



**SEZGİSEL OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ KULLANARAK ELEKTRİK
MAKİNALARININ TASARIMI VE ANALİZİ**

Burak YENİPİNAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2018

Burak YENİPİNAR tarafından hazırlanan “SEZGİSEL OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ KULLANARAK ELEKTRİK MAKİNALARININ TASARIMI VE ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Cemal YILMAZ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ali SAYGIN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 20/06/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Burak YENİPINAR

20/06/2018

SEZGİSEL OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ KULLANARAK ELEKTRİK
MAKİNALARININ TASARIMI VE ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Burak YENİPINAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2018

ÖZET

Bu tez, elektrik makinalarının tasarım optimizasyonuna alternatif bir yaklaşım sunmaktadır. Enerji verimliliğine verilen önemin gün geçtikçe artması optimizasyon çalışmalarının da önemini arttırmaktadır. Ayrıca, sezgisel optimizasyon tekniklerinin çeşitliliği ve gün geçtikçe güncellenmesi gerektiği değerlendirildiğinde bu çalışmada kullanılan yöntemin önemi anlaşılmaktadır. Bu çalışmada uygulanan tasarım optimizasyonunda ise farklı yapay zeka optimizasyon algoritmaları ile farklı tiplerdeki elektrik makinalarının tasarım optimizasyonları yapılmaya çalışılmıştır. Her optimizasyon çalışması öncesinde analitik metodlar ile bir makine modeli elde edilmiş ve sonlu eleman analizleri ile elde edilen modelin doğrulama çalışması yapılmıştır. Elde edilen tasarım modeli üzerinde daha sonra optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimizasyon sonrasında elde edilen yeni tasarım sonlu eleman analizine tabi tutularak sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Bilim Kodu : 90514
Anahtar Kelimeler : Elektrik makina tasarımı, yapay zeka, optimizasyon algoritmaları, sezgisel optimizasyon teknikleri
Sayfa Adedi : 87
Danışman : Doç. Dr. Cemal YILMAZ

DESIGN AND ANALYSIS OF ELECTRICAL MACHINES USING HEURISTIC
OPTIMIZATION TECHNIQUES

(M.Sc. Thesis)

Burak YENİPİNAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2018

ABSTRACT

This thesis presents an alternative approach to the design optimization of electric machines. Increasing the importance given to energy efficiency increases the importance of optimization studies. In addition, if the intuitive optimization techniques are considered to be diversified and updated day by day, the significance of the method used in this study is understood. In the design optimization applied in this study, different artificial intelligence optimization algorithms were used to make design optimizations of the electric machines in different types. Before each optimization study, a machine model was obtained with analytical methods and a validation study of the model obtained by the finite element analysis was performed. Optimization work was done on the obtained design model. The new design obtained after the optimization is subject to final element analysis and the results are presented comparatively.

Science Code : 90514

Key Words : Electric machine design, artificial intelligence, optimization algorithms, heuristic optimization techniques

Page Number : 87

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Cemal YILMAZ

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ansys Electromagnetic Suite ve Matlab yazılımlarının akademik kullanımıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması süresince ilgisini, yardımını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Cemal YILMAZ'a, kıymetli tecrübelerinden yararlandığım başta Dr. Cemil OCAK ve Doç. Dr. Yusuf Yılmaz'a olmak üzere tüm hocalarıma ve bana olan maddi manevi tüm desteklerinden ötürü aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YAZILIMLAR	7
2.1. Rmxprt	7
2.2. Maxwell 2D.....	15
2.3. MATLAB	17
3. OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI.....	19
3.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAKA)	19
3.1.1. Başlangıç yiyecek kaynağı üretilmesi	19
3.1.2. Görevli arıların yiyecek bölgelerine gönderilmeleri	20
3.1.3. Dans benzetimi	20
3.1.4. Gözcü arıların yiyecek kaynağı bölgelerini seçmeleri	21
3.1.5. Tükenen kaynağı bırakma ve kaşif arı üretimi	21
3.1.6. YAKA adımları ve özellikleri	22
3.2. Genetik Algoritma (GA)	23
3.2.1. Genetik algoritma çalışma prensibi	24
3.2.2. Genetik algoritma operatörleri	26
3.3. Simbiyotik Organizma Araştırma (SOA).....	27

	Sayfa
3.3.1. Mutualizm evresi.....	28
3.3.2. Kommensalizim evresi	29
3.3.3. Parazit beslenme evresi	29
4. TASARIM.....	31
4.1. Tasarımda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	31
4.1.1. Sert manyetik malzemeler	32
4.1.2. Yalıtkan malzemeler	36
4.1.3. İzalasyon malzemeleri.....	36
4.2. Elektrik Makina Tasarımına Genel Bakış	37
5. ANALİZLER VE OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI.....	41
5.1. KMSM Tasarım Optimizasyonu	43
5.1.1. Analitik olarak elde edilen KMSM tasarımı	45
5.1.2. KMSM tasarım optimizasyonu	51
5.1.3. KMSM 2 boyutlu sonlu eleman analizleri	52
5.2. KMSG Tasarım Optimizasyonu	59
5.2.1. Analitik olarak elde edilen KMSG tasarımı	59
5.2.2 KMSG tasarım optimizasyonu	64
5.2.3 KMSG 2 boyutlu sonlu eleman analizleri	66
5.3. Asenkron Motor Tasarım Optimizasyonu.....	69
5.3.1. Analitik olarak elde edilen asenkron motor tasarımı	69
5.3.2. Asenkron motor tasarım optimizasyonu	73
5.3.3. Asenkron motor 2 boyutlu sonlu eleman analizleri	76
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	87

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Yalıtkan malzemelerin sınıflandırılması	36
Çizelge 4.2. İzolasyon malzemelerin sınıflandırılması	37
Çizelge 5.1. Analitik olarak elde edilen KMSM'nin genel özellikleri	46
Çizelge 5.2. KMSM Stator parametreleri	46
Çizelge 5.3. (a) KMSM Stator oluşunun ölçüleri (b) Tasarımda kullanılan oluk geometrisi	47
Çizelge 5.4. KMSM Rotor parametreleri	47
Çizelge 5.5. KMSM mıknatıs parametreleri	47
Çizelge 5.6. Analitik olarak elde edilen KMSM'nin tam yük performans verileri	48
Çizelge 5.7. KMSM'nin optimizasyon öncesi ve sonrası performans parametreleri ..	52
Çizelge 5.8. Analitik olarak elde edilen KMSG'nin genel özellikleri	60
Çizelge 5.9. KMSG Stator Parametreleri	60
Çizelge 5.10. (a) KMSG Stator oluşunun ölçüleri (b) Tasarımda kullanılan geometri .	61
Çizelge 5.11. KMSG Rotor Parametreleri	61
Çizelge 5.12. KMSG Mıknatıs Bilgileri	61
Çizelge 5.13. Analitik olarak elde edilen KMSG'nin tam yük performans verileri	62
Çizelge 5.14. KMSG'nin optimizasyon öncesi ve sonrası performans parametreleri ...	66
Çizelge 5.15. Analitik olarak elde edilen asenkron motorun genel özellikleri	70
Çizelge 5.16. Asenkron motorun stator parametreleri	70
Çizelge 5.17. (a) Asenkron motor stator oluşunun ölçüleri (b) Tasarımda kullanılan oluk geometrisi	70
Çizelge 5.18. Asenkron motorun rotor parametreleri	70
Çizelge 5.19. Analitik olarak elde edilen asenkron motorun tam yük performans verileri	71
Çizelge 5.20. Asenkron motorun optimizasyon öncesi ve sonrası performans parametreleri	76

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. RMxpirt içerisinde yer alan elektrik makina çeşitleri	7
Şekil 2.2. RMxpirt proje penceresi	8
Şekil 2.3. Makina genel parametreleri ayar menüsü	8
Şekil 2.4. Stator parametreleri ayar menüsü.....	9
Şekil 2.5. Stator sargı parametreleri ayar menüsü	9
Şekil 2.6. KMSM için rotor parametreleri ayar menüsü	10
Şekil 2.7. Mıknatıs yerleştirme konfigrasyonları (a) YYKMSM-1 (b) YYKMSM-2 (c) YYKMSM-3 (d) GMKMSM-1	10
Şekil 2.8. 50Hz’de Manyetik Akı Yoğunluğuna Karşı Oluşan Kayıp	11
Şekil 2.9. 100Hz’de Manyetik Akı Yoğunluğuna Karşı Oluşan Kayıp	12
Şekil 2.10. 200Hz’de Manyetik Akı Yoğunluğuna Karşı Oluşan Kayıp	12
Şekil 2.11. M270-35A Silisli Sacın B-H Eğrisi	13
Şekil 2.12. Asenkron motor için rotor parametreleri ayar menüsü	13
Şekil 2.13. Asenkron motor için kısa devre bilezik parametreleri ayar menüsü	14
Şekil 2.14. Analiz ayar menüsü	14
Şekil 2.15. RMxpirt analiz sonuç penceresi	15
Şekil 3.1. YAKA akış diyagramı	22
Şekil 3.2. GA akış diyagramı	24
Şekil 3.3. SOA algoritması akış diyagramı	28
Şekil 4.1. Manyetik malzemelerin gösterimi.....	32
Şekil 4.2. Manyetik malzemelerin histerisiz çevrimi	32
Şekil 4.3. Maksimum enerjilerine göre kalıcı mıknatısların gelişim süreci	33
Şekil 4.4. Sıcaklığın bazı NdFeB mıknatıslarda Br’ye etkisi	35
Şekil 4.5. Elektrik makina tasarım ve optimizasyon akışı.....	38
Şekil 5.1. Optimizasyon süreci akış şeması.....	42

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2. Farklı Mıknatıs Kalınlıklarının Motor Üzerinde Gösterilmesi	43
Şekil 5.3. Farklı Ofset Değerlerinin Mıknatıs Geometrisi Üzerinde Gösterimi.....	44
Şekil 5.4. Farklı KYO Değerleri.....	45
Şekil 5.5. KMSM mesh ağı gösterimi	48
Şekil 5.6. KMSM 100ms’de manyetik akı dağılımı.....	49
Şekil 5.7. KMSM 100ms’de manyetik akı yoğunluğu dağılımı.....	49
Şekil 5.8. KMSM 100ms’de stator bakır kayıpları.....	50
Şekil 5.9. Tasarlanan KMSM’ye ait 0-100ms arası giriş-çıkış gücü ve tork grafiği...	50
Şekil 5.10. KMSM optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılması.....	51
Şekil 5.11. Manyetik akı yoğunluğu dağılımının (a) Analitik parametrelerde (b) YAKA parametrelerinde (c) SOA parametrelerinde (d) GA parametrelerinde.....	53
Şekil 5.12. KMSM Manyetik akı dağılımı (a) Analitik parametrelerde (b) YAKA parametrelerinde (c) SOA parametrelerinde (d) GA parametrelerinde.....	54
Şekil 5.13. KMSM Stator sargılarındaki akım yoğunluğunun gösterimi (a) Analitik parametrelerde (b) YAKA parametrelerinde (c) SOA parametrelerinde (d) GA parametrelerinde	55
Şekil 5.14. Analitik olarak elde edilen modelin nüve kayıplarının zamana göre değişimi	56
Şekil 5.15. YAKA parametrelerinde nüve kayıplarının zamana göre değişimi	56
Şekil 5.16. GA parametrelerinde nüve kayıplarının zamana göre değişimi	57
Şekil 5.17. SOA parametrelerinde nüve kayıplarının zamana göre değişimi.....	57
Şekil 5.18. YAKA ile elde edilen sonuca ait 0-100ms arası giriş-çıkış gücü ve tork grafiği	58
Şekil 5.19. SOA ile elde edilen sonuca ait 0-100ms arası giriş-çıkış gücü ve tork grafiği	58
Şekil 5.20. GA ile elde edilen sonuca ait 0-100ms arası güç ve tork grafiği	59
Şekil 5.21. KMSG 2 boyutlu mesh ağı.....	62
Şekil 5.22. KMSG 100ms’de manyetik akı dağılımı.....	63
Şekil 5.23. KMSG 100ms’de manyetik akı yoğunluğu dağılımı	63

Şekil	Sayfa
Şekil 5.24. KMSG 100ms’de stator bakır kayıpları	64
Şekil 5.25. İterasyon sayısına karşılık verimin değişimi	65
Şekil 5.26. KMSG manyetik akı dağılımının gösterimi (a) Analitik parametrelerde (b) YAKA parametrelerinde.....	67
Şekil 5.27. KMSG manyetik akı yoğunluğunun gösterimi (a) Analitik parametrelerde (b) YAKA parametrelerinde.....	67
Şekil 5.28. Hıza karşılık generatör performans değerlerinin değişimi	68
Şekil 5.29. Hıza karşılık gerilimin değişimi	69
Şekil 5.30. Asenkron motorun 2 boyutlu mesh ağı	71
Şekil 5.31. Asenkron motorun 500ms’de manyetik akı dağılımı	72
Şekil 5.32. Asenkron motorun 500ms’de manyetik akı yoğunluğu dağılımı.....	72
Şekil 5.33. Asenkron motor 500ms’de stator bakır kayıpları.....	72
Şekil 5.34. Asenkron motor geometrik değişkenlerin gösterimi	73
Şekil 5.35. İterasyon sayısına karşılık verim	74
Şekil 5.36. Asenkron motorda tork-hız eğrilerinin karşılaştırılması	75
Şekil 5.37. Asenkron motorun manyetik akı yoğunluğu dağılımı (a) Başlangıç parametrelerinde (b) F1 fonksiyonu sonucu (c) F2 fonksiyonu sonucu (d) F3 fonksiyonu sonucu.....	77
Şekil 5.38. Asenkron motorun manyetik akı dağılımı (a) Başlangıç parametrelerinde (b) F1 fonksiyonu sonucu (c) F2 fonksiyonu sonuc (d) F3 fonksiyonu sonucu.....	78
Şekil 5.39. Asenkron motorun stator sargılarındaki akım yoğunluğunun gösterimi (a) Analitik parametrelerde (b) F1 fonksiyonu sonucu (c) F2 fonksiyonu.sonucu (d) F3 fonksiyonu sonucu	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A_{sl}	Stator oluk alanı (mm ²)
$\vec{B}$	Manyetik akı yoğunluğu vektörel (Tesla)
C_a	Artık kayıp katsayısı
C_e	Eddy kayıp katsayısı
C_0	Çıkış güç katsayısı (kVA)
K_c	Sargı Kısaltma faktörü
K_d	Sargı dağılım faktörü
K_{w1}	Sargı faktörü
P_a	Artık kayıplar (kW)
P_{core}	Nüve kaybı (kW)
P_{cu}	Bakır kaybı (kW)
P_e	Eddy kayıpları (kW)
P_h	Histerisis kayıpları (kW)
P_{in}	Giriş gücü (kW)
P_{mech}	Mekanik kayıplar (kW)
P_{out}	Çıkış gücü (kW)
h_{ry}	Rotor boyunduruğunun uzunluğu (mm)
h_{sy}	Stator boyunduruğunun uzunluğu (mm)
k_{nf}	Yığın faktörü
l_{air}	Hava aralığı uzunluğu (mm)
n_s	Senkron Hız (Rpm)
Φ_{pole}	kutup başına manyetik akı (Tesla)
Φ_{air}	Hava aralığı akısı (Tesla)
μ_0	Boş uzayın geçirgenliği (H/m)
$\cos\phi$	Güç katsayısı

Simgeler**H****Açıklamalar**

Manyetik alan siddeti (A/m)

C

Makine sabiti

D

Stator iç çapını (mm)

E

Elektrik alan şiddeti (V/m)

L

Nüve boyu (mm)

 τ

Kutup adımı

 φ

Manyetik akı (Wb)

Kısaltmalar**Açıklamalar****AA**

Alternatif Akım

DA

Doğru Akım

GA

Genetik Algoritma

GAG

Geliştirilmiş Genetik Algoritma

GMKMSM

Gömülü Mıknatıslı Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor

KMSM

Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor

NLPQL

Nonlinear Programming by Quadratic Lagrangian

PS

Pattern Search

PSO

Parçacık Sürüşü Optimizasyonu

QN

Quasi Newton

RMxpert

Rotating Electric Machine Expert

SEA

Sonlu Elaman Analizi

SEY

Sonlu Elaman Yöntemi

SMINP

Sequential Mixed Integer NonLinear Programming

SNP

Sequential Nonlinear Programming

SOA

Simbiyotik Organizma Araştırma

YAKA

Yapay Arı Kolonisi Algoritması

YYKMSM

Yüzey Yerleştirmeli Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor

1. GİRİŞ

Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorlar (KMSM) yüksek verimleri, yüksek güç-tork yoğunlukları, kompakt yapıları gibi üstün özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisinden havacılık ve uzaya, elektrikli ev aletlerinden servo ve robotik uygulamalara kadar çok geniş bir alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [1-2]. Ayrıca üstün kontrol karakteristikleri ile özellikle yüksek tork ve hassasiyet gerektiren alanlarda rakipsizdirler [3].

