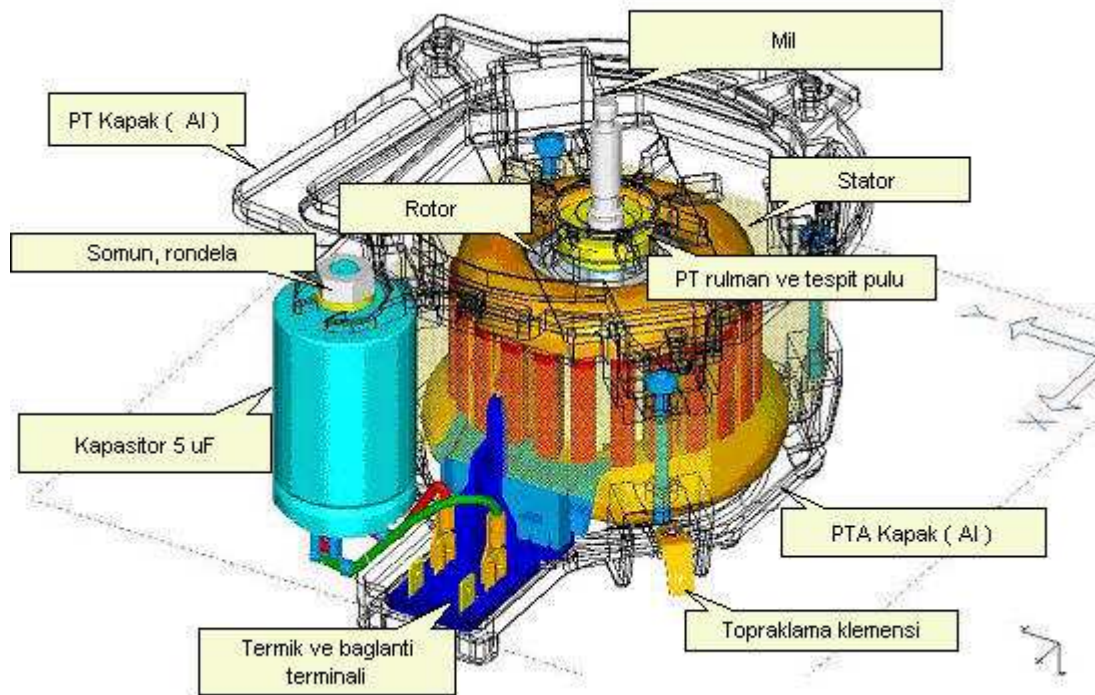
2.1 Mevcut Motor

Bulaşık makinalarında hali hazırda kullanılmakta olan motor, tekfazlı, uyarımlı, asenkron motordur. Bu motoru temel karakteristikleri şöyledir:

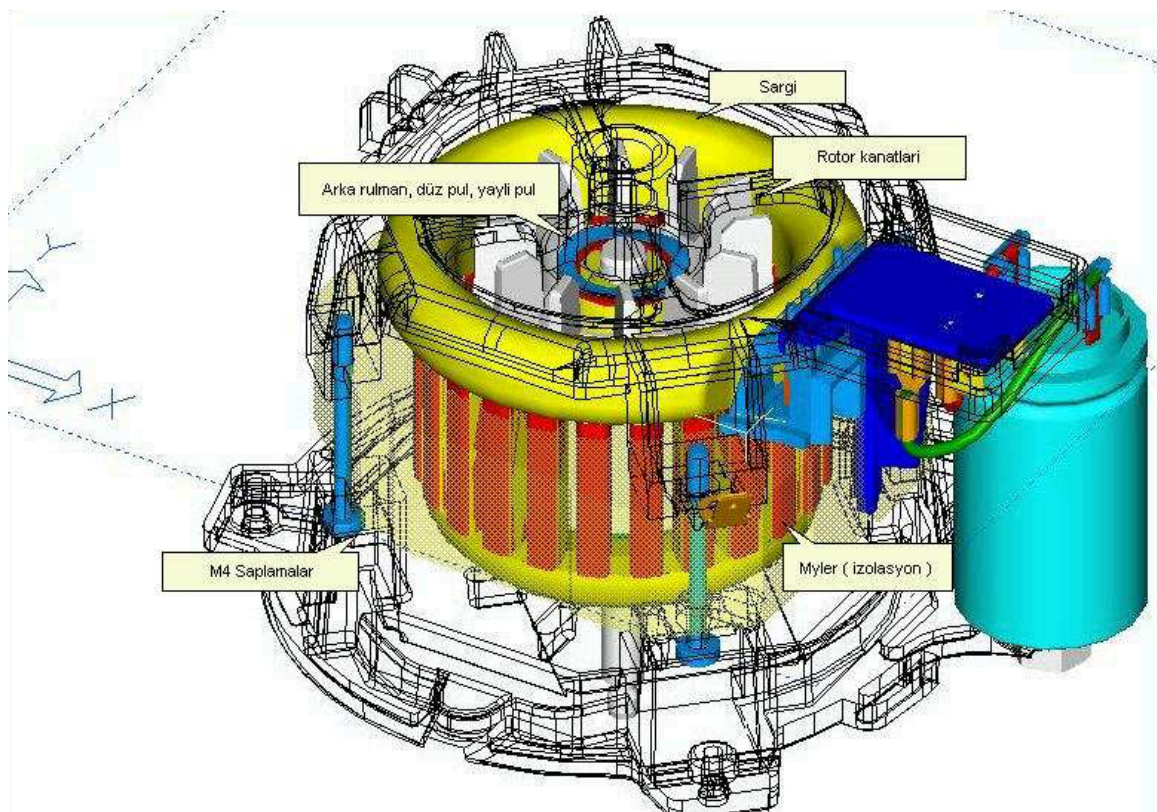
220/240 V 50 Hz de çalışan, F sınıfı izolasyonlu, termal korumalı, 2800 dev/dak da 3.2 kgcm lik tork üretebilen, 90 W mil çıkış güçlü, 2,5 kg ağırlığında ve kapasitorlü bir motordur.



Şekil 2.1. Bulaşık makinası ana sirkulasyon motoru



Şekil 2.2. Pompa tarafı (PT) bakışı montaj grubu

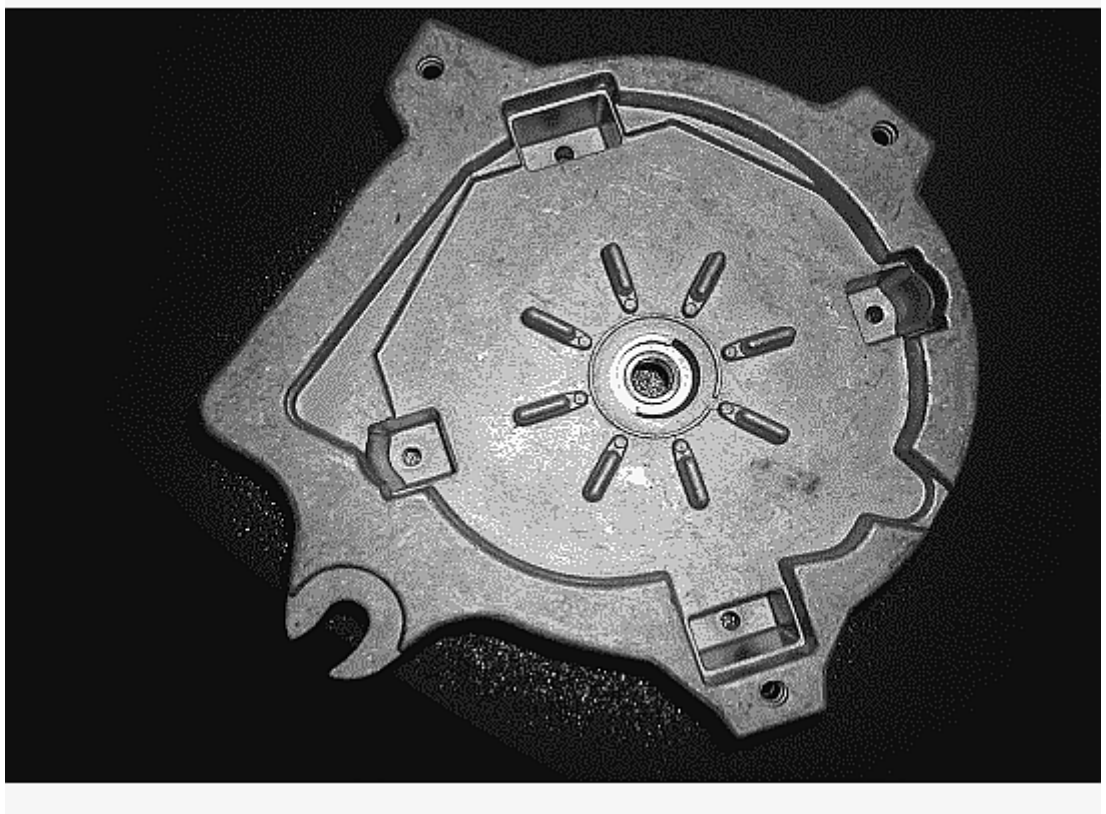


Şekil 2.3. Pompa tarafı aksi (PTA) bakışı montaj grubu

2.2 Mevcut Motorda Yapılan Mekanik Tasarım Çalışmalarına Örnekler

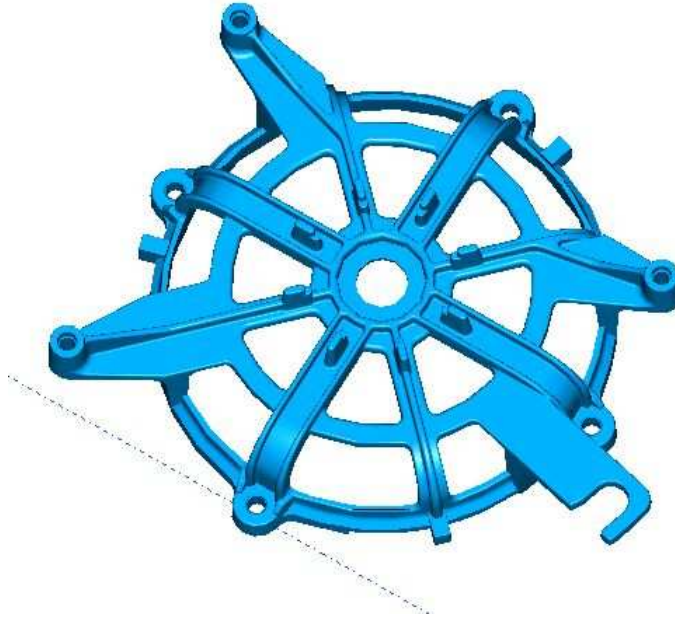
2.2.1 Yeni Kapak Tasarım Çalışmaları

Yeni motora geçiş sürecinde en büyük hedeflerden birisi - kapaklarda yapılacak olan tasarım değişikliği ile - malzeme (Etial 141-GD Al Si 12 Cu) tasarrufu ve enjeksiyon sırasında işlem zamanından kazançtır. Al enjeksiyon sıcaklığı $700 \pm 10 \text{ C}^{\circ}$ 'dir.



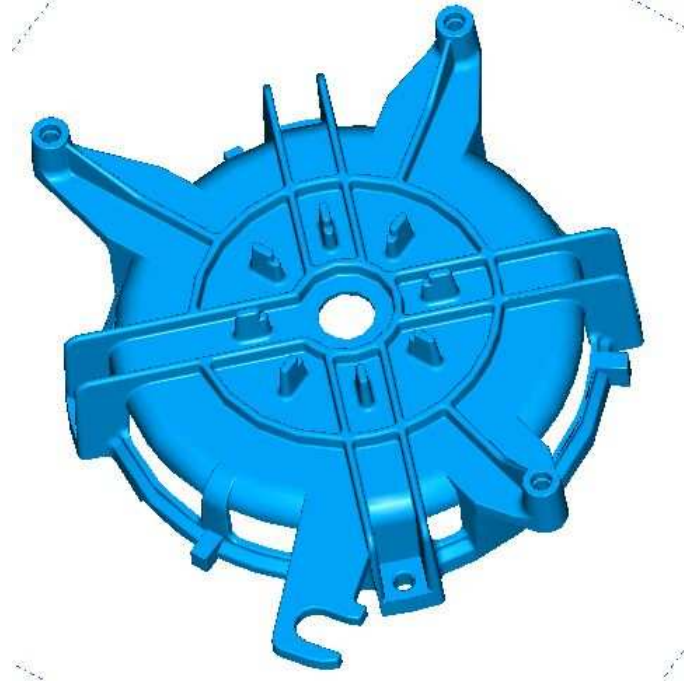
Şekil 2.4. Pompa tarafı eski kapak resmi

Yeni motor kapak tasarımı için kavramsal tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu numune kapaklar CNC de işlenerek prototip motor-pompa testleri yapılmıştır. Kapaklarda görülen ısınma ve üretilebilirlik-monte edilebilirlik şartlarına göre bir seçim yapılmıştır.



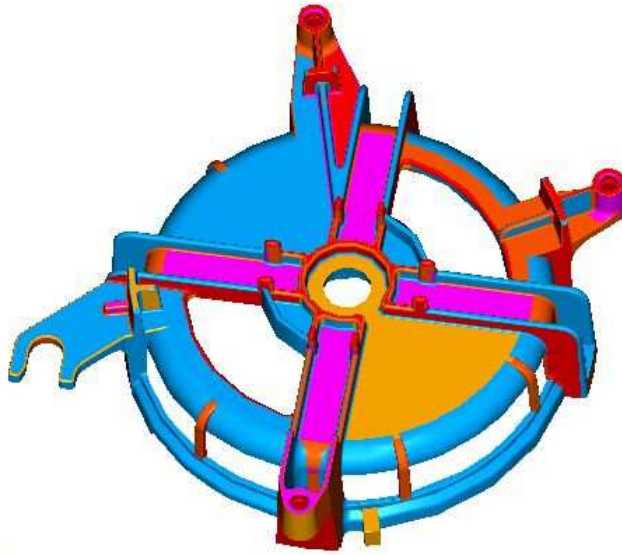
Şekil 2.5. Pompa tarafı kapak açık tasarım

İlk olarak düşünülen kapak tasarımı, mümkün olduğunca az malzeme harcama esasına dayanmaktadır.



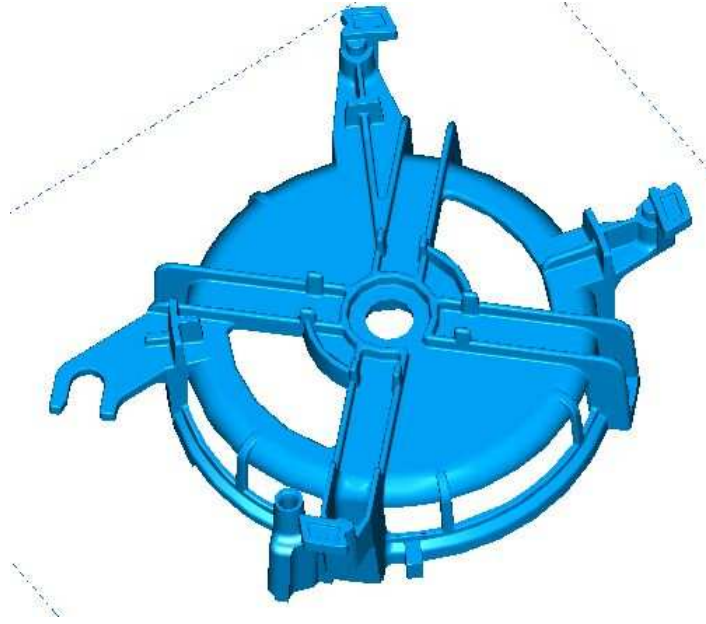
Şekil 2.6. Pompa tarafı kapak kapalı tasarım

Daha sonra yapılan tasarım ilk yapılan kapağa göre oldukça mukavim bir yapıya sahiptir. Isınma değerleri incelendiğinde, motor kapağı üzerindeki tasarımın taşınım yolu ile olduğu, kapalı motor tasarımının ısınma üzerinde olumlu etkisi olduğu görülmüştür.



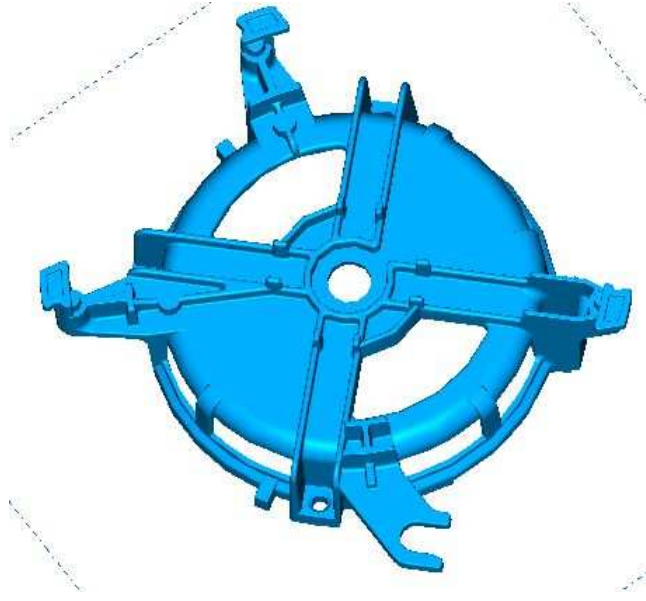
Şekil 2.7. Pompa tarafı kapak vidalı tasarım

Motor-pompa bağlantısı için motor üzerine ek yüzeyler yapılması düşünülmüştür. Bu oturma yüzeyleri kullanılarak, motor-pompa bağlantısının öngörülen ölçü ve toleranslarda, bir düzlem çerçevesi dahilinde olmasına karar verilmiştir.



Şekil 2.8. Pompa tarafı kapak tırnaklı ve vidalı tasarım

Vidalı bağlantı konsepti üzerine tırnaklı geçiş (snap fit) modeli oluşturulmuştur.



Şekil 2.9 Pompa tarafı kapak tırnaklı ve vidasız tasarım

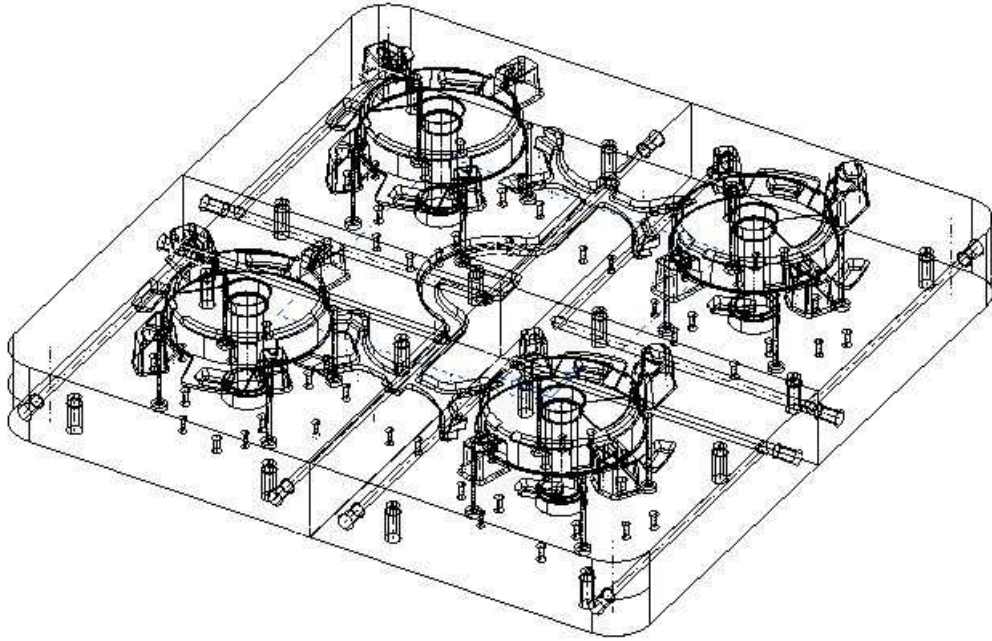
Son tasarımda, bağlantı kemerleri ve federler kalınlaştırılmış, kalıplama mantığı değiştirilmiştir. Kapağın kalıptan daha rahat çıkartılabilmesi ve enjeksiyon süresinin zamanını minumum düzeye çekebilmek için iticiler için ek yüzeyler yaratılmıştır.

2.2.2 Kalıp Çalışmaları

Yapılan tasarım değişiklikleri ve döküm sırasında karşılaşılan problemlerden alınan geri bildirimler doğrultusunda kalıp tasarımıda değişiklik yapılmıştır. Erkek (hareketli) ve dişi (sabit) çekirdekler yer değiştirmiştir.

2.2.2.1 Eski Kalıp Tasarımı ve Çalışma Şekli

Eski kalıpta, Şekil 2.10'daki bilgisayar destekli tasarım ve resimlerden de rahatça görülebileceği üzere, iticiler ve yolluk erkek tarafta bulunmaktadır.



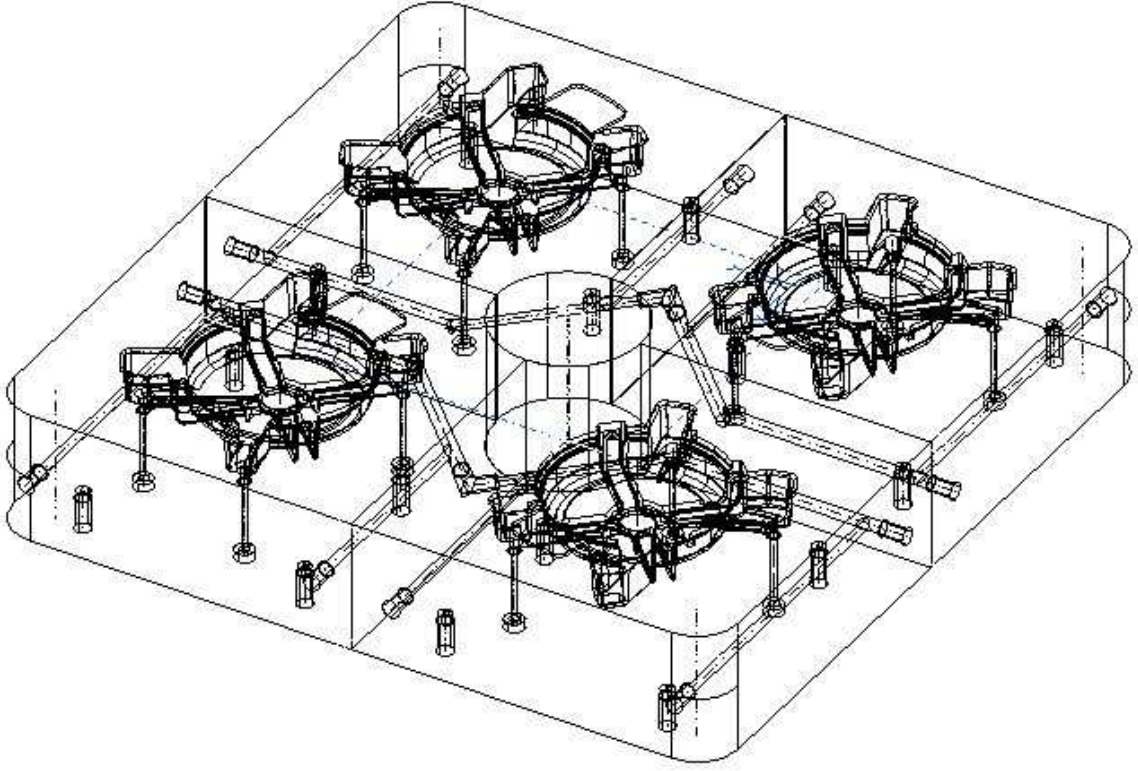
Şekil 2.10. PT kapak erkek çekirdek CAD datası



Şekil 2.11. PT kapak kalıbı erkek taraf



Şekil 2.12. PT kapak kalıbı erkek çekirdek detayı



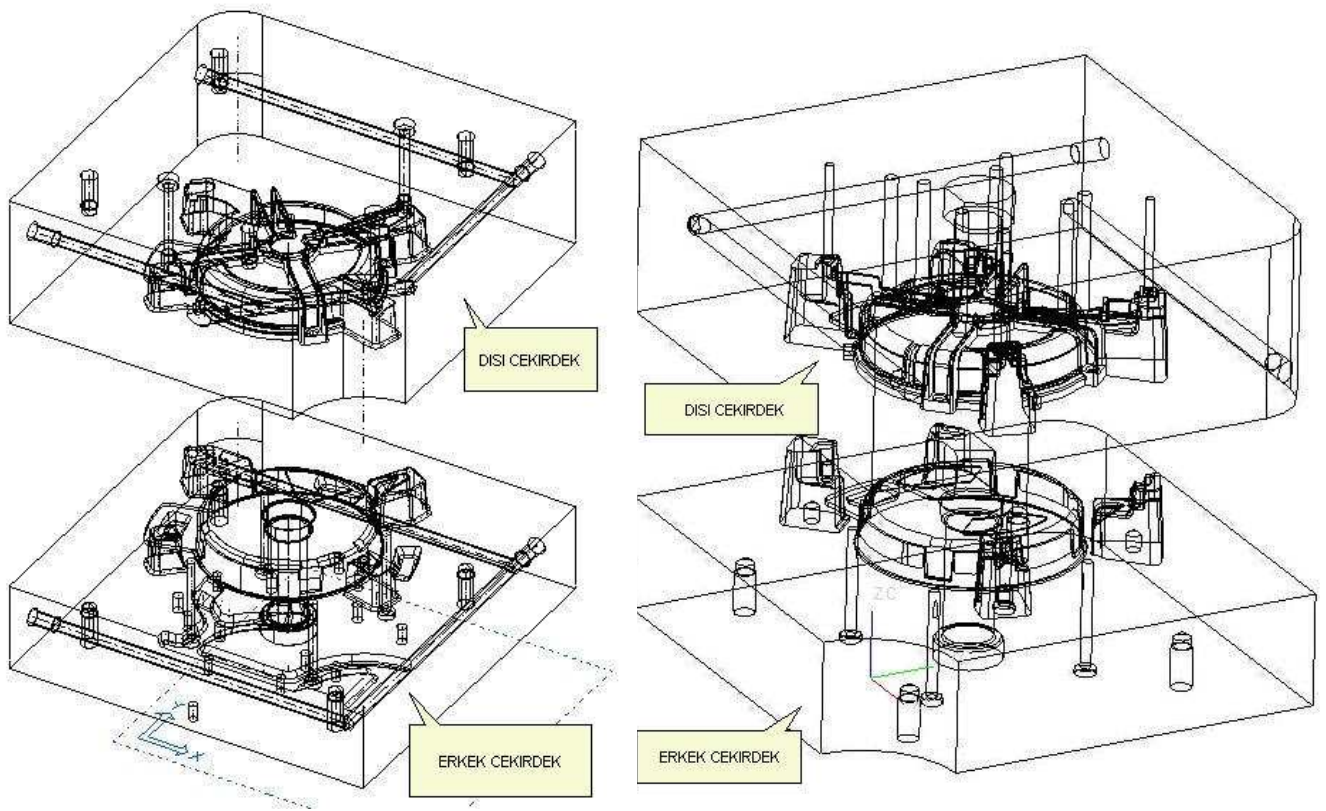
Şekil 2.13. PT kapak dişi çekirdek CAD datası



Şekil 2.14. PT kapak kalıbı dişi çekirdek detayı

2.2.2.2 Yeni Kalıp Tasarımı ve Çalışma Şekli

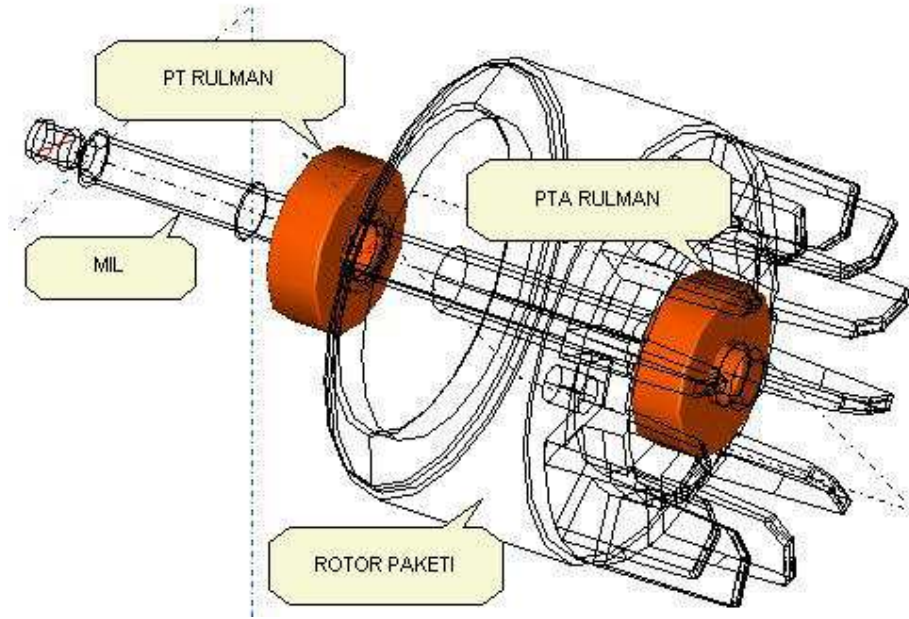
Yeni kalıpta iticiler dişi tarafa çekilmiştir. Böylece hem kalıplama ve üretim kolaylığı sağlanmış, hem de elektrik motorları için büyük tehlike oluşturan iticilerin oluşturduğu çapaklar, sargıdan uzak yere taşınarak, motorda oluşması muhtemel kısa devre problemlerine çözüm getirilmiştir.



Şekil 2.15. Yeni ve eski PT kalıplama şekilleri

2.2.3 Rulman Hesabı ve Rulman Seçimi

Rulmanların görevi, hareketli olan rotora çakılı milin yataklanmasını sağlamaktır. Yeni motor tasarımında, motora yataklara gelen kuvvetler hesaplanarak rulman seçimi yapılmıştır.



Şekil 2.16. Rotor-mil ve rulman grubu

Rulman olarak 608 rulman seçilmiştir. İlgili rulmanın teknik resmi ve özellikleri Ek1’de verilmiştir. Rulman üzerine etkiyen radyal ve eksenel yönde kuvvetler bulunmaktadır. Bu kuvvetlerin etkisinde ve motorun çalışma hızında (2800 rpm) ömür hesabı yapılmıştır:

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3 \quad (2.1)$$

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

L_{10h} : Saat cinsinden ömür ,

n : devir sayısı (rpm), (2800 rpm)

C : Dinamik yükleme katsayısı (SKF 608 rulman için 3250 N / NMB 608 rulman için 3297 N'dir.)