KMSM motorlar, asenkron motorlarla kıyaslandığında en büyük farklılıklardan birisi de rotor üzerinde bulunan sürekli mıknatıslardır [4]. Dolayısı ile mıknatıs yapısı ve boyutu motor performansı üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Bu sebeple, mıknatıs geometrisinin nasıl belirleneceği sorusu KMSM motorların tasarımındaki kritik yaklaşımlardan birisi olmakla birlikte bu sorunun üniversal bir yanıtı bulunmamaktadır [5].

Ayrıca Asenkron motorların dünyada tüketilen elektrik enerjisinin çoğunluğunu oluşturması ve artan enerji maliyetleri sebebi ile verimlerinin yükseltilmesi bir zorunluluk durumuna gelmiştir. Durum böyle iken pazar payını koruması için asenkron motorun performansını etkileyen her bir parametrenin optimizasyonu büyük önem taşımaktadır [26].

Elektrik makinalarının tasarımı Sonlu Eleman Yönteminin (SEY) kullanıldığı bir dizi karmaşık hesaplama gerektirir. Doğrusal olmayan karakteristikler ve birden çok amaç fonksiyonu gereksinimi problemin daha da karmaşık olmasına ve çözüm süresinin uzamasına yol açmaktadır [6]. Yeni bir topolojiye sahip veya yenilikçi malzemelerin kullanıldığı geliştirilmiş bir elektrik motoru yada generatörü tasarlanırken, hedeflenen performans değerlerini yakalayabilmek için tasarım optimizasyonu ihtiyaç duyulan önemli bir basamaktır. Çoğu durumda, elektrik motorlarının tasarım optimizasyonu çok amaçlı lineer olmayan bir problemdir ve bunlardan popüler olan bazıları çıkış torkunu, gücünü, güç yoğunluğunu ve verimi maksimuma çıkarmakla birlikte tork dalgalanmalarını, vuru torkunu, boyutları ve malzeme maliyetini minimuma indirmek şeklinde sıralanabilir [7]. Karmaşık motor topolojilerinde optimizasyon, artan sayıdaki amaç fonksiyonları ve kısıtlamalarla birlikte oldukça zaman alıcı ve kompleks bir süreçtir [8].

Tasarımda verim optimizasyonu, sürekli ve uzun süre çalışan makinalar, kompresörler, pompalar ve elektrik araçlar gibi uygulamalarda enerji tasarrufu sağlamak adına önemli bir konudur. Sürekli mıknatıslı ve diğer aktif malzemelerin uygun seçimi, motor geometrik tasarım optimizasyonu ve kontrol stratejileri gibi konular KMSM motorların verimini arttırmak için kullanılan yöntemlerden bazıları olarak ifade edilebilir [9].

Tasarım optimizasyonunda dikkat edilmesi gereken diğer bir durum ise kullanılan optimizasyon metodudur. Tasarımın hangi ortamda ve hangi yöntemlerle gerçekleştirildiği tasarım açısından oldukça önemli bir konudur. Benzer şekilde, optimizasyon probleminin çözümü için de hangi ortamların ve yöntemlerin kullanıldığı büyük önem arz etmektedir çünkü optimizasyon, mümkün olan en iyi tasarıma ulaşmak için güçlü bir araçtır [10].

Literatür incelendiğinde ise elektrik makinalarının tasarım optimizasyonlarında birçok çalışması yer almaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Mümtaz Mutluer ve Osman Bilgin yaptıkları optimizasyon çalışmasında Yüzey Yerleştirmeli KMSM'nin (YYKMSM) GA ve PSO ile optimizasyon işlemini gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyonu yapılan YYKMSM 16 kutup ve 18 stator oluşturmaktadır. Rotor dış çapı, mıknatıs kalınlığı, hava aralığı uzunluğu, stator oluk ağzı yüksekliği, stator oluk dış genişliği, stator dış çapı, oluk ağzı genişliği, nüve boyu ve yarım kutup açısı parametreleri yapılan bu çalışmada değişken olarak atanmıştır. Optimizasyon işlemi sonucunda başlangıç verimi %93,73 olan YYKMSM'nin verimi GA ile %95,3'e yükselirken PSO ile %95,64'e yükselmiştir. Verimin yükselmesinin yanında PSO'nun GA'dan daha hızlı ve iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ve PSO'nun daha az koda sahip olması ve basit bir yapısının olması sonraki çalışmalar için tercih sebebi olabilecek bir çıktı sağlamıştır [11].

Caramia ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada 4 kutuplu 24 stator oluğuna sahip bir YYKMSM'nin optimizasyon çalışmasını MATLAB ve Maxwell'i kullanarak GA ile gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyon çalışmasını yaptıkları 550 W gücündeki motorun ağırlığını azaltmaya çalışırken aynı zamanda nominal torkunu artırmayı hedeflemiştir ve rotor iç ve dış çapı, stator dış çapı ve mıknatıs kalınlığı değerlerini gerçekleştirilen bu optimizasyon çalışmasında değişken olarak kullanılmıştır. Toplam ağırlık azalırken

nominal torkun arttığı görülmüştür ve ek olarak çalışma sonucunda vurutu torkunun da azaldığı gözlemlenmiştir [12].

Ilka, Gholamian ve Addeh 5 fazlı YYKMSM'un çoklu optimizasyonu üzerine yaptıkları çalışmalarında, optimum makina boyutlarına ulaşarak yüksek torka sahip düşük kayıplı bir YYKMSM elde etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada hava aralığı çapı, nüve boyu ve stator oluk geometrisi optimize edilecek parametreler olarak belirlendikten sonra Arılar Algoritması ile optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonrasında başlangıç modeline göre kayıpların hava aralığı çapının ve nüve boyunun dolayısıyla toplam ağırlığın ve maliyetin azaldığı görülmüş aynı zamanda kayıpların da %5,56 azaldığı ve torkun %16 arttığı belirtilmiştir [14].

Konstantinos ve Antonios yapmış oldukları çalışmada geometri optimizasyonuna dayanan bir metodoloji ile birlikte elektrikli araçlar için YYKMSM'nin mıknatıs geometrisinin optimizasyon çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Başlangıç değerlerinde ve gerçekleştirilen çalışma sonucu elde edilen değerler ile 2 adet prototip rotor imal etmişlerdir. Optimizasyon öncesi mıknatıs geometrisinde ofset yok iken optimizasyon sonucunda ofset değeri artırılmıştır bu şekilde zıt EMK sinüs dalga formuna yaklaştırılmıştır. Ayrıca, vurutu torku ile birlikte demir kayıplarının da azaldığı gözlemlenmiştir ve daha geniş hız aralığında çalışabilir olduğu yapılan karşılaştırmalı testler sonucunda anlaşılmıştır [15].

Khazaei ve diğerleri yüksek hızlı bir uygulama için YYKMSM'nin tasarım optimizasyonunu, PSO ve Arılar Algoritması ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda torkun %19,5 arttığını aynı zamanda toplam kayıpların %7,08 azaldığını görülmüştür. Ayrıca, PSO'nun yakınsama hızının Arılar Algoritmasının yakınsama hızından yüksek olduğu da gözlemlenmiştir [16].

Duan ve diğerleri KMSM tasarımındaki karmaşıklığı azaltmak için YYKMSM'ler için Parçacık Sürüşü Optimizasyonu (PSO) ile etkili çok amaçlı bir tasarım yöntemi geliştirmiştir. İlk olarak KMSM'nin analitik bir modeli geliştirilmiş ve sonuçlar Sonlu Eleman Analizi (SEA) ile doğrulanmıştır. Daha sonra bu analitik modele PSO uygulanır. Geleneksel elektrik makina tasarım yöntemlerine kıyasla bu önerilen algoritma, hızlı hesaplama ve yüksek yakınsama ile optimize edilmiş çözümü bulmayı amaçlamışlardır. Gerçekleştirilen bu çalışmada 15kW güce sahip 4 kutuplu bir YYKMSM'nin hava aralığı

apı ve nüve boyu değişken olarak kullanılarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon öncesinde 44,96kg olan makina ağırlığı optimizasyon sonrasında 26,57kg'a indirilmiştir [17].

Tutelea ve Boldea yaptıkları çalışmalarında YYKMSM'nin optimizasyon çalışmasını Hooke Jeeves (HJ) metodu ve GA kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmalarında toplam ağırlıkla birlikte kayıplarıda azaltmayı hedeflemişlerdir. Çalışmanın sonucunda her iki optimizasyon yöntemi ile başlangıç değerlerinden daha iyi değerler elde edilmiştir ancak global optimum noktasına ulaşılamamıştır. GA ile elde edilen sonuç HJ ile elde edilenden daha iyidir ancak GA'nın işlem süresi HJ'nin 2.5 katıdır [18].

Sarikhani ve Mohammed bir YYKMSM'nin, hibrit bir GA-PSO algoritması ile çok amaçlı optimizasyon çalışmasını gerçekleştirmiş ve sonuçlarını sunmuşlardır. Çalışmanın sonucunda toplam ağırlığın %8 azaldığı, tork dalgalanmasının ve THD'nin azaldığı gözlemlenmiştir [19].

Jabbari ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında 4 kutup/6 oluk ve 4 kutup/oluklu iki farklı YYKMSM'nin mıknatıs geometrisinin optimizasyon çalışmasını yaparak, tork titreşimlerini azaltmayı hedeflemişlerdir. Çalışmanın sonucunda ofset değeri arttıa zıt-emk dalga formu sinüse yaklaştığı görülmüştür ve aynı zamanda vuruntu torkunun arttığı da gözlemlenmiştir [20].

Fujishima ve diğerleri dış rotorlu bir KMSM'nin tasarım optimizasyonu GA kullanarak SEA ile gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca buna ek olarak GA ve SEA'ya ek olarak Yüzey Yanıt Yöntemi (YYY)'ni de optimizasyon işlemine entegre ederek çalışmayı gerçekleştirmişler ve sonuçları karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. İki yöntemle de elde edilen optimum sonuç hemen hemen aynı olmasına rağmen GA+SEA+YYY ile gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasının süreci GA+SEA yöntemine göre yaklaşık 5,5 kat daha kısa sürmüştür [21].

Kong ve diğerleri insansız hava araçlarında kullanılan dış rotorlu stator nüvesi amorf malzemeden olan bir KMSM'nin maliyeti azaltırken aynı zamanda verimi yükseltmeyi hedefleyen bir optimizasyon çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyon sonrası elde edilen tasarım ile başlangıç tasarımının SEA gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalı olarak

sunulmuştur. Ayrıca çalışma sonrası elde ettikleri optimum motorun prototip imalatını gerçekleştirerek test sonuçlarını sunmuşlardır. Sonuçlar incelendiğinde stator nüvesinde meydana gelen kayıpların motor verimliliği üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir ve verimin yaklaşık %10.4 arttığı aynı zamanda maliyetin de %11.7 azaldığı sonucuna varılmıştır [22].

Vlad ve diğerleri 25kW gücünde 15.000Rpm hızında, 6 stator oluğuna sahip 4 kutuplu düşük maliyete sahip ve aynı zamanda yüksek verimli bir KMSM elde etmek için Hooke-Jeeve metodu kullanılmış ve akabinde tork titreşimlerini azaltıcı çalışmalar bahsedilmiştir. Gerçekleştirilen birkaç SEA sonrasında en iyi vuruğu torkunu azaltan ve toplam tork titreşimi sınırlandıran yöntemin, mıknatıslar rotor yüzeyine yerleştirilirken açılı (kayk) yerleştirilmesi olduğı gözlemlenmiştir [23].

Mi yaptığı çalışmasında elektrikli taşıtlar için SEY kullanarak bir KMSM'nin mıknatıs geometrisinin motor parametrelerine etkisini incelemiştir. Yaptığı bu tasarım optimizasyonu çalışmasının sonucunda tasarım optimizasyonunu gerçekleştirerek mıknatıs geometrisini optimize etmiş ve motor performansına etkilerini gözlemlemiştir [24].

Cassimere ve diğerleri bir KMSM'nin yüksek verim ve yüksek tork/hacim oranına sahip bir KMSM'nin tasarım optimizasyonunu GA ve PSO algoritmalarını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda evrimsel tabanlı algoritmaların elektrik makinalarının tasarım optimizasyonunda etkili oldukları gözlemlemiştir. Ayrıca, süreksiz amaç fonksiyonlarının sürekli olanlara göre daha iyi bir optimizasyon sağladığını gözlemlemiştir [25].

Liu ve diğerleri, yüksek güçlü bir KMSG'nin mıknatıslarını kaydırarak vuruğu torkunu azaltmayı amaçlayan bir çalışma yaparak yüksüz ve tam yüklü olacak şekilde SEA analizlerini yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda vuruğu torkunun azalmasının yanı sıra torktaki dalgalanmalarının azaldığı görülmüştür [40].

Ping ve Keet, KMSG'lerde stator oluk sayısının vuruğu torkuna etkisini incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda stator oluk sayısının arttırıldığında vuruğu torkunun azaldığı gözlemlenmiştir [41].

Bhuvaneswari ve Subramanian yaptıkları çalışmalarında SA ile üç farklı asenkron motorun verimini, ısı artışını ve starting torque to full load torque ratio değerlerini optimize etmek için her bir motora ait 11 farklı parametrenin optimizasyonunu ayrı ayrı üç farklı amaç fonksiyonu ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda her bir motor için sonuçların paralel olduğu gözlemlenmiş ve bu yöntemin optimizasyon işleminde kullanılabilir bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur [42].

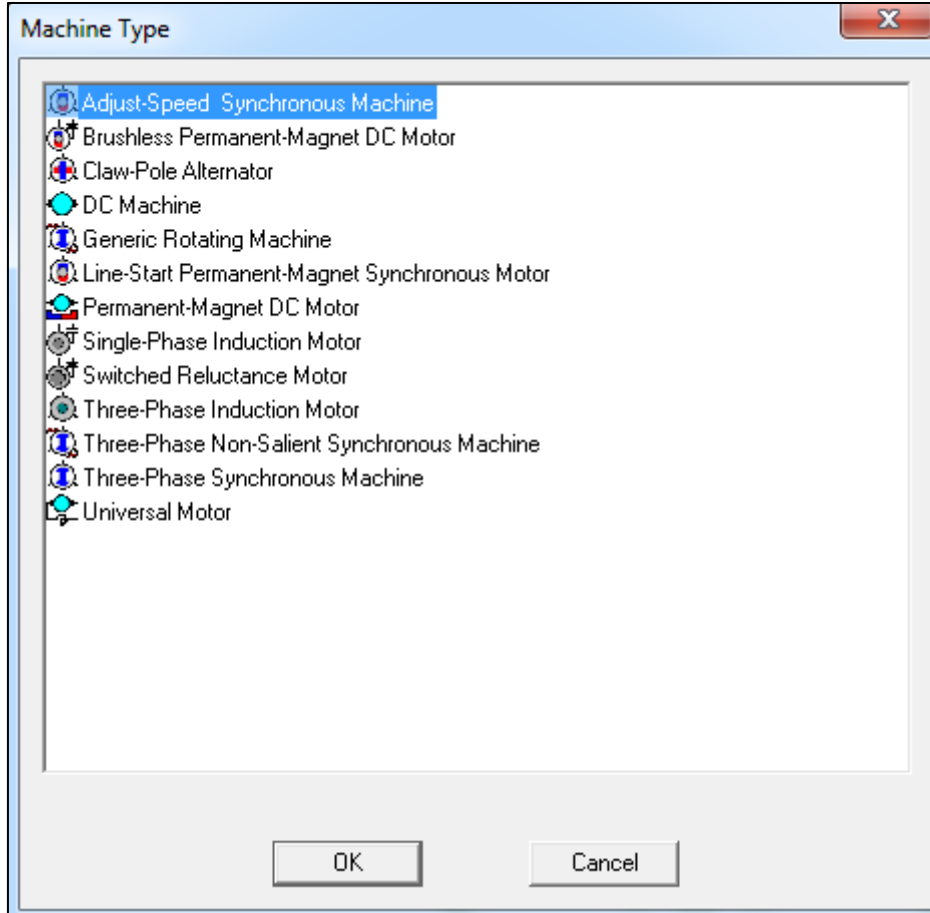
Skalka ve diğerleri bir asenkron motorun stator slot açıklığının harmaniklere etkisini incelemiş ve harmonik seviyesini azaltmak için stator slot açıklığının optimizasyon çalışmasını gerçekleştirmişlerdir [43].

Çunkaş ve Akkaya gerçekleştirdikleri çalışmalarında 30hp gücünde bir asenkron motorun 10 farklı tasarım parametresinin optimizasyon çalışmasını torku, verimi ve maliyeti optimize etmek için ayrı ayrı üç farklı amaç fonksiyonu kullanarak optimizasyon işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda her bir fonksiyonun amaçları doğrultusunda sonuçlar verdiği görülmektedir [44].

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YAZILIMLAR

2.1. RMxpirt

RMxpirt paket programı Ansys içerisinde yer alan elektrik motor tasarımında profesyonel olarak kullanılan eş değer devre ve analitik hesaplama tabanlı bir analiz programıdır. Klasik analitik motor teorisi ve eşdeğer manyetik devre yöntemlerini kullanarak, makine performansını hesaplayabilen RMxpirt programında, aşağıdaki Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi 13 farklı elektrik makine tipine ait analizler gerçekleştirilebilmektedir. RMxpirt ile gerçekleştirilen analiz süresi çok kısa olduğundan dolayı tasarım üzerinde yüzlerce olasılık çok kısa süre içerisinde denenebilmektedir.

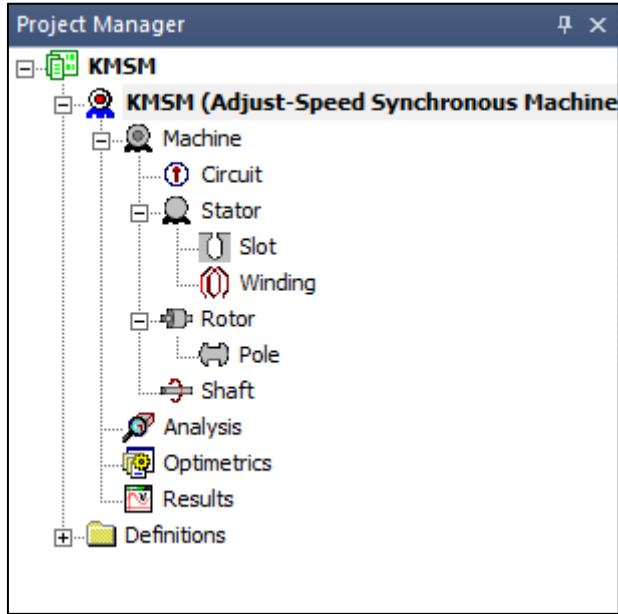


Şekil 2.1. RMxpirt içerisinde yer alan elektrik makina çeşitleri

RMxpirt ile analizi yapılan elektrik makinalarının geometri, materyaller ve sınır koşulları dâhil olmak üzere eksiksiz bir Maxwell projesini otomatik kurma yeteneği mevcuttur. Bu

kurulum yeteneği, geçici durum analizi için simetri ve uyarım devresi topolojilerini içermektedir.

Makina tipinin seçilmesinin ardından aşağıdaki Şekil 2.2’de görünen proje penceresi vasıtası ile analizi gerçekleştirilecek elektrik makinası ile ilgili parametreler set edilir.



Şekil 2.2. RMxprt proje penceresi

Proje penceresinde kullanılan parametreleri sırası ile incelediğimizde, öncelikle kutup sayısı, rotor pozisyonu, sürtünme ve rüzgar kayıpları, referans hız, besleme geriliminin tipi, ve besleme devresinin tipi gibi genel makine parametrelerinin ayarlandığını Şekil 2.2’de görmekteyiz.

Name	Value	Unit
Machine Type	Adjust-Speed Synchronous Machine	
Number of Poles	2	
Rotor Position	Inner Rotor	
Frictional Loss	0	W
Windage Loss	0	W
Reference Sp...	0	rpm
Control Type	DC	
Circuit Type	Y3	

Şekil 2.3. Makina genel parametreleri ayar menüsü

Elektrik makinasının genel parametrelerini ayarladıktan sonra ayarlanması gereken stator parametreleri Şekil 2.3’de görüldüğü gibidir.

Name	Value	Unit
Outer Diameter	0	mm
Inner Diameter	0	mm
Length	0	mm
Stacking Factor	0.95	
Steel Type	Not Assigned	
Number of Slots	0	
Slot Type	1	
Skew Width	0	

Şekil 2.4. Stator parametreleri ayar menüsü

Bu ayar penceresinde, stator iç ve dış çapı, stator nüve uzunluğu, stator nüve malzemesi, stator oluk sayısı ve tipi, yığın faktörü ve kaykısı değeri yer almaktadır. Stator geometrik parametreler girildikten sonra stator sargı parametrelerinin yer aldığı bölüm aşağıdaki Şekil 2.4’de görülmektedir.

Name	Value
Winding Layers	2
Winding Type	Whole-Coiled
Parallel Branches	0
Conductors per Slot	0
Coil Pitch	0
Number of Strands	0
Wire Wrap	0
Wire Size	Diameter: 0mm

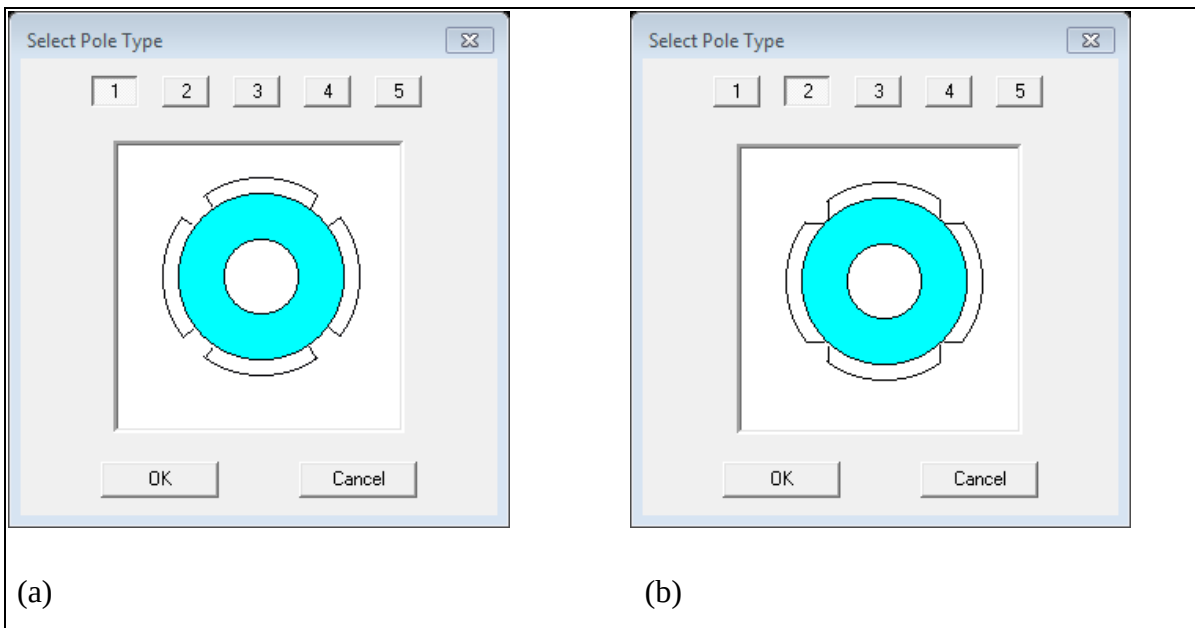
Şekil 2.5. Stator sargı parametreleri ayar menüsü

Burada, sargının tam kalıp olup olmadığı, paralel kol sayısı, oluk başına sipir sayısı, sargı adımını, her bir sipirdeki iletken sayısı ve bu iletkenlerin çapı yer almaktadır. Bu tez çalışmasında yer alan asenkron ve senkron motorlarda stator menüleri aynı olduğu için ayrı ayrı anlatılmamıştır. Öncelikle KMSM için rotor parametreler aşağıdaki gibidir.

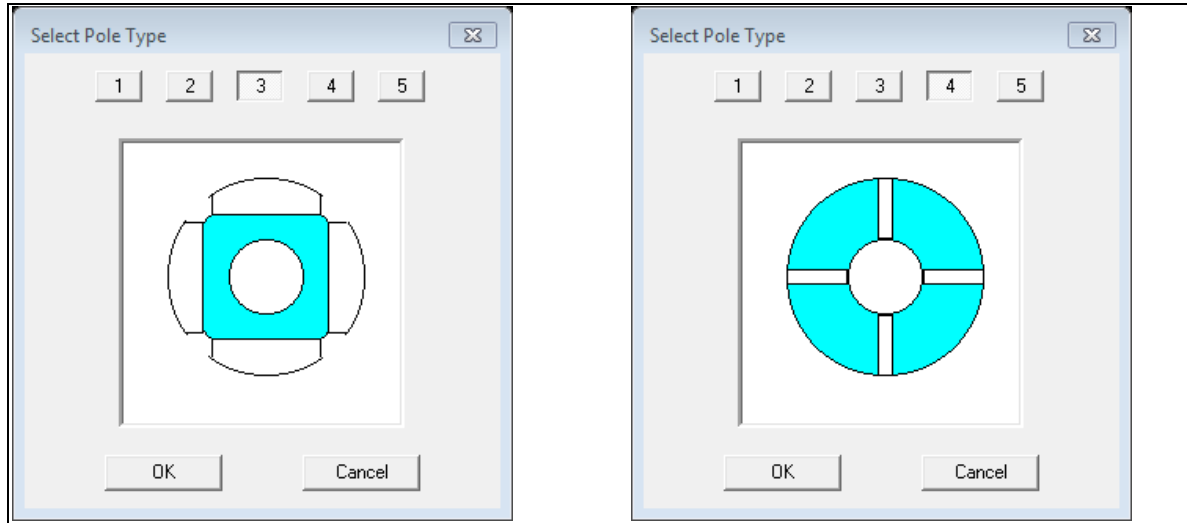
Name	Value
Outer Diameter	0
Inner Diameter	0
Length	0
Steel Type	Not Assigned
Stacking Factor	0.95
Pole Type	1

Şekil 2.6. KMSM için rotor parametreleri ayar menüsü

Rotor parametreleri ayar menüsünde, rotor iç ve dış çapı, rotor nüve uzunluğu, rotor nüve malzemesi, mıknatıs yerleştirme tipi, yığın faktörü ve kaykısı değeri yer almaktadır. Aşağıdaki Şekil 2.6'de RMxprt içerisinde yer alan mıknatıs yerleştirme konfigürasyonları yer almaktadır.

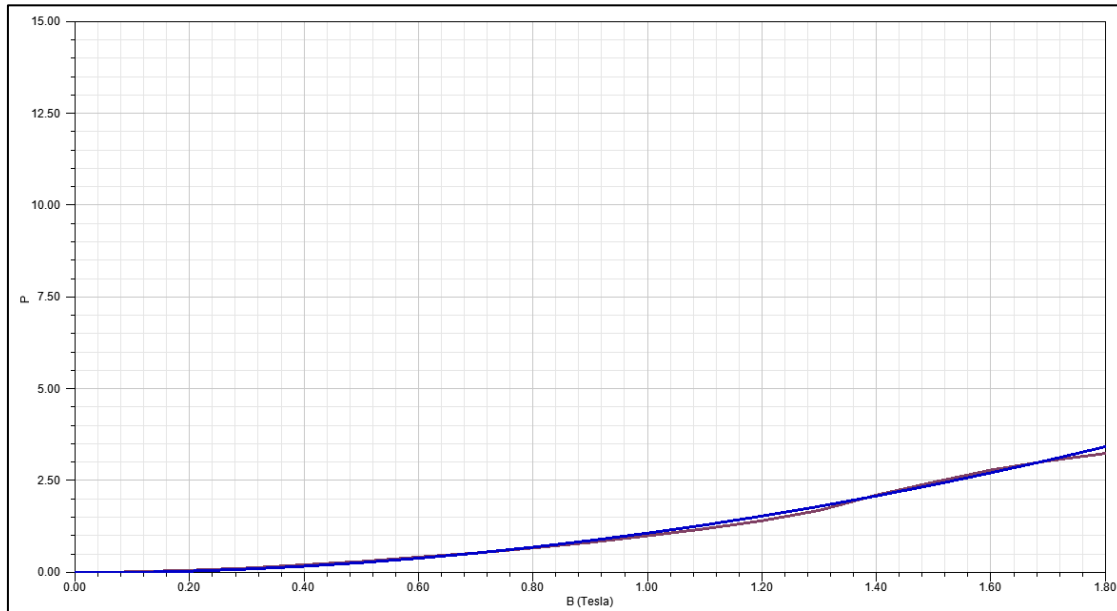


Şekil 2.7. Mıknatıs yerleştirme konfigürasyonları (a) YYKMSM-1 (b) YYKMSM-2 (c)YYKMSM-3 (d) GMKMSM-1