P : Dinamik eşdeğer rulman yükü

p : Ömür hesabı üssü

C_0 : Statik yükleme katsayısı (SKF 608 rulman için 1370 N / NMB 608 rulman için 1368 N 'dir.)

$$P = XF_r + YF_a \quad (2.2)$$

X : Radyal yük katsayısı

Y : Eksenel yük katsayısı

F_r : Radyal yüklerin toplamı

F_a : Eksenel yüklerin toplamı

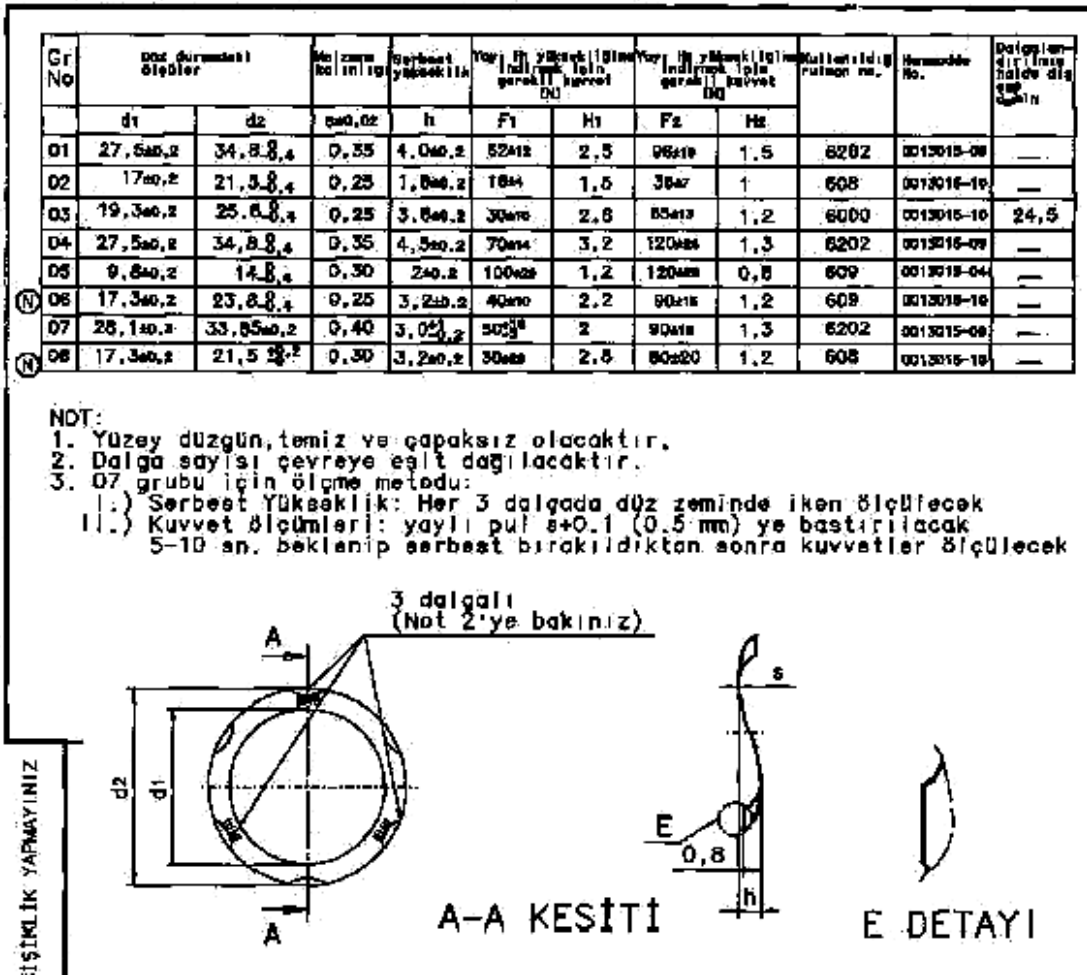
Radyal yönde rulmana etkiyen bir kuvvet bulunmamaktadır. Ağırlığın büyük bölümü magnetik kuvvet tarafından dengelenmiştir. Eksenel yönde rulmana etkiyen kuvvetler şöyle özetlenebilir

- **Yay kuveti:**

Motordaki parçaların toleranslarını kompanze edilecek ve rulmanların sağlıklı çalışması amacı ile yaylı pul elemanı kullanılmaktadır. 608 rulman için Şekil 2.17'de

ki 8 grubu yaylı pul kullanılmaktadır. Buradan yayın serbest yüksekliği ve çalışma aralığındaki kuvvetler okunabilmektedir.

Örnek yayların istenilen özellikte olduğunu doğrulamak amacı ile, 10 adet örnek yaylı pul seçilmiştir. Bu yaylı pul numuneleri LLOYD LR10K yük hücresi tarafından yapılan kuvvet uzama grafikleri Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



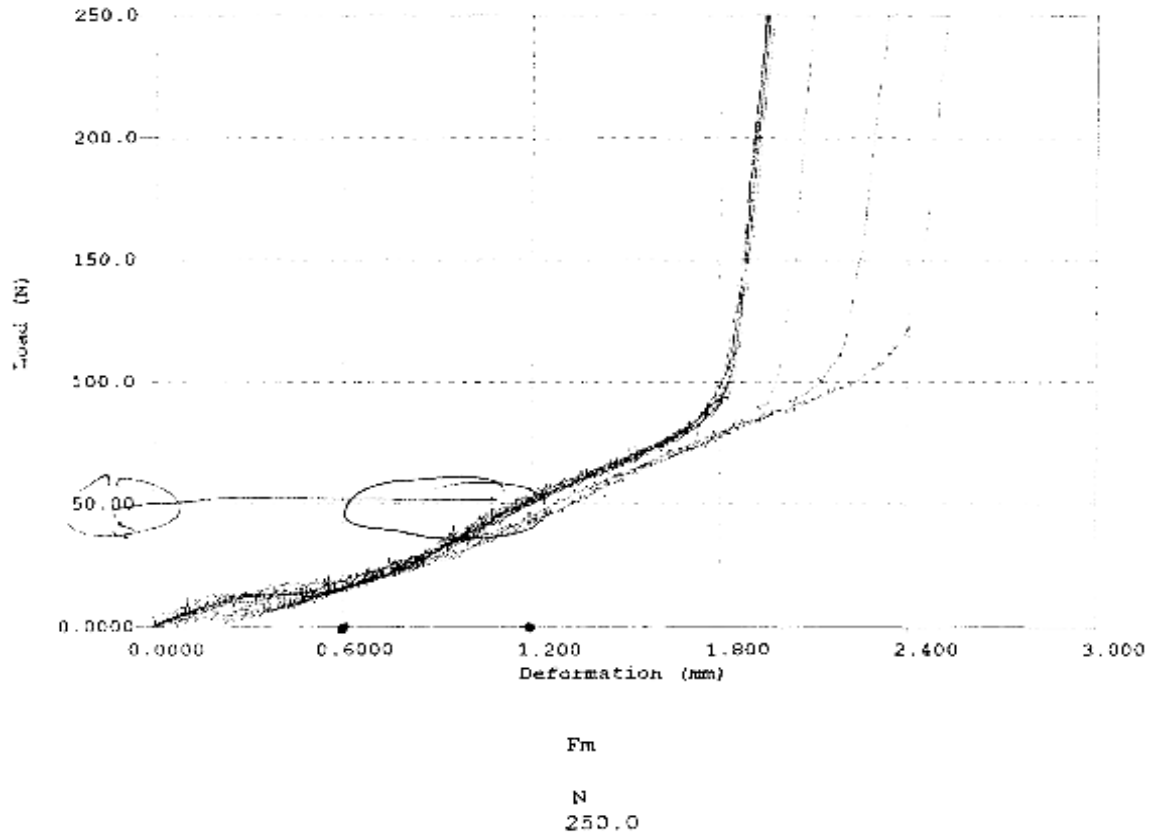
Şekil 2.17. Yaylı pul ile ilgili teknik özellikler

Kadir CERAN : Onyx Yaylı Pul
Sinan DİZMEN : 09.04.2003

	Fm (N)
sample 1	250.0
sample 2	250.0
sample 3	250.0
sample 4	250.0
sample 5	250.0
sample 6	250.0
sample 7	250.0
sample 8	250.0
sample 9	250.0
sample 10	250.0

Kadir CERAN
Sinan DİZMEN

Onyx Yaylı Pul
09.04.2003



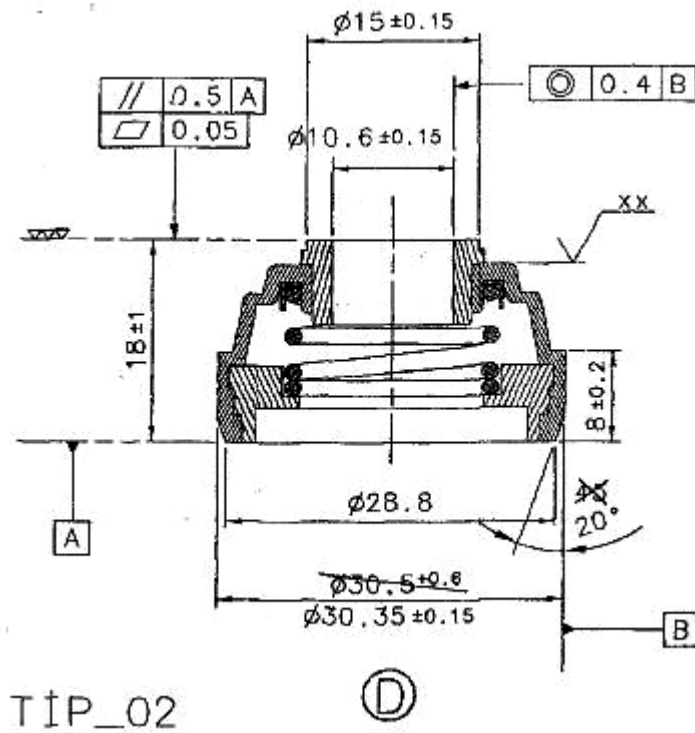
Şekil 2.18. On adet yaylı pul ile yapılan F-x ölçümleri

LLOOYD LR10K verisi

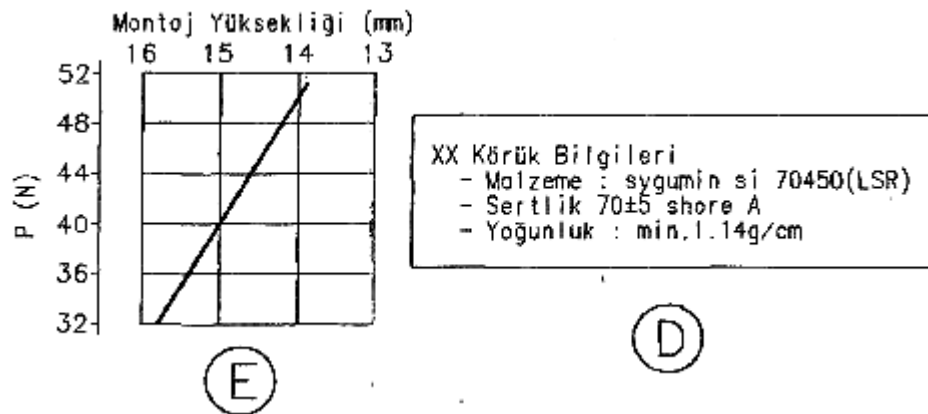
- Sızdırmazlık Keçesi Kuveti:

Motora bağlanan pompada sızdırmazlık elemanı olarak keçe kullanılmaktadır.

Keçenin teknik resmi ve yay karakteristiği Şekil 2.19 ve Şekil 2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.19. Motor-pompa bağlantısında kullanılan keçenin ölçüleri



Şekil 2.20. Keçe grubu yay karakteristik eğrileri

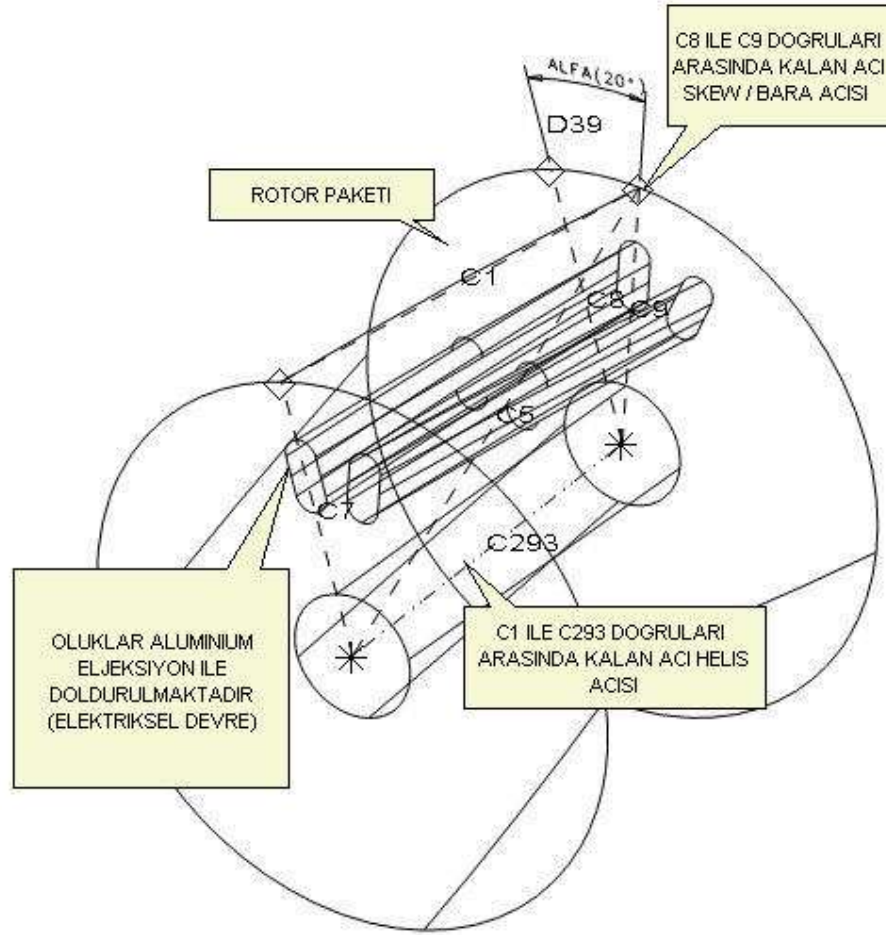
Motor-pompa bağlantısındaki öngörülen montajda keçe boyunun $15 \pm 1\text{mm}$ olduğu duruma ($= 3\text{mm}$ sıkışmasına) karşılık gelen kuvvet $40 \pm 4\text{ N}$ 'dur.

- Hidrolik Emiş Kuveti

Pompa taraafından uygulanan emiş basıncı -30 mbar 'dır. $D = 30\text{ mm}$ için, $F = 2.1\text{ N}$ luk bir emiş kuveti doğar.

- Skew açısından kaynaklı manyetik kuvetin eksenel bileşeni

Elektrik motorlarında Bara / Skew (α) ve Helis açısının (β) tanımı

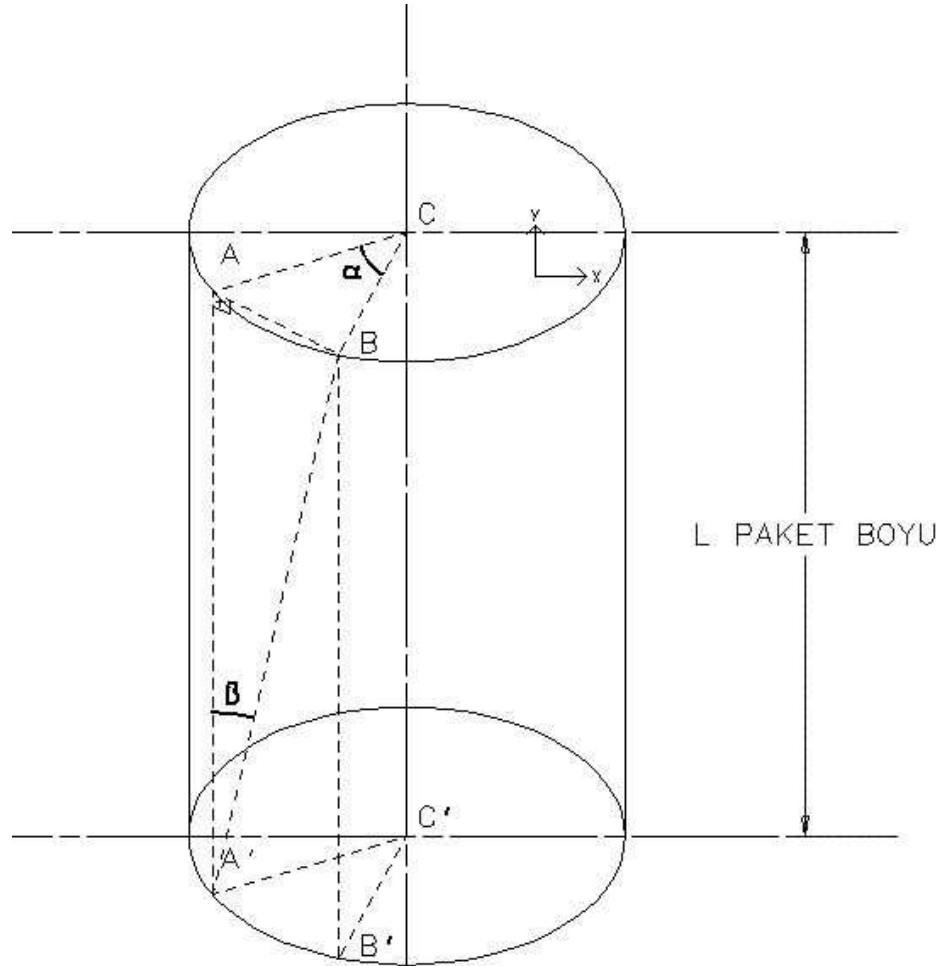


Şekil 2.21. Rotor çekirdek grubu ve açılarının tanımlanması

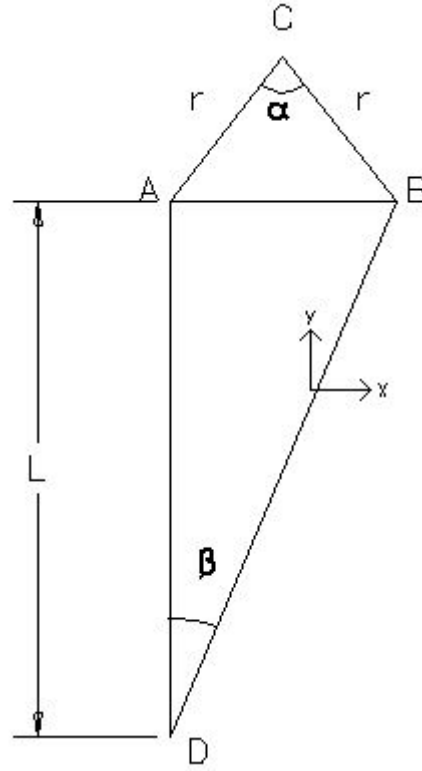
Elektrik motorlarında laminasyonlar plakaları kalıptan kilitli olarak çıkarken, her plaka diğerine göre belirli bir açı ile yerleştirilmektedir. Burada amaç elektriksel ve magnetik kayıpların (Cogging torque) azaltılmasıdır.

Skew / Bara açısı, rotor paketi boyunca oluşun bir oluk atlaması sonucu oluşan açıdır. Şekil 2.21’de bu açı 20° olarak gösterilmiştir.

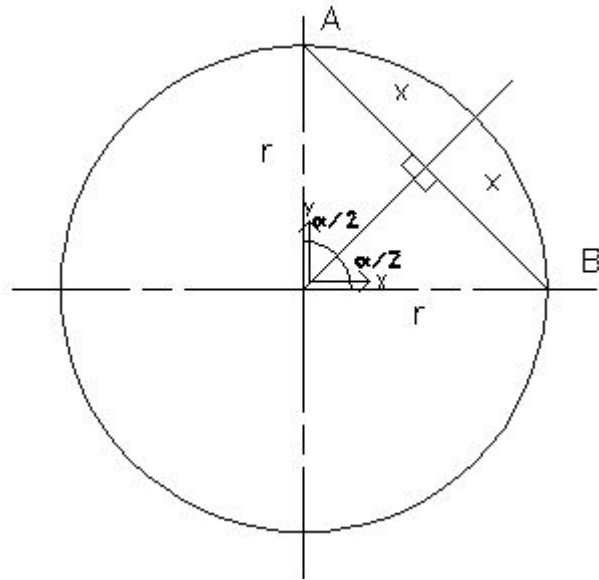
Helis açısı ise, her iki oluğun r yarıçaplı daire üzerindeki noktaların birleştirilmesi sonucu oluşan birinci doğru (C1) ve daire merkezlerini birleştiren ikinci doğru (C293) arasında kalan açıdır.



Şekil 2.22 Rotor paketinde ALFA ve BETA açılarının gösterimi



Şekil 2.23. Düzlemde ALFA ve BETA açılarının gösterimi



Şekil 2.24. Rotor paketinin üstten görünüşü

L : Paket boyu 27 mm dir.

R : 28 mm dir.

$$OLUK = \frac{30 \times \alpha}{360} \Rightarrow 1.5 \text{ oluk için } \alpha = \frac{360 \times 1.5}{30} = 18^\circ \text{ bulunur.}$$

2.24 no lu şekilden:

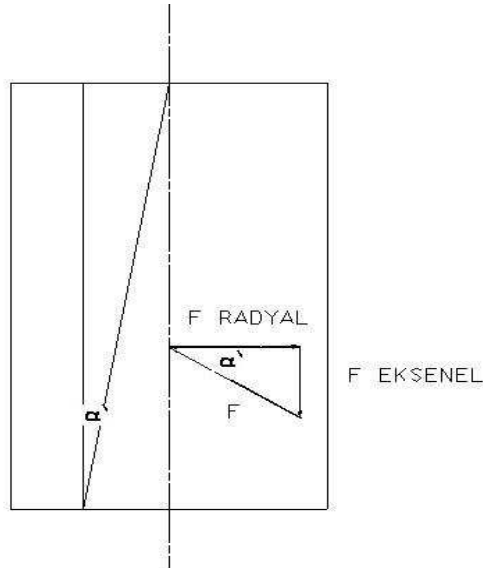
$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{x}{r} \quad (2.3)$$

2.23 no lu şekilden:

$$\tan \beta = \frac{2x}{L} \quad (2.4)$$

buradan,

$$\tan \beta = \frac{2 \times \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times r}{L} \Rightarrow \beta \cong 18^\circ \text{ hesap edilir.}$$



Şekil 2.25. Radyal ve aksenal yükler

$\vec{F}_r$ magnetik kuvetin radyal bileşeni 6 N olarak ölçülmektedir. Magnetik kuvetin, eksenel yöndeki bileşeni $\vec{F}_a$ için ,

$$\begin{aligned}\tan \alpha &= \frac{\vec{F}_a}{\vec{F}_r} \\ \vec{F}_a &= \vec{F}_r \tan \alpha \\ \alpha &= 18^\circ \text{ için} \\ \vec{F}_a &= 2.4N \text{ olarak hesap edilir.}\end{aligned}\tag{2.5}$$

Sonuç olarak:

1. Yay kuveti 80 ± 20 N'dur.
2. Pompa sızdırmazlık keçesinin uyguladığı kuvet 40 ± 4 N'dur
3. Skew açısından kaynaklı manyetik kuvetin eksenel bileşeni 2.4 N dur.
4. Hidrolik emiş kuveti 20 N dur.

Eksenel yöndeki kuvetlerin toplamı emniyet ile hesap yapılabilmesi için 200 N alınabilir.

$$F_a = 200N$$

$$F_r \cong 0N$$

$$P = XF_r + YF_a\tag{2.6}$$

$$\frac{F_a}{C_o} = \frac{200}{1370} = 0.15\tag{2.7}$$

(C_0 : Statik yük katsayısı olup SKF 608 rulman için 1370 N , NMB 608 rulman için 1368 N'dur.)

0.15 değeri için SKF 608 ve NMB 608 rulman için $Y = 1.4$ alınabilir.

(Katalog değerleri)

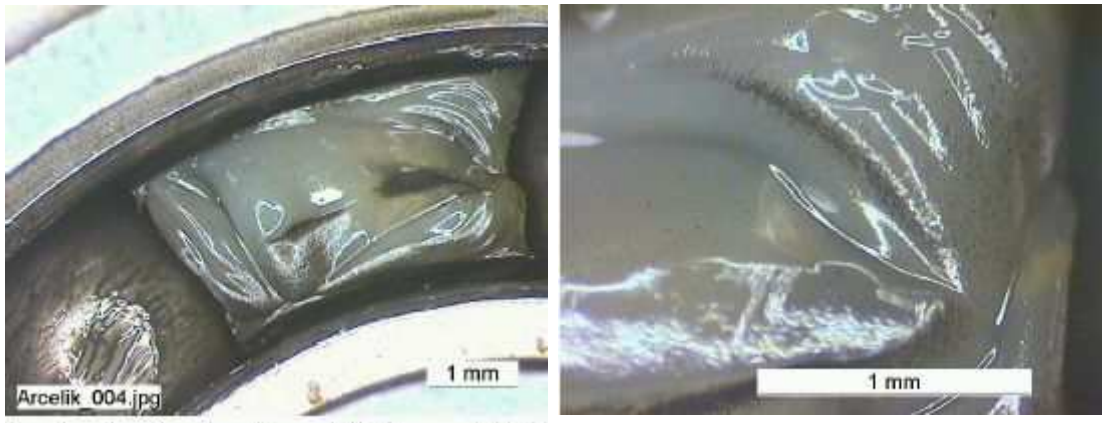
$$P = Y \times F_a = 1.4 \times 200 = 280 N$$

$$\Rightarrow L = \left(\frac{3297}{280} \right)^3 = 1573$$

$$\Rightarrow L_h = \frac{1573 \times 10^6}{60 \times 2800} = 9363$$

saat olarak hesaplanır. 3000 saatlik bir ömür emniyetli çalışma olarak kabul edilmektedir.

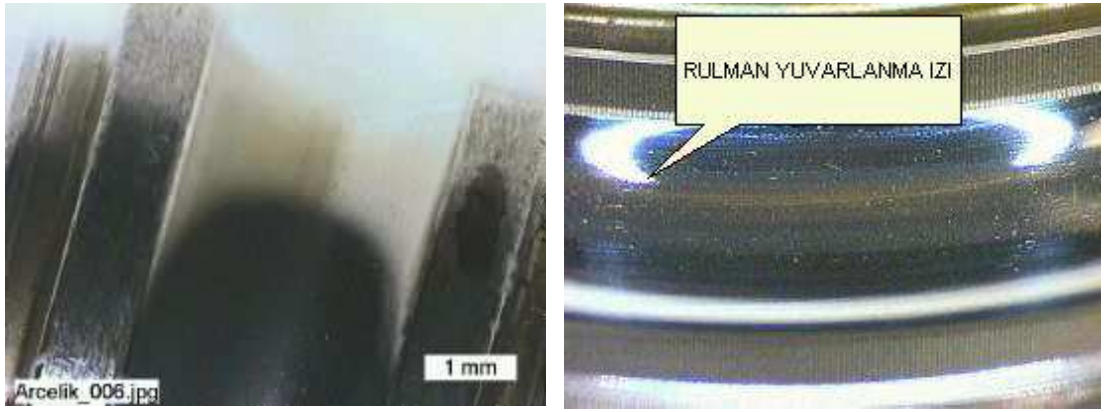
608 tipi gibi küçük rulmanlar için yapılan ömür hesaplarına ek olarak, rulmanda kullanılan yağ da çok önem kazanmaktadır. Düşük yükler altında çalışan rulmanlarda mekanik olarak rulmanın işgöremez hale gelmesinden daha çok kontaminasyon ya da yüksek ısı gibi benzeri problemlerine bağlı olarak yağda oluşan kirlenme ve dolayısı ile rulmanın mekanik olarak ömrünü dolduramama problemi oluşabilmektedir.



Şekil 2.26. Rulmanlarda ömür üzerinde çok etkili olan kontaminasyon problemi

Şekil 2.26'daki örnek rulman fotoğraf detayları, 3000 saatlik makina üzerindeki motor ömür deneyi sırasında , öngörülen ses seviyelerinin üzerine çıkan motora ait rulmana aittir. Burada yağ üzerinde biriken çok yüksek miktarda metal tozu gözlemlenmiştir.

Yapılan incelemeler sırasında, iç ve dış yuvarlanma dairelerinin üzerindeki izin sapmış olduğu tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında, rulmanın mil ile eş eksenli olarak monte edilmediği, ya da çalışma sırasında öngörülen yükler dışında başka yüklere (bağlantı hatası) maruz kaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2.27. Rulman üzerindeki yuvarlanma dairelerindeki düzgünsüzlükler

2.2.4 Kapak Tasarımı Doğrulama Çalışmaları

2.2.4.1 Literatür Çalışması

Bir tasarım çalışmasının doğrulanması için izlenen genel yol, prototip üretilmesi ve bu prototiplerin test edilmesidir. Testler sonrasında, tasarımda görülen hataların düzeltilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilir. Yeni tasarım ile üretilen prototiplerden istenilen performans elde edilene kadar bu döngü devam etmektedir. Sonlu elemanlar metodu (Finite Element Modelling-FEM) ile bu sürecin kısaltılması ve maliyetin düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu metodu ayrıca test ve prototip imkanı olmayan şartlar için de yeni bir yaklaşım olmuştur. Tasarımın en uygun şekline getirilmesi (optimizasyon) için de sıklıkla kullanılır.

Sonlu elemanlar metodu, gerilme analizi, ısı analizi, akışkan analizi, magnetik analiz gibi bir çok mühendislik probleminin çözümünde kullanılan bir sayısal yöntemdir. Sonlu elemanlar analizinde, sürekli katı veya akışkan, birçok küçük elemandan oluşur. Bu küçük elemanlar sayesinde çok karmaşık şekiller modellenenir. Bu yöntem sayesinde, çok fazla zaman ihtiyacı ve maliyete neden olan analitik sonuçlar yerine, bilgisayar modellemesi yapılmaktadır.

Çok yüksek seviyede matematik kullanan analitik metodların aksine, FEM metodu basit cebir denklemleri kullanır. Ancak çok sayıda eşzamanlı yapılan denklem çözümleri ve çok sayıdaki bilinmeyenden kaynaklı olarak bu metodun gelişmesi yüksek hızdaki bilgisayar teknolojisinin gelişmesine paralel olmuştur. FEM metodunun çok hızlı bir şekilde kabul görmesinin başlıca nedeni olarak, bilgisayarlarda kullanabien çok sayıda FEM yazılımının geliştirilmesi olmuştur [Dieter, 2000].

Sonlu elemanlar analizinde, analiz yapılan yapı küçük elemanlar ile ağ şeklinde bölünür. Elemanlar birbirlerine node olarak adlandırılan bağlantı noktaları ile bağlanırlar.

Sonlu elemanlar metodunda, her eleman için tanımlanan katılık matrisi önemli bilgiyi içerir. Her eleman için, node noktalarındaki kuvvet altındaki yerdeğişimi açıklayan bir yay sabiti gibi düşünülebilir. Matris gösterimi olarak,

$$\{f\} = [k]\{\delta\} \quad (2.8)$$

ifade edilir. $\{f\}$ uygulanan kuvvetleri matris olarak ifade eder. $[k]$ eleman için katılık matrisini ifade eder. $\{\delta\}$ ise elemanların node'larındaki yerdeğıştirme miktarını matris olarak ifade edilir. Katılık matrisi node'ların yerlerinden ve malzemeye bağlı elastik sabitlerin matrislerinden oluşturulur. Basit üçgen elemanlar için, statik prensiplerinden $[k]$ matrisini oluşturmak mümkündür. Daha karmaşık elemanlar için, $[k]$ matrisini oluşturmak için enerji denklemleri kullanılır. Sistemi oluşturan bütün elemanlar bir araya getirildiğinde sistem için denklem elde edilir.

$$\{F\} = [K]\{\delta\} \quad (2.9)$$

$\{F\}$ matrisi, FEM analizinden önce bilinen yükleme ve tepki kuvvetlerini içermektedir. $\{\delta\}$ matrisindeki değerler, katılık matrisi yardımı ile çözülür.

FEM metodu ilk olarak, 1943 yılında Courant tarafından geliştirildiği kabul edilir. 1950'lerde Boeing tarafından, uçak kanatları için FEM analizi çalışmaları yapmıştır. 1960 yılında Clough FEM metodunu popüler hale getirmiştir [Moaveni, 1997].

FEM metodu üç temel adımdan oluşur:

1. **Preprocess:** Analiz edilecek geometri oluşturulur, çoğu zaman bu geometri başka bir mekanik tasarım programı tarafından modellenir. Analizden önce model üzerinde, belirli basitleştirmeler gerçekleştirilir. Malzeme özellikleri tanımlanır ve küçük elemanlara bölünür. Ağ yapısının oluşturulması FEM metodunun en zahmetli bölümüdür. Sınır şartlar, ilkşartlar ve uygulanan kuvvetler tanımlanır.
2. **Solution:** Lineer ve lineer olmayan denklemleri eş zamanlı olarak çözülür ve node'lardaki yerdeğiştirme miktarı gibi sonuçlar elde edilir.
3. **Postprocess:** Elde edilen sonuçlar incelenir. Gerekirse optimizasyon çalışmasına gidilir.