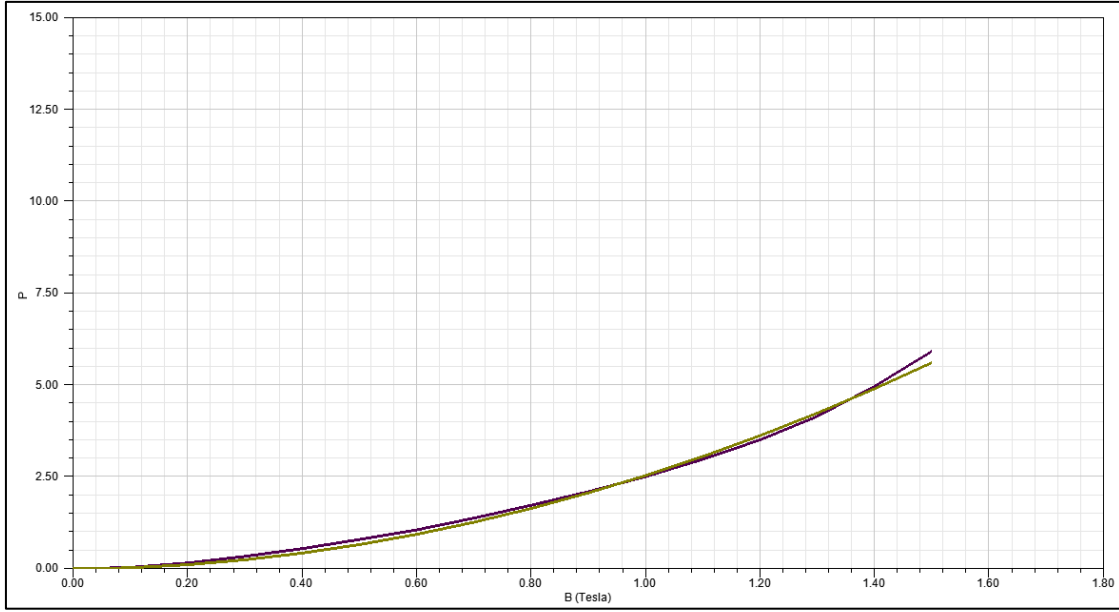


Şekil 2.7. (devam) Mıknatıs yerleştirme konfigürasyonları (a) YYKMSM-1 (b) YYKMSM-2 c)YYKMSM-3 (d) GMKMSM-1

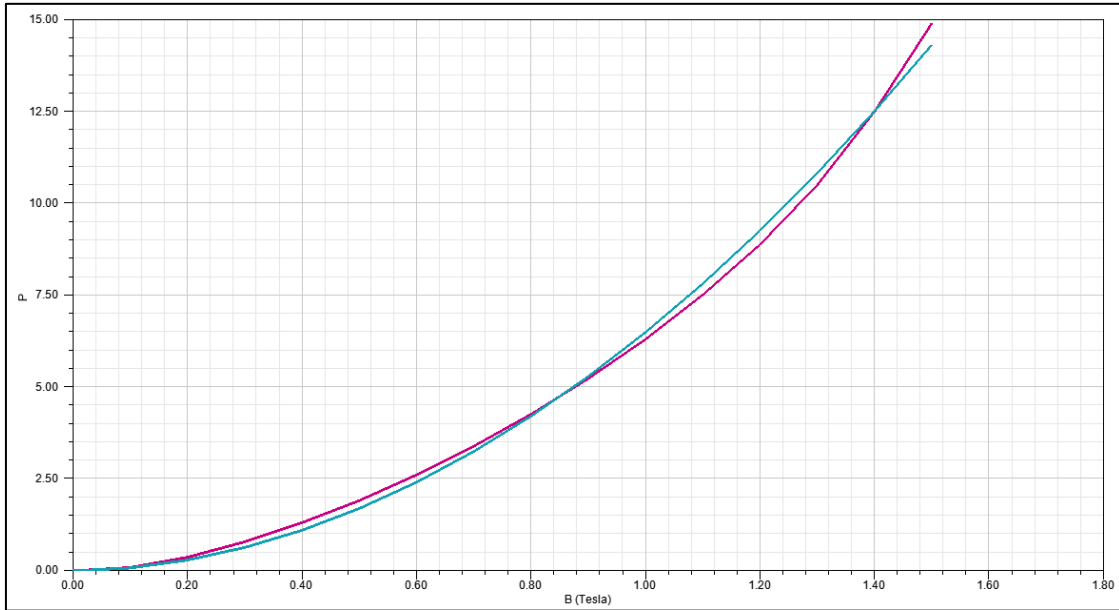
Tasarımda nüve malzemesi olarak kullanılan M270-35A silisli sac, RMxpert programına tanıtılırken farklı frekanslardaki maruz kaldığı akı yoğunluğuna karşı güç parametreleri girilir ve böylece malzemenin kayıp karakteristiği oluşturulur.



Şekil 2.8. 50Hz'de Manyetik Akı Yoğunluğuna Karşı Oluşan Kayıp

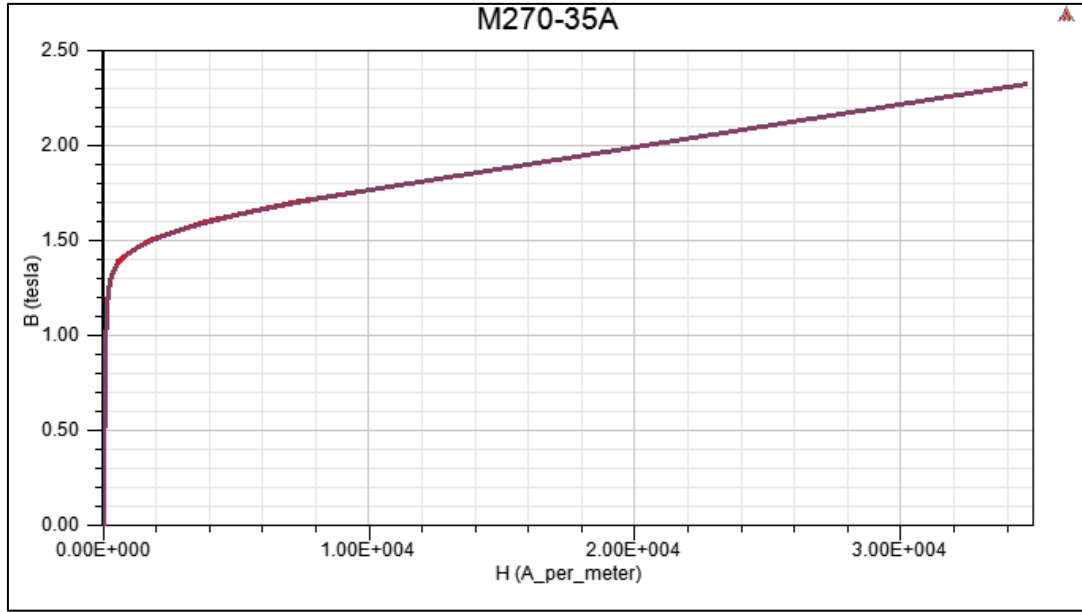


Şekil 2.9. 100Hz’de Manyetik Akı Yoğunluğuna Karşı Oluşan Kayıp



Şekil 2.10. 200Hz’de Manyetik Akı Yoğunluğuna Karşı Oluşan Kayıp

Kullanılacak silisli sacın farklı frekanslardaki manyetik akı yoğunluğundaki kayıp grafikleri oluşturulduktan sonra program kendisi bu grafiklerden histerisis ve eddy kayıp katsayılarını elde etmektedir ve nüve kaybını bu şekilde hesaplamaktadır.



Şekil 2.11. M270-35A Silisli Sacın B-H Eğrisi

Kullanılacak silisli sacın kayıp karakteristiği belirlendikten sonra B-H eğrisi oluşturulur. B-H eğrisi uygulanacak akıma karşılık nüvenin üreteceği akı miktarını yorumlarken kullanılabilir.

Rotor parametreleri KMSM'ler için böyle iken asenkron motorlarda doğal olarak farklılık göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 2.7'de görüldüğü gibi Şekil 2.5'ten farklı olarak rotor oluk sayısı ve yapısı, kaykısı miktarı, rotor oluk yapısının yarım veya çift kafes olup olmadığı da ayarlanmaktadır.

Name	Value	Unit
Stacking Factor	0.95	
Number of Slots	0	
Slot Type	1	
Outer Diameter	0	mm
Inner Diameter	0	mm
Length	0	mm
Steel Type	Not Assigned	
Skew Width	0	
Cast Rotor	☐	
Half Slot	☐	
Double Cage	☐	

Şekil 2.12. Asenkron motor için rotor parametreleri ayar menüsü

Asenkron motor üzerinde çalışma yaparken bunlara ek olarak kısa devre bileziğinin ölçüleri ve kullanılan malzeme de aşağıdaki Şekil RMXprt üzerinde ayarlanmalıdır.

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	F
Bar Conductor Type	Not Assigned			Select bar conductors ...	
End Length	0	mm	0mm	Single-side end extend...	
End Ring Width	0	mm	0mm	One-side width of end ri...	
End Ring Height	0	mm	0mm	Height of end rings (in ...	
End Ring Conductor Type	Not Assigned			Select End ring conduc...	

Şekil 2.13. Asenkron motor için kısa devre bilezik parametreleri ayar menüsü

Son olarak analizin gerçekleştirileceği şartlar aşağıdaki analiz ayar menüsü üzerinde ayarlanır.

Operation Type: Motor

Load Type: Const Power

Rated Output Power: 0 W

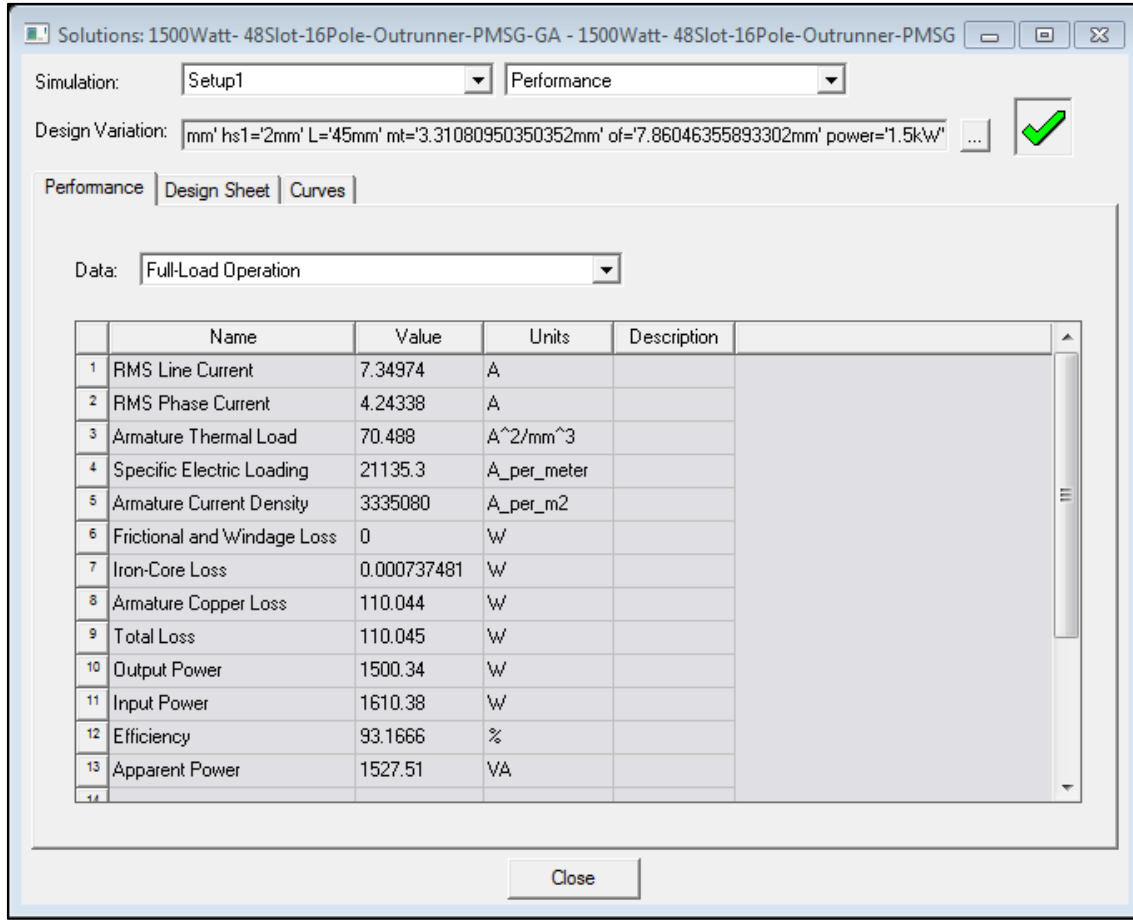
Rated Voltage: 0 V

Rated Speed: 0 rpm

Operating Temperature: 75 cel

Şekil 2.14. Analiz ayar menüsü

Burada motorun analizin gerçekleştirileceği şartlar yer almaktadır. Bu şartlara göre analitik analizi gerçekleştirilen elektrik makinasının sonuçları, aşağıdaki gibi sonuç penceresinden incelenebilmektedir.



Şekil 2.15. RMxprt analiz sonuç penceresi

Analiz sonucunda nümerik sonuçlar elde edilebildiği gibi vuruş torku, hava aralığı akı yoğunluğu gibi birçok parametrede grafik olarak yer almaktadır.

RMxprt ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde çalışmanın uygunluğuna karar verildiğinde, 2 boyutlu ve 3 boyutlu SEA için Maxwell programı kullanılabilir.

2.2. Maxwell 2D

ANSYS Maxwell, motorlar, aktüatörler, transformatörler, sensörler ve bobinler dâhil 2 boyutlu elektromanyetik ve elektromekanik cihazların tasarımı ve analizini gerçekleştirebilen önde gelen elektromanyetik alan benzetim yazılımıdır. Maxwell, statik, frekans alanı ve zamanla değişen elektromanyetik ve elektrik alanlarını çözmek için SEY kullanır. Maxwell, problemi çözmek için otomatik olarak uygun, verimli ve doğru bir ağ yapısı oluşturur. Bu kanıtlanmış otomatik uyarlanabilir meshing işlemi karmaşıklığı azaltır

ve analiz sürecinden kaldırılarak ve yüksek verimli, kullanımı kolay bir tasarım akışından faydalanılmasını sağlar.

ANSYS Maxwell ile, elektromekanik bileşenlerin doğrusal olmayan, geçici hareketini ve bunların sürücü devresi ve kontrol sistemi tasarımı üzerindeki etkileri tam olarak tanımlanabilmektedir. ANSYS Maxwell 'in gelişmiş elektromanyetik alan çözücülerinden yararlanarak ve bunları entegre devre ve sistem simülasyon teknolojisine sorunsuzca bağlayarak, bir prototip oluşturmada çok önce elektromekanik sistemlerin performansını bilgisayar ortamında gerekli analizleri gerçekleştirerek anlayabilirsiniz.

Ayrıca Ansys Maxwell ile gerçekleştirilebilecek çözümler aşağıdaki gibidir;

- AA Elektromanyetik
- Magnetostatik
- Elektrostatik
- DA iletim
- Geçici Durum Analizi
- Elektrik makineleri ve transformatörler için tasarım arayüzleri (PExpert-RMxpert)
- Simplorer (devre ve sistem simülasyonu)

Maxwell'in kullanmış olduğu sonlu elemanlar analizi şu anda elektromanyetik alan problemlerinin çözümü için kullanılan en popüler sayısal yöntemdir. SEA'nın en popüler yöntem olmasının temelinde iki nedeni vardır. Bunların ilki, SEA çok çeşitli uygulamalara kolayca adapte edilebilen güçlü bir yöntem olmasıdır. İkincisi ise , kullanıcının kendi özel uygulama algoritmalarını geliştirmek zorunda kalmadan karmaşık problemleri çözmesini sağlayan çok sayıda ticari olarak mevcut SEA paket programı olmasıdır [35,38].