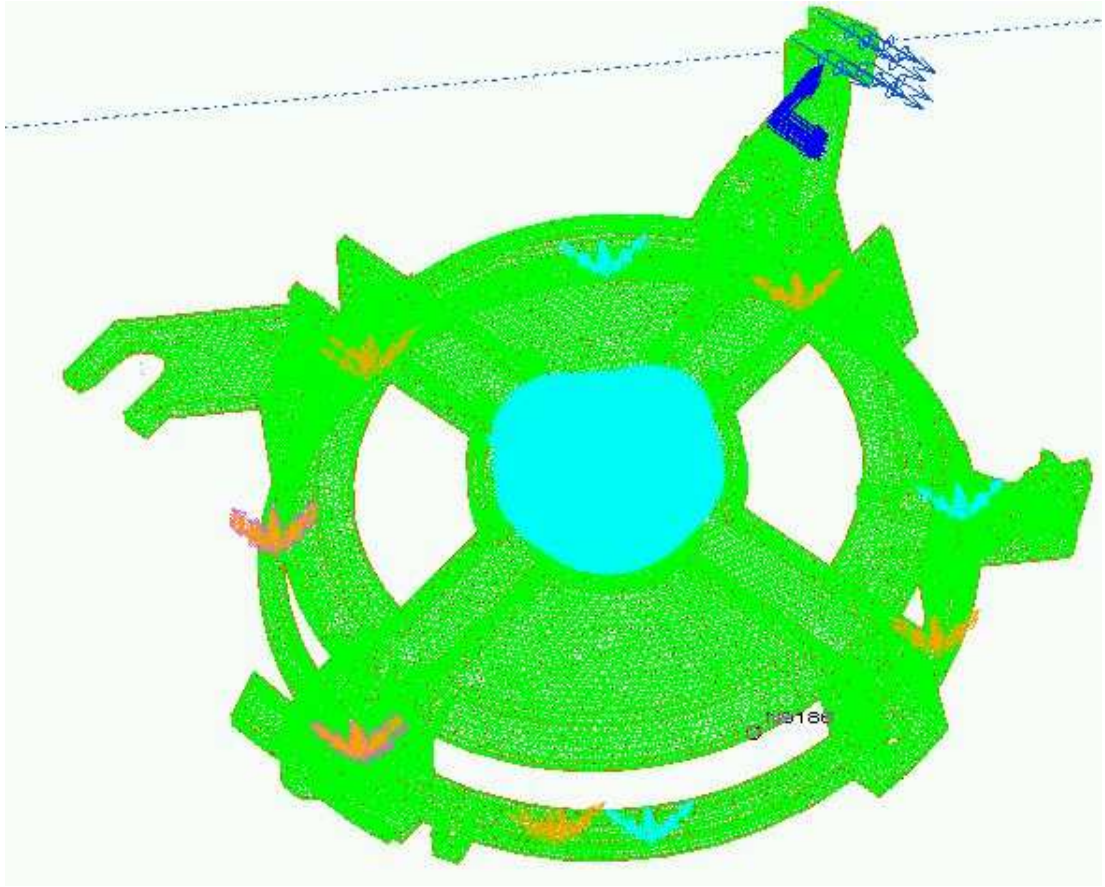
2.2.4.2 Kapak Kulak Kırılma Kuvvetlerinin Sonlu Elemanlar Analizi Yardımı ile İncelenmesi

Tasarımı yapılan parçalar I-DEAS programı ile analiz edilerek tahmini olarak nerelerden kırılabilceği konusunda öngörüler ve tasarım değişiklikleri yapılmıştır.

Ağ yapısı oluşturulurken, kesit ağ (Section Mesh) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin avantajı temel olarak sonlu elemanlar analizi için uygun olmayan, geometrilerde, küçük yüzeylerin bulunduğu ya da değişik bir tasarım programından elde edilmiş geometrilerde, ağ yapısının oluşturulmasına imkan vermektedir.

Motor kapağı örneğinde, ilk olarak tasarım daha yalın hale getirilmiştir. Daha sonra kesit ağ yöntemi ile ağ yapısı oluşturulmuştur.

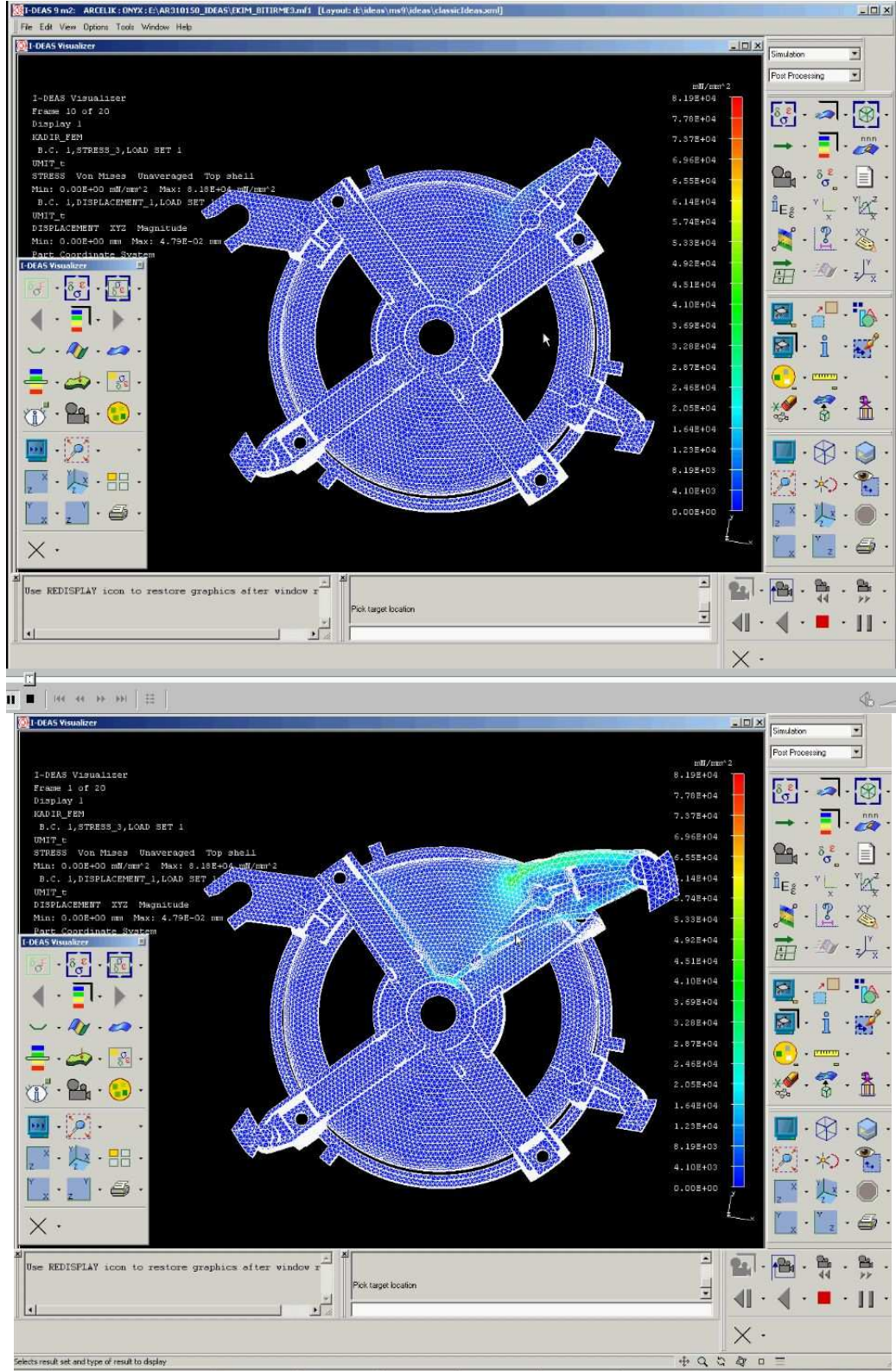
Kullanılan malzeme bir alüminyum alaşımı olan Al Si 12 Cu'dur. Kimyasal birleşiminde nominal olarak %88 oranında Al ve %12 Si bulunmaktadır. Cu, Fe, Mg, Ni, Zn gibi elementlerin % 1 oranından daha az olması beklenmektedir. $\rho = 2.67 \text{ g/cm}^3$, Elastisite modülü, $E = 75\,000 \text{ N/mm}^2$ ve Rijitlik modülü, $G = 27\,000 \text{ N/mm}^2$ dir.



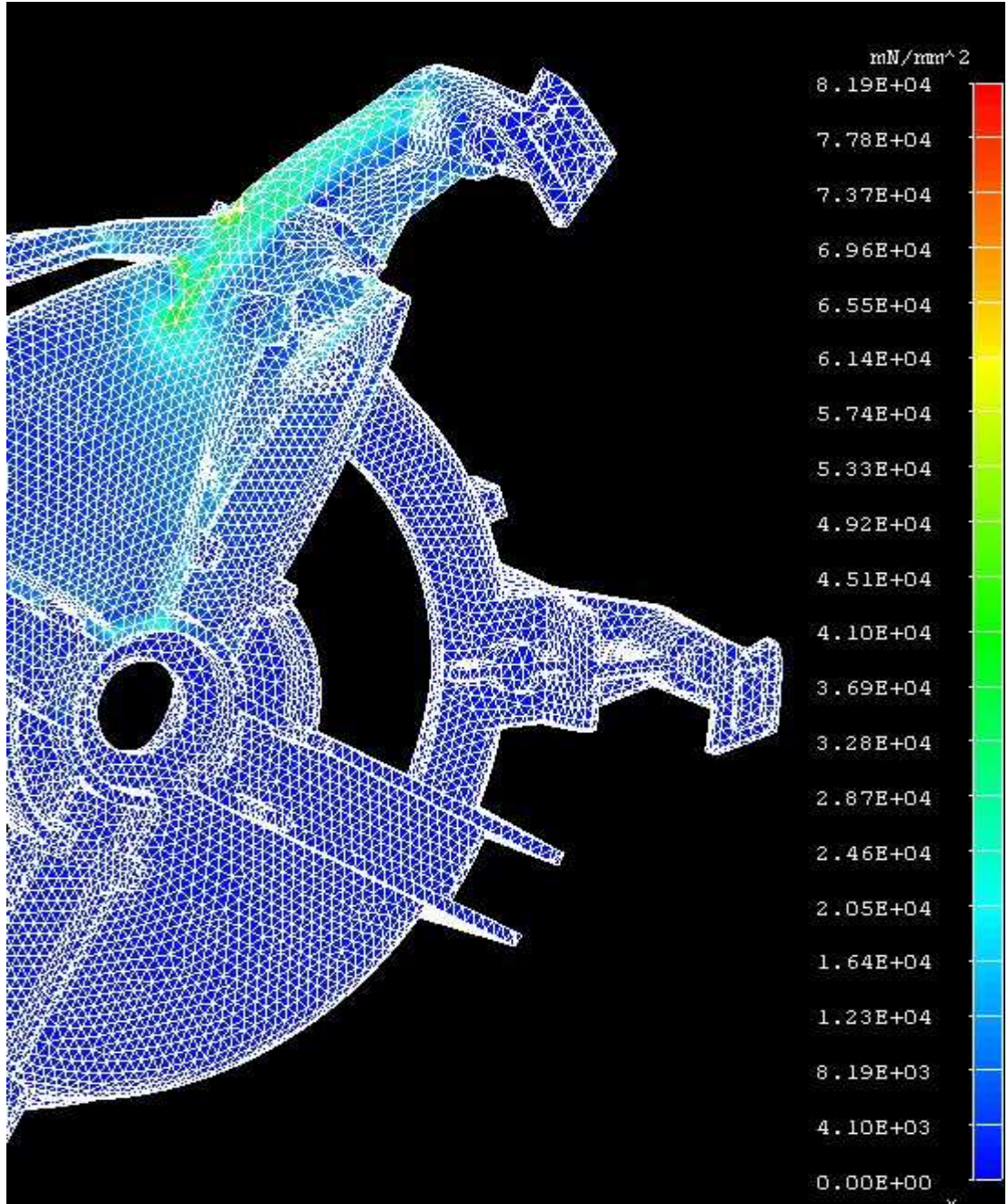
Şekil 2.28. Kapak üzerindeki sonlu eleman ağı ve yükleme şekilleri

Ağ yapısı üzerine, iç daire ve göbekten serbestlik derecelerine sınırlama getirilerek sabitleme yapılmıştır. Kuvvet olarak, moment kolunun en uzun olduğu kol seçilmiştir. Bu kol, saate Şekil 2.28'deki pozisyonda bakıldığında, kapasitör takılan koldan saat ibreleri yönünde döndüğünde gelinen ilk koldur.

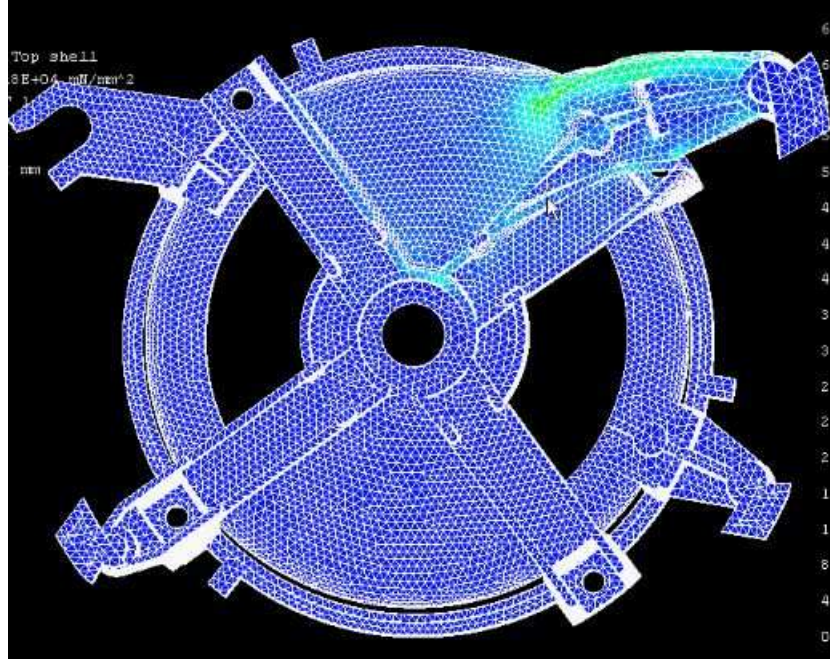
Bu kol üzerine 1500 N luk bir kuvvet uygulanması ile sınır şartlar sağlanmıştır.



Şekil 2.29. Kapak üzerinde yüklü ve yüksüz durumdaki gerilmeler



Şekil 2.30. Kritik bölgedeki gerilmeler



Şekil 2.31. FEM analizi ile kırılmanın beklendiği bölge



Şekil 2.32. Test sonrası kırılma bölgesi

2.2.4.3 Kapak Kulak Kırılma Testleri

Kapak tasarımını doğrulaması aşamasında, kapakların belirli yüklemeler altında mukavemet göstermesi amaçlanmıştır. Kapakaların bu amaçla kullanılan test düzeneğine yerleştirilmesi amacı ile aparatlar tasarlanmış ve bu düzenek üzerinde statik yükler altında kapak kulaklarına gelen kuvvetler tatbik edilmiştir.



Şekil 2.33. LLOYD LR10K test düzeneği

Dağılımı düzgün irdeleyebilmek için dört gözlü kalıbın, her kalıp gözünden beş adet, toplam 20 adet kapak ile dağılım incelenmiştir.

Şekil 2.34’de kırılma oluşumu sırasında okunan maksimum kuvvetlerin dağılımı çıkarılmıştır.

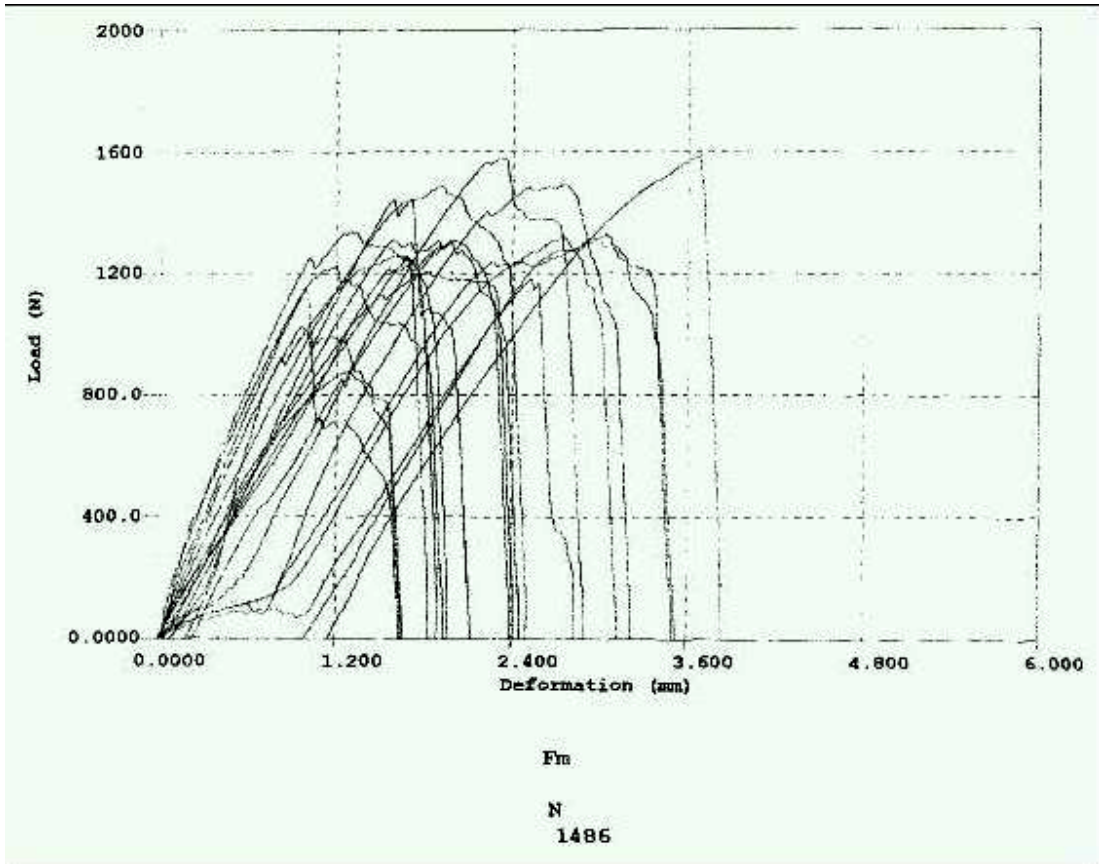
	Fm (N)
sample 1	1257
sample 2	1491
sample 3	1579
sample 4	1179
sample 5	1256
sample 6	1304
sample 7	1206
sample 8	1312
sample 9	1308
sample 10	1320
sample 11	1328
sample 12	1586
sample 13	1287
sample 14	1151
sample 15	1029
sample 16	878,5
sample 17	1222
sample 18	1444
sample 19	1339
sample 20	1486

Şekil 2.34. 20 adet kapakta ölçülen maksimum kuvvet değerleri

LLOOYD LR10K verisi

16 numaralı örnek incelendiğinde diğer örneklerle göre daha düşük bir değerde kırılma sözkonusudur. Bu örnek incelendiğinde kırılmanın döküm boşluğundan kaynaklı bir kırılma olduğu gözlemlenmiştir. Bu örnek hesaplama dışında bırakılırsa,

kırılma kuvvetlerinin ortalaması 1336 N olarak okunmuştur. Yapılacak olan tasarım iyileştirme çalışmaları ile bu kuvvet 1500 N sınırına çekmek hedeflenecektir.



Şekil 2.35. 20 adet kapakta ölçülen yük altında yer değiştirme grafikleri

LLOOYD LR10K verisi

Şekil 2.34 ve 2.35’de verilen değerlerin ortalaması alındığında 1320 N ile elde edilen eski kapak kırılma değerleri, yeni kalıp çıktısı parçalarda 1750 N ortalama değerine ulaşmıştır.

2.3 Elektrik ve Magnetik Olarak Yapılan İyileştirme Çalışmaları

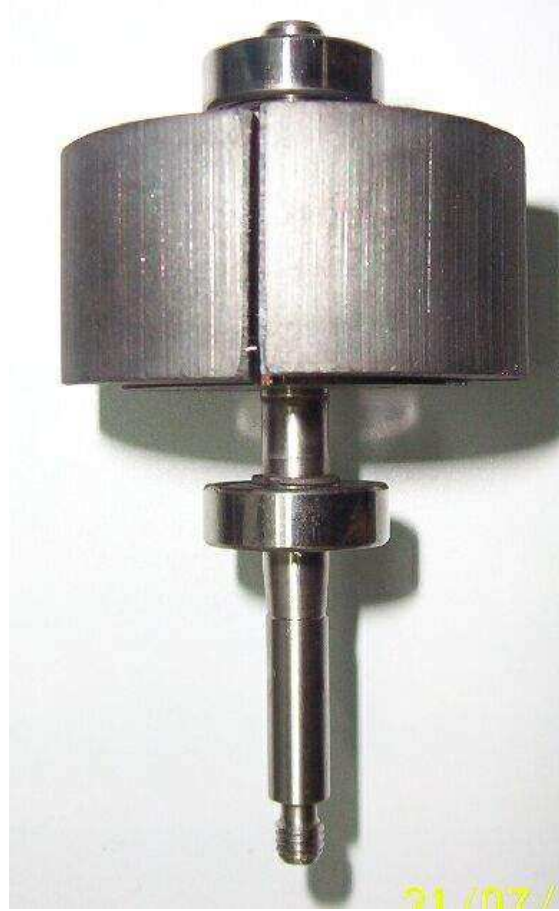
Giriş bölümünde belirtildiği üzere yeni motorda esas amaç Fırçasız Doğru Akım Motoru (FDAM) yapısında yeni bir motor tasarımıdır. Bu bakımdan ürün geliştirme sürecini iki aşamalı olarak düşünmek daha doğru olur:

- Mevcut motor ile aynı tarzda (tek fazlı asenkron motor), fakat mekanik olarak iyileştirilmiş bir motor geliştirmek
- Bu motoru elektronik sürüş yardımı ile FDAM haline getirebilmek

FDAM motoru ile hedeflenen; daha yüksek verimli, ses seviyesi daha düşük, üretilebilirliği daha kolay, uzun ömürlü ve maliyeti düşük motor tasarımıdır. FDAM motorlarda, klasik motorların tersine rotor laminasyon saçlarının paket olarak biraraya gelmesinden oluşmamaktadır. Bunların yerine daimi mıknatıslarlar kullanılmaktadır. Bu tarz imalat ile daha az metal kullanmak ve düşük hurda miktarını tuturmak mümkün olmaktadır. Kısaca,

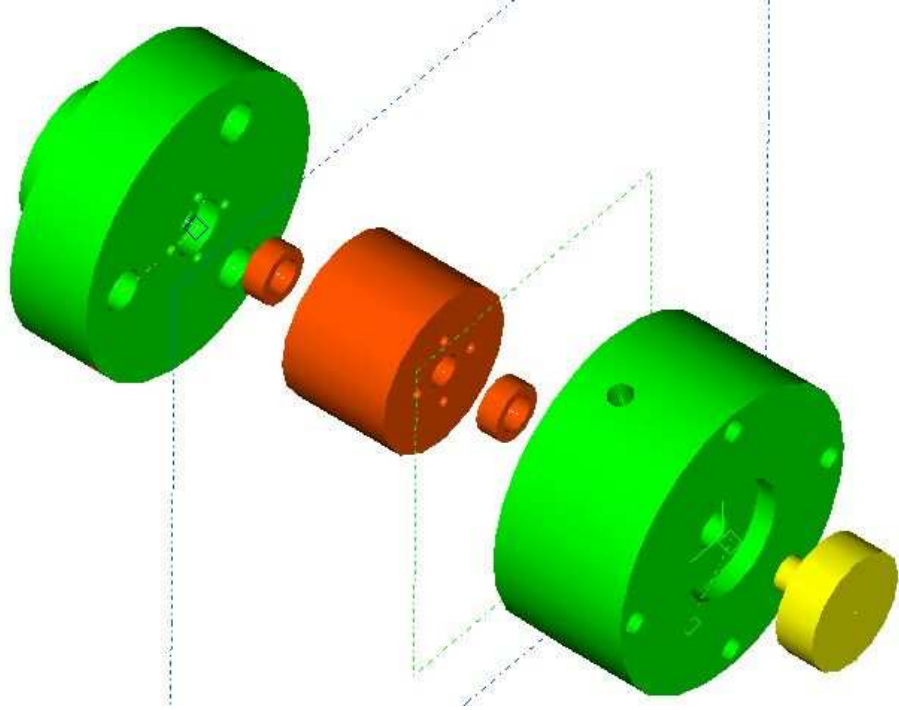
- FDAM tipi motorlarda malzeme optimizasyonunu çok yüksek oranda gerçekleştirmek mümkün kılınmaktadır.
- FDAM motor ile nominal momentin iki katına ulaşabilen yüksek kalkış momentine erişilebilmektedir.
- Değişken hız kontrolü ile, kristal yıkama diye tabir edilen programlar mümkün kılınabilmektedir.
- Gelişen magnet üretim ve motor kontrol elektroniği teknolojisi ile, bulaşık makinasındaki müşteri beklentilerini karşılamak artık daha kolaydır.
- Makina enerji A sınıfı için yüksek verimli motor yapılabilir.

- Yüksek devirlere çıkılabilmektedir.
- Sensörsüz kontrol uygulanabilmektedir.

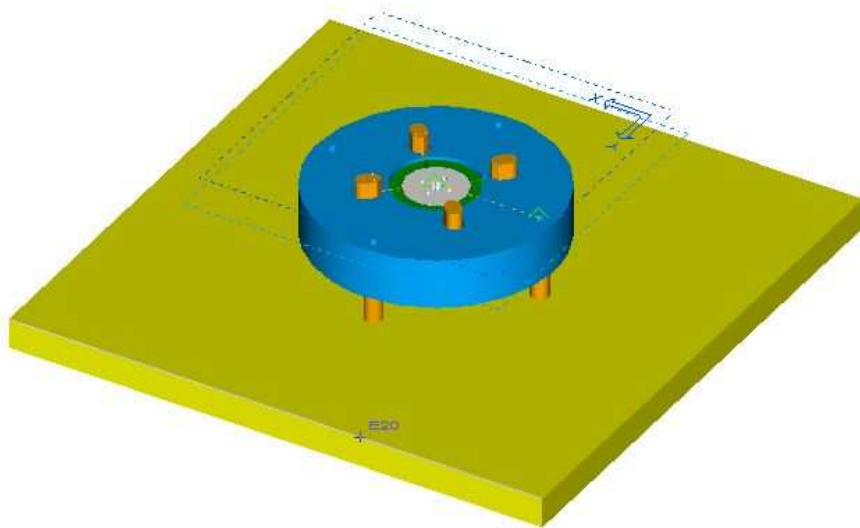


Şekil 2.36. Daimi mıknatıslı rotor

FDAM motorun en belirgin özelliği, klasik tek fazlı asenkron motor rotorunda bulunan laminasyon oluklarındaki alüminyum enjeksiyon yerine, dış tarafında sonradan magnetlenen daimi mıknatıslar içermesidir.



Şekil 2.37. FDAM rotor tekli gruplama CAD modeli



Şekil 2.38. FDAM rotor magnetleme cihazı CAD modeli

2.4 Tolerans Analizi

2.4.1 Literatür Çalışması

Mekanik tasarımı yapılan parçaların, kalite seviyelerini yukarı çekerken, imalat giderlerini azaltmak amacı ile tolerans analizlerinin yapılması, kavramsal tasarımın vazgeçilmez bir aşaması olarak görülmektedir. İmalat aşamasına geçmeden önceçeşitli modelleme teknikleri kullanılarak yapılan çalışmalar, seri imalat için oluşabilecek bir çok problemin büyük oranda öngörülebilmesine imkan vermektedir. Bu çalışmada yararlanılan kaynaklarda yapılan çalışmaların içeriği aşağıda açıklanmıştır.

Zhang et al [1995], yaptıkları çalışmada Monte-Carlo metodu ile yapılan tolerans analizi çalışmalarının, diğer yaklaşım tarzlarına göre daha hassas sonuç verdiği fikrine ulaşmışlardır. Bu çalışmada, normal olmayan üretim verisinin olasılık dağılım fonksiyonunun çıkarılması ve istatistiksel tolerans analizi için sayısal bir yöntem anlatılmıştır. Bu yöntem için en büyük dezavantajın simulasyon için süren zaman olduğuna dikkat çekilmiştir. Monte Carlo yönteminin diğer yöntemlere göre daha hassas sonuç verdiği vurgulanmıştır.

Doong et al [1997], yaptıkları çalışmada Monte Carlo metodu ile bir montaj için ayrılacak tolerans değerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan modelin işlem sırası kısaca şöyle özetlebilir:

1. Başlangıç için üretme sayısı seçilir
2. Montajı oluşturan herbir parçanın ölçü ve toleransları için, o parçaya ait istatistiksel dağılıma göre, rastgele sayı üreticisi yardımı ile bir değer üretilir
3. Montaj ölçüsü, üst basamakta elde edilen değerlerin, ölçüsel zincir değerine göre hesap edilir

4. 2. ve 3. basamak tatmin edici verinin emin bir şekilde elde edilmesi için N kere tekrarlanır
5. Montaj ölçüsünün ortalama değeri (nominal değeri) ve tolerans bölgesi elde edilir.

Aynı çalışmada yüksek-düşük-orta (YDO) metodu ile, parçaların toleranslarındaki değişimin, montaj tolerans değerinde ne kadar bir değişim yaptığı (etkileme) incelenmiştir. Bu etkilemenin maliyet üzerine olan etkileri de göz önüne alınmıştır.

Sonuç olarak; kişisel bir bilgisayarda, Monte Carlo yöntemi ve yüksek-düşük-orta (YDO) metodu ile elde edilen sonuçların, en düşük maliyet ile en uygun tolerans değerlerinin tanımlandığı görülmüştür. Bu modeller ile, çok ölçülü zincirleme toleranslandırma çalışmalarında diğer modellerde bulunmayan maliyet etmeni göz önünde bulundurularak, toleranslandırma yapılabildiği belirtilmiştir. Tasarımcı için tolerans-maliyet ilişkisinin tanımlanmış olabilmesinin çok pratik ve yararlı bir sonuç olduğuna değinilmiştir.

Zou and Morse [2003], mekanik montaj sistemlerinin uyuşma şartlarını tanımlamak için geliştirdikleri boşluk modelini çalışmalarında açıklamışlardır. Üretim şartlarından kaynaklı olarak, makina parçalarının hepsi aynı ölçü ve şekilde olmadığından, standartların öngördüğü belirli değişkenlikler ve sınırlar içerisinde tasarım ve ölçülendirme yapıldığı vurgulanmıştır. Montaj sonrasında, öngörülen ölçülerin dışarısına çıkılmaması amacı ile “boşluk aralığı” metodundan bahsedilmektedir. Bu modelde, montajı oluşturan parçaların olası değme ve açıklık mesafesi değerlerinin tanımlanabilmesi için, montajdaki boşluklardan yararlanılmıştır.

Skowronski and Turner [1997], Monte Carlo metodundaki varyans düşürme çalışmasına dikkat çekmişlerdir. Monte Carlo metodunda, herbiri kendine özgü

şekilde olasılık dağılımı olan, çok sayıdaki tolerans kümeleri analiz edilmektedir. Sonuç olarak, hesaplama miktarı açısından çok fazla yük oluşmaktadır. Bu yükün azaltılması amacı ile varyanstaki azaltma tekniklerinden, ilişkilendirme ve öncelikli örnekleme metodları ile tolerans analizinde hatanın en aza çekilmesine çalışılmıştır. İlişkilendirme metodu en uygun değere yakın değeri bulmaktadır. Öncelikli örnekleme metodunda ise, amaç fonksiyonunun gerçek gradyenini tahmin ederek, Newton-Raphson algoritmasının yardımı ile gerçek en uygun değer bulunmaktadır.

Gerth and Hancock [2000], üretim şartlarındaki olumsuzluklarını çözümlmek amacı ile tolerans analiz yöntemlerini kullanmışlardır. Bu amaç ile 1-D ve 3-D Monte Carlo analiz metodu kullanılmıştır. Prosesin kontrol altına alınması ve imal edilen parçalardaki değişkenliklerin azaltılması için, değişkenliklerin nedeni ve bu etkenlerin ortadan kaldırılması veya etkilerinin kontrol altına alınması gerekmektedir. Değişkenliğin kaynağını ortaya koyabilmek amacı ile DOE (Design of Experiments) metodu (Taguchi metodunu içermektedir) kullanılmıştır. Ancak DOE için gerekli olan çok sayıdaki imalat bilgisine ulaşmak çok pratik bir çözüm olamamaktadır. Elde olan SPC (Statistical Process Control) bilgisini de kolayca kullanabilecek Monte Carlo metodu ile çalışan, VSA yazılımı ile DC motorlarındaki hava aralığı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu metodun sınırları arasında; analiz edilen değişkenler arasında ilişkinin geometrik, teorik ya da deneysel veriler ile net olarak bilinmesi gerekliliğine (bir çok durumda geometri çok karışık olmaktadır veya teori yeterli olamamaktadır) ya da SPC gibi çok yüksek örnekleme ile oluşmamış deneysel verilerin kullanıldığı durumlarda gerçek dağılımı modellenememesi gösterilmiştir.

Schlatter [1996], IBM bilgisayarlarında kullanılan veri depolama cihazları için VSA 3-D yazılımı ile tolerans analizi çalışmaları gerçekleştirmiştir. VSA 3-D yazılımı temelinde Monte Carlo yöntemi ile çalışan ve CAD programları ile tümleşik bir yazılımdır. Analiz temel olarak 12 adımdan oluşmaktadır:

1. Çalışma konusu ve sınırları belirlenir
2. Tasarım ve imalat bilgileri biraraya getirilir

3. Montaj sırası takip edilir
4. Ayrıntılı geometri tanımlanır
5. Ölçüsel varyasyon tanımlanır
6. Montaj tekniği tanımlanır
7. Ölçüm metodları tanımlanır
8. Model yazılır ve derlenir
9. Model debug edilir
10. Simulasyon koşturulur
11. Sonuçlar incelenir
12. Ne-nasıl-niçin çalışması yapılır

Schlatter'ın bu çalışmasında, kalite-maliyet dengesinde çok önemli olan tolerans analizi çalışmalarının, tasarım ve üretim sırasında kullanılması gereğini vurgulamıştır. Üretim sırasında elde edilen yeni veriler, analiz için yeni girişler yapılmasına imkan verebilmektedir.

Kristen and Kiger [2003], günümüz rekabetçi üretim şartlarında, taşınabilir elektronik aletler için, altı sigma (6σ) metodolojisi ile tolerans analizi çalışmaları yapmışlardır. Çalışma konusu olarak taşınabilir bilgisayarların pillerini seçmişlerdir. Analizin ana basamakları şöyledir:

1. Kritik ölçülerin tanımlanması
2. Bu ölçüler dahilinde mekanik tasarım programı ile bütün parçaların oluşturulması
3. Parçaların biraraya getirilerek montajın bilgisayar ortamında oluşturulması
4. Bütün parçalar üzerinde kesitlerin tanımlanması
5. Kesitlerin tasarım programı yardımı ile detaylandırılması

6. Tolerans analizine katılacak kritik parçaların kesitleri üzerine tolerans tanımlanması
7. Yukarıda tanımlanan ölçüler için 6 sigma metoduna dayalı RSS metodu ile çözümleme yapılması (Root Sum Squares)
8. WOW (Worst on Worst) ile en geniş aralığın çizilmesi ve 6 sigma metodunun uygulanması ile istenilen sonucun elde edilmesi için çalışma
9. Elde edilen veriler ışığında, parça ölçüleri ve toleranslarında, gerekli kalite kriterlerini sağlamak amacı ile değişiklik yapmak
10. Üretim için tasarımın yayımlanması

Chase [1999], in tolerans analizi ile ilgili birden fazla çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, kalite seviyesini belirli bir seviyede garanti ederek, üretim maliyetlerinin aşağı çekilebilmesi için, sıkıcı ve sıradan gözüken, teknik resimler üzerinde bulunan ölçülere tolerans verme çalışmasının çok önemli bir konu olduğuna dikkat çekilmektedir. Tasarım tarafında, son ürünün işlevlerini tam olarak yerine getirebilmesini -müşteri memnuniyetsizliği ve ürünün öngörülenden az performansa sahip olmasının engellenebilmesi için-, üretim tarafında, fikstür ve makinaların uygun olarak seçilebilmesi, operatör yetilerinin ve seviyesinin tanımlanması, kurulum zamanının tespit edilmesi, hassasiyetin tanımlanabilmesi ve hurda-yeniden işlem gören ürün miktarının öngörülebilmesi için tolerans analizi çok önemli bir çalışmadır. Kısaca, tolerans analizi, tasarımın iyileştirilmesi ve geliştirilmesi çalışmaları içerisinde, en büyük faydayı sağlayan ve tüm PLM (Product Life Cycle-Ürün Yaşam Çevrimi) içinde bir çok büyük etkisi olan ciddi bir çalışmadır.

Tolerans analiz metodları içerisinde :

- En kötü durum metodu (Worst Case-WOW)
- İstatistiksel metodlar
 - o Karelerin toplamının karekökü (Root Sum Squares-RSS)
 - Ötelenmiş Ortalama (Mean Shift)

- 6 Sigma (Six Sigma)
 - o Hasofer-Lind
 - o Moment yöntemi
 - o Entegrasyon
- Örneklem metodları
 - o Monte Carlo

metodları hakkında açıklamalar yapılmış, bu metodların kıyaslanması sonucunda, birbirlerine göre avantajları ve dezavantajlarına yer verilmiştir

2.4.2 Tasarımın Ürün Üzerine Etkileri

Tasarımın üç temel ölçütü; fiyat, kalite ve pazara sunum süresidir. Tasarımı yapılan ürüne göre değişmeyen bir kriter – bütün bir sistem ya da sistemi oluşturan komponentlerin herbirisi için – müşteri ve yönetimin, ürünün daha ucuz, daha kaliteli ve daha hızlı pazara sunumu isteğidir [Ullman, 1992].

Ford verilerine göre, tasarımın ve etkilerinin maliyeti şöyle özetlenebilir:

Bir aracın üretimi için harcanan toplam maliyet içerisinde tasarımın payı %5 iken, tasarım aşamasında alınan kararların üretim maliyetleri arasındaki payı %70 olarak gerçekleşmektedir. Buradan çıkarılacak sonuca göre, tasarım aşamasında alınan kararlar, toplam maliyet içerisindeki en büyük etkiye sahiptir. Tasarım kararları direkt olarak kullanılan malzemeleri, yapılan yatırımları, montaj yapılacak parçaları, bu parçaların şekillerini, satılan ürünü ve nihayetinde yönetimin fikrini etkilemektedir [Ullman, 1992].

Tasarım ve maliyet arasındaki bir başka ilişki örneği de Xerox'tan alınabilir [Ullman, 1992]. 1960 ve 1970'li yıllarda Xerox fotokopi makinası pazarında lider konumdadır. 1980'li yıllara gelindiğinde 40 kadar farklı markanın ürünleri pazardan pay alarak, Xerox'un pazar hakimiyetini değiştirdi. Xerox'un pazar payındaki düşüş incelendiğinde görülen ürün maliyetlerinin diğer rakiplere göre daha yüksek oluşu idi. Esasen 1980'de yapılan bir araştırmaya göre, rakip benzer ürünlerin satış fiyatı Xerox'un maliyet fiyatlarından daha düşük seviyelerde idi. Xerox bu belirlemeden sonra, makinalarını oluşturan her bir parça için maliyet analizine gitti. Rakiplerdeki benzer plastik parça ürün maliyetleri analiz edildiğinde Japon firmaların maliyetleri, Avrupalı ve Amerikalı rakiplerine göre kıyaslandığında %50 kadar fiyat avantajına sahipti. Xerox'a göre bu fiyat avantajı şu nedenlerden kaynaklanmaktaydı: (1) Japonya'da malzeme maliyetleri %10 daha avantajlı idi, (2) Proses ve üretim yatırım maliyetleri %15 daha avantajlı idi, (3) geri kalan %25 fark (ki toplam farkın yarısı) parça tasarımlarından kaynaklanmaktaydı. Ford'un %70 lik oranına karşın Xerox %50 lik; tasarım maliyetinin nihayi ürün üzerindeki maliyet etkisi olduğu sonucuna ulaştı. Ford ve Xerox'un bu tespitleri, tasarım prosesinin nihayi ürün maliyeti üzerine etkilerini görmek için çok önemli örnekler olarak nitelendirilebilir [Ullman, 1992].

Maliyetin büyük bir kısmı, ürün tasarımı aşaması ile ilişkilendirilmesine ek olarak, bu etkileşimin büyük bir kısmı tasarımın ilk aşamalarında gerçekleşmektedir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere, tipik bir ürün için düşünüldüğünde, üretim maliyetinin %75 lik kısmı, ürün tasarım aşamasının ilk bölümü olan kavramsal tasarım aşamasında şekillenmektedir. Bir başka deyişle, bu aşamadan sonra alınan bütün kararların nihayi ürün maliyeti üzerindeki etkisi ancak %25 mertebesinde olabilmektedir [Ullman, 1992].

Tasarım aşamasının, ürün kalitesi üzerinde de büyük etkisi bulunmaktadır. Tasarımı kaliteli olmayan bir üründe kalite imkansızdır. 1989 yılında Amerikalı tüketicilere yapılan bir araştırmada "Kaliteyi ne belirler?" sorusu yöneltildi. Çizelge 2.1'de verilen cevaplar incelendiğinde, "kalite", tasarım mühendisi sorumluluğunda bulunan ve birçok faktörün biraraya gelmesinden oluşan bir kavramdır. Bu

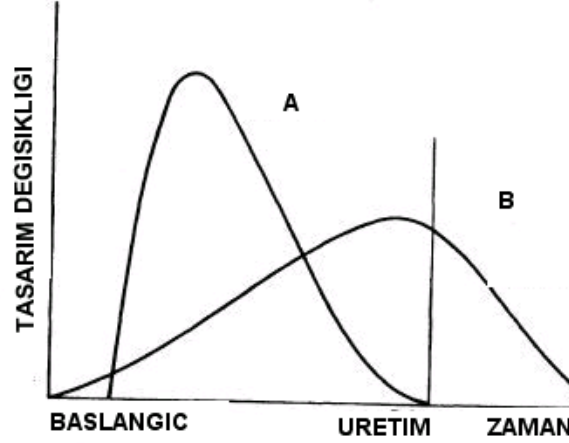
çalışmadan da görüleceği gibi tasarım aşamasında alınan kararlar, müşteri tarafından algılanan ürün kalitesini belirlemektedir [Ullman, 1992]:

Çizelge 2.1 Müşterinin Algıladığı Kalite Kriterleri

	Gerekli	Gerekli değil	Bilinmiyor
Fonksiyonlarını eksiksiz yerine getirmeli	98	1	1
Uzun ömürlü olmalı	95	3	2
Kolay tamir edilebilmeli	93	6	1
Çekici gözükmeli	58	39	3
Son teknoloji ürünü olmalı	57	39	4
Bir çok unsusu olmalı	48	47	5

Başka bir kalite belirteci, Xerox'un yapmış olduğu başka bir çalışmaktan gelmektedir. Bu çalışmada incelenen, hat iade oranıdır. Hat iadesi, her komponentin biribiri ile montajı sırasında görülen uyumsuzluktan kaynaklanmaktadır. Her şirketin kendine özgü kalite kontrol teknikleri ve uygulamaları bulunmaktadır. Hatta gelen her komponentin yapılan kontroller ile teknik resimlerde öngörülen her türlü spesifikasyona sahip olduğu öngörülmektedir. Bunu sağlamasına rağmen montaj sonrası oluşan problemler tasarım kaynaklı olarak görülmelidir. Montaj sonrası oluşacak bu tasarım hataları sonucu ya yeniden değerlendirme çalışmasına gidilecek, bu da mümkün değil ise ıskarta kaçınılmaz olacaktır [Ullman, 1992].

Xerox'un 1981'de gerçekleştirmiş olduğu bu incelemede, Japon rakiplerine göre komponent başına 30 kat daha fazla ıskarta oranı ile çalışılmakta idi [Ullman, 1992].



Şekil 2.39. Tasarım değişikliği-zaman yaklaşımları

Ürün maliyeti ve kalitesinin yanısıra, tasarım bir ürünün pazara çıkış süresi üzerinde de büyük etkiye sahiptir. Şekil 2.39 da, değişik tasarım felsefesi ile çalışan iki otomobil üreticisinin, yaptığı tasarım değişiklik sayılarını göstermektedir. Tasarım değişikliği ve iterasyon, tasarım sürecinin değişmez parçalarıdır. Ancak tasarım sürecinin sonlarında yapılan değişikliklerin maliyeti, erken değişikliklere kıyaslandığında çok daha maliyetli olmaktadır. B üreticisinin eğrisi incelendiğinde, tasarım üretim için yayımlandıktan sonra, tasarım değişikliği yaptığını göstermektedir. Esasen B üreticisi otomobil bir ürün olarak satıldığında tasarım sürecine devam etmektedir. Bu üretim teknoloji yatırımı, hat dönüşümleri ve ürünlerin geri çağırılma olasılığı incelendiğinde çok pahalı bir yöntemdir. A üreticisinin eğrisi incelendiğinde ise, yapılan tasarım değişikliklerinin sürecin erken aşamalarında gerçekleştirildiği ve üretim aşamasına geçmeden önce araç tasarımının tamamlanmış olduğu gözlemlenmektedir. Tasarım değişikliklerinin erken dönemde yapılması, kuşkusuz daha çok mühendislik çalışması ve süresi gerektirmektedir, fakat bu sayede ileriki aşamalarda dökümantasyon, kalıp vb yatırımlarda ek bir maliyet getirmeyecektir. Örnek olarak, tasarımın erken aşamalarında \$ 1000 lık bir

değişikliğin, üretim başladıktan sonraki getireceği yatırım maliyeti \$1 milyon dolarlar mertebesinde olmaktadır [Ullman, 1992].

Şekil 2.39 incelendiğinde, A üreticisinin B üreticisine göre daha fazla sayıda tasarım değişikliği yapmış olduğu görülmektedir. Bu yüksek sayıda değişiklik sonucunda ürün üzerinde daha fazla alternatif denenmiş ve sonradan yapılması gereken değişiklikler erken aşamada gerçekleştirilebilmiştir. Buna ek olarak A üreticisinin tasarımı sonlandırmak için harcadığı toplam süre B üreticisine göre daha azdır. Bütün bu farklılıklar iki üretici arasındaki tasarım felsefesi farklılığından kaynaklanmaktadır. A üreticisi, ürün geliştirme sürecinin ilk aşamalarında çok sayıda mühendislik personeli ile çalışmaya başlamakta, çalışanlarını bu erken dönemde birçok olasılık ve alternatifler üzerinde çalışmasını teşvik ederek, sonradan oluşacak ihtiyaçların önüne geçmeyi hedeflemektedir. Buna karşın B üreticisi daha kısıtlı bir personel ile, çalışanlarını ürün geliştirme sürecinin ilk aşamalarında hızlı sonuçlara zorlayarak, çalışanların alternatifler üzerinde yeterince çalışmasına engel olmaktadır.

Şekil 2.39, 1980'li yıllarda gerçek hayatta ilişkili olan bir Japon üreticisi (A) ve bir Amerikan üreticisini (B) göstermektedir. Bu yıllarda Amerika'da bir araç geliştirme projesinin ilk aşamalarında gözden kaçan bir problemin nihai üründe çözülme süresi 5 seneyi biraz aşıyordu. Bu süre Japonlar'da 3,5 sene civarında idi ve sonuç olarak kaliteli Japon arabalarına karşı, Amerika kota uygulamak zorunda kalacak idi. Xerox örneğinde olduğu gibi Amerikalı araba üreticileri değişime ayak uydurarak, daha iyi (robust) tasarım çalışmaları ile ürünlerinin kalitelerinin iyileştirme çalışmalarına gittiler [Ullman, 1992].

Kalite, ancak tasarım ile üretime kazandırılabilir. 1981'de Xerox'un her 1000 komponentinin 30'unda sorun çıkmakta idi, bir başka deyişle 33 komponentinin 1'i montaj sırasında problem çıkarmakta idi. 1989 yılında Xerox iyi tasarım felsefesi ile bu oranı milyonda 100'e yani, 10000 de 1 komponent seviyesine çekmeyi başarmıştır [Ullman, 1992].

İyi tasarım, genellikle Genichi Taguchi den sonra Taguchi metodu olarak adlandırılmıştır, 1980'li yıllarda Avrupa ve Amerika'da popüler bir felsefe olmuştur. Bu tasarım felsefesinde, geleneksel önce ölçülendirip sonra toleranslandırma mantığından farklı bir yaklaşım ile, yüksek kaliteli ürünler hedeflenmektedir [Ullman, 1992].

İyi tasarım tekniklerini uygulamak oldukça karmaşık bir işlemdir. Burada açıklanacak tolerans analizi yöntemi için iki varsayım bulunmaktadır. Birincisinde sadece üretim varyasyonlarının etkileri dikkate alınacak, ikincisinde sadece ölçüler dikkate alınacaktır. Daha açık bir dil ile iyi tasarımdan anlaşılması gereken, ölçüsel toleranslandırma ve hassaslık analizidir. Taguchinin ortaya koyduğu deneysel çalışmalara karşın ölçüsel tolerans analizi ve hassaslık analizi, istatistiksel bir geçmiş bilgi birikimi gerektirmeyen analitik esaslara dayanmaktadır. Bu çalışmada ölçüsel tolerans analizi incelencektir.

2.4.3 Tasarım Faktörü Olarak Ölçüsel Tolerans Analizi

Karmaşık ürünler daha kısa sürede geliştirilip, pazara çok yüksek rekabet baskısı ile girmektedir. Yüksek kalite ve kısa sürede üretilebilme en kritik başarı olarak görülmektedir ve bu başarı ancak iyi tasarım ile mümkün olabilmektedir. Yüksek teknoloji ürünlerinin ömürlerinin çok kısa olması bu yarışa daha da rekabetçi bir şekile sokmaktadır.

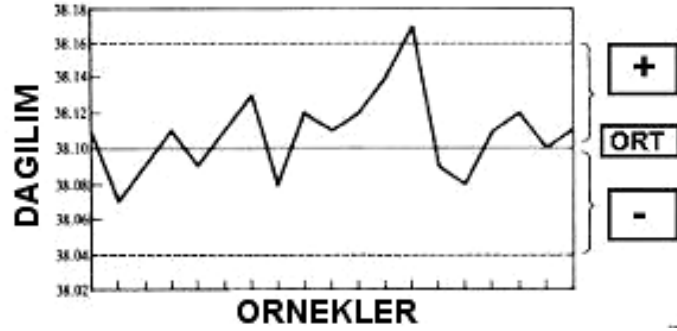
Üretimi yapılacak bir parçanın veya montajın teknik resmi, üzerindeki ölçülere toleranslar tanımlanmadan eksiktir. Hiçbir imalat metodu ile tam olarak istenilen ölçüler elde edilemez, toleranslandırma yapmak bir zorunluluktur.

Şekil 2.40 da görülen üretim varyasyonlarındaki zıplamaların kaynağı toleranslardır. Buna rağmen araştırmalar göstermektedir ki, bir komponent üzerinde

bulunan toleransların ancak %20 si ürünün işlevini yerine getirme konusunda etkin olmaktadır [Ullman, 1992]. Hatalı üretilen ürünlerin tekrar tamir edilme nedenleri incelendiğinde, yüksek oranda toleranslandırma problemleri ortaya çıkmaktadır.

Bir parça üzerinde tanımlanan ölçü-toleranslar; öngörülen değere sahip olmamasına karşın, parça görevini başarılı bir şekilde getirebilmektedir. Bu nedendir ki, kritik olmayan ölçüler üzerindeki toleranslar her zaman imalat şartlarından gelen değerlere göre tanımlanmalıdır. Tasarımcı toleranslandırma yaparken; parçanın istenilen fonksiyonu yerine getirmesi, en az maliyet ve en hızlı üretilmesi (DFM-Design For Manufacture) ve kolay montaj edilebilir (DFA-Design For Assembly) kriterlerini dikkate alması gerekmektedir. Toleranslandırma yaparken, tasarımcı ürün fonksiyonlarının eksiksiz olarak yerine getirilebilmesi için toleransları dar tutmak istemektedir. Buna karşı üretim, düşük hurda miktarı ve yüksek verim için bu aralığın mümkün olduğunca geniş olmasını istemektedir. Daha dar toleranslar elde etmek mümkündür, ancak bu ekstra maliyet demektir. Genel olarak bütün üreticilerin, her proses için nominal tolerans aralıkları kendi spesifikasyonları ile tanımlanmıştır[Ullman, 1992]. Geniş toleranslar ise parçaların biraraya getirilmesi sonrasında monte edilememe riskini getirmektedir.

Tasarım mühendisleri genel (3D) ve detay (2D) tasarımdan, fonksiyonellik analizinden, ölçülerden ve toleranslardan sorumludur. Üretim mühendisleri, ürünlerin imal edilmelerinden, değişik imalat yöntemleri ve tolerans aralıkları için maliyet faktöründen sorumludurlar. Ürün mühendisleri, üretim hattından ve ürün için seçilen montaj tekniklerinden sorumludur. Maliyet ise her üç grup için bir sorumluluktur [Nevins, 1989].



Şekil 2.40. İmalat sonrasında ölçü dağılımları

Bir tasarımcı ürün üzerinde bir tolerans tanımladığı zaman, bu ürün ömrü için ne anlama gelmektedir? İlk olarak, üretim metodunun tayini için gerekli olan bilgiyi taşımaktadır. İkinci olarak, kalite kontrol için bilgi taşımaktadır. 1920’lerde başlayan seri imalatın yaygınlaşması ile kalite kontrol denetlemeleri de başlamış oldu. Bu tür kalite kontrol çalışmalarının “ hat üzeri ” olarak tanımlanmasının esas nedeni, bu kontrollerin üretim hattında gerçekleştirilmesinden kaynaklanmaktadır [Ullman, 1992].

1940’larda düzenli komponent imali için üretim kaynaklarının tasarımına ağırlık verildi. Bu sayede hat üzerinde gerçekleştirilen kalite kontrol çalışmalarının ve sorumluluklarının bir kısmı, hat dışında tasarlanması metoduna kaymış oldu. Üretilmiş parçaların tanımlanmış toleranslarda olmasını sağlamak amacı ile birçok istatistiksel metod geliştirildi. Üretim proses çalışmaları hernekadar parçaların istenilen tolerans aralıklarında üretilmesini sağlasa da, iyi ve kaliteli bir tasarımın güvencesi olmamakta idi. Bir ürünün kalitesi ancak tasarımının kalitesi kadar gerçekleşebilmektedir. Bu yüzden ki, kalite kontrol, tasarım ile doğrudan ilgilidir. Eğer tasarım iyi ise, üretimin ve kalite kontrolün üzerinden büyük bir yük hafiflemiş demektir. İyi tasarım için ilk adım, toleransların ürün performansı üzerine etkilerini tanımlamaktadır [Ullman, 1992].

Kavramsal tasarım sırasında yapılacak olan tolerans analizi, DFM ve DFA şartlarını sağlayan ürünler ile birçok açıdan problemsiz olacaktır. Görsel prototipleme ve dijital fabrika yazılımlarının, üç boyutlu mekanik tasarım programları ile entegrasyonu sonucunda ürün ile ilgili bütün mühendislik ve diğer bölümlerin aynı dili konuşması ile daha etkili bir iletişim sağlanacaktır. Bunun sonucunda ürün kalitesi ve performansı kuşkusuz daha da iyi seviyelere çekecektir.

2.4.4. Tolerans Analizi Metodları

Bilgisayarları etkin olarak kullanmayarak yapılan toleranslandırma çalışmaları, daha çok tasarımcının, parça resimlerini yayımlamadan hemen önce gerçekleştirdiği bir çalışmadır. Tasarımcı bu tarz yaptığı çalışmada, karar verme mekanizmaları içerisinde bir çok kaynaktan yararlanmaktadır. Tecrübe ve bilginin üstüne içgüdü ve standartların getirdiği kısıtlamalar sonucunda tasarımcı karar vermektedir.

Güngeçtikçe karmaşılaşan ürünler için bu tür bir çalışma, yeterli olamamaktadır. Karar verme mekanizmalarında bilgisayar teknolojilerinden yararlanılması artık kaçınılmazdır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, tasarımın ilk aşamalarından itibaren, sürecin içerisinde bu analizleri dahil etmektir. Bu çalışmaların, tasarım safasına geç girmesi çok yüksek maliyetlere neden olmaktadır.

Bilgisayar yardımı ile yapılan toleranslandırma çalışmaları, en genel olarak üç kategoriye ayrılan programlar ile yapılabilir:

1. Excel ve benzeri programlar ile gerçekleştirilen analizler
2. Bilgisayar destekli tasarım (CAD-Computer Aided Design) araçlarının içerisinde bütünleşmiş programlar ile yapılan analizler
3. Bağımsız olarak yazılmış programlar ile gerçekleştirilen analizler

2.4.5. Tolerans Analizi ile İlgili Teorik Bilgiler

Tolerans analizi metodlarını genel olarak üçe ayırabiliriz:

1. En kötü durum metodu (Worst Case-Worst on Worst-WOW)

Bütün toleransların maksimum ya da minimum tarafta gelmesi ilkesine dayanır. Excel, CAD'e entegre ve diğer programlar ile sonuç elde edilebilir. Analiz için en geniş sınırların çizilmesi için bilinmesinde fayda vardır, ancak bu analiz sonucunda yapılacak tasarımlar genellikle gereğinden daha fazla emniyetli olduğundan maliyet faktörü açısından çok uygun değildir. Bu yaklaşımla, hassas toleransların oluşturduğu montaj toleranslarını elde etmek çok zor olabilmektedir. Tek zincirli yapıda kullanılması uygundur.

$$T_{MONTAJ} = \sum T_i \quad (2.10)$$

T_{MONTAJ} : Montaj toleransı

$\sum T_i$: Montajı oluşturan bütün parçaların kendi toleransları

2. İstatistiksel metod - Karelerin toplamının karekökü (Root Sum Squares-RSS) metodu

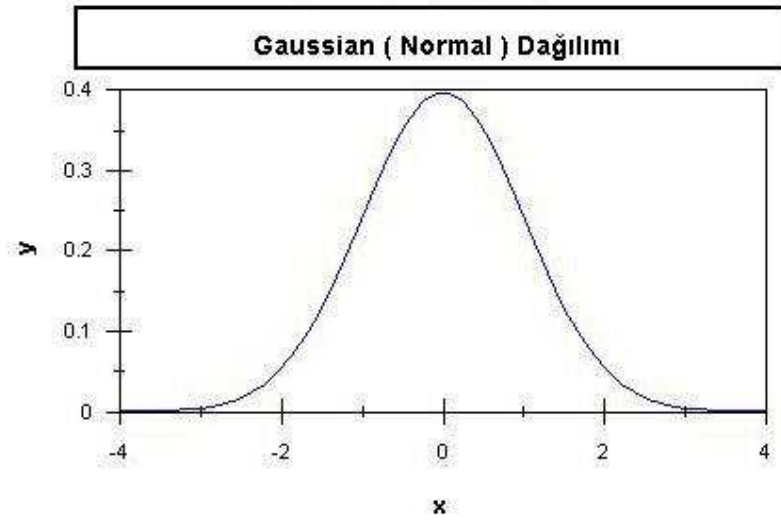
Montajı oluşturan bütün parçaların toleranslarının istatistiksel bir dağılım içerisinde olduğu varsayılır. Bu dağılımdan yola çıkarak, montaj ölçüsünün toleransı için bir dağılım çıkarılır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için,

- (1) Üretimi yapılan parçaların tolerans dağılımlarının Gaussian (normal) dağılım şeklinde olduğu,

- (2) Dağılımın ortalama değeri ile tolerans verilen ölçünün ortalama değerinin çakışık olduğu,
- (3) Dağılımın aralığı ile tolerans aralığının sınırlarının aynı olduğu,

varsayılır.

$$T_{MONTAJ} = \sqrt{\sum T_i^2} \quad (2.11)$$



Şekil 2.41. Gasussian-Normal dağılım

Gaussian (normal) dağılımın olmadığı durumlar için (üçgen dağılım, düzenli dağılım, kare dağılım, hanning dağılımı, asimetrik (skew) dağılımı durumları) montaj toleransı :

$$T_{MONTAJ} = C_f Z \sqrt{\left[\sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \left(\frac{T_i}{Z_i} \right)^2 \right]} \quad (2.12)$$

ile ifade edilir.

Z , Montaj toleransı için gerekli olan standart sapmaların sayısını,

Z_i , her bir parça toleransı için öngörülen standart sapmayı,

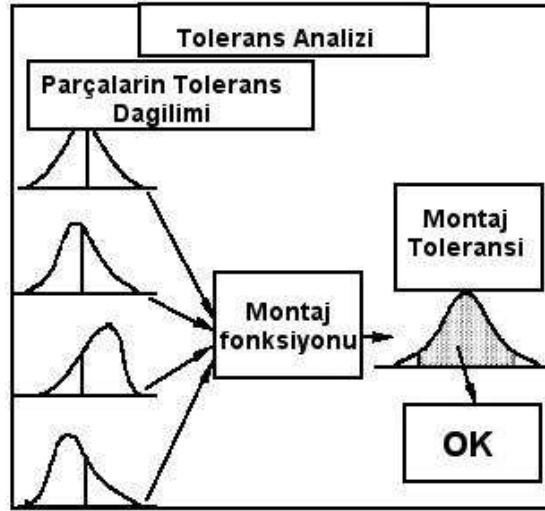
C_f , Gaussian (normal) dağılım olmayan durumlardaki düzeltme faktörünü tanımlar.

C_f , 1,4 ile 1,5 arasında bir değerdir

3. Örneklememe metodu - Monte Carlo Metodu

Monte Carlo metodu, montaj sonrası tolerans analizi yapabilmek amacı için kullanılan çok avantajlı bir metoddur. Avantajlı yönü, hem Gaussian (normal) hem de normal olmayan parça toleranslarının dağılımı ile sonuca gidebilmesidir.

Metodun temelinde, parçalar için dağılımı modelleyecek, rastgele sayı üreticilerinin oluşturduğu ölçülerin, montajı oluşturacak şekilde bir fonksiyon ile montaj toleransını oluşturmasıdır. Bu işlem defalarca tekrar edilerek montaj ölçüsü için bir istatistiksel bilgiye ulaşılır.