Sonlu eleman yöntemi aşağıdaki adımları gerektirir.

1. Çözüm bölgesini eleman olarak adlandırılan alt bölümlere ayırmak ve her elemanı tanımlayan düğümler işaretlemek.
2. Her elemanda alan çözümü için genellikle polinom biçiminde olan yaklaşım fonksiyonu seçmek.
3. Her elemanda düğüm değerlerinin fonksiyonu olarak çözümü ve elemandaki uzaysal değişkenleri ifade etmek.

4. Alan denklemi için enerji fonksiyoneli tanımlamak ve bu fonksiyonu her eleman için geliştirmek. Bu her elemanda onun düğüm değerleri terimleri olarak enerji için tanımlanır.
5. İç elemanlardaki enerjilerin toplamı olarak küresel enerji ifadesini kurmak. Bu ifade önemsiz ve önceden tanımlanan düğüm değerlerinin elenmesiyle bilinmeyen düğüm değerlerini azaltır.
6. Bilinmeyen düğüm değerlerine uygun olarak küresel enerji ifadesi minimize edilir.
7. Düğüm değerlerini elde etmek için 6. adımdaki denklem sistemlerinin çözümü.
8. Üçüncü adımdaki ifadenin kullanılarak düğüm değerlerinden istenilen çözümler için yeniden kurulması.

2.3. MATLAB

MATLAB, C, C ++ ve FORTRAN gibi geleneksel programlama dillerinden daha yüksek hesaplama yoğunluklu işlemleri gerçekleştirmenizi sağlayan yüksek seviyeli bir dil ve etkileşimli bir ortamdır. MATLAB (matris laboratuvarı) sayısal bir hesaplama ortamı ve dördüncü nesil programlama dili olmakla birlikte çok sayıda farklı hesaplama ve modelleme yöntemi için araç kutusu ve uygulama içerir.

MATLAB hesaplamalardan karmaşık analizlere varan çok çeşitli alanlarda kullanılabilir hale gelmiştir. Bu nedenle son zamanlarda MATLAB özellikle bilimsel araştırmalar için tercih edilen ve popüler olarak kullanılan bir ortam haline gelmiştir Matlab'ın bu denli popüler oluşunun altında sunduğu çok çeşitli komutların yanısıra, grafiksel arabirime sahip oluşu, kolay alışılabılır ve kullanışlı bir ortam etkileşimi sunması, çok çeşitli alanlara (örneğin Kontrol Bilimi, İnşaat Mühendisliği...gibi) hizmet eden farklı ve zengin kütüphanesinin olması yatmaktadır.

3. OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

Optimizasyon mümkün olan en iyi tasarıma ulaşmak için güçlü bir araçtır. Optimizasyon çalışması, hedeflenen optimum noktaya ulaşmak için başlangıçta belirlenen parametreleri değiştirmek ve sonuca etkisini inceledikten sonra optimum noktanın bulunup bulunmadığına bakmaktır.

3.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAKA)

Doğal bir arı kolonisinde yapılacak işler o iş için özelleşmiş arılar tarafından yapılır. Yani, yapılacak işlere göre arılar arasında bir iş bölümü vardır ve herhangi bir merkezi otorite olmadan bu iş dağılımını gerçekleştirdikleri için kendi kendilerine organize olabilmektedirler. İş bölümü yapabilme ve kendi kendine organize olabilme sürü zekasının iki önemli özelliğidir [28].

Bu algoritmaya ait süreç adımları aşağıdaki gibi verilebilir:

Yiyecek arama süreci başladığında, kaşif arılar tarafından çevrede rastgele bir yiyecek arama işlemi yapılır.

Kaşif arılar yiyecek kaynaklarını bulduktan sonra, artık görevli arı olurlar ve buldukları kaynaklardan kovana nektar taşımaya başlarlar. Her bir görevli arı kovana dönüp getirdiği nektarı boşaltır ve bu noktadan sonra ya bulduğu kaynağa geri döner ya da kaynakla ilgili bilgiyi dans alanında sergilediği dans aracılığıyla kovanda bekleyen gözcü arılara iletir. Eğer faydalandığı kaynak tükenmiş ise görevli arı kaşif arı haline gelir ve yeni kaynaklar arayışına yönelir. Kovanda bekleyen gözcü arılar zengin kaynakları işaret eden dansları takip ederek ve yiyeceğin kalitesi ile orantılı olan dans frekansına bağlı olarak bir kaynağı tercih ederler.

3.1.1. Başlangıç yiyecek kaynağı üretilmesi

Arama uzayını yiyecek kaynaklarını içeren kovan çevresi olarak düşünürsek, algoritma arama uzayındaki çözümlere karşılık gelen rastgele yiyecek kaynağı yerleri üreterek çalışmaya başlamaktadır. Rastgele yer üretme süreci her bir parametrenin alt ve üst sınırları arasında rastgele değer üreterek gerçekleşir [28].

$$X_{ij} = X_j^{min} + rand(0,1)(X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (3.1)$$

Burada $i=1, \dots, SN$, $j=1 \dots D$ ve SN yiyecek kaynağı sayısı ve D ise optimize edilecek parametre sayısıdır. X_j^{min} , j . parametrenin alt sınırı, X_j^{max} ise j . parametrenin üst sınırıdır. Başlangıç aşamasından sonra yiyecek kaynaklarının görevli arı, gözcü arı ve kaşif arı süreçlerinden geçirilerek, daha iyisi bulunmaya çalışılır.

3.1.2. Görevli arıların yiyecek bölgelerine gönderilmeleri

Yiyecek kaynaklarının sayısı görevli arı sayısına eşittir. İşçi arı çalıştığı yiyecek kaynağı komşuluğunda yeni bir yiyecek kaynağı belirler ve bunun kalitesini değerlendirir. Yeni kaynak daha iyi ise bu yeni kaynağı hafızasına alır. Yeni kaynağın mevcut kaynak komşuluğunda belirlenmesinin benzetimi Eş. 3.2. ile tanımlanmaktadır[28].

$$v_{ij} = X_{ij} + \phi_{ij}(X_{ij} - X_{kj}) \quad (3.2)$$

X_i ile gösterilen her bir kaynak için bu kaynağın yani çözümün tek bir parametresi değiştirilerek X_i komşuluğunda v_i kaynağı bulunur. Eş. 3.2’de j , $[1,D]$ aralığında rastgele üretilen bir tamsayıdır. Rastgele seçilen j parametresi değiştirilirken, yine rastgele seçilen X_k komşu çözümünün ($k \in 1..SN$) j . parametresi ile mevcut kaynağın j . parametresinin farkları alınıp $[-1, 1]$ arasında rastgele değer alan ϕ_{ij} sayısı ile ağırlıklandırıldıktan sonra mevcut kaynağın j . parametresine eklenmektedir.

Eş. 3.2’de görüldüğü gibi X_{ij} ve X_{kj} arasındaki fark azaldıkça, yani çözümler birbirine benzedikçe, X_{ij} parametresindeki değişim miktarı azalacaktır. Böylece bölgesel optimal çözüme yaklaştıkça değişim miktarı da adaptif olarak azalmaktadır.

3.1.3. Dans benzetimi

Bu YAKA’nın çoklu etkileşim gösterdiğinin bir örneğidir. Olasılıksal seçme işlemi, algorithmada nektar miktarına karşılık gelen uygunluk değerleri kullanılarak yapılmaktadır. Uygunluk değerine bağlı seçme işlemi rulet tekerleği, sıralamaya dayalı, stokastik örnekleme, turnuva yöntemi yada diğer seleksiyon şemalarından herhangi biri ile gerçekleştirilebilir. Temel YAKA algoritmasında bu seleksiyon işlemi rulet tekerleği

kullanılarak yapılmıştır. Tekerlekteki her bir dilimin açısı uygunluk değeri ile orantılıdır[28].

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{j=1}^{SN} fitness_j} \quad (3.3)$$

Burada $fitness_i$, i. kaynağın kalitesini, SN görevli arı sayısını göstermektedir. Bu olasılık hesaplama işlemine göre bir kaynağın nektar miktarı arttıkça bu kaynak bölgesini seçecek gözcü arı sayısı da artacaktır. Bu özellik YAKA'nın doğal arıların davranışlarında ortaya çıkan pozitif geri besleme özelliğine benzer davranışa sahip olduğunu göstermektedir.

3.1.4. Gözcü arıların yiyecek kaynağı bölgelerini seçmeleri

Algoritmada olasılık değerleri hesaplandıktan sonra bu değerler kullanarak rulet tekerleğine göre seçim işleminde her bir kaynak için [0,1] aralığında rastgele sayı üretilir ve p_i değeri bu üretilen sayıdan büyükse görevli arılar gibi gözcü arı da Eş. 3.2'yi kullanarak bu kaynak bölgesinde yeni bir çözüm üretir. Yeni çözüm değerlendirilir ve kalitesi hesaplanır. Sonra, yeni çözümle eski çözümün uygunluklarının karşılaştırıldığı ve en iyi olanın seçildiği aç gözlü seleksiyon işlemine tabi tutulur. Yeni çözüm daha iyi ise eski çözüm yerine bu çözüm alınır ve çözüm geliştirmeme sayacı sıfırlanır. Eski çözümün uygunluğu daha iyi ise bu çözüm muhafaza edilir ve geliştirememe sayacı bir arttırılır. Bu süreç tüm gözcü arılar yiyecek kaynağı bölgelerine dağılana kadar devam eder [28].

3.1.5. Tükenen kaynağı bırakma ve kaşif arı üretimi

Bir çevrim sonunda tüm görevli ve gözcü arılar arama süreçlerini tamamladıktan sonra çözüm geliştirememe sayaçları kontrol edilir. Bir arının bir kaynaktan faydalanıp faydalanmadığı, yani gidip geldiği kaynağın nektarının tüketip tüketmediği çözüm geliştirememe sayacı belli bir eşik değerinin üzerindeyse, artık bu kaynağın görevli arısının tükenmiş olan o çözümü bırakıp kendisi için başka bir çözüm araması gerekmektedir [28].

3.1.6. YAKA adımları ve özellikleri

Aşağıdaki Şekil 3.1’de YAKA’nın akış şeması verilmiştir ve akabinde algoritmanın adımları açıklanmıştır.



Şekil 3.1. YAKA akış diyagramı [28]

YAKA algoritması araştırma esnasında dört farklı seleksiyon işlemi kullanmaktadır [28].

Bunlar;

- 1- Diğer kaynaklara göre daha iyi kaynakların belirlenmesine yönelik çalışan olasılık değerlerinin hesaplanarak kullanıldığı küresel seleksiyon işlemi
- 2- Görevli ve gözcü arıların renk, şekil, koku gibi nektar kaynağının türünü belirlemesini sağlayan, görsel bilgiyi kullanarak bir bölgeye eriştikten sonra o bölgedeki bir kaynağa karar verilmesine vesile olan bölgesel olasılık tabanlı seleksiyon işlemi

- 3- İşçi ve gözcü arıların daha iyi olan kaynağı belirlemek amacıyla kullandıkları aç gözlü seleksiyon işlemi

Kaşif arılar tarafından gerçekleştirilen rastgele seleksiyon işlemi

3.2. Genetik Algoritma (GA)

Son yirmi-yıl içinde, değişik mühendislik bilimlerine konu olan sistemlerin, bilgisayar aracılığı ile modellenerek tasarlanması, benzetilmesi, gelecek davranışlarının tahmini ve çözümlerin iyileştirilmesi için, doğal olayların işleyiş biçimlerinden esinlenerek ilgi çekici yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında canlıların genetik davranış biçimleri, genetik algoritmaların ortaya çıkmasında ve gelişmesinde çok önemli rol oynamıştır [29].

Goldberg'in tanımına göre GA, rastlantısal arama metodlarını kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına göre çalışan sezgisel bir arama tekniğidir[31].

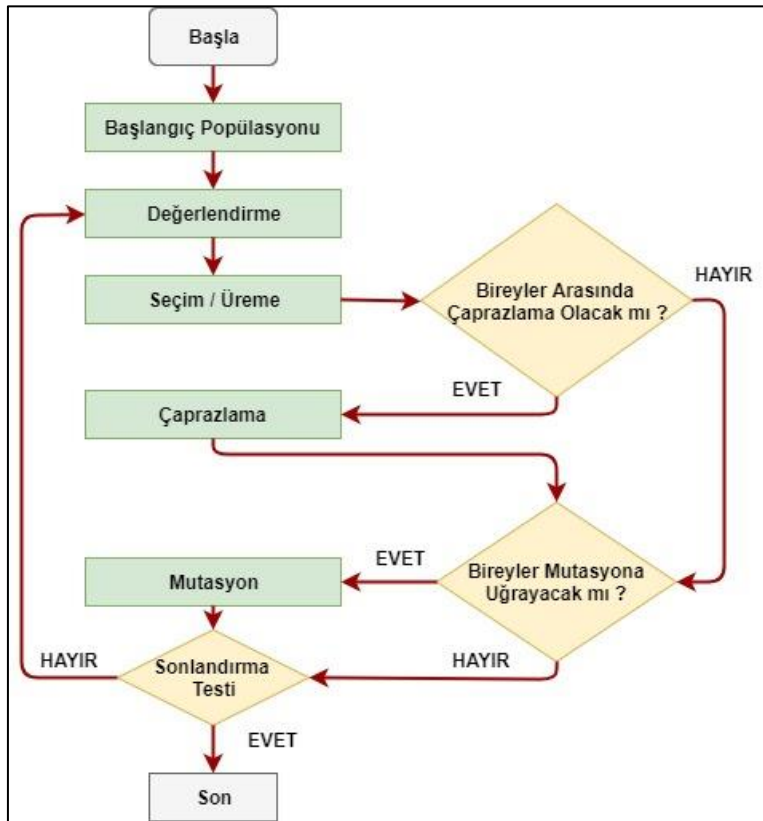
GA, doğal seleksiyon ve doğal genetiğin mekaniğine dayanan arama algoritmalarıdır. Genetikde, kromozomlardaki genler, her bir organizmanın fiziksel özellikleri için bir kod görevi görür ve her bir organizma, allelleri ile tamamen tarif edilebilir. Genlerin varlığı, yokluğu ve kromozomdaki düzenleri, bir popülasyonun bireysel türlerinin karakteristik özelliklerine karar verir. Farklı özellikler, genetik yapı üzerinde çalışan farklı biyolojik süreçlerle bir nesilden diğerine aktarılır. Bu genetik değişim süreci, en uygun olanın hayatta kalmasıyla ve çevreye iyi adapte olmuş bir popülasyonun ortaya çıkmasıyla tamamlanır.

GA araştırmalarının önemli bir bölümü fonksiyon optimizasyonu ile alakalıdır. GA, geleneksel optimizasyon tekniklerine göre zor, süreksiz ve gürültü içeren fonksiyonları çözmede etkinliği yüksektir. GA'nın uygulandığı diğer bir optimizasyon problemi ise, istenen amaçlara ulaşmak üzere, sınırlı kaynakların etkin tahsis edilmesiyle ilgili birleşik optimizasyon problemleridir. Gezgin satıcı problemi, araç yön bulma problemi, iş atölyesi çizelge problemi, yerleşim tasarımı problemi, birleşim optimizasyon problemlerine örnek olarak verilebilir.

3.2.1. Genetik algoritma çalışma prensibi

Genetik algoritmanın temel prensibi, her adımda, bir önceki nesilden daha yüksek bir amaç değerine sahip olan dizinin, yeni nesil için bir veya daha fazla yeni birey yaratma yeteneğine sahip olduğudur.