Şekil 2.42. Monte Carlo metodu adımları

Monte Carlo metodunun basamakları şöyle özetlenebilir:

- (1) Montaj için kritik ölçü tanımlanır ve tasarım limitleri belirlenir
- (2) Montaj kritik ölçüsünü etkileyen komponentler üzerindeki ölçüler belirlenir ve bu ölçülerin toleransları tanımlanır.
- (3) Montaj kritik ölçüsünü etkileyen komponentlerin ölçüsel dağılımı istatistiksel, ölçüm sonucu sayısal ya da ampirik, olarak elde edilir.
- (4) İlgili parçaların montajı oluşturmasını açıklayan bir fonksiyon tanımlanır. Bu fonksiyon zincir denklemi olarak isimlendirilir.
- (5) Rastgele sayı üreticilerinin her parça için ürettiği değerlerin ortalaması alınarak, montaj ölçüsü ve dağılımı çıkarılır. İstenilen limitlerde olması koşulu kontrol edilir.
- (6) Yukarıdaki adım, istatistiksel olarak yeterli veri edilene kadar tekrar edilir.

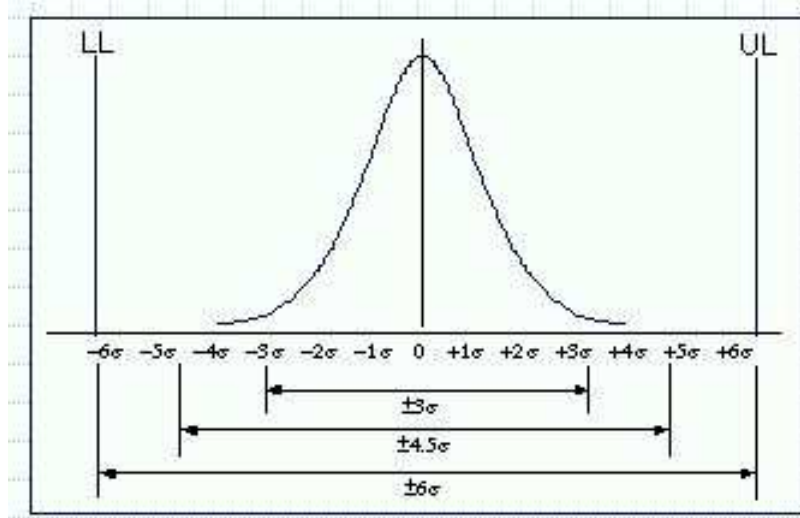
Monte Carlo metodunun en zayıf yönleri, hassas sonuçlara ulaşabilmek için çok sayıda ölçüm verisine ve güçlü bilgisayarlara ihtiyaç duymasıdır.

Günümüzde her alanda olduğu gibi, elektromekanik parçaların ürün geliştirme süreçlerinin kısaltılması, tasarımdan pazara sunuş süresinin en aza çekilmesi ,kaliteli ve ucuz ürün amacı için yoğun bir şekilde çalışılmaktadır.

Bu çalışmanın bir parçası olarak, parçaların ölçülendirilmesi ve toleranslandırılması aşamasında çok çeşitli araçlardan yararlanılmaktadır. Bu araçlarınlardan birisi de, 6 Sigma (6σ) tekniğidir. Tasarım aşamasının ilk dönemlerinde 6 Sigma metodolojisi ile, mekanik tasarım toleranslarının belirlenmesi yardımı ile parçalara tanımlanacak toleransların esnek bir şekilde tanımlanabilmesi mümkündür.

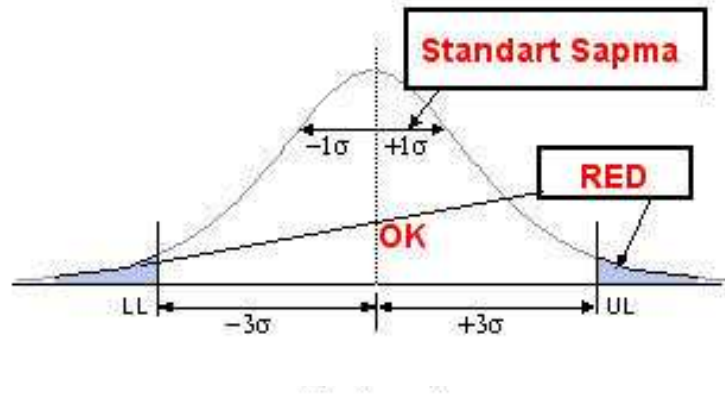
6 Sigma tekniği ile, ürün üzerinde tanımlı belirli sınırlar içerisinde, bir prosessin ne kadar iyi olduğu konusunda, hem nicel hem de nitel olarak, istatistiksel bir yaklaşım elde etmek mümkündür. Prosesslerin çıktısı olan kritik ölçülerin istatistiksel olarak dağılımı, ürün başarısı için, tasarımın ilk safalarından beri göz önüne alınması gereken bir kriterdir.

6 Sigma tekniği, gerçek imalat şartlarından elde edilen veriler ışığında, istatistiksel olarak milyonda meydana gelebilecek hata oranını göstermektedir.



Şekil 2.43. $\pm 3\sigma$, $\pm 4,5\sigma$ $\pm 6\sigma$ dağılım aralıkları

Şüphesiz σ değeri arttıkça hata oranı azalacaktır. $\pm 3\sigma$ için milyondaki hata oranı 2700 iken, $\pm 6\sigma$ için bu oran milyarda 2 oranına düşmektedir.



Şekil 2.44. $\pm 3\sigma$ ya göre OK ve RED bölgeleri

Bu çalışmada atıfta bulunulduğu için değinilmesi uygun görülen 6 Sigma tekniği ile ilgili temel bilgilerin dışında kalan öğeler (teknikğin kullanılması ile yapılan iyileştirme çalışmaları, dağılımların fiziksel yorumu ve bu yoruma göre yapılan çalışmalar, istatistiksel bilgiler ve yorumlanması ..vb) için kaynaklar

bölümünde verilen [Gillian, 2001], [Koch, 2002], [Keith and Bower, 2000] lerden yararlanılabilir.

Bu çalışmada iki çeşit tolerans analizi uygulanmıştır:

- (1) I-DEAS mekanik tasarım programı ile katı model üzerinde kurulan toleranslandırma mantığı ile toleranslandırma ve kabul edilebilirlik oranı. 6 Sigma için kullanılan Minitab yazılımı ile istatistiksel olarak yapılan çalışmalar ile bu durumun kontrolü.
- (2) Monte Carlo metodu ile yapılan çalışmalar.

2.5. I-DEAS ile Gerçekleştirilen Tolerans Analizi Çalışmaları

2.5.1. Genel Bilgiler

Seri imalat sonucunda üretilen parçaların hepsi aynı değildir. Ne yazık ki bir seri içerisindeki parçaların hepsi tam olarak aynı ölçüde üretilemez. Takımlardaki körelme, parçaların fikstürlere tam olarak sabitlenememesi, çevresel faktörler ve diğer nedenlerden dolayı nihayi ürün üzerindeki hassaslık üzerinde etkileri bulunmaktadır.

- Çok dar tolerans aralıklarındaki üretim sonrasında hurda oranında artış, özel üretim teknikleri kullanılması veya üretilen parçalar üzerinde özel kontroller zorunluluğu, ekstra maliyet, yüksek işçilik
- Çok geniş toleranslar sonucunda, montaj problemleri veya ürün üzerinde aksaklıkların doğması (Örnek olarak motor-pompa sistemindeki problemler)

Montajlar için tanımlanan toleranslandırma çalışmalarında şu öğeler önem kazanmaktadır:

- Öncelikli olarak parçaların kendi içerisindeki toleranslandırma çalışmalarının doğru olması.
- Doğru imalat ve montaj tekniğinin seçilmesi.
- Üretim varyasyonunun doğru olarak algılanması.
- Parçaların biraraya gelme aşamasındaki bütün ayrıntıların (sıra, yöntem, ekipman, operatör) tanımlanmış olması.
- Parçalar dışında kalan bütün imalat ekipmanlarının analizi. Fikstürler, montaj arabaları, hareketli makina parçaları, geyçler, ölçme aparatları ..vb ekipmanların analizi örnek gösterilebilir.

Tolerans analizi yardımı ile bu varyasyonlar üzerinde öngörü yapabilme ve düzeltmeler yapabilme imkanı vardır. Tolerans analizi yardımı ile, varyasyona en çok sebep olan değişkenler ve kısıtlamalar tanımlanabilir. Bu tanımlamadan sonra ya bu değişken-kısıtlamalar üzerinde değişiklik yapılabilir ya da toleranslarında değişiklikler yapılabilir.

Tolerans analizi yardımı ile,

- Parça ömrü artırılır,
- Üretim maliyetleri kontrol altına alınır,
- Tolerans dışında kalan hurda-ıskarta oranı düşürülebilir.
- Kritik olmayan ölçü ya da kısıtlar üzerinde toleranslar değiştirilir.

2.5.2 Toleranslandırma

Toleranslar -en genel anlamda- bir ölçü ya da kısıt için, parça ya da montaj sırasında uygun şartları ve fonksiyonları sağlarken, tanımlanan varyasyonlardır. Bir tolerans bölgesi dahilinde, ölçünün ideal değerinden göstereceği sapmayı tanımlamaktadır. Tolerans bölgesinin dışında kalan parça, geçersiz ya da tolerans dışı olarak tanımlanmaktadır.

Bir ölçünün, toleransları olmadan tanımlanan değeri “nominal ölçü” olarak isimlendirilir. Üst ve alt toleransların, nominal ölçüye tanımlanması ile tolerans bölgesi tanımlanır. Tolerans bölgesi her zaman mutlak değer olarak alt ve üst sapmalar arasındaki fark olarak tanımlanır. Eksi değeri bir tolerans için minimum limiti, artı değeri ise maksimum limiti tanımlar. Toleranslandırma için standartlar en geniş olarak ASME 14.5 M-1982 ve özellikle üç boyutlu parçaların mekanik tasarım programı ile boyutlandırılması ve dijital olarak açıklanabilmesi amacı ile çıkarılan ASME 14.41-2003 ile tanımlıdır.

2.5.3 Tolerans Ekleme

Tasarımı yapılan parçalar üzerinde, daha sonra tolerans analizi yapmak amacı ile bütün kısıtlar ve ölçüler üzerine tolerans tanımlamalarının yapılması gerekmektedir. Eksik yapılan toleranslandırma sonucunda, toleransların üst üste binmesi gibi problemler ile karşılaşılabilir.

Tolerans analizinin adımları kısaca şöyle tanımlanabilir:

- (1) 3D ortamda tasarlanmış olan parçalar, gerçek montajı ifade edecek şekilde gruplanır.

- (2) Tolerans analizine etki eden parçalar dışındaki öğeler, montajdan çıkarılır. Daha sonra her parça üzerinden kesitler alınır. Bu kesitler arasında organik ölçülendirmeler yapılır. Bu ölçülendirmeler sırasında bütün ölçülerin tam olarak bağlantılı olması gerekmektedir.
- (3) Nominal ölçüler tanımlandıktan sonra toleranslar tanımlanır. Tolerans değerleri sadece tolerans analizi çözücüsü tarafından hesaba katılır.
- (4) Analizi yapılacak ölçü tolerans analizi paneli yardımı ile analiz edilir.

Tolerans analizi sonucunda şu veriler elde edilir:

- *Nomianal*: Analiz edilen ölçünün toleranslar dahil edilmeden ideal değeridir.
- *Stat. Up_Tol* and *Stat. Low_Tol*: Kabul edilebilirlik oranı %100‘ yaklaşırken, analiz edilen ölçüyü oluşturan diğer ölçülerin istatistiksel olarak limit değerlerini gösterir.
- *Accept_Rate*: Normal veya Gaussian dağılımına göre, analiz edilen ölçünün verilen toleranslar ve bağıntı kurulan diğer ölçüler ışığında, kabul edilebilirlik oranını tanımlar. Elde edilen sonuç, diğer ölçülerin toleranslarındaki iyileştirmeler ile yükseltilir.
- *Worst Up_Stk*: En kötü durumdaki, (bütün toleransların artı tarafa yığılması durumu) üst toleransı tanımlar.
- *Worst Low_Stk*: En kötü durumdaki (bütün toleransların eksi tarafa yığılması) alt toleransı tanımlar.
- *Sensitivity*: Lineer analizler için hassaslık 1 değerini alır.

NOT : I-deas tolerans analizi, Gaussian (Normal) dağılım ve 3 σ lık bir standart sapma olduğunu kabul ederek sonuç vermektedir.

2.5.4 Bulaşık Makinası Motorlarındaki Yaylı Pul Parçasının Tolerans Analizi

Yaylı pul elamanı tek fazlı asenkron elektrik motoru için çok önemli bir elemandır. Parçaların toleranslarında gelen sapmaları yutma, montaj sırasında oluşacak varyasyonlara karşı emniyet, rulmanın dış bileziğine uyguladığı ön gerilme ile rulmanın sessiz çalışması ve ömrünün uzaması gibi çok önemli işlevleri vardır. Yaylı pul elamanı sayesinde, çok sıkı olması gelen tolerans bantları genişletilebilme imkanı olmuştur.

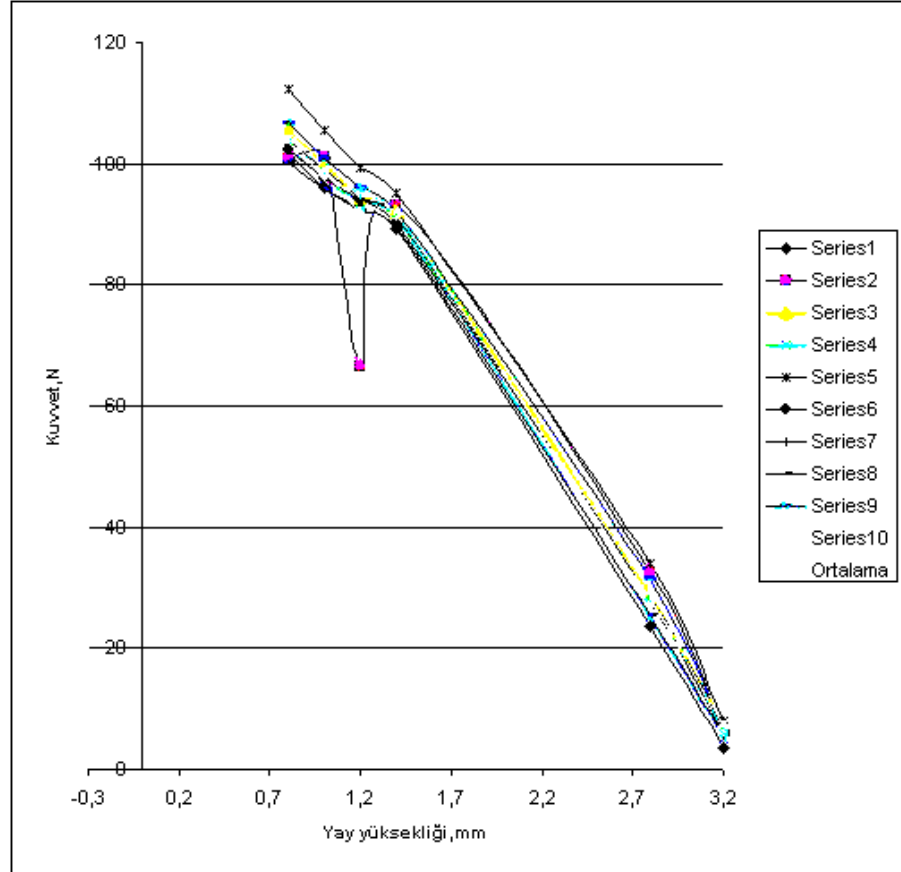
Şekil 2.17’de yaylı pul ile ilgili teknik özellikler ve Şekil 2.45 on adet yaylı pul ile yapılan F-x ölçümlerine yer verilmiş idi. Buradaki grafik sıkışma miktarına bağlı olarak kuvvet değerlerini içermekte idi.

Değerler yayın çalışma yüksekliklerinde, yayın uyguladığı kuvvetler göz önüne alınarak çıkarılmıştır.

	Serbest yay yüksekliği mm	Dış Çap mm	İç çap mm	malzeme kalınlığı mm	Kuvvet(ölçümler aşağıdaki yay yüksekliklerinde alındı)					
					0,8 N	1 N	1,2 N	1,4 N	2,8 N	3,2 N
1		20,88	16,73	0,3	101,8	96	92,6	89,3	23,6	3,6
2		20,89	16,76	0,3	100,8	101,2	66,6	93	32,5	6,9
3		20,9	16,75	0,31	105,4	99,8	94,2	92,5	28,7	7,4
4		20,88	16,73	0,3	102,5	97,4	93,8	90,9	25,1	5
5		20,91	16,75	0,31	112,3	105,4	99,3	95,2	34,1	8,1
6		20,88	16,7	0,3	102,2	97,6	94,1	90,2	28,5	6,7
7		20,89	16,78	0,3	103,7	99,1	94,3	91,2	27,8	5,5
8		20,89	16,76	0,3	100,1	95,8	92,1	89,7	25,5	5,7
9		20,91	16,75	0,3	106,8	100,7	96,1	92,3	31,2	6,1
10		20,9	16,76	0,31	104,3	98	95,2	91,6	27,8	7,1
min	0	20,9	16,7	0,3	100,1	95,8	66,6	89,3	23,6	3,6
max	0	20,9	16,8	0,3	112,3	105,4	99,3	95,2	34,1	8,1
ortalama	#DIV/0!	20,9	16,7	0,3	104,0	99,1	91,8	91,6	28,5	6,2
std	#DIV/0!	0,01	0,02	0,00	3,57	2,87	9,09	1,76	3,34	1,31

Şekil 2.45. Yay ölçüm sonuçları

LLOOYD LR10K verisi



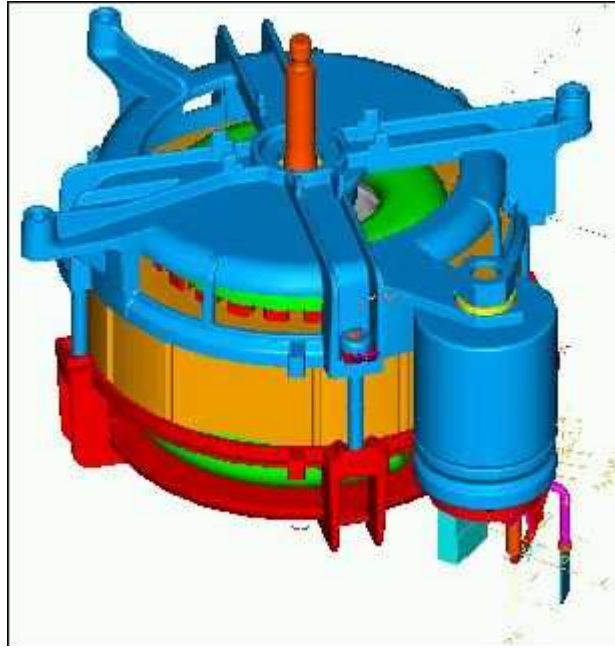
Şekil 2.46. Yay ölçüm grafikleri

LLOOYD LR10K verisi

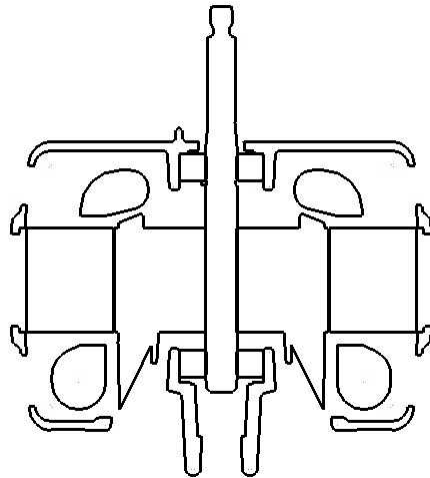
Şekil 2.45 ve 2.46'dan anlaşılacağı gibi yayın çalışma yüksekliği çok kritiktir. Aşırı sıkışmış yay, rulman üzerine fazla yük, ısı ve kayıpların artışına neden olurken; yeterince sıkışmamış yay ise, rulman için yeterli öngerilmenin sağlanamaması ve ses problemlerine neden olacaktır. Bu anlamda yaylı pulun çalışacağı end-play mesafesinin detaylı bir şekilde tolerans analiz çalışması yapılması uygun görülmüştür.

Motor kayıpları içerisinde sürtünme kayıplarının büyük bir bölümü rulmanlardan kaynaklanmaktadır.

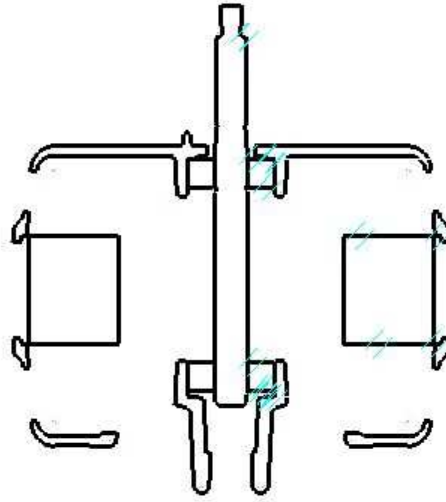
2.5.3 bölümünde anlatıldığı üzere tolerans analizi çalışmasının adımları takip edilmiştir [Holsey, 1995]



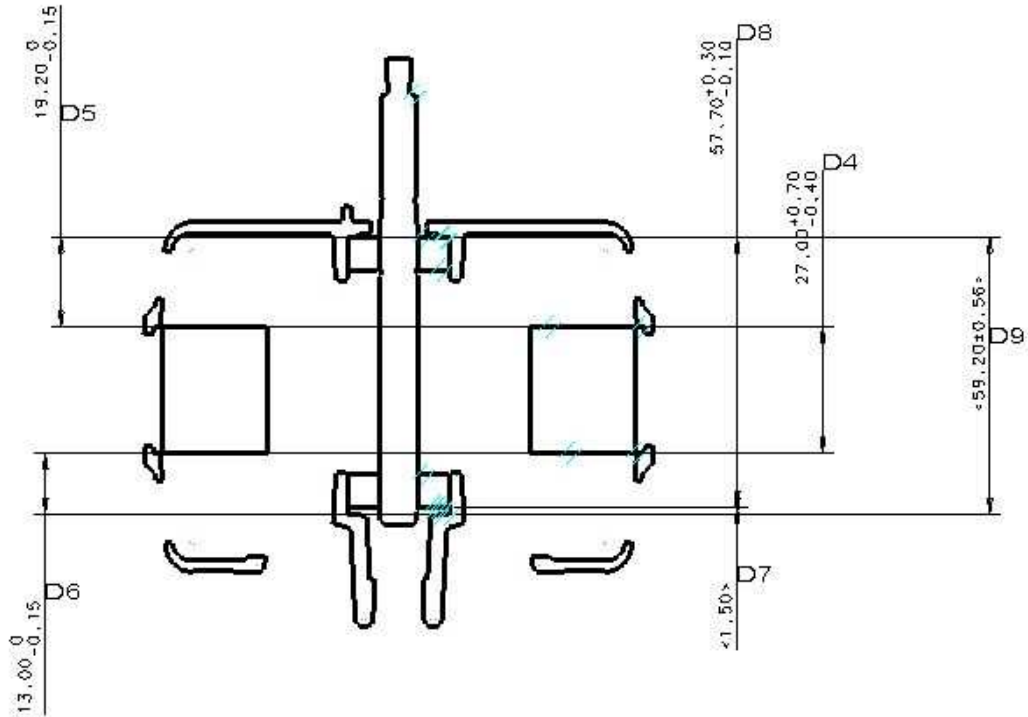
şekil 2.47. 3-D ortamda parçalar biraraya getirilerek montaj oluşturulur



şekil 2.48. Montaj üzerinde parçalardan aynı düzlemde kesit alınır



Şekil 2.49. Tolerans analizi ile ilgili parçalar ayıklanır



Şekil 2.50. Tolerans analizi yapılacak ölçü diğer tanımlı ölçüler cinsinden tam olarak ifade edilir

Yukarıdaki çalışmada 1,5 ölçüsü motor end-play ölçüsünü tanımlamaktadır. Yaylı pulun çalışma bölgesi olan bu alan, daha önce belirtilmiş olan nedenlerden dolayı çok kritiktir. İmalat ve montaj toleranslarının belirli limitler altında tutularak bu ölçünün kontrol altında alınması motor için büyük önem taşımaktadır.

Şekil 2.45'teki yay kuveti ölçümleri incelendiğinde 608 rulman için gerekli olan optimum ön gerilme miktarının 40-60 N için, yaklaşık olarak 1,8-2,6 mm lik bir yay sıkışması öngörülmektedir. Yayın serbest yüksekliğinden (3,2 mm) bu değer çıkarılınca elde edilen 1,4-0,7 mm lik bir aralık end-play için optimum aralıktır.

Yapılan tolerans analizi incelendiğinde; en kötü duruma göre end-play mesafesi 0,5-2,3 mm olarak görülmektedir. Bu mesafe istatistiksel olarak incelendiğinde ise, 0,8-2 mm aralığında gelmektedir. Buradaki istatistiksel yaklaşım ile, minimum oranda fire verilmesi koşulu ile, üretim parametreleri daha kolay kontrol altına alınabilir. Ek 2'de analiz sonuçları ayrıntılı şekilde verilmiştir.

Burada yapılabilecek bir başka iyileşme de Şekil 2.46'daki yay eğrilerinin eğimini azaltacak (yayın sıkışma ile uyguladığı kuvet dağılımı) yönde mevcut yay tasarımında iyileştirme yapmak olabilir.

I-DEAS çıktısı ayrıntılı analiz sonuçları Ek 2'de yer verilmiştir.

2.5.6 Bulaşık Makinası Motorlarındaki 18,5 Ölçüsünün Tolerans Analizi

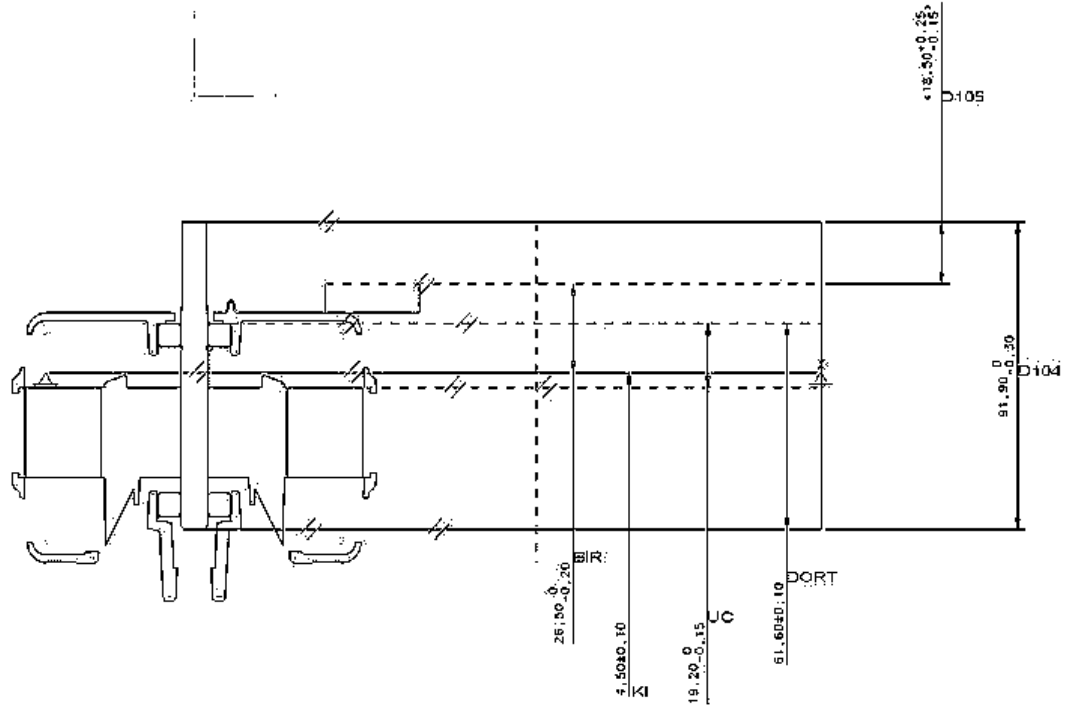
Bulaşık makinası motoru için 18,5 ölçüsü tanımlanan en kritik ölçüdür. Milin dış dibinden pompa oturma yüzeyine olan mesafeyi tanımlar. Bu ölçü en temel anlamda:

1. Kalkış torkundaki değişim; az basması durumunda keçedeki sızdırmazlık problemi, çok basması durumunda yay kuvetindeki artma,
2. Pompa çarkı ve pompa üst salyangozu arasında sürtme, dolayısı ile hidrolik sistemin görevini yerine getirememesi,
3. Verim değerinde düşme,

gibi tanımlanabilecek ve ürün için kabul edilemez problemleri içermektedir. Bu motor-pompa bağlantısı için motor ve pompa komponentlerinin toleranslarının üstüste gelmesi sonucu ortaya çıkan karmaşık bir ölçüdür. Temel olarak motor milinin dış dibinden, pompa oturma yüzeyine kadar tanımlanan ölçüdür. Motor üzerindeki mil boyu (D104) , dökümden gelen pompa oturma yüzeyi ve referans yüzey arasındaki mesafe (BIR), rulman çakma ölçüsü (DORT) , stator oturma işleme ölçüsü (IKI) ve rulman yeri işlemenin (UC) 18,5 ölçüsüne etkisi ayrıntılı olarak verilmiştir:

I-DEAS ile yapılan çalışma ile bu ölçülerin toleranslarının % olarak 18,5 ölçüsü üzerine etkileri tanımlanabilmektedir. Yine bu ölçüler üzerindeki tolerans değerleri üzerindeki oynamalar ile 18,5 ölçüsünün kabul edilebilirlik oranını net olarak ortaya koymak mümkün olabilmektedir.

Şekil 2.51’de analiz sonuçları incelenmiştir. I-DEAS çıktısı ayrıntılı analiz sonuçlarına Ek2’de yer verilmiştir.