Standart bir genetik algoritma, gen dizilimlerin popülasyonu üzerinden çalışır. Her bir birey karar değişkenlerinin tümünü şifreleyen (kodlayan) bir çözüm sunar. Temel bir genetik algoritmanın akış diyagramı Şekil 3.2’de sunulmuştur.[29];



Şekil 3.2. GA akış diyagramı

GA'nın çalışma ilkesi aşağıdaki gibi sıralanabilir[31].

- 1- Toplumda bulunacak birey sayısı belirlenerek başlanılır. Bu birey sayısı ile ilgili kesin belirlenmiş bir sayı olmamakla birlikte yapılan araştırmalar neticesinde popülasyonda bu sayının en iyi 30-100 bireyden oluşması önerilmektedir.
- 2- Kromozomun ne kadar iyi olduğunu bulan işleve, uygunluk işlevi denir. Bu işlev sonucunda dizilerin uygunluk değerlerinin bulunmasına uygunluk değeri hesabı denir.

Bu işlev GA'nın ana yapısını oluşturan ve probleme özgü olarak çalışan tek kısmıdır. Uygunluk işlevi, dizileri problemin parametreleri haline getirerek onların bir bakıma şifresini çözmektedir. Bu parametrelere göre uygunluk değeri hesabı yapılarak dizi uygunluğu bulunur. GA'nın başarısı bu işlevin verimli ve hassas olmasına bağlıdır.

- 3- Dizilerin eşlenmesi, dizilerin uygunluk değerine göre yapılır. Bu seçimi yapmak için rulet tekerleği seçimi, turnuva seçimi gibi seçme yöntemleri kullanılır. En çok kullanılan seçim mekanizması olan rulet tekerleği seçimini açıklarsak;
 - a. Tüm bireylerin uygunluk değerleri bir tabloda tutulur.
 - b. Tabloya kaydedilen bu değerler toplanır.
 - c. Tüm bireylerin değerleri toplam değere bölünerek $[0,1]$ aralığında sayılar elde edilir ve elde edilen bu sayılar bireylerin seçilme olasılıklarıdır.
 - d. Seçilme olasılıklarının tutulduğu tablodaki sayılar birbirine eklenerek rastgele bir sayıya kadar ilerlenir. Bu sayıya ulaşıldığında yada geçildiğinde son eklenen sayının ait olduğu dizi seçilmiş olur. Rulet tekerleği seçimi çözümlerin uygunluk değerlerinin negatif olmamasını gerektirir. Çünkü olasılıklar negatif olursa bu çözümlerin seçilme şansı hiç olmayacaktır. Çoğunluğunun uygunluk değeri negatif olan bir toplumda yeni nesiller belli noktalarda takılıp kalabilir.
- 4- Çaprazlama ve değişim operatörleri GA'nın yürütücüsü olarak kabul edilir. Çaprazlama basitçe iki dizi arasındaki belirlenen parçaların yer değiştirmesidir. Değiştirme ise aynı dizinin bir parçasının dışarıdan değiştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Çok düşük bir değiştirme olasılığı toplumda bazı özelliklerin kaybolmasına neden olabilir. Bu da en iyi çözümün bulunmasını engelleyebilmektedir. Yüksek bir değiştirme olasılığı ise elde edilen çözümlerin bozulmasına sebep olabilir. Bu sebeple değiştirme olasılığı %0.1 - %15 aralığında seçilmektedir. Çaprazlama ise gen çeşitliliği olması için %60 - %90 arasında seçilmelidir.
- 5- Bu değişimler sonucunda dizi yapılarının içerdikleri bilginin ilk nesildeki bilgileriyle aynı olması gerekmektedir. Bunun için çaprazlama ve değişim operatörlerinin uygulanmasından sonra GA'nın uygulandığı problem tipine göre diziye tamir operatörü uygulama ihtiyacı doğabilir. Tamir operatörü kullanarak mevcut dizi bilgilerinin korunması sağlanır. Aksi taktirde GA çözüm uzayından çok uzaklaşarak sistem çözümünün imkansızlaşmasına neden olur.
- 6- Eski diziler çıkartılarak sabit büyüklükte yeni bir popülasyon sağlanır.
- 7- O andaki çözüm kümesindeki en iyi birey bir sonraki yığına aktarılır.
- 8- Tüm diziler yeniden hesaplanarak yeni toplumun başarısı elde edilir.

- 9- GA, belirlenen döngü sayısı veya durdurma kriteri sağlanana kadar çalıştırılır.
- 10- GA'nın işleyişinin sonucunda en iyi birey çözüm olarak alınır.

3.2.2. Genetik algoritma operatörleri

GA'da kullanılan parametreler algoritmanın performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Optimal parametreleri bulmak için birçok çalışma yapılmıştır fakat tüm problemler için genel olarak kullanılabilecek parametreler bulunamamıştır.

Bu parametreler, kontrol parametreleri olarak adlandırılmaktadır. Kontrol parametreleri popülasyon büyüklüğü, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı, kuşak aralığı, seçim stratejisi ve fonksiyon ölçeklemesi olarak sayılabilir. Bu parametreler aşağıda açıklanmaktadır.

Seçim Operatörü: Seçim işlemi, düşük uyumluluğa sahip kişiler yerine yüksek uygunluğu olan bireyleri tercih ederek algoritmayı çözüme ulaştırmaya çalışan bileşendir. Bu seçim işlemi deterministik bir işlem olabilir, ancak çoğu uygulamada rasgele bileşenlere sahip bir operatördür.

Seçim operatörleri arasındaki en yaygın teknik Rulet tekerleği seçimidir. Rulet seçimi, kromozomun uygunluğuna dayanan bir seçim tekniğine sahiptir. Uygunluğu en yüksek olan kromozom rulet çarkı üzerinde en büyük alanı kaplayacaktır ve seçilerek bir sonraki nesle aktarılacaktır.

Elitizm Operatörü: Elitizm, en formda kromozomları çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden korumak için kullanılan bir operatördür. Operatörün amacı, gelecek nesildeki en iyi kromozomlardan bazılarını sahip olmak ve onları kaybetmemektir. Elitizm, Genetik Algoritma'nın performansını hızla artırabileceği gibi daha iyi sonuçlara ulaşmaya engel de olabilir.

Mutasyon: Mutasyon, daha geniş bir çözüm alanı elde etmek için isteğe bağlı kullanılan bir operatördür. Mutasyon işlemi bir bireyde nesilden nesile meydana gelen genetik çeşitliliği korumak için küçük değişiklikler yapar. Mutasyon operatörü bununla birlikte, yerel bir minimumda sıkışıp kalmaktan kaçınarak daha geniş bir çözüm alanını kapsayacak şekilde geliştirilebilir.

Çaprazlama: Çaprazlama ve mutasyon, GA'nın üzerinde çalışabilmesi için yeni evrimsel malzeme meydana getiren iki prosedürdür. Çaprazlama işleminde, yeni bireylerin meydana gelmesi için popülasyondan iki birey seçilir. Bu, bit dizeleri boyunca bir veya iki rastgele seçilen geçiş noktasını seçerek elde edilir. Geçiş noktaları, yeni bireyler yaratmak için bireyler arasındaki değerlerin değişiminin nerede gerçekleşeceğini gösterir. Bu durumda, bir bireyin yeni bir neslin bit dizisinin ilk bölümü (geçiş noktasından önce) değişmeden kalır, uç bölüm (geçit noktasından sonra) diğer biriyle değerleri değiştirir. İkinci bir geçiş noktası kullanıldığında, kalan üçüncü kısım yine aynı kişiden gelir. Çaprazlama yapma olasılığı, değişken çaprazlama olanağı ile tanımlanır.

3.3. Simbiyotik Organizma Araştırma (SOA)

Mevcut meteheustik algoritmalar doğal fenomeni taklit ederler. Örneğin, YAKA bal arıların davranışlarını, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) hayvanların sürü halinde hareket etme davranışını taklit eder ve GA doğal evrim sürecini takip eder. SOA ise eşleştirilmiş bir simbiyotik organizma ilişkisinde en uygun ilişkiyi sağlayacak organizmayı aramak için kullanılır [32].

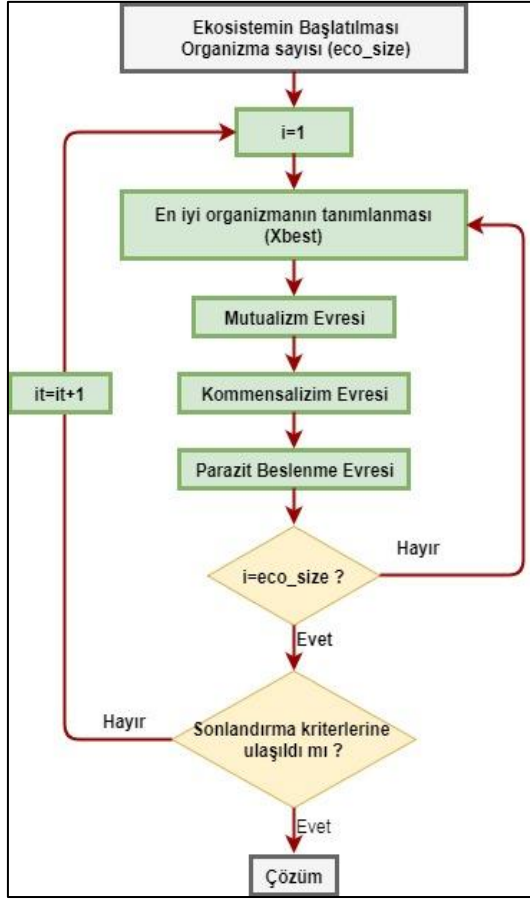
SOA ekosistemde hayatta kalmaya çalışan 2 organizma arasındaki ilişkiyi simule eder. Bu ilişki simbiyotik ilişki olarak tanımlanır ve 3 temel simbiyotik ilişki vardır [32,33,34]. Bunlar ;

Mutualizm: Farklı türlerden iki canlının karşılıklı yardımlaşması ve bu karşılıklı ilişkinin her iki tarafa da yarar sağlamasına dayalı olan bir ortak yaşam biçimidir. Bu evre için bal arısı ve çiçek klasik bir örnektir. Bal arısı çiçeklerden nektar toplayarak aynı zamanda çiçeklerden arasında polen transferinin gerçekleşmesine yardımcı olur.

Kommensalizm: Oluşturulan birlikte yaşam ilişkisinden sadece tek taraf yarar görürken diğer canlı ne yarar ne de zarar görmektedir.

Parazit Beslenme: Bu simbiyotik ilişki türünde, ilişkiyi meydana getiren organizmalardan birisi yarar görürken diğeri zarar görmektedir.

SOA algoritmasının akış şeması aşağıdaki Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. SOA algoritması akış diyagramı [34]

3.3.1. Mutualizm evresi

Bu evrede X_i ekosistemde bir organizmadır ve X_k bu ekosistemde X_i ile ilişki içerisinde bulunan random seçilmiş bir diğer organizmadır [33]. Bu organizmalar arasındaki etkileşim, ekosistemdeki organizmaların işlevsel değerlerini geliştiren, karşılıklı bir ilişki ile sonuçlanır. Bu nedenle, yeni organizmalar Müşterek Vektör (MV) ve Fayda Faktörleri (FV1 ve FV2) ile yönetilir. MV (iki organizmanın ortalaması) ' X_i ' ve ' X_k ' organizmaları arasındaki karşılıklı ilişki Eş. 3.6'da olduğu gibi ifade edilebilir.

Müşterek vektör ayrıca hesaplanan X_i ve X_k organizmaları arasındaki ilişkinin karakteristiğini temsil eden bir vektördür. Eş. 3.7 ve Eş. 3.8'de fayda faktörlerine buluşsal bir yöntemle karar verildiği görülmektedir. Dolayısıyla fayda faktörleri, organizmaların ' X_i ' ve ' X_k ' etkileşimden kısmen veya tamamen faydalanabildikleri iki durumu belirtir.

En iyi işlevsel değere sahip organizma, ekosistemin en iyi organizması (X_{best}) olarak kabul edilir. Bu aşamada, organizmalar ' X_i ' ve ' X_k ' de en iyi organizma ile etkileşime girer.

Eş. 3.4 ve Eş. 3.5 kullanılarak yeni aday organizmaların hesaplanması için aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$X'_i = X_i + rand(0,1)x(X_{best} - MVxVF_1) \quad (3.4)$$

$$X'_k = X_k + rand(0,1)x(X_{best} - MVxVF_2) \quad (3.5)$$

$$MV = \frac{X_i + X_k}{2} \quad (3.6)$$

$$FF_1 = 1 + \text{round}[\text{random}] \quad (3.7)$$

$$FF_2 = 1 + \text{round}[\text{random}] \quad (3.8)$$

3.3.2. Kommensalizim evresi

Mutualizm evresinde olduğu gibi X_k ekosistemden rastgele olarak seçilen ve X_i ile bu ekosistemde etkileşime giren organizmadır. Bu simbiyotik etkileşim X_i organizmasının işlevsel değerini geliştiren bir ortak-tecrübe ilişkisi ile sonuçlanır. Bununla birlikte, X_k organizması ilişkiden ne fayda ne de zarar doğurmaktadır. Dahası, organizma X_i ' de ekosistemin en iyi organizması ile etkileşime girer. Bu nedenle, bu aşama, arama alanının en iyi organizması yakınlarında iyi bir sonucu vaat eden bölgeyi korur ve algoritmanın yakınsama hızını artırmak için çalışır. Yeni popülasyonun matematiksel formülü, Eş. 3.9'de görüldüğü gibidir [33].

$$X'_i = X_i + rand(-1,1)x(X_{best} - X_k) \quad (3.9)$$

3.3.3. Parazit beslenme evresi

Bu fazda X_i , parazit vektör olarak adlandırılan yapay bir parazit kullanılarak oluşturulmuştur. Bu parazit vektör oluşturulurken ilk olarak, X_i çoğaltılır ve sonra arama uzayında rastgele olarak düzenlenir. Bir önceki evreye benzer olarak X_k ekosistemden

rastgele seçilir ve parazit vektöre konak olarak hizmet eder. Bu parazit vektör ekosistemde X_k 'yi değiştirmeye çalışır.

İki organizmanın uygunluk değeri değerlendirilir ve eğer parazit vektörün uygunluk değeri daha iyi ise X_k 'yi ekosistemde öldürerek onun yerine geçer. Aksi takdirde, X_k parazit vektöre karşı savunma gerçekleştirirse parazit vektör, ekosistemde uzun süre hayatta kalamaz [33].

4. TASARIM

4.1. Tasarımda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

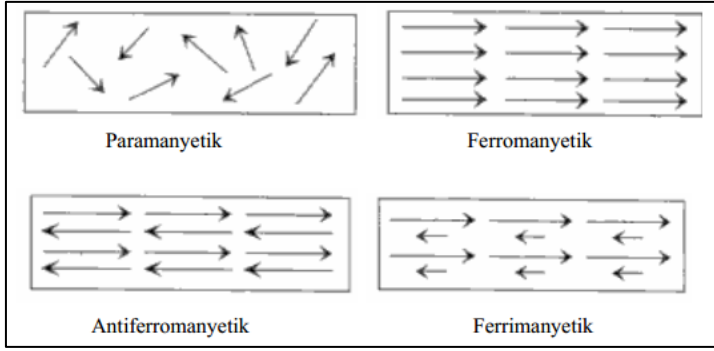
Elektrik makinalarının tasarımında çok sayıda malzeme kullanılmaktadır. Bunlar manyetik malzemeler, elektriksel iletken malzemeler ve yalıtkan malzemeler olmak üzere üç temel grupta toplanabilirler. Kullanılan bu malzeme tipleri her ne kadar bilinse dahi malzeme biliminin devamlı gelişme göstermelerinden dolayı ayrıntılı olarak incelenmelerine gerek görülmüştür.