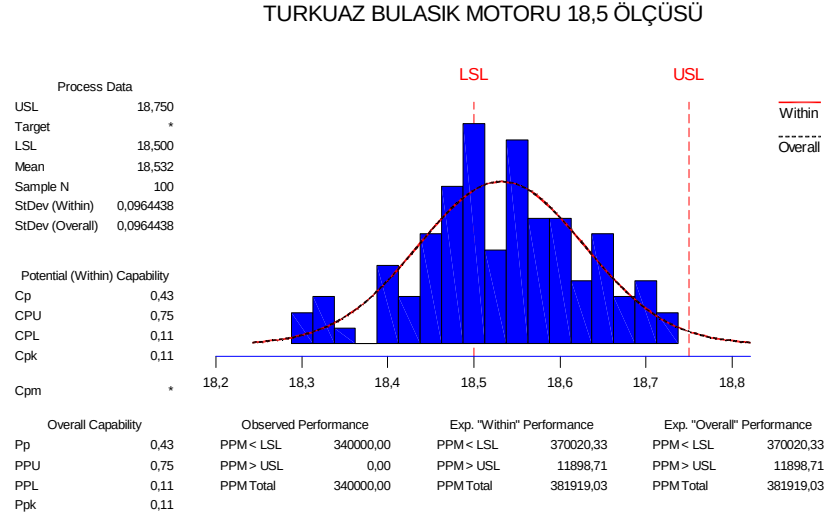


TURKUAZ	ONYX (BMI İLK İSTEK)	ONYX (GÜNCEL)
Upper Tolerance: +0.25	Upper Tolerance: +0.25	Upper Tolerance: +0.25
Lower Tolerance: -0.25	Lower Tolerance: 0.0	Lower Tolerance: -0.15
Tolerance Analysis Results:	Tolerance Analysis Results:	Tolerance Analysis Results:
Name: D105	Name: D105	Name: D105
Nominal: 18.5	Nominal: 18.5	Nominal: 18.5
Stat. Upper Tolerance: +0.1818396	Stat. Upper Tolerance: +0.1818396	Stat. Upper Tolerance: +0.1818396
Stat. Lower Tolerance: -0.2818413	Stat. Lower Tolerance: -0.2818413	Stat. Lower Tolerance: -0.2818413
Upper Tolerance: +0.25	Upper Tolerance: +0.25	Upper Tolerance: +0.25
Lower Tolerance: -0.25	Lower Tolerance: 0.0	Lower Tolerance: -0.15
Worst Upper Tolerance(linear): +0.45	Worst Upper Tolerance(linear): +0.45	Worst Upper Tolerance(linear): +0.45
Worst Lower Tolerance(linear): -0.55	Worst Lower Tolerance(linear): -0.55	Worst Lower Tolerance(linear): -0.55
Acceptance Rate: 99.51115	Acceptance Rate: 25.87733	Acceptance Rate: 90.21241
Contributors To The Analyzed Entity:	Contributors To The Analyzed Entity:	Contributors To The Analyzed Entity:
(1) D104	(1) D104	(1) D104
Nominal: 91.90	Nominal: 91.90	Nominal: 91.90
Upper Tolerance: +0.0	Upper Tolerance: +0.0	Upper Tolerance: +0.0
Lower Tolerance: -0.3	Lower Tolerance: -0.3	Lower Tolerance: -0.3
Sensitivity(Linear): 1.0	Sensitivity(Linear): 1.0	Sensitivity(Linear): 1.0
Contribution(%): 41.86047	Contribution(%): 41.86047	Contribution(%): 41.86047
(2) BIR	(2) BIR	(2) BIR
Nominal: 26.5	Nominal: 26.5	Nominal: 26.5
Upper Tolerance: +0.0	Upper Tolerance: +0.0	Upper Tolerance: +0.0
Lower Tolerance: -0.2	Lower Tolerance: -0.2	Lower Tolerance: -0.2
Sensitivity(Linear): 1.0	Sensitivity(Linear): 1.0	Sensitivity(Linear): 1.0
Contribution(%): 18.60465	Contribution(%): 18.60465	Contribution(%): 18.60465
(3) DORT	(3) DORT	(3) DORT
Nominal: 61.6	Nominal: 61.6	Nominal: 61.6
Upper Tolerance: +0.1	Upper Tolerance: +0.1	Upper Tolerance: +0.1
Lower Tolerance: -0.1	Lower Tolerance: -0.1	Lower Tolerance: -0.1
Sensitivity(Linear): 1.0	Sensitivity(Linear): 1.0	Sensitivity(Linear): 1.0
Contribution(%): 18.60465	Contribution(%): 18.60465	Contribution(%): 18.60465
(4) IKI	(4) IKI	(4) IKI
Nominal: 4.5	Nominal: 4.5	Nominal: 4.5
Upper Tolerance: +0.0	Upper Tolerance: +0.0	Upper Tolerance: +0.0
Lower Tolerance: -0.15	Lower Tolerance: -0.15	Lower Tolerance: -0.15
Sensitivity(Linear): 1.0	Sensitivity(Linear): 1.0	Sensitivity(Linear): 1.0
Contribution(%): 10.46512	Contribution(%): 10.46512	Contribution(%): 10.46512
(5) UC	(5) UC	(5) UC
Nominal: 19.2	Nominal: 19.2	Nominal: 19.2
Upper Tolerance: +0.0	Upper Tolerance: +0.0	Upper Tolerance: +0.0
Lower Tolerance: -0.15	Lower Tolerance: -0.15	Lower Tolerance: -0.15
Sensitivity(Linear): 1.0	Sensitivity(Linear): 1.0	Sensitivity(Linear): 1.0
Contribution(%): 10.46512	Contribution(%): 10.46512	Contribution(%): 10.46512

Şekil 2.51. Ayrıntılı analiz karşılaştırmaları

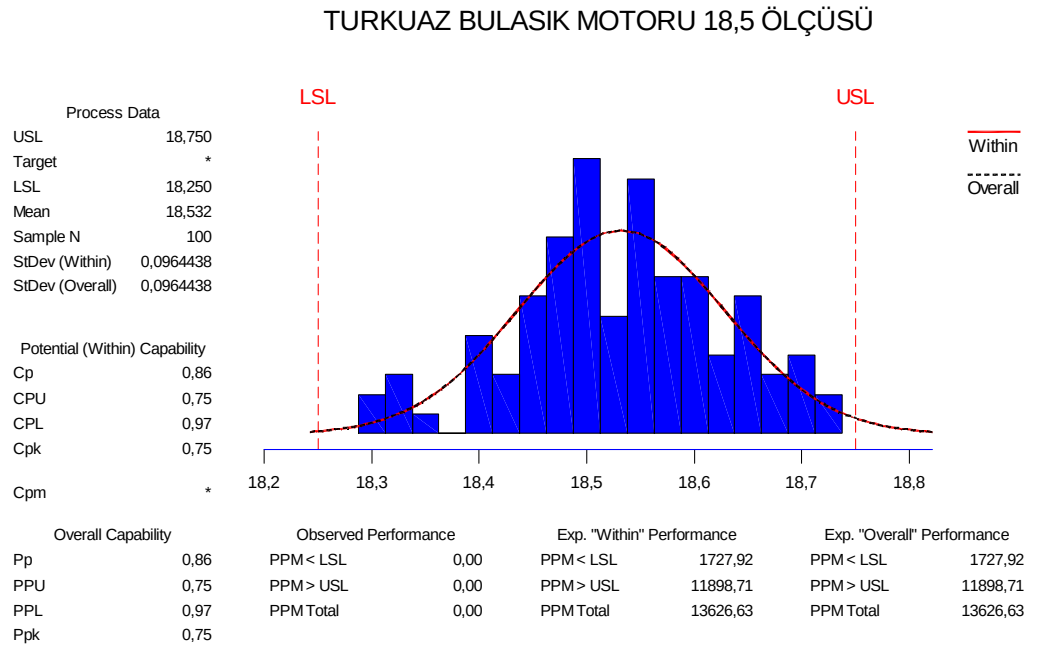
I-DEAS verisi

Tolerans analizi ile gerçek imalat şartlarında görülen istatistiksel dağılım birbirini ile aynıdır.



Şekil 2.52. Tolerans bandının altan kısılması halindeki dağılım

Minitab verisi



Şekil 2.53. Tolerans bandının imalat dağılımı

Minitab verisi

18,5 ölçüsüne etki eden ölçüler, tolerans analizi sonrasında incelendiğinde, en yüksek etkinin yaklaşık % 42 oranı ile mil boyu olduğu gözlenmektedir. Mil boyu toleransındaki daraltma çalışması ile – bu toleransın daraltılması ek bir maliyet getirmemektedir, mil CNC frezede işlendiğinden, yeni tolerans aralığına kolayca girilebilmektedir – hata oranı daha da aşağı çekilmiştir.

Sonlu elemanlar analizi ve hızlı prototipleme teknikleri kullanılarak, ürün geliştirme sürecinde ciddi kısaltmalar sağlanmıştır ve olması muhtemel tasarım aksaklıklarına karşı önceden önlem alınmıştır. Bu veriler daha sonra yapılan testler ile doğrulanmıştır.

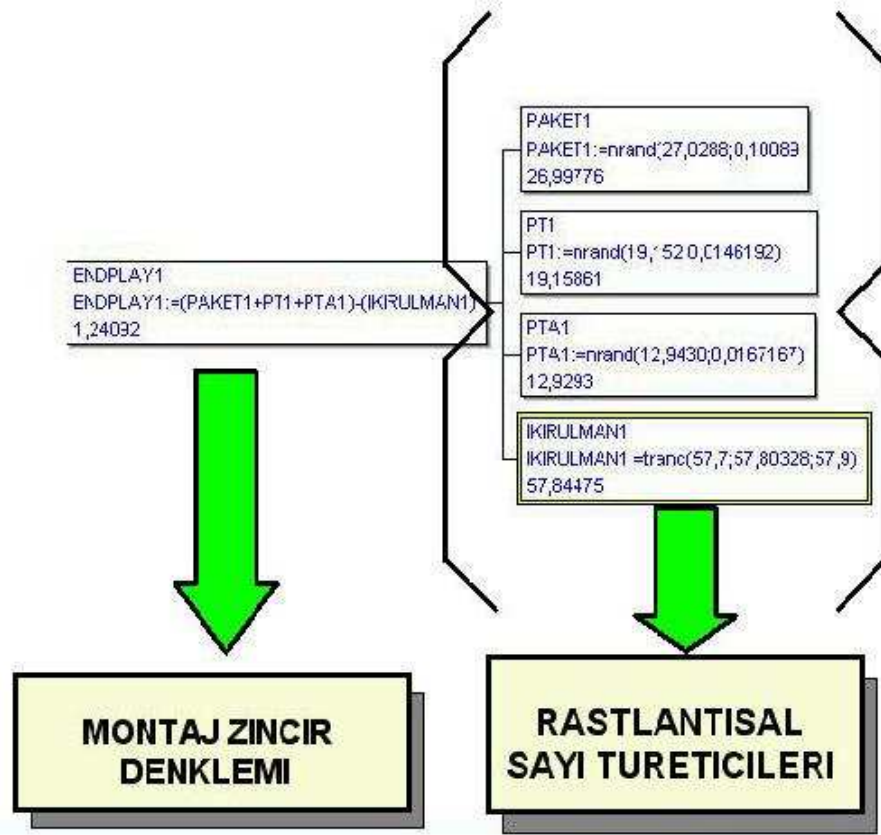
2.5.7 Monte Carlo Yöntemi ile Gerçekleştirilen Tolerans Analizi

Çalışmaları

Monte Carlo metodunun basamakları şöyle özetlenebilir:

- (1) Montaj için kritik ölçü tanımlanır ve tasarım limitleri belirlenir. Kritik ölçü, motor end-play boşluğu ismi ile adlandırılan ve yaylı pul elamanının çalışma aralığını ifade eden bölgedir.
- (2) Montaj kritik ölçüsünü etkileyen komponentler üzerindeki ölçüler belirlenir ve bu ölçülerin toleransları tanımlanır.

Bu ölçüler Şekil 2.54’de Decision Pro yazılımı kullanılarak ifade edilmiştir.

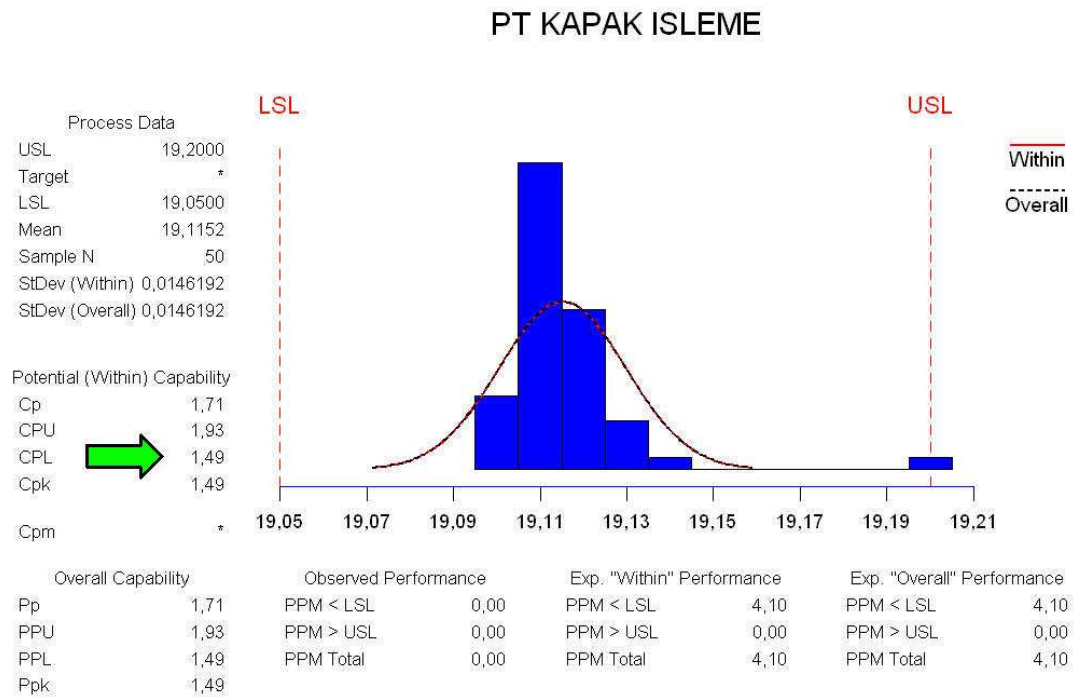


Şekil 2.54. Simulasyon öncesi başlangıç değerleri

Decision Pro yazılımı

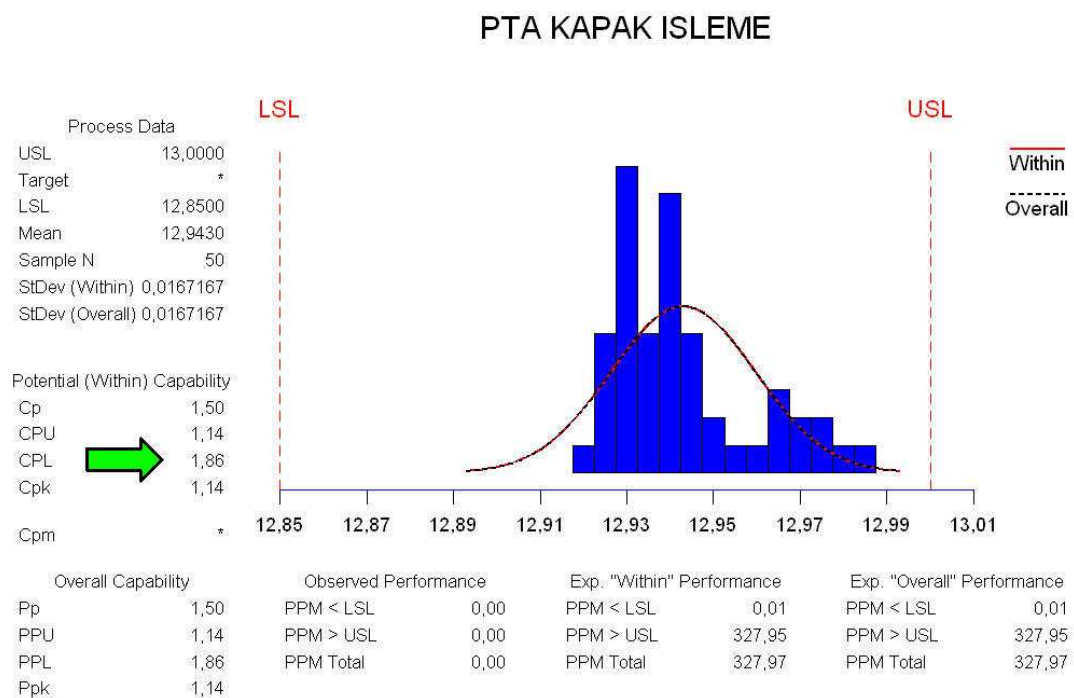
- (3) Montaj kritik ölçüsünü etkileyen komponentlerin ölçüsel dağılımı istatistiksel ,ölçüm sonucu sayısal ya da ampirik, olarak elde edilir.

Şekil 2.55 ve 2.56’da SPC datalarının (ölçüm) ve ampirik datalara dayalı verilere yer verilmiştir. Kapak işleme değerleri için SPC datalarından yararlanılmıştır. Çakma işlemi için üçgen türetici tercih edilmiştir. SPC datasının olmadığı durum için, kısıtlı sayıdaki ölçüm datası belirli bir model ışığında dağılım türetilir.



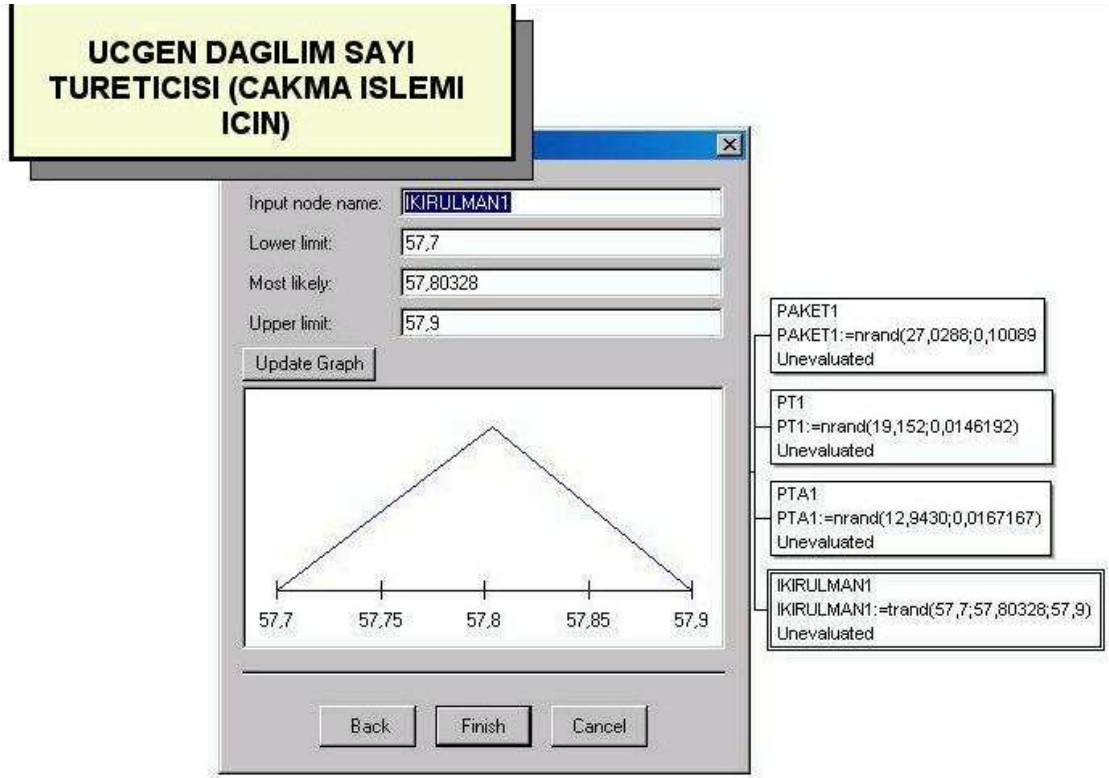
Şekil 2.55. PT kapak SPC datası

Minitab verisi



Şekil 2.56. PTA kapak SPC datası

Minitab verisi



Şekil 2.57. Üçgen sayı türeticisi

Decision Pro yazılımı

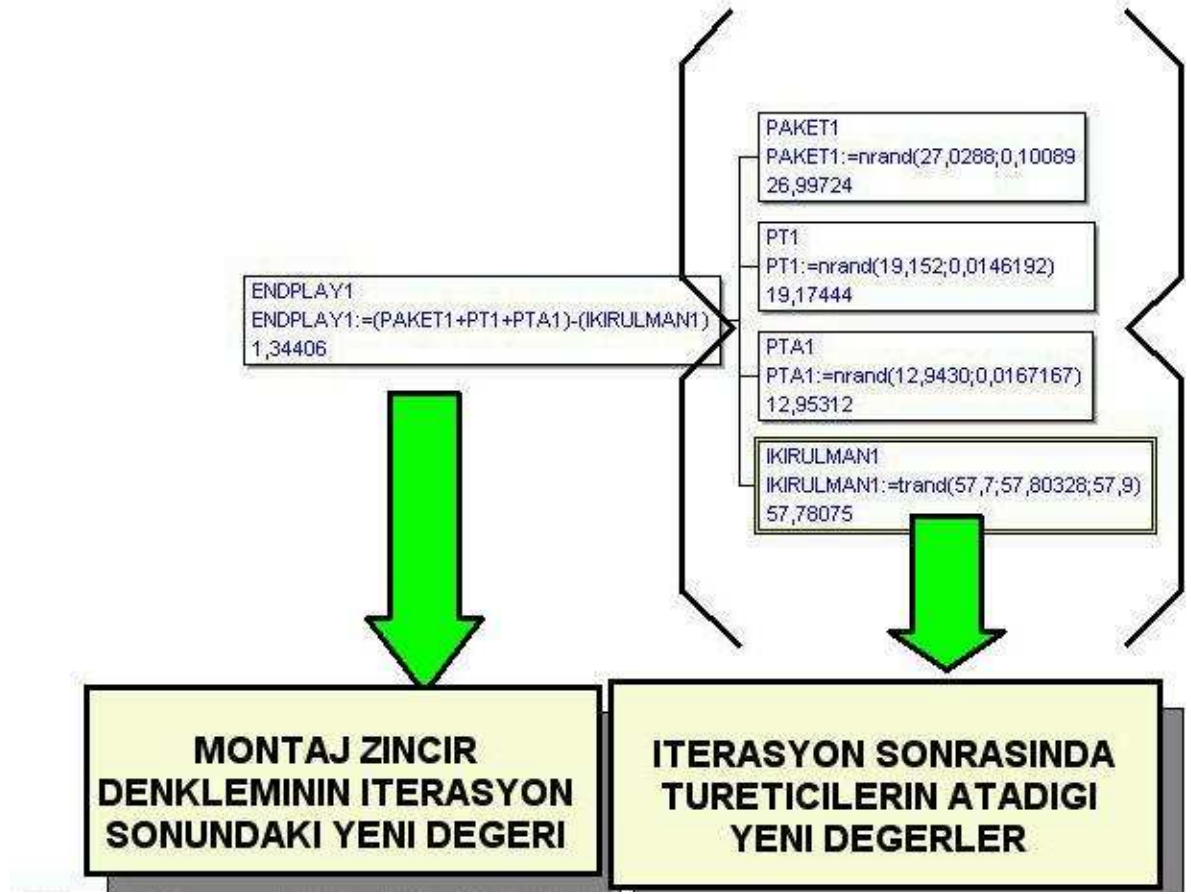
Rulman çakma işlemi incelendiğinde, ölçüsel olarak iki değer arasında (57.7 – 57.9) ve çoğunlukla bir değer (57.8) etrafında yığılan bir sonuç gözükmemektedir. Bu durumu modellemek amacı ile üçgen sayı türeticisi kullanılmıştır.

- (4) İlgili parçaların montajı oluşturmasını açıklayan bir fonksiyon oluşturulur (zincir denklemi).

Bu fonksiyon aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır :

$$(END\ PLAY1)=(PAKET1-PT1+PTA1)-(İKİ\ RULMAN1)$$

- (5) Rastgele sayı üreticilerinin her parça için ürettiği değerlerin ortalaması alınarak, montaj ölçüsü ve dağılımı çıkarılır. İstenilen limitlerde olması koşulu kontrol edilir.



Şekil 2.60 İterasyon sonrası sonuçlar

Decision Pro yazılımı

- (6) Şekil 2.60’da belirtilen işlem, istatistiksel olarak yeterli veri edilene kadar tekrar edilir.

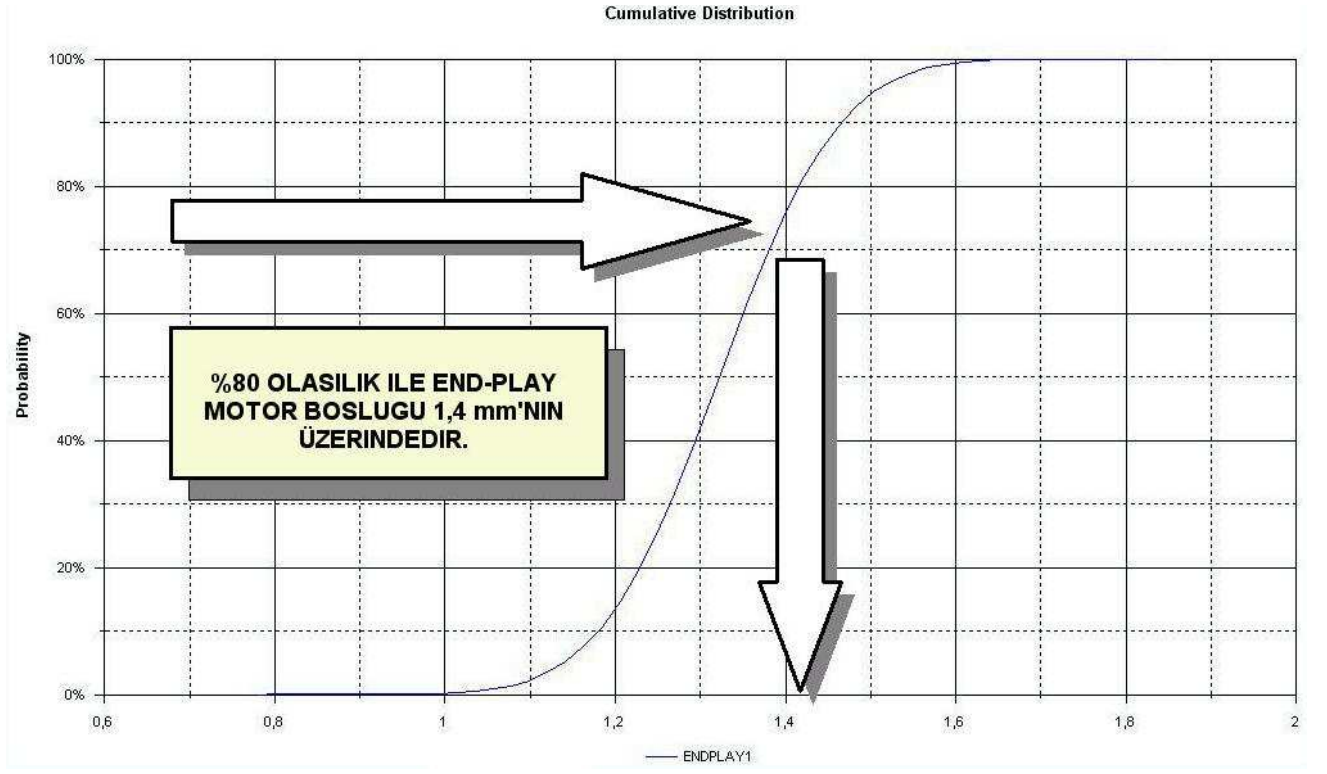
1,000,000 simülasyon sonrasında elde edilen sonuçların özeti Şekil 2.61’de çıkarılmıştır. Burada ortalama değer, varyans, orta değer ve istatistiksel olarak güvenli kabul edilen bölgenin sınırları çizilmiştir.

SIMULASYON SONUCLARI	
Measure	ENDPLAY1
Observations	1.000.000
Mean	1,32274
Standard Deviation	0,11111
Posterior STD	0,00011
Variance	0,01235
Minimum	0,78072
5th Percentile	1,13992
Median	1,32268
95th Percentile	1,50543
Maximum	1,84301

Şekil 2.61 Simulasyon sonuçları

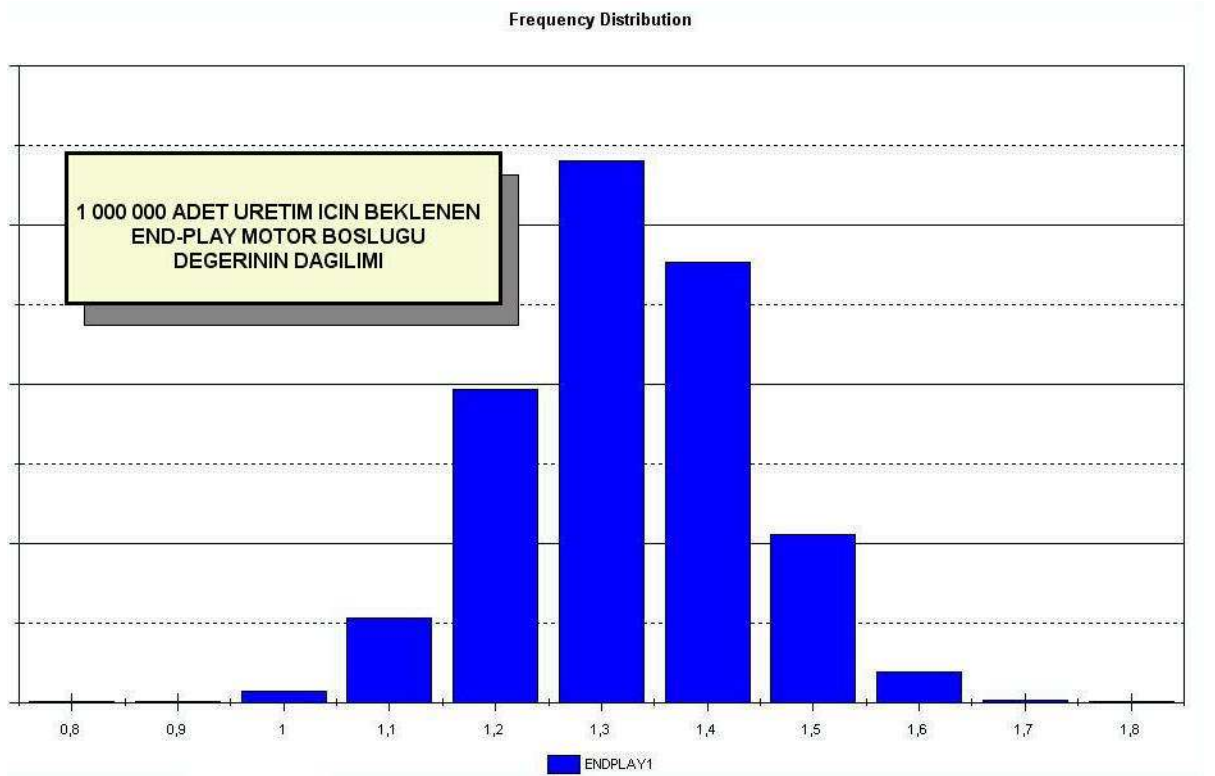
Decision Pro yazılımı çıktısı

Şekil 2.61'deki sonuçlar incelendiğinde, 1.000.000 iterasyon sonucunda, ortalama değer, standart sapma, varyans, medyan, maksimum ve minimum değerler ile büyük bir ihtimal ile güvenli bölgedeki değerler okunmaktadır. Bu sonuçlara göre end-play motor boşluğunun ortalama değeri 1.32 mm civarındadır. %95 ihtimal ile bu değer, 1.13 ile 1.50 arasında gelecektir. En geniş sınırlar düşünüldüğünde end-play boşluğu en az 0.78, en çok 1.84 değerini alacaktır.



Şekil 2.62. Simulasyon sonrası kümülatif dağılım

Decision Pro yazılımı çıktısı



Şekil 2.63. Simulasyon sonrası end-play dağılımı

Decision Pro yazılımı çıktısı

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışma konusu olarak seçilen, tek fazlı asenkron bulaşık makinası motoru, ürün geliştirme süreçleri dikkate alınarak, sistematik bir şekilde üzerinde, iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Mekanik olarak, yeni tasarlanan parçalar ile daha hafif, dolayısı ile işlem zamanı ve maliyet miktarı azaltılmış bir motor yapılmıştır. Bu çalışma sırasında, temel elektrik, magnetik ve motor komponentleri hakkında derinlemesine elde edilen bilgiler ışığında, karşılaşılan üretim problemlerine çözüm üretilmiştir.

Mekanik olarak iyileştirilen motor platformu üzerinde, elektriksel ve magnetik iyileştirmeler yapılarak FDAM (Fırçasız Doğru Akım Motoru) tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Kalite ve istatistik bilgileri ışığında, elektrik motor komponentlerinin tasarım, proses , imalat ve montaj süreçlerinde iyileştirmeler yapılmıştır.

Günümüz rekabetçi üretim şartları dahilinde, çok önemli bir yer tutan tolerans analizi konusunda derinlemesine teorik ve uygulama bilgisi elde edilmiştir. Bu bilgiler ışığında motor komponentleri üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılarak uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Sonlu elemanlar analizi ve tolerans analizi gibi modern mühendislik çalışmaları, tasarımın ilk safhalarından itibaren kullanılarak ürün geliştirme süreçleri kısaltılabilmekte ve seri imalat öncesi olası problemler öngörülebilmektedir. Bu çalışmalar, kavramsal tasarım aşamasından başlayarak dikkate alınmalıdır.

Sonlu elemanlar analizi gerçekleştirildikten sonra, tasarımın iyileştirilmesi çalışmasına girdi olarak, topoloji optimizasyonu yapmak bu çalışma için bir sonraki adım olmalıdır.

Tolerans analizi için CAD sistemleri için bütünlüşmüş fakat Monte Carlo metoduna dayanarak çözüm yapan değişik yazılımlar kullanılarak, bu konuda yapılan çalışmalar ilerletilmelidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Açıkgöz H., “Elektrik Motorları Seminerleri ve Sunumları ”, TEE, 1998
2. Chase K.W., “ Tolerance Allocation Methods for Designers”, Adcats Report no. 99-6, Brigham Young University, 1999
3. Chase K.W., Greenwood W.H., “ Design Issues in Mechanical Tolerance Analysis”, Manufacturing Review, ASME, vol.1 pp 50-59, 1988
4. Chase K.W., Parkinson A.R., “ A Survey of Research in the Application of Tolerance Analysis to the Design of Mechanical Assemblies”, Research Engineering Design, no.3 pp.23-37, 1991
5. Chase K.W., Wittwer J., “ CATS 1-D XL, One-Dimensional Tolerance Stackup Spreadsheet” Brigham Young University, 1999
6. Chase K.W., Gao J., Magleby., “ Comparison of Assembly Tolerance Analysis by the Direct linearization and Modified Monte Carlo Simulation Methods”, Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conferences, Boston, MA, Sept. 17-20, pp.353-360, 1995

7. Dieter E.G., "Engineering Design", Mc Graw Hill, 2000
8. Dr. Vesna Brujic-Okreti, "Electrical Machines Module SE3231"
9. "D1-9000® -1AQS® Tools", The Boeing Company November 1998
10. Doong J.L., Lin C.Y., Huang W.H., Jeng M.C., "Study of an Assembly Tolerance Allocation Model on Monte Carlo Simulation", Materials Processing Technology, vol.70, pp 9-16, 1997
11. "Fundamentals of Using I-Deas Tolerance Analysis (TM)", Bill Holsey, 1995
12. Gavin A.F(Ph.D)., "Six Sigma in the Engineering Design Process", Prescient Technologies, Inc. 1999
13. Gieras J.F., Wing M., "Permanent Magnet Motor Technology, Design and Applications", New York , Basel, ISBN 0-8247-0739-7
14. B., "Control Tolerances Before They Control You ", Quality Magazine, 2001

15. Hancock W.M., Gerth R.J., “Computer Aided Tolerance Analysis for Improved Process Control”, Computer & Industrial Engineering, vol.38 pp 1-19, 2000
16. Howard W. Penrose, Ph.D. “MotorDoc™ E-Book “1997, 2001
17. I-DEAS Master Modeler, Simulation Guides
18. Keith M. Bower M.S., “Process Capability Analysis Using MINITAB I-II”
19. Koch P.N., “ Probabilistic Design: Optimizing for Six Sigma Quality”, AIAA, 2002-1471
20. Minitab Statistical Software Manuals (Release 13,0)
21. Moaveni S., “Finite Element Analysis”, Prentice Hall, pp. 1-6, 1999
22. Morse P., Zou Z., “A Gap-Based Approach to Capture Fitting Conditions for Mechanical Assembly”, Computer-Aided Design, 2003
23. Motor MEA Test Systems Manuals
24. Nasar S. A., “Handbook of Electric Machines”, McGraw Hill Book Company ISBN 0 –07-045888-X

25. Nevins J., Whitney D., "Concurrent Design of Products and Process", Mc Graw Hill, 1989
26. NMB-SKF-FAG Rulman Katalogları
27. Shappert K., Kiger B., "Tolerance Analysis can be an Effective Tool", Portable Design Online, PennWell Corporation, 2003
28. Schlatter B., "Computer-aided 3D Tolerance Analysis of Disk Drives", IBM J. RES. DEVELOP. vol.40 no.5, 1996
29. Turner J.U., Skowronski V.J., "Using Monte-Carlo Variance Reduction in Statistical Tolerance Synthesis", Computer-Aided Design vol.29 no.1 pp 63-69, 1997
30. Ullman G.D., "The Mechanical Design Process", Mc Graw Hill, 1992
31. "Vanguard Desicion Pro for Windows" Version.4.0.23 User Manuals 1992-2003,

32. Zhang C., Wang B., Varghesse P., Braswell R., "Statistical Tolerance Analysis Using FRPDF and Numerical Convolution", Computer-Aided Design, vol.28, pp 723-732, 1996

ÖZGEÇMİŞ

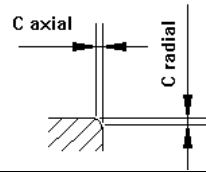
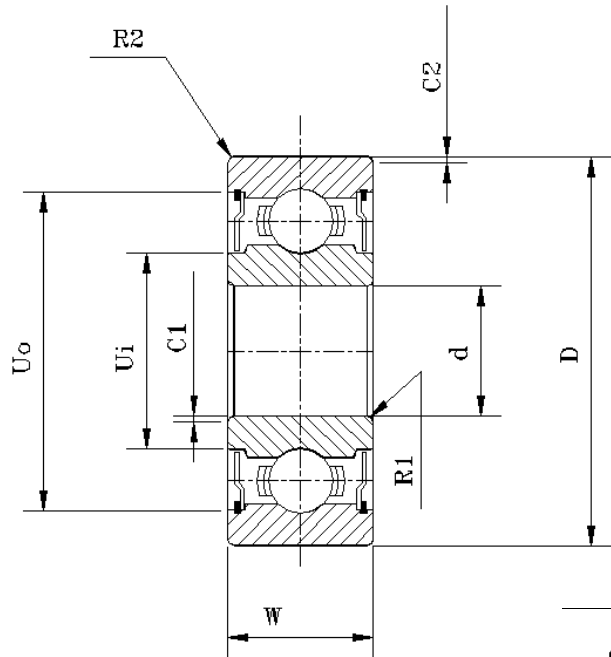
Kadir Ceran; 03.10.1975 tarihinde, Ankara’ da doğdu. İlkokulu, Gölçük Piri Reis ve Elmadağ Barut Fabrikası İlkokulu’nda, ortaokulu İzmit Özel Seymen Lisesi ve TED Kdz. Ereğli Koleji Vakfı Özel Lisesi’nde (2. olarak) tamamladıktan sonra, 1993 yılında aynı liseden (3. olarak) mezun oldu. 1993-1995 seneleri arasında Mimar Sinan Üniversitesi (DGSA)’nde mimarlık okudu. 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümüne girdi, 2000 yılında mezun oldu. 2001 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Bölümü’ne girdi. Üniversite yıllarında CAD labartuarı öğrenci asistanlığı yaptı. 2000-2002 yıllarında Ford-Otosan V227 (Transit Connect) projesi dahilinde, Momentum İleri Teknoloji A.Ş elemanı olarak tasarım destek mühendisi olarak çalıştı. 16.05.2002 tarihinden itibaren Arçelik Elektrikli Süpürge ve Motor İşletmesinde, motor yapısal tasarım mühendisi ve CAD sistem sorumlusu olarak çalışmaktadır.

EK 1

**NMB** -Minebea- GmbHSiemensstraße 30 - D-63225 Langen - Germany
Telephone: +49-(0)6103-913-0 Facsimile: +49-(0)6103-913-106

BEARING SPECIFICATION SHEET

Customer:	Customer PartNo.:	Drawing Number: NC
NMB Part No: 608ZZ M5MTLY551		Prepared By: W. KOSER
Application:		



- NOTES :**
- CLEARANCE**
LUBRICATION
RADIAL CLEARANCE : M5: 0,0130mm TO 0,0200mm
GREASE LY-551 MULTEMP K37 (N, 7B428)
(Baseoil POLYALPHAOLEFIN Thickener UREA)
 - LOAD**
LUBE AMNT STANDARD 25,0 [%] TO 35,0 [%]
DYNAMIC LOAD CAPACITY: 3.297N
STATIC LOAD CAPACITY : 1.368N
 - PRECISION CLASS** ABEC/ISO A1
 - SHIELD/SEAL TYPE** NON CONTACT STEEL SHIELD
 - NOISE QUALITY** STANDARD MOTOR
 - SPECIAL SPEC.**

REV.	DATE	CHANGE NO.	BY
NC	24.01.03		W. KOSER

REFERENCE ONLY

d: Ø8,000	0,000 -0,008	Fd:	Ui: Ø10,80	STOP RING	----/-----	0
D: Ø22,000	0,000 -0,010	Fw/Ew:	Uo: Ø19,02	SNAP RING	----/-----	0
W: 7,000	0,000 -0,125	R1(Rs) R1.5		SHIELD/SEAL	SECC	2
		R2(Rs) R1.70		RETAINER	SPB1	1
		C1(Rs) 0,3min./ 1,0max.	C2(Rs) 0,3min./ 1,0max.	BALLS	SUJ-2	ØDb 3,96874mm 7
		C1(Rs) 0,3min./ 1,0max.	C2(Rs) 0,3min./ 1,0max.	OUTER RING	SUJ-2	1
		C1(Rs) 0,3min./ 1,0max.	C2(Rs) 0,3min./ 1,0max.	INNER RING	SUJ-2	1
		C1(Rs) 0,3min./ 1,0max.	C2(Rs) 0,3min./ 1,0max.	ITEM	MATERIAL	QTY

EK 2

Tolerance Analysis Results:

Name:D105

Nominal: 18.5

Stat. Upper Tolerance: +0.1818396

Stat. Lower Tolerance:-0.2818413

Upper Tolerance: +0.25

Lower Tolerance:0.0

Worst Upper Tolerance(linear): +0.45

Worst Lower Tolerance(linear):-0.55

Acceptance Rate: 25.87733

Contributors To The Analyzed Entity:

(1) D104

Nominal: 91.90

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:-0.3

Sensitivity(Linear):1.0

Contribution(%): 41.86047

(2) BIR

Nominal: 26.5

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:-0.2

Sensitivity(Linear):-1.0

Contribution(%): 18.60465

(3) DORT

Nominal: 61.6

Upper Tolerance: +0.1

Lower Tolerance:-0.1

Sensitivity(Linear):-1.0

Contribution(%): 18.60465

(4) IKI

Nominal: 4.5

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:-0.15

Sensitivity(Linear):-1.0

Contribution(%): 10.46512

(5) UC

Nominal: 19.2

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:-0.15

Sensitivity(Linear):1.0

Contribution(%): 10.46512

(6) EQ8

Nominal:#--

Upper Tolerance:!!+0.0

Lower Tolerance:!!0.0

Sensitivity(Linear):!1000.0

Contribution(%): 0.0

Tolerance Analysis Results:

Name:D7

Nominal: 1.5

Stat. Upper Tolerance: +0.4947688

Stat. Lower Tolerance:-0.6947689

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:0.0

Worst Upper Tolerance(linear): +0.8

Worst Lower Tolerance(linear):-1.0

Acceptance Rate: 0.0

Contributors To The Analyzed Entity:

(1) D4 PAKET BOYU

Nominal: 27.0

Upper Tolerance: +0.7

Lower Tolerance:-0.4

Sensitivity(Linear):1.0

Contribution(%): 85.51237

(2) D8 İKİ RULMAN ARASI

Nominal: 57.7

Upper Tolerance: +0.3

Lower Tolerance:-0.10

Sensitivity(Linear):-1.0

Contribution(%): 11.30742

(3) D5 PT İŞLEME

Nominal: 19.2

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:-0.15

Sensitivity(Linear):1.0

Contribution(%): 1.590106

(4) D6 PTA İŞLEME

Nominal: 13.0

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:-0.15

Sensitivity(Linear):1.0

Contribution(%): 1.590106

(5) EQ2

Nominal:#--

Upper Tolerance:!!+0.0

Lower Tolerance:!0.0

Sensitivity(Linear):!1000.0

Contribution(%): 0.0

(6) EQ3

Nominal:#--

Upper Tolerance:!!+0.0

Lower Tolerance:!0.0

Sensitivity(Linear):!1000.0

Contribution(%): 0.0

STATISTICS

1,5	0,4947688	1,994769	MAX
	-0,6947689	0,805231	MIN

WORST CASE

1,5	0,8	2,3	MAX
	-1	0,5	MIN

MAX END PLAY :

KAPAK İŞLEME DERİN (MAX) : 19,2 PT / 13,

PAKET BOYU UZUN (MAX) 27,7

İKİ RULMAN (MIN)

MIN END PLAY

KAPAK İŞLEME (MIN) 19,05 PT / 12,85 PTA

PAKET BOYU KISA (MIN) 26,6

İKİ RULMAN (MAX)

,0 PTA

Tolerance Analysis Results:

Name:D105

Nominal: 18.5

Stat. Upper Tolerance: +0.1818396

Stat. Lower Tolerance:-0.2818413

Upper Tolerance: +0.25

Lower Tolerance:-0.15

Worst Upper Tolerance(linear): +0.45

Worst Lower Tolerance(linear):-0.55

Acceptance Rate: 90.21241

Contributors To The Analyzed Entity:

(1) D104

Nominal: 91.90

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:-0.3

Sensitivity(Linear):1.0

Contribution(%): 41.86047

(2) BIR

Nominal: 26.5

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:-0.2

Sensitivity(Linear):-1.0

Contribution(%): 18.60465

(3) DORT

Nominal: 61.6

Upper Tolerance: +0.1

Lower Tolerance:-0.1

Sensitivity(Linear):-1.0

Contribution(%): 18.60465

(4) IKI

Nominal: 4.5

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:-0.15

Sensitivity(Linear):-1.0

Contribution(%): 10.46512

(5) UC

Nominal: 19.2

Upper Tolerance: +0.0

Lower Tolerance:-0.15

Sensitivity(Linear):1.0

Contribution(%): 10.46512

(6) EQ8

Nominal:#--

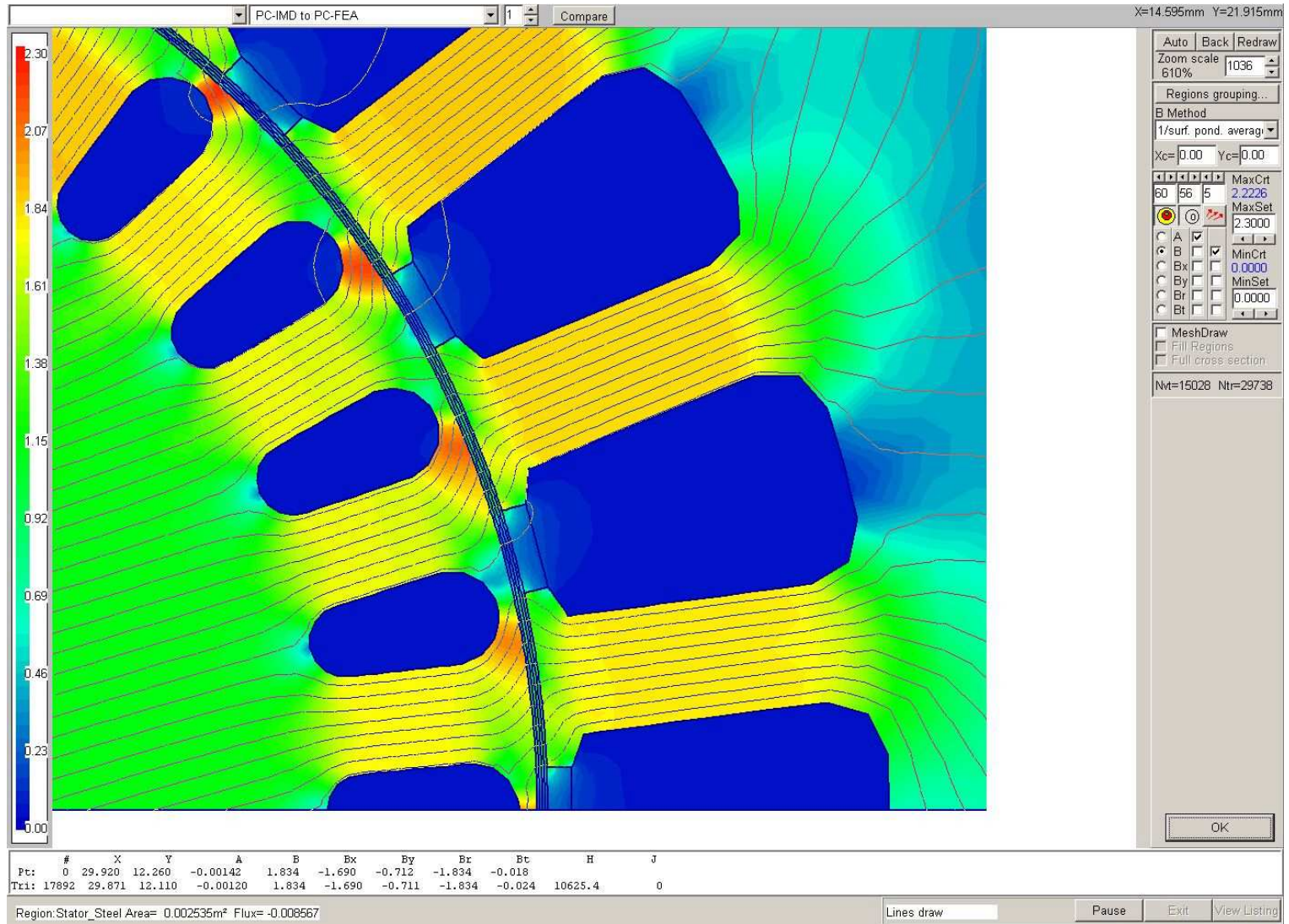
Upper Tolerance:!!+0.0

Lower Tolerance:!!0.0

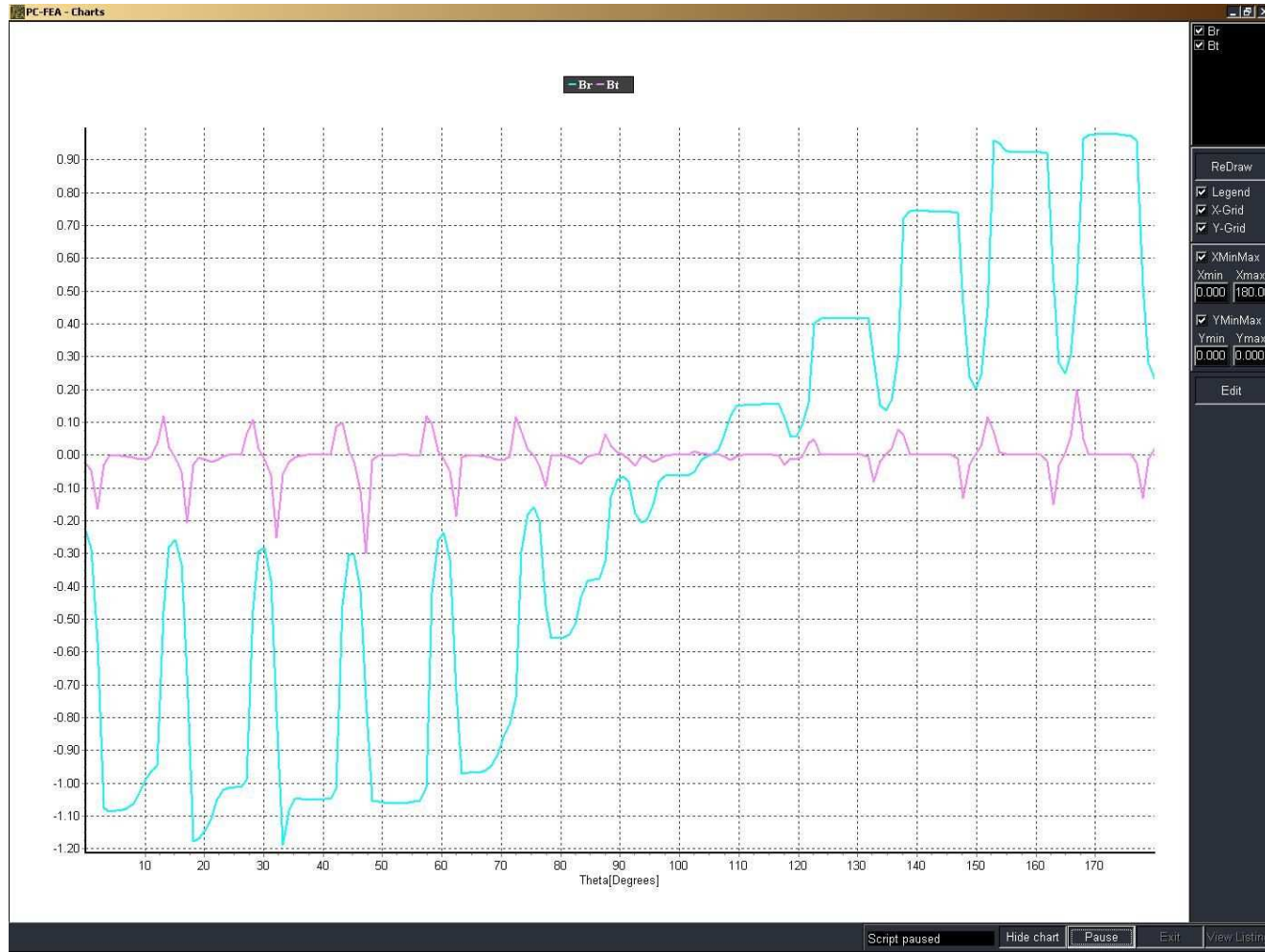
Sensitivity(Linear):!1000.0

Contribution(%): 0.0

EK 3



Elektromanyetik analiz ile alan çizgilerinin oluşumu simule edilmiştir.



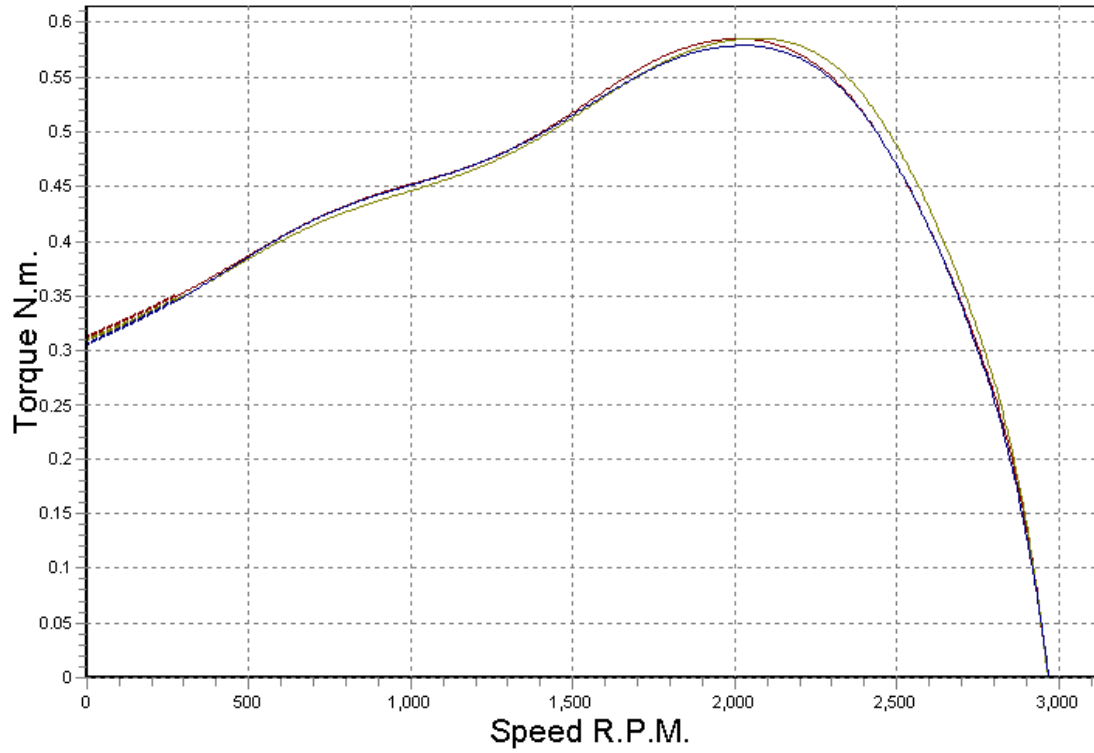
Bilgisayar analizi ile radyal ve eksenel yöndeki manyetik akı yoğunluğunun açısal değişimi simule edilmiştir.

EK 4

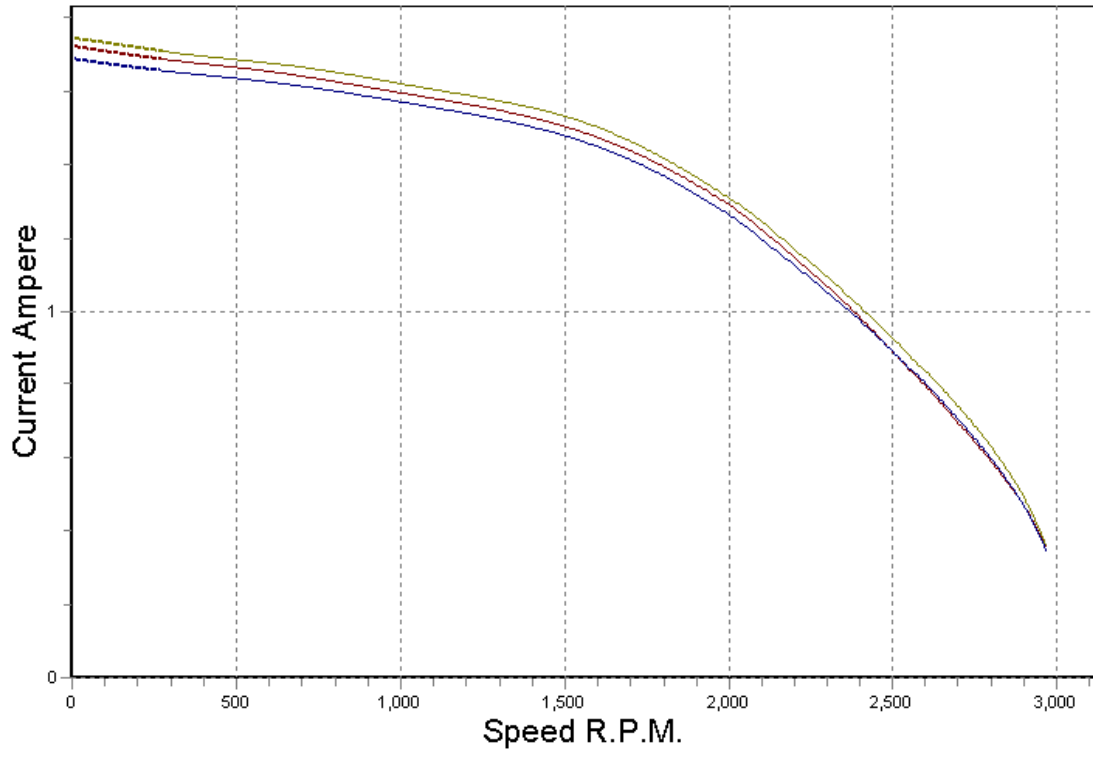
3 ADET MOTORUN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK YAPILAN TEST SONUÇLARI

ARCELİK ESMİ İŞLETMESİ' NİN İZNİ İLE KULLANILMIŞTIR – MEA TEST SİSTEMİ İLE TESTLER GERÇEKLEŞTİRİLMİŞTİR

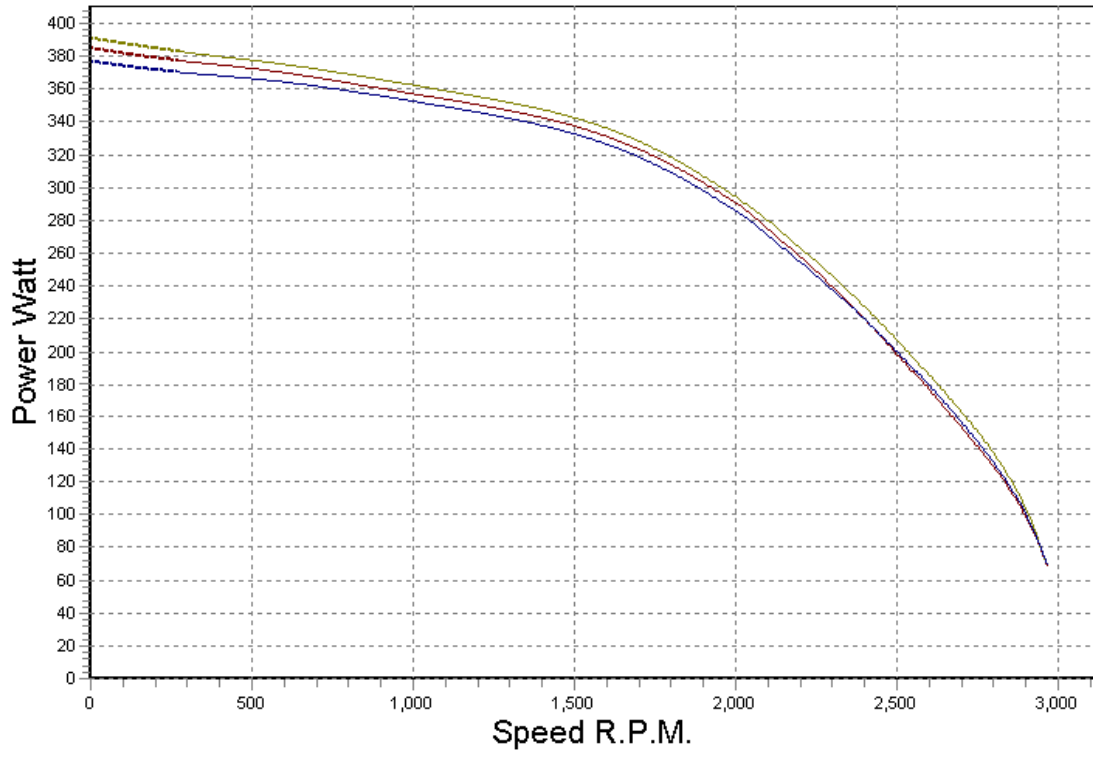
41 Laminasyonlu_NO1 (kırmızı eğriler)
43 Laminasyonlu_NO6 (sarı eğriler)
ONYX75_NO14 (mavi eğriler)