Manyetik malzemeler, Diamanyetik, Paramanyetik, Ferromanyetik, Antiferromanyetik ve Ferrimanyetik olmak üzere beş ana grupta sınıflandırılabilir. Diamanyetik malzemeler bir manyetik momente sahip değildirler. Bu malzemeler bir manyetik alana maruz bırakıldığında, uygulanan manyetik alana zıt yönde akım üretirler. Paramanyetik malzemeler atomik düzeyde bir net manyetik momente sahiptirler ancak komşu momentler arasındaki bağlantı zayıftır. Bu momentler bir manyetik alan uygulanmasıyla aynı hizaya gelmelerine rağmen bu hizaya gelme dereceleri termal uyarmanın rastgele etkisiyle yüksek sıcaklıklarda azalır [35].

Ferromanyetik malzemeler atomik derecede net bir manyetik momente sahiptirler ancak paramanyetik malzemelerden farklı olarak komşu momentler arasında güçlü bir bağlantı vardır. Bu bağlantı domenler olarak adlandırılan mikroskobik bölgelerde momentlerin kendiliğinden aynı hizaya gelmelerini artırır. Domenler bir alan uygulamasıyla karşılaştığında daha güçlü bir hizalanmaya yönelirler.

Antiferromanyetik ve Ferrimanyetik malzemeler komşu momentlerinin biri diğerine ters paralel biçimde yönlendirilmiş atomik momentlere sahiptir. Antimanyetik malzemelerde komşu momentler eşittir ve bu sebeple net bir manyetik moment meydana gelmemektedir. Ferrimanyetik malzemelerde komşu momentler eşit değildir ve net bir moment vardır [36].

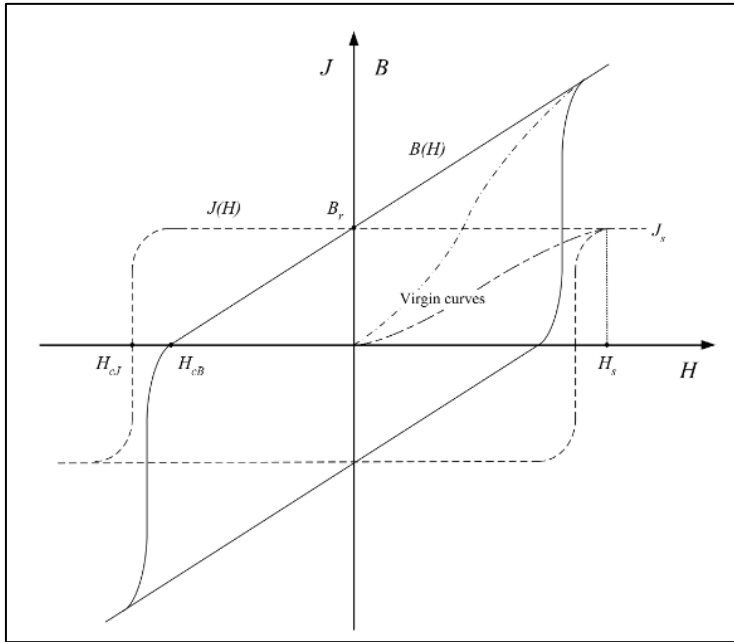
Malzemelerin bu manyetik özelliklerini gösteren şema aşağıdaki Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Manyetik malzemelerin gösterimi

4.1.1. Sert manyetik malzemeler

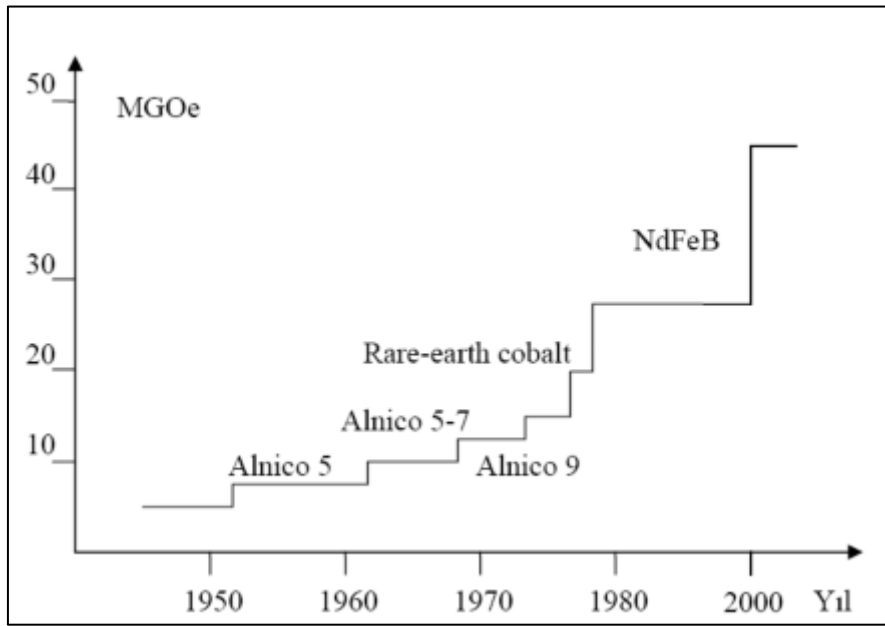
Sert manyetik malzemeler kalıcı mıknatıs malzemeleri olarak da adlandırılır. Kalıcı mıknatıslar yüksek zorlayıcı alan kuvvetlerine sahiptirler, bu da yüksek manyetikleşme alanlarının malzemenin manyetik polarizasyonunda kayıp olmadan meydana gelebileceği anlamına gelir [40].



Şekil 4.2. Manyetik malzemelerin histerisiz çevrimi [40]

Kalıcı bir mıknatısın manyetik çalışma aralığı, esas olarak, histeresis döngüsünün ikinci çeyreğinde yer alan demanyetizasyon eğrisi üzerinde bulunur. Bazı kalıcı mıknatıslar, çalışma sıcaklıkları uygun olduğunda üçüncü çeyrek bölgede de kayıp olmadan çalışabilmektedir.

Kalıcı mıknatıslar: Kalıcı mıknatıslar kimyasal yapılarına göre üç temel grupta toplanabilirler. Bunlar; AlNiCo, seramik (Ferrit), ve Azrak-Toprak mıknatıslardır. Bunlar ayrıca yapılaş biçimlerine göre alt sınıflandırılmalara da ayrılırlar. Diğer mıknatıslar metalik iletken olmalarına karşın Ferrit olanlar (mıknatıssal olarak güçlü seramik), elektriksel ve ısısal olarak yalıtandırılar. AlNiCo'lar nispeten yüksek remenans ve düşük koersif kuvvete sahiptirler. Seramikler düşük remenans ve oldukça yüksek koersiviteye sahiptirler. Buna karşın bu iki parametre Azrak toprak mıknatıslarında yüksek değerlere sahiptir. Seramikler çok ucuz ve bol olan ham malzeme kullanırlar.



Şekil 4.3. Maksimum enerjilerine göre kalıcı mıknatısların gelişim süreci [35]

Ferit mıknatıslar: Gelişimi 1950'lere kadar uzanan ferit mıknatıslar, mıknatıs türleri açısından en ucuzlarından ve en çok kullanılan kalıcı mıknatıs malzemelerinden birisidir. Ferit mıknatıslar, toz metalurjik yöntemler kullanılarak üretilirler ve yaygın olarak seramik mıknatıslar olarak adlandırılırlar.

Üretim, ıslak ya da kuru demir oksit (Fe_2O_3) ile ya da Ba, Sr ya da Pb karbonat ile karıştırılarak başlar. Karışım daha sonra 1000 ve 1350 ° C arasında bir sıcaklıkta kalsine edilir. Kalsine edilmiş malzeme daha sonra preslenir ve toz haline öğütülür. İzotropik mıknatıslar, tozun istenen bir şekle kurutulması ve preslenmesi ile oluşturulur ve ardından 1100 - 1300 ° C aralığında bir sıcaklıkta pişirme işlemi yapılır [36].

Alnico mıknatıslar: Alnico alaşımların kullanımı 1930'ların başlarına kadar uzanmaktadır. Başlıca bileşenleri demir, kobalt, nikel ve alüminyum ile birlikte bakır gibi az miktarda diğer metallerdir. Üretim yöntemleri, sıvı alaşımın dökülmesiyle veya metal tozlarının preslenmesi ve pişirilmesi ile sınırlıdır. Bir kere oluşturulduktan sonra alaşım, Al-Ni-Fe-Co matrisi boyunca manyetik parçacıkların dağılımını minimize edecek şekilde kontrollü ısı işlemine tabi tutulur. Alnico mıknatıslar, manyetik parçacıkların oluşumu sırasında yönlendirilip yönlendirilmediğine bağlı olarak izotropik veya anizotropik olabilir. Bu mıknatıslar, ısıl işlemin yapısına ve orijinal alaşımın döküm ve pişirme ile hazırlanıp hazırlanmadığına bağlı olarak geniş bir özellik yelpazesi sergiler [36].

Samaryum-Kobalt mıknatıslar: Samaryum-kobalt (SmCo) mıknatıslarının gelişimi 1960'larda başlamakla birlikte, Samaryum, 58 ile 71 arasında değişen atom sayılarına sahip bir geçiş grubu oluşturan nadir toprak elementlerinden biridir ve yaygın olarak kullanılan iki SmCo malzemesi SmCo5 ve Sm2Co17'dir. Ayrıca ilk olarak kullanılan samaryum kobalt mıknatıslar, bir reçine içinde SmCo5 tozunun bağlanmasıyla meydana getirilmiştir.

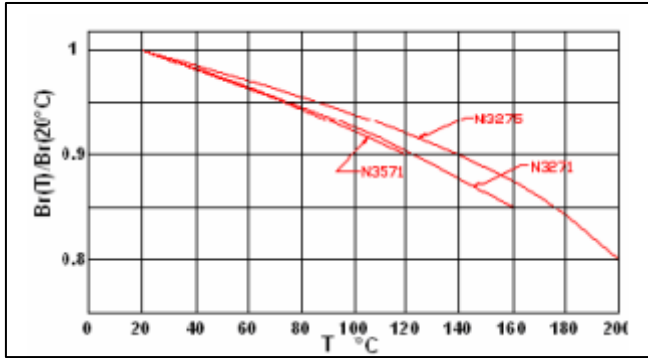
Neodmiyum mıknatıslar: Neodimiyum-demir-bor (NdFeB) alaşımı mıknatıslar ile ilgili çalışmalar, SmCo mıknatıslara alternatif olması maksadı ile 1980'lerin başlarına kadar uzanmaktadır. Kobaltın maliyeti ve kullanılabilirliğinin verdiği endişelerle birlikte neodmiyumun samaryumdan çok daha fazla olması yapılan çalışmaları desteklemiştir.

NdFeB tozları farklı metodlar kullanarak üretilebilmektedir. Mıknatıslar bittiği zaman izotropik yada anizotropik olabilir.

Kalıcı mıknatıslarda yön kavramı: İlk üretilen mıknatıslarda, manyetik özellikler yöne bağlı değildi. Yani mıknatısların manyetik özellikleri bütün yönlerde hemen hemen aynı idi. Bu tür mıknatıslar eş yönlü (isostropic) mıknatıslar olarak adlandırılırlar. Eş yönlü mıknatıslar küçük güçlü uygulamalarda kullanılabilir olsalar dahi, bu daha küçük kalıcı mıknatisiyet ve enerji üretimi anlamına geldiğinden oldukça pahalı olan malzemelerin verimsiz olarak kullanılması demektir. Araştırmalar sonucunda, manyetik özelliklerin belirli bir yönde yoğunlaştırılması ile mıknatısların daha etkin duruma gelmesi sağlanmıştır. Elde edilen bu mıknatıslar, eş yönsüz (anisotropic) mıknatıslar olarak adlandırılırlar. Mıknatısların yönlendirilmesi amacı ile en yaygın olarak kullanılan yöntem, manyetik malzemenin bir manyetik alan içinde tavlınması ve böylece atomların alan etkisi

ile yönlendirilmesidir. Manyetik eş yönsüz bir malzeme manyetik özellik bakımından farklı yönlerde farklılıklar gösterir[35].

Isının kalıcı mıknatıslar üzerindeki etkisi: Mıknatısların manyetik özelliklerini değiştiren bir etken de ortam sıcaklığıdır. Yüksek sıcaklıklarda, uzun süre belirgin bir sıcaklık düzeyinin üstünde bulunma durumunda, mıknatıs malzemenin mıknatıslanmasını engelleyebilecek metalürjik değişimler oluşabilir. Bu metalürjik değişim sıcaklığının yanı sıra, mıknatısın kalıcı mıknatıslığın sıfırlandığı, ancak metalürjik değişiklik olmadıkça üstüne çıkıldığında mıknatıslanmanın yeniden olanaklı olduğu Curie sıcaklığı da tanımlanmıştır. Sıcaklığın bazı NdFeB mıknatıslarda B_r 'ye olan etkisi Şekil 4.4'te verilmektedir.



Şekil 4.4. Sıcaklığın bazı NdFeB mıknatıslarda B_r 'ye etkisi [35].

Yumuşak manyetik malzemeler: Yumuşak manyetik malzemeler, sert manyetik materyallere zıt olarak, dar bir histerezis döngüsüne dönüşen düşük bir zorlayıcı alan kuvvetine sahiptir.

Yumuşak manyetik malzemeler, düşük alan güçlerinde yüksek indüksiyon nedeniyle manyetik akı iletkenleri olarak kullanılır. Tipik olarak dar histerezis döngüsü düşük histerezis kayıpları ile sonuçlanır (histerezis kayıpları histerezis döngüsü alanı ile orantılıdır).

Bu malzemeler, alternatif olarak değişen mıknatıs alan uygulamaları (Elektrik motoru ve generatörü vb.) için çok uygundur.

4.1.2. Yalıtkan malzemeler

İzolasyon malzemeleri farklı potansiyellerdeki parçalar arasında elektrik yalıtımı sağlamak için kullanılır. İyi yalıtım malzemelerinin gerekli özellikleri aşağıdaki gibi verilebilir[35]:

- Yüksek izolasyon direnci
- Yüksek dielektrik dayanımı
- Düşük dielektrik kayıp
- Nem emilimi yok
- Bozulma olmaksızın tekrarlanan bir ısı çevrimine dayanabilme
- İyi ısı iletkenliği
- Titreşimlere ve bükülmelere dayanacak iyi mekanik mukavemet
- Katı malzeme yüksek bir erime noktasına sahip olmalıdır.
- Sıvı malzemeler buharlaşmamalı veya buharlaşmamalı.