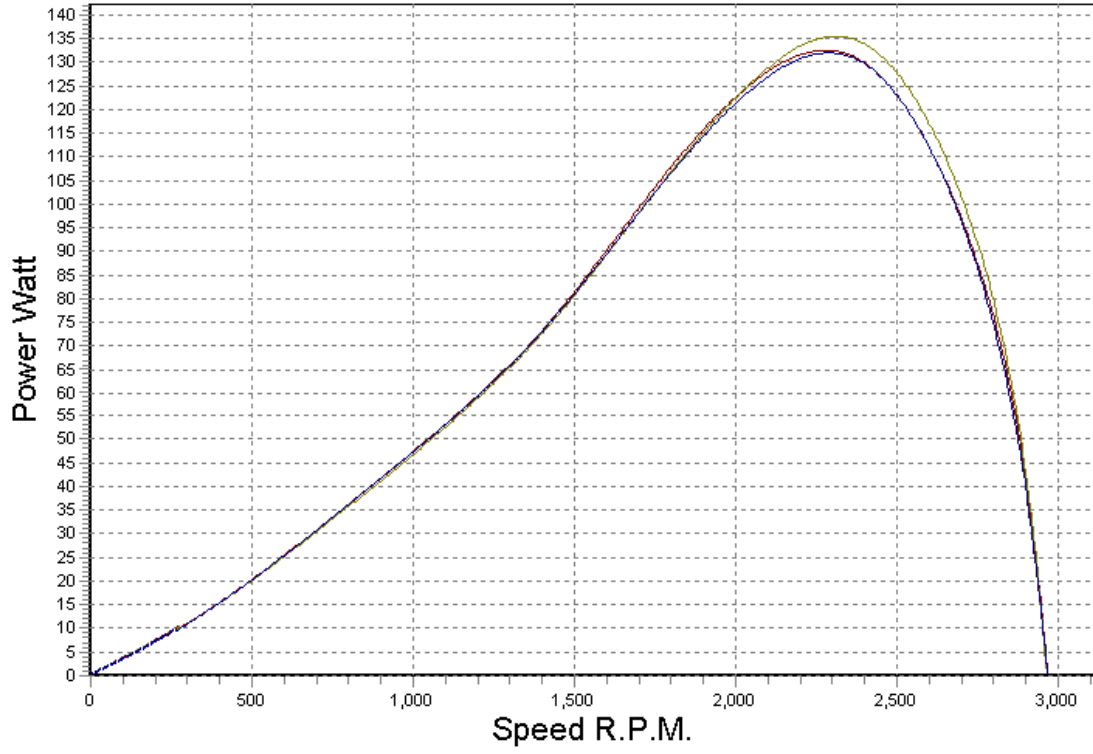
Motor devri-tork eğrisi



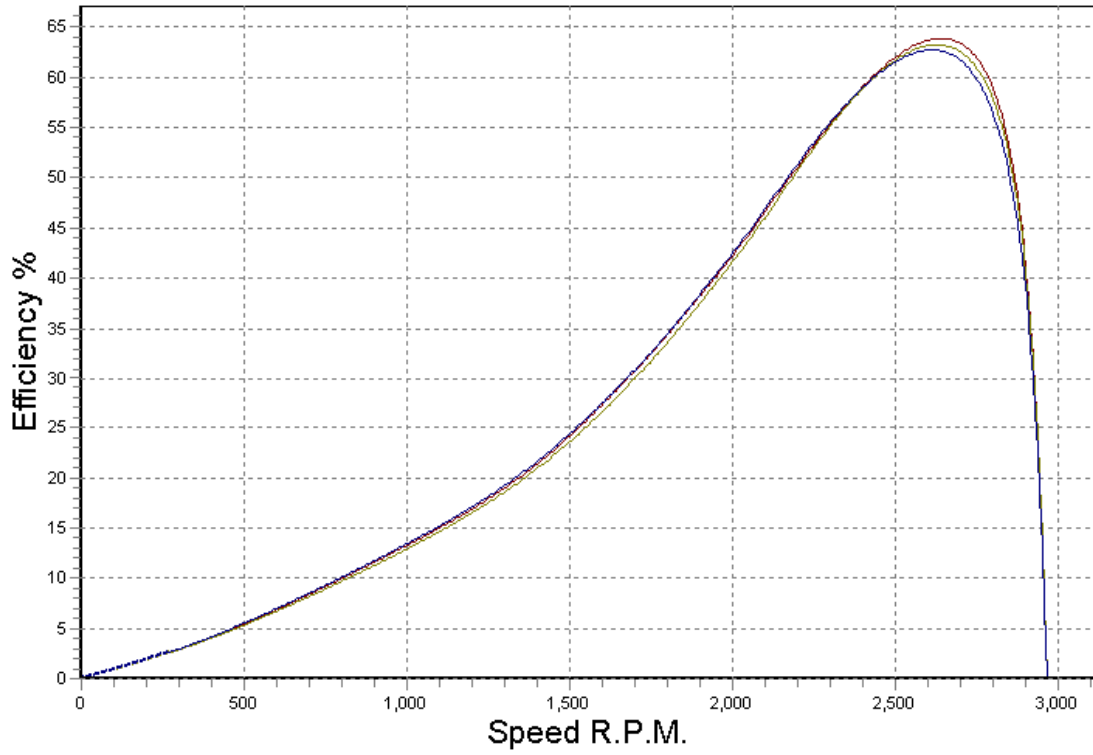
Motor devri-akım eğrisi



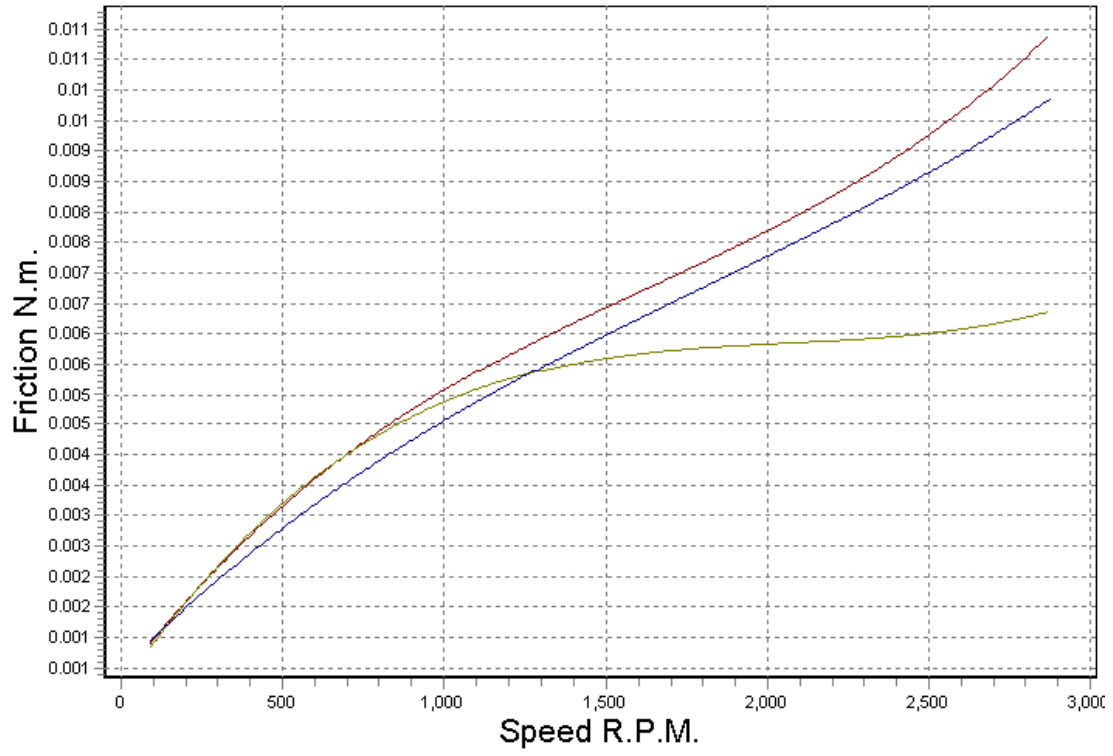
Motor devri-giriş güç eğrisi



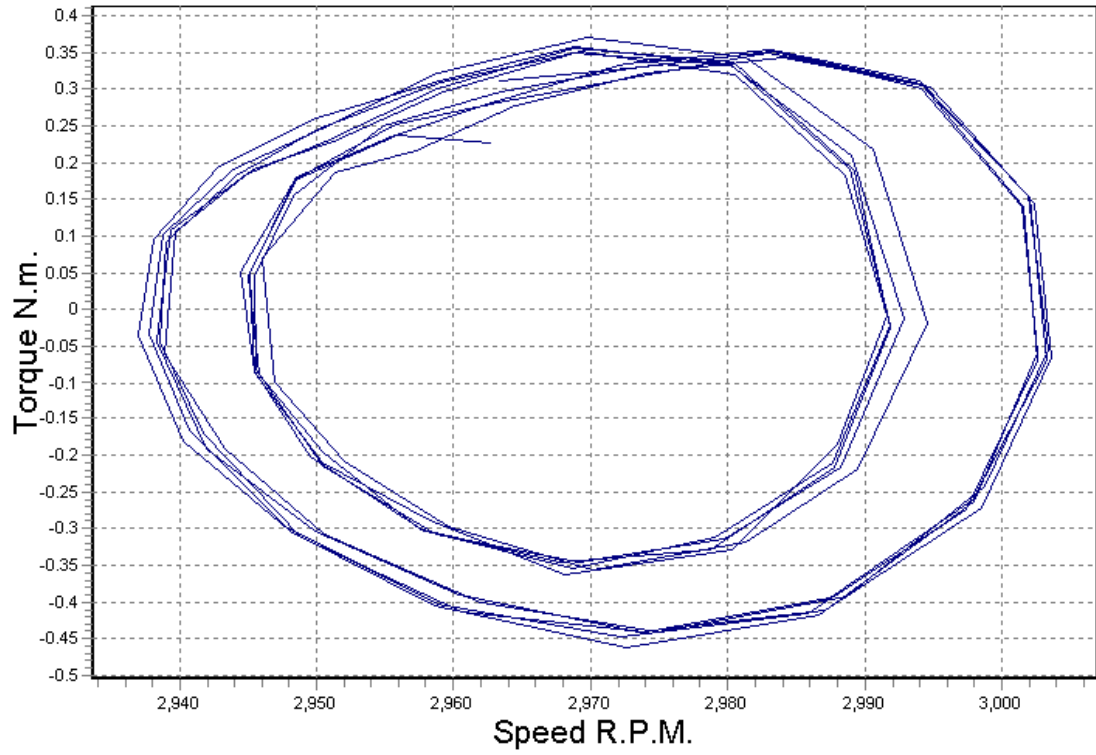
Motor devri-çıkış güç eğrisi



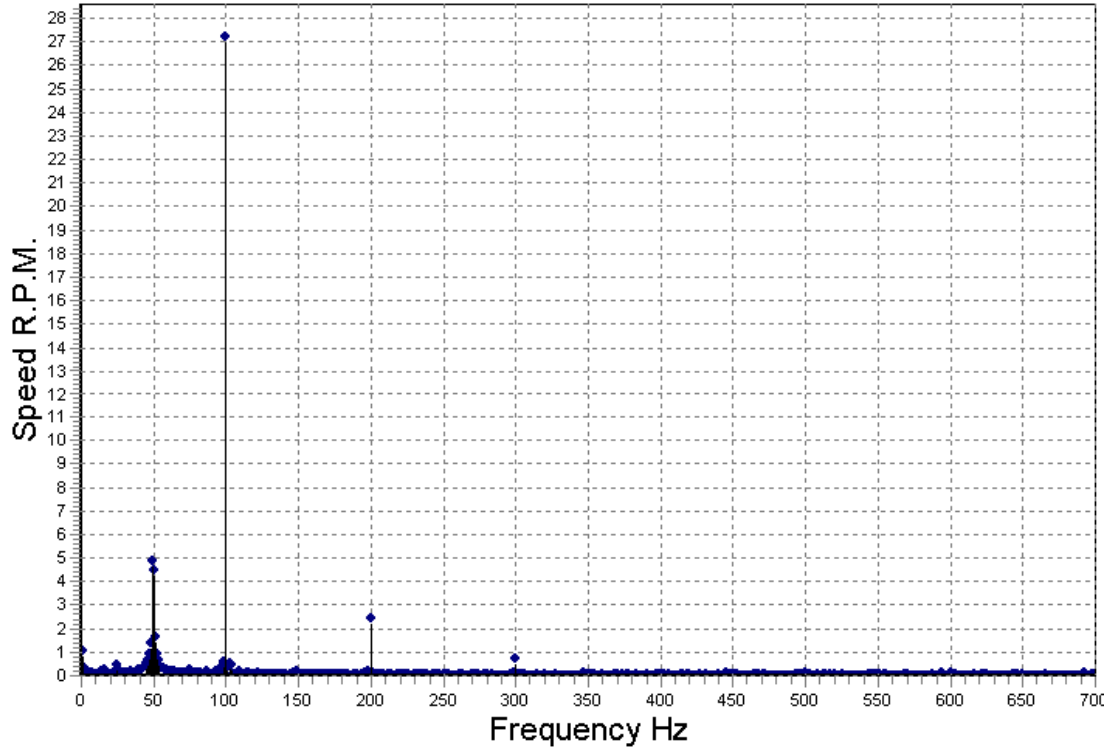
Motor devri-verim eğrisi



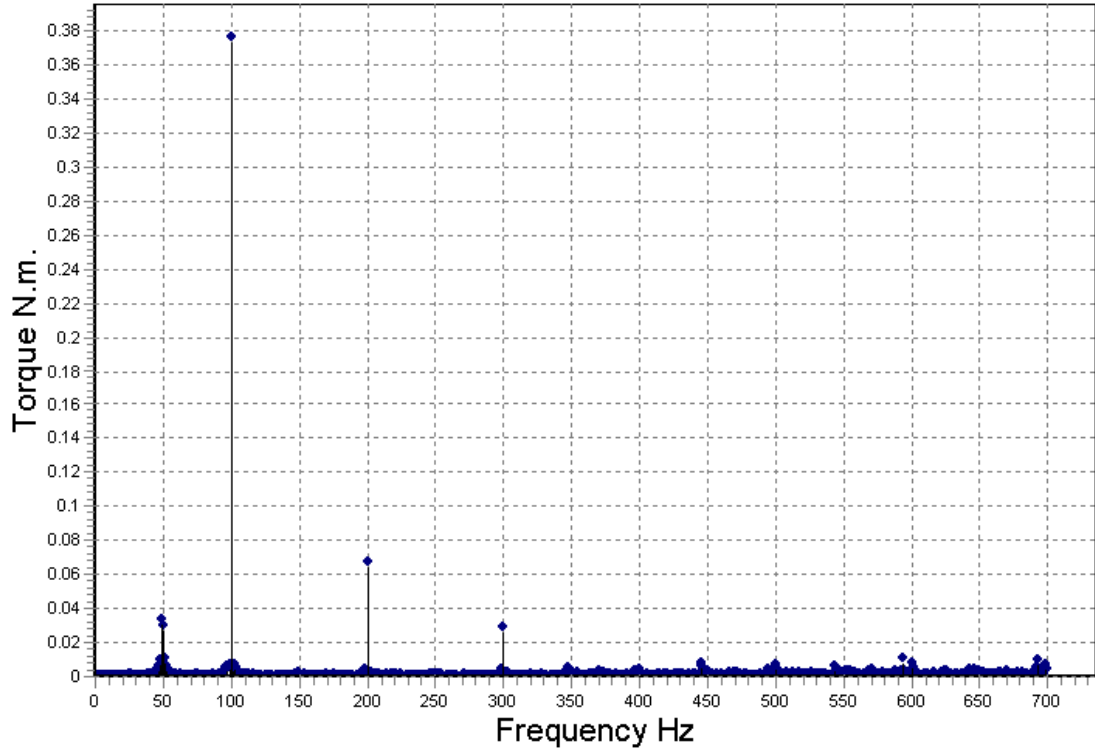
Motor devri-sürtünme kayıpları eğrisi



Motor devri-tork dalgalanmaları eğrisi

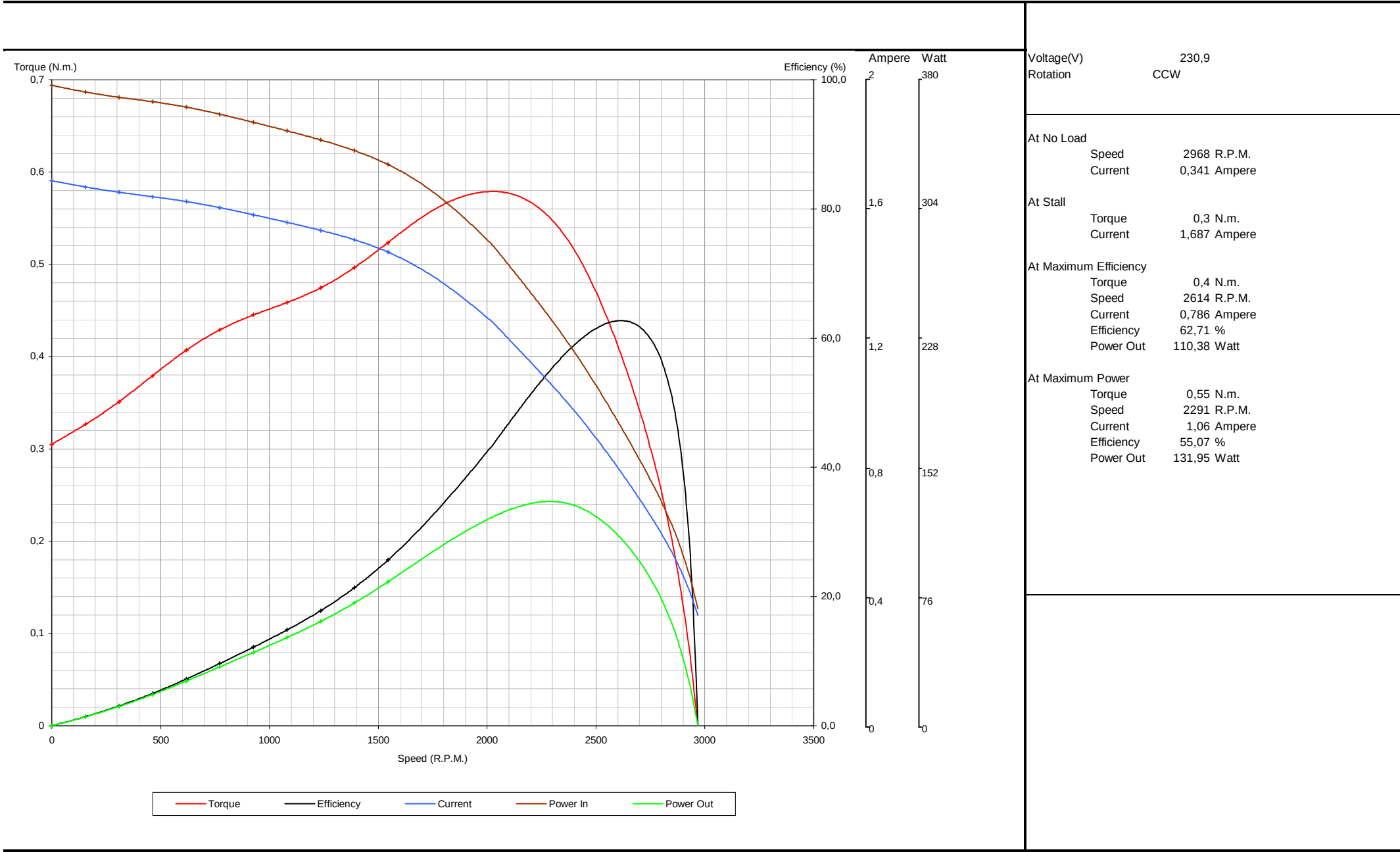


Motor frekansı-hız dalgalanmaları grafiği



Tork-hız dalgalanmaları grafiği

MOTOR PERFORMANS EGRILERI



EK 5

ARCELİK ESMİ İŞLETMESİ'NİN İZİNİ İLE KULLANILMIŞTIR
BUL.MAK. MOTORU BOŞTA SOLO PERFORMANS FORMU

DENEY BİLGİLERİ		MOTOR BİLGİLERİ			
DENEY NO	320030111	MOTOR MODEL NO	1719600200	ANMA GERİLİMİ [V]	220-240
TARİH	29.01.2003	A.S.SARIM SAYISI	163	İZOLASYON SINIFI	F
GERİLİM [V]	220	A.S. TEL ÇAPI [mm]	0,335	ANMA GÜCÜ [W]	
FREKANS [Hz]	50	YRD.S.SARIM SAYISI	190	ANMA MİL GÜCÜ[W]	75
TEST SÜRESİ [min]	1 dk.	YRD.S.TEL ÇAPI [mm]	0,280	ANMA DEVRİ [min ⁻¹]	2770
MODÜL İLE	☐	KAPASİTÖR [uF]	4	MOTOR AĞIRLIĞI [kg]	2,204
MODÜLSÜZ	☒	TAKO DİRENCİ [ohm]		ORT. SICAKLIĞI [°C]	24
		TERMİK	PEPİ J 115 F	PAKET BOYU [mm]	27

AÇIKLAMALAR : 75 W ONYX MOTORLAR

SOLO MOTOR BOŞTA PERFORMANS TESTİ

Motor No	Gerilim	Akım	Güç	Devir	Güç	Kapasitör	Rana	Ryrd			
	[V]	[A]	[W]	[1/min]	Katsayısı	[V]	[ohm]	[ohm]			
71	220	0.287	56,8	2972	0.8875	387.6	47.03	78.3			
42	220	0.29	54,6	2964	0.8874	387.6	46.55	77.9			
46	220	0.29	57,0	2966	0.8848	387.6	46.64	77.9			
40	220	0.29	57,2	2966	0.8974	386.7	46.6	77.96			
58	220	0.28	56,1	2965	0.9002	386.1	46.6	77.90			
49	220	0,29	56,4	2971	0.8929	387.5	46.5	77.9			
47	220	0,29	57,3	2964	0.8892	386.7	46.50	77.9			
44	220	0,28	56,2	2965	0.8965	387.2	46.5	77.9			
50	220	0,29	56,6	2968	0.8812	386.9	46.52	77.90			
51	220	0,29	57,0	2960	0.8907	388.5	46.48	78.3			
43	220	0,29	55,1	2965	0.8792	385.4	46.61	77.92			
45	220	0,29	56,5	2967	0.8896	387.4	46.86	78.27			
95	220	0,29	56,0	2968	0.8783	388.2	46.6	77.92			
64	220	0,29	56,0	2967	0.8779	386.4	46.86	78.46			
66	220	0.288	56,6	2966	0.8900	386.9	46.47	78.78			
60	220	0.286	56,4	2969	0.8972	384.1	46.47	77.92			
70	220	0.285	55,9	2968	0.8901	392	46.45	77.94			
65	220	0.285	55,8	2966	0.8897	386.9	47.18	78.77			
61	220	0.287	56,4	2966	0.8915	387.9	46.53	77.96			
98	220	0.290	57,9	2965	0.9071	387.4	47.30	78.88			
76	220	0.288	56,8	2965	0.8945	387.5	46.94	78.16			
94	220	0.282	55,1	2968	0.8922	388.6	47.06	77.84			
77	220	0.290	57,3	2967	0.8936	385.1	46.72	78.37			
90	220	0.282	55,6	2965	0.8951	385.3	46.86	78.34			
80	220	0.289	56,9	2966	0.8913	388.2	47.02	78.57			
57	220	0.289	57,3	2963	0.8956	386.6	46.54	77.82			
56	220	0.288	56,0	2972	0.8818	386.3	46.72	78.32			
73	220	0.289	56,6	2976	0.8871	386.5	47.14	79.07			
Ortalama	220	0	56	2967	#SAYI/0!	392	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!
St. Sapma	0	0	1	3	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!
Minumum	220	0	55	2960	0	392	0	0	0	0	0
Maksimum	220	0	58	2976	0	392	0	0	0	0	0

SONUÇ : _____

DENEYİ YAPAN		ONAY		TARİH	
--------------	--	------	--	-------	--

ARCELİK ESMİ İŞLETMESİ'NİN İZNİ İLE KULLANILMIŞTIR
BUL.MAK. MOTORU BOŞTA SOLO PERFORMANS FORMU

DENEY BİLGİLERİ		MOTOR BİLGİLERİ			
DENEY NO	320030393	MOTOR MODEL NO	1719600400	ANMA GERİLİMİ [V]	220/240
TARİH	06.04.2003	A.S.SARIM SAYISI	200+200+200	İZOLASYON SINIFI	
GERİLİM [V]	230	A.S. TEL ÇAPI [mm]	0,300	ANMA GÜCÜ [W]	45 W
FREKANS [Hz]	50	YRD.S.SARIM SAYISI	242+242+242	ANMA MİL GÜCÜ[W]	
TEST SÜRESİ [min]		YRD.S.TEL ÇAPI [mm]	0,280	ANMA DEVRİ [min ⁻¹]	
MODÜL İLE	☐	KAPASİTÖR [uF]	3	MOTOR AĞIRLIĞI [kg]	
MODÜLSÜZ	☐	TAKO DİRENCİ [ohm]		ORT. SICAKLIĞI [°C]	23,0
		TERMİK		PAKET BOYU [mm]	22
AÇIKLAMALAR :					

SOLO MOTOR BOŞTA PERFORMANS TESTİ

Motor No	Gerilim	Akım	Güç	Devir	Güç	Kapasitör	Rana	Ryrd			
	[V]	[A]	[W]	[1/min]	Katsayısı	[V]	[ohm]	[ohm]			
388	230	0,27	54,1	2948	0,8203	418	69,36	96,35			
128	230	0,27	53,1	2956	0,8452	417	69,66	96,52			
127	230	0,28	54,5	2953	0,8447	418	69,39	95,94			
132	230	0,28	54,6	2956	0,8432	418	71,59	95,80			
124	230	0,28	55,1	2948	0,8632	416	68,82	94,47			
123	230	0,28	55,0	2953	0,8490	417	69,85	95,72			
122	230	0,29	55,9	2949	0,8592	418	70,67	96,03			
109	230	0,28	54,8	2954	0,8501	416	68,94	94,57			
107	230	0,28	54,4	2960	0,8491	417	68,87	94,62			
113	230	0,28	54,2	2955	0,8483	417	69,28	95,96			
112	230	0,28	54,9	2954	0,8575	417	68,89	94,51			
86	230	0,28	53,8	2955	0,8349	416	68,88	94,61			
115	230	0,28	54,1	2961	0,8387	416	68,85	94,55			
110	230	0,27	53,7	2964	0,8528	418	68,91	94,50			
117	230	0,27	53,8	2950	0,8658	418	68,97	94,66			
118	230	0,28	54,5	2955	0,8383	417	68,91	94,58			
87	230	0,28	55,4	2969	0,8600	417	68,84	94,54			
116	230	0,27	53,7	2955	0,8364	416	69,01	95,74			
119	230	0,28	53,3	2962	0,8315	417	69,84	95,76			
120	230	0,27	53,6	2955	0,8361	415	69,92	94,58			
84	230	0,26	54,9	2963	0,8566	417	69,00	94,56			
130	230	0,26	53,3	2956	0,8423	416	69,06	94,78			
129	230	0,28	54,7	2959	0,8411	417	69,45	94,43			
88	230	0,27	54,3	2959	0,8516	418	68,93	95,74			
423	230	0,28	56,2	2955	0,8563	417	68,82	95,45			
481	230	0,27	54,9	2954	0,8528	417	68,67	94,56			
482	230	0,28	54,6	2955	0,8363	417	70,29	94,58			
420	230	0,27	54,5	2960	0,8328	418	68,78	95,13			
Ortalama	230	0,28	54,4	2956	0,8462	417	69,30	95,12	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!
St. Sapma	0	0,01	0,75	5	0,01	0,8	0,67	0,69	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!
Minumum	230	0,01	53,1	2948	0,8203	415	68,67	94,43	0	0	0
Maksimum	230	0	56,20	2969	0,8658	418	71,59	96,52	0	0	0

SONUÇ :

DENEYİ YAPAN

ONAY

TARİH

ARCELİK ESMİ İŞLETMESİ'NİN İZİNİ İLE KULLANILMIŞTIR

CONSTANT TORQUE HEATING TEST

EXP.DATA		MOTOR DATA			
EXP.NO	320030631	MOTOR MODEL NO	1719600300	RATED VOLTAGE [V]	220-240
DATE	24.06.2003	MAIN W. TURNS	163	RATED CURRENT [A]	0,58
EXP.VOLTAGE [V]	230	MAIN W. WIRE DIA.	0,335	RATED Pout [W]	75
FREQUENCY	50	AUX.W. TURNS	190	IC	F
DYNOMOMTER	ZTEST3	AUX.W.WIRE DIA.	0,28	CAPACITOR [uF]	4
		TACHO RES. [ohm]		MOTOR WEIGHT [kg]	2,204
		T/P	15 AM 139 A	ENV.TEMP [°C]	25

EXPLANATION

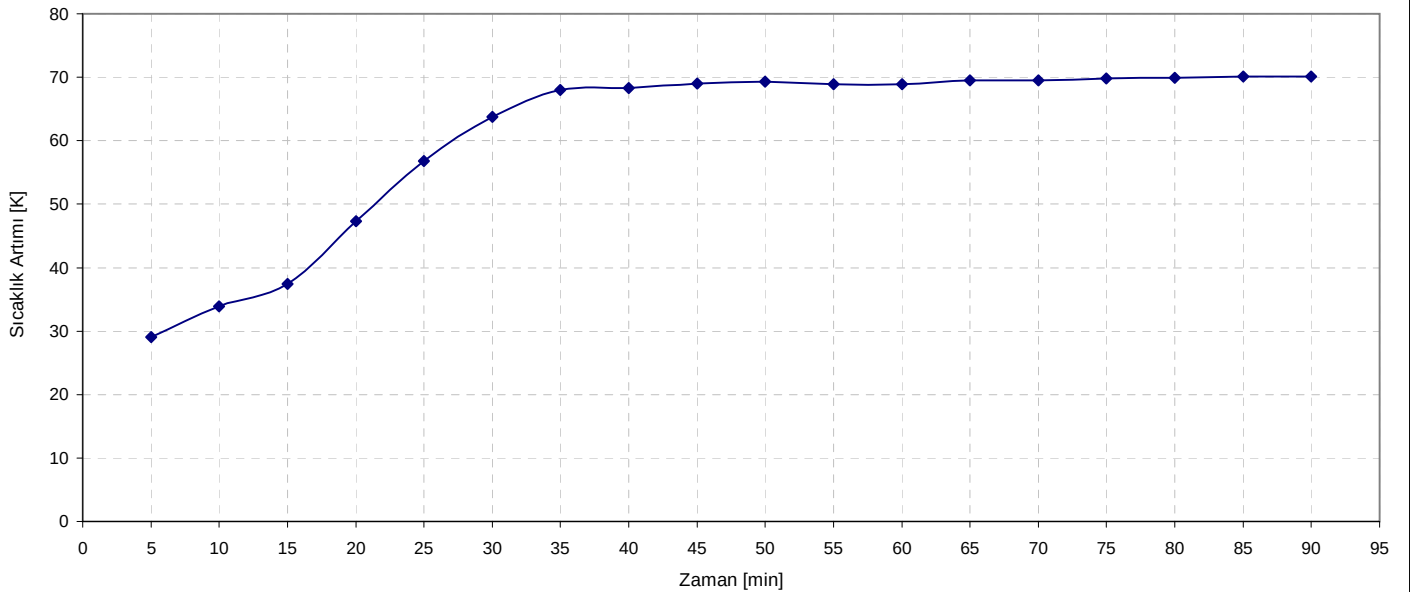
0 2708 rpm 137 W

COLD WINDING RESISTANCES	MAIN	46,5	[ohm]	AUX.	79,4	[ohm]
--------------------------	------	------	---------	------	------	---------

HEATING TEST AT CONSTANT TORQUE

Time	Voltage	Current	Power	Speed	Pout	Torque	Rana_sargı	Tana_sargı	Tyrd_sargı	Tkabin	Tortam
[min]	[V]	[A]	[W]	[1/min]	[W]	[kgcm]	[ohm]	[°K]	[°K]	[°C]	[°C]
5	230		135	2708		2,65	51,70	29,0		36	25
10	230		133	2709		2,65	52,58	33,9		40	25
15	230		133	2705		2,65	53,20	37,4		42	25
20	230		133	2690		2,65	54,98	47,3		60	25
25	230		132	2689		2,65	56,67	56,8		67	25
30	230		132	2686		2,65	57,92	63,7		70	25
35	230		130	2686		2,65	58,68	68,0		72	25
40	230		130	2679		2,65	58,74	68,3		71	25
45	230		131	2674		2,65	58,86	69,0		71	25
50	230		132	2674		2,65	58,92	69,3		71	25
55	230		130	2680		2,65	58,84	68,9		71	25
60	230		132	2672		2,65	58,84	68,9		71	25
65	230		132	2684		2,65	58,96	69,5		72	25
70	230		131	2683		2,65	58,96	69,5		71	25
75	230		132	2681		2,65	59,01	69,8		71	25
80	230		131	2685		2,65	59,02	69,9		72	25
85	230		131	2684		2,65	59,06	70,1		72	25
90	230		131	2685		2,65	59,06	70,1		72	25

HEATING TEST AT CONSTANT TORQUE



RESULT:

TEST PERSON		APP.		DATE	
-------------	--	------	--	------	--