Yalıtkan malzemeleri sınıflandırılması aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Yalıtkan malzemelerin sınıflandırılması [39]

Malzeme	50Hz'de Dielektrik Gücü (kV/mm)	20 ⁰ C'de Direnç Ω -cm	50Hz'de Dielektrik Sabite	Güvenli Sıcaklık (⁰ C)
Pamuk	3 - 4	$10^9 - 10^{13}$	-	90
Kağıt	6 - 10	10^{15}	2.5	90
Fiber	5	$10^9 - 10^{18}$	4 - 6	90
Kauçuk	15 - 25	$10^6 - 10^{15}$	3 - 4	40
Mika	40 - 80	5×10^{13}	5 - 8	500
Bakalit	20 - 25	3×10^{13}	5 - 6	200
Porselen	10 - 20	10^{13}	4 - 7	-

4.1.3. İzalasyon malzemeleri

Elektrik makinelerinde kullanılan bakır iletkenler, termal sınıfına göre bir çeşit yalıtım malzemesi ile kaplıdır. Farklı sıcaklık seviyeleri için iletkenlerin izalasyonunda kullanılan yalıtım malzemelerinin türleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.2. İzolasyon malzemelerin sınıflandırılması [39]

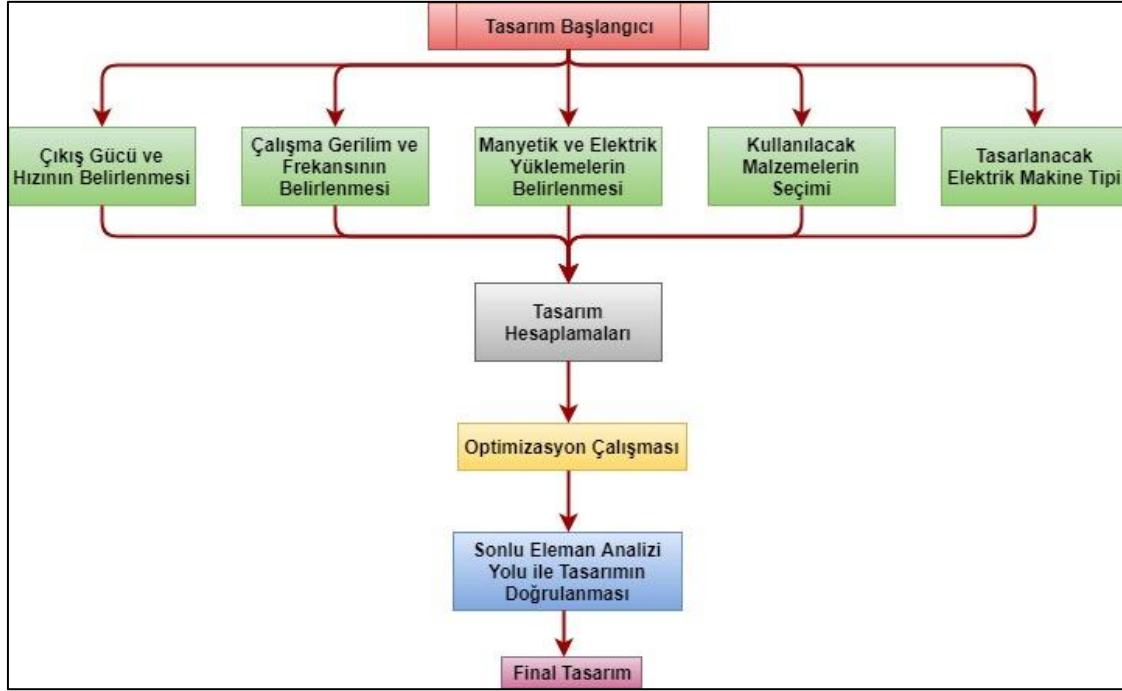
İzolasyon Sınıfı	Maksimum İzin Verilen Sıcaklık	Malzeme
A	105	Yağ gibi dielektrik sıvıya emdirilmiş pamuk, ipek ve kağıt.
E	120	120 ° C'de yapısı bozulmayan dielektrik sıvıya emdirilmiş pamuk, ipek ve kağıt.
B	130	130 ° C'de yapısı bozulmayan dielektrik sıvıya emdirilmiş Mika, cam elyaf
F	155	155 ° C'de yapısı bozulmayan dielektrik sıvıya emdirilmiş Mika, cam elyaf, asbest
H	180	Silikon reçinelerle mika, cam elyaf, asbest içeren silikon elastik malzemeler
C	225	Silikon reçinelerle mika, cam elyaf, asbest içeren silikon elastik malzemeler

Küçük çaplı elektrikli makinelerde, maliyeti azaltmak için A ve E sınıfı yalıtım malzemeleri kullanılabilir. Ancak daha büyük güçlü makinelerin çalışma sıcaklıkları daha yüksek olduğundan dolayı uygun değildir. Yapılan çalışmalar sonucunda, Class-B ve Class-F izolasyon sınıflarının , ticari kullanım için sırasıyla orta ve büyük oranlı makineler için en uygun olduğunu kanıtlamıştır.

Class-H ve Class-C izolasyonları diğerlerine göre maliyetlidir ve bu nedenle ekonomik yönü öncelikli kriter olmayan özel uygulamalarda (denizaltı, uzay aracı vb.) tercih edilmektedir.

4.2. Elektrik Makina Tasarımına Genel Bakış

Bu bölümde KMSM'nin tasarımı üzerine yoğunlaşılacaktır ve ana hatları ile bir model oluştuktan sonra bir sonraki aşama olan analitik ve sonlu eleman analizleri gerçekleştirilecektir.



Şekil 4.5. Elektrik makina tasarım ve optimizasyon akışı

Yukarıdaki şekil incelendiğinde tasarım hesaplamalarına başlamadan önce tasarlanacak elektrik makinası ile alakalı bazı temel bilgilere ihtiyaç vardır. Bunlardan bazıları çıkış gücü ve hızı gibi tasarımdan önce bilinebilir ancak bazıları ise manyetik ve elektrik yüklemeler gibi tasarımdan önce tasarımcı tarafından tahmin edilir.

Tasarım hesaplaması öncesinde gerekli parametreler sağlandıktan sonra tasarım hesaplamaları gerçekleştirilir. Elektrik makinaları çok karmaşık tasarım hesaplamaları içerdiğinden dolayı ilk olarak temel bir başlangıç modeli elde edilir ve bu model optimize edilir. Optimize edilen modelin yani tasarımın doğrulama işlemi ise sonlu eleman analizi ile gerçekleştirilir ve böylece tasarım tamamlanmış olur.

Elektrik makinalarının tasarımına boyutlandırma hesaplamaları ile başlanılır ve başlangıçta birden fazla parametrenin tahmin edilmesi gerekmektedir.

Elektrik makinaların boyutlarını birçok parametre etkilemektedir. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

- Makinanın Hızı
- Makinanın Gücü

- Makinanın Tipi
- Makinanın Soğutma Şekli
- Makinanın Gerilimi
- Makinanın Faz Sayısı
- Makinanın Çalışma Rejimi [S1-S9]
- Tasarım sonucunda istenilen verim
- Ekonomik ve imalattan kaynaklanan sınırlandırmalar.

D stator iç çapını (mm), L nüve uzunluğunu (mm), n ise motorun anma hızını (dev/dk) ve göstermektedir. Burada D ve L parametrelerinin doğrudan elektrik makinasının gücünü etkilediği görülmekte ve tasarım için önemi anlaşılmaktadır.

Makinanın aktif kısımlarının hacmi D^2L ile yakından ilişkilidir ve anma torku ile orantılıdır. Bundan dolayı çıkış katsayısı birim hacim başına anma torku ile orantılıdır. Makinanın aktif parçalarının hacmi, boyutu ve genelde maliyeti hızın artışı ile azalır ve/veya çıkış katsayısının değeri ile artar. Çıkış katsayısı $\bar{B}$ ve ac 'nin çarpımı ile orantılı olduğundan tasarımda spesifik yüklemelerin olası en yüksek değerlerinin kullanılması istenilir ancak bu parametreleri etkileyen birçok etmen bulunmaktadır. Spesifik manyetik yüklemenin sınırlarını, kullanılan malzemenin doyum noktası, soğutma yöntemi, çalışma rejimi, histerisis ve eddy akım kayıpları belirler. Spesifik elektrik yüklemenin belirlenmesinde ise bakır kaybı, soğutma stratejisi, yalıtkan malzemenin sıcaklık sınırlaması, yük cinsi ve çalışma rejimi rol oynar. Bu geleneksel tasarım sürecinin başlangıcında kabul edilen $\bar{B}$ ve ac değerleri tasarımcının tecrübesi dâhilinde tahmin edilir [45-46].

5. ANALİZLER VE OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI

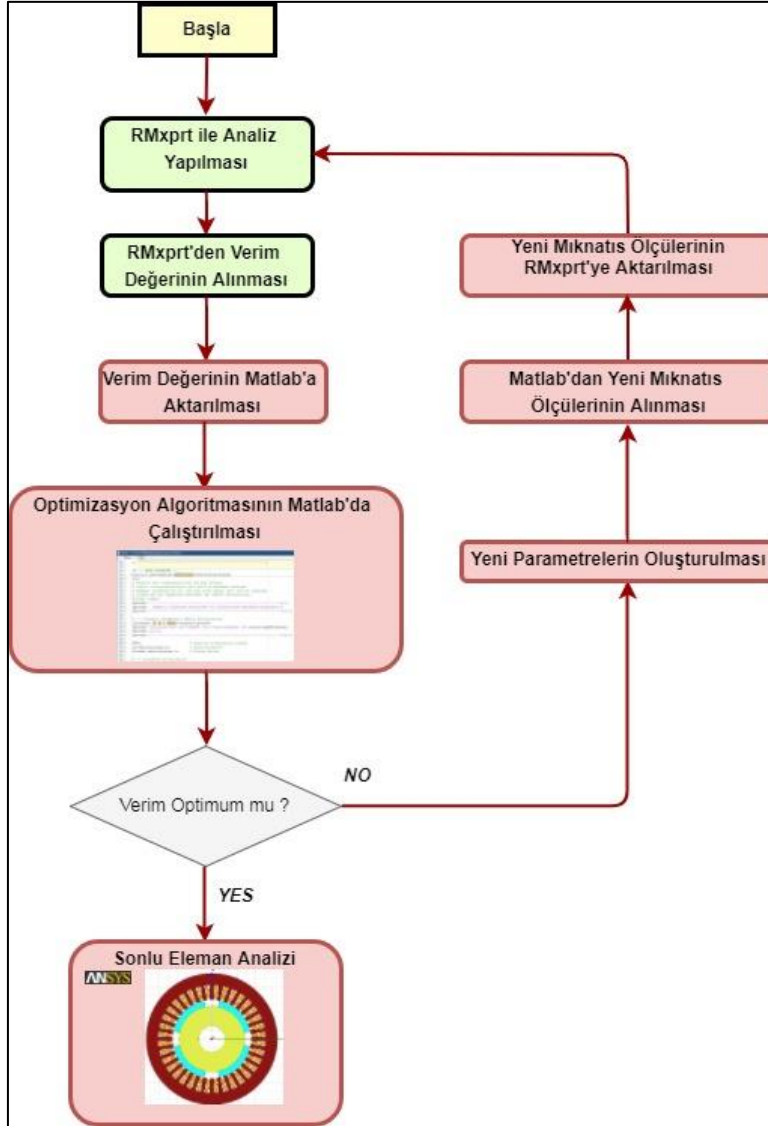
Bu çalışmada, Ansys içerisinde yer alan optimizasyon algoritmalarından bağımsız olarak elektrik makina tasarım optimizasyonunu gerçekleştirmek ve farklı optimizasyon yöntemlerini kullanılabılır kılmaktır.

RMxpirt yazılımı içerisinde çok sayıda makine modeli bulunan ve analitik hesaplamalar kullanan bir programdır ancak optimizasyon çalışması için bünyesinde kısıtlı sayıda optimizasyon algoritması bulundurmaktadır. Bunlar :

- 1- Sequential Nonlinear Programming (SNP)
- 2- Sequential Mixed Integer NonLinear Programming (SMINP)
- 3- Quasi Newton (QN)
- 4- Pattern Search (PS)
- 5- Genetik Algoritma (GA)

RMxpirt içerisinde farklı optimizasyon yöntemleri kullanmak için kod yazılabilir olsa dahi kullanışlı olmadığından dolayı genellikle Ansys ile gerçekleştirilen elektrik makina tasarım çalışmalarında mevcut optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır.

Geliştirilen yöntem ile RMxpirt içerisinde yer alan istenilen elektrik makine türü, MATLAB programında üzerinde kullanılabilecek herhangi bir optimizasyon metodu ile tek amaçlı veya çok amaçlı olarak optimize edilebilir. Ek olarak Ansys programının RMxpirt hariç Maxwell 2D ve Maxwell 3D gibi SEY kullanan yazılımları ile de bu optimizasyon yöntemi kullanılabılır ancak SEY analiz sürelerinin uzun olmasından dolayı bu çalışmada analitik olarak optimizasyon çalışması yapılmış ve akabinde optimum çözümler SEA'ne tabi tutularak doğrulanmıştır ve uygulanan yöntemin sürecini gösteren akış şeması aşağıdaki Şekil 5.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.1. Optimizasyon süreci akış şeması

Akış şeması incelendiğinde optimum çözüm elde edilene kadar Ansys ve Matlab programları eş zamanlı olarak çalışmalarını devam ettirdikleri görülmektedir.

Bu çalışmada geliştirilip kullanılan Ansys Maxwell ve MATLAB arasındaki bağlantı oluşturulan script kodlar sayesinde sağlanmıştır ve yalnızca elektrik makinaları optimizasyonlarında değil, aynı zamanda elektrik alan ve manyetik alan problemlerinin çözümlerinde ve optimizasyonlarında kullanılabilmektedir.

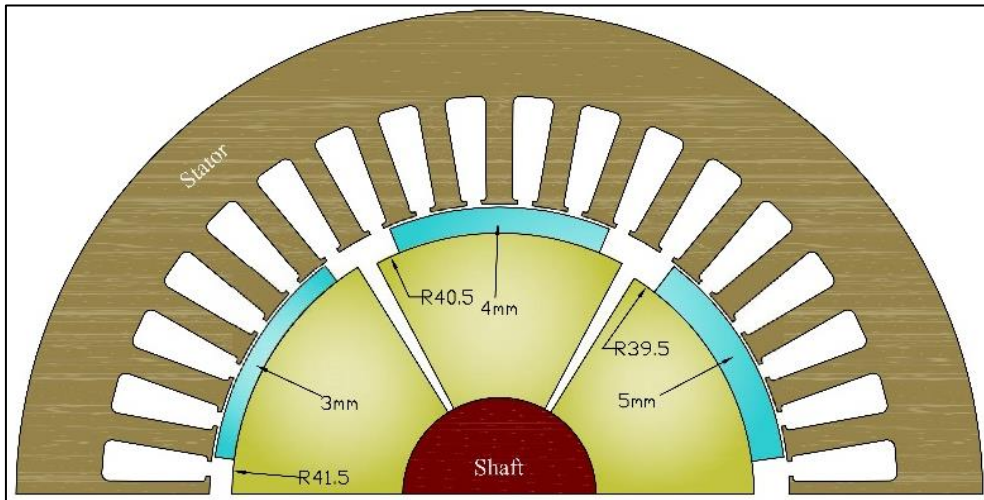
5.1. KMSM Tasarım Optimizasyonu

Bu çalışmada ilk aşama olarak analitik yöntemler ile tasarımı tamamlanan KMSM'nin Ansys Electromagnetic Suite 17 ile analitik olarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte Ansys Electromagnetic Suite 17 paket programı içerisinde yer alan RMxpert ve Maxwell yazılımları kullanılmıştır.

Başlangıç modeli elde edildikten sonra akabinde GA, YAKA ve SOA yöntemleri kullanılarak optimum bir mıknatıs geometrisi elde ederek maksimum verime sahip bir KMSM elde edilmeye çalışılmıştır.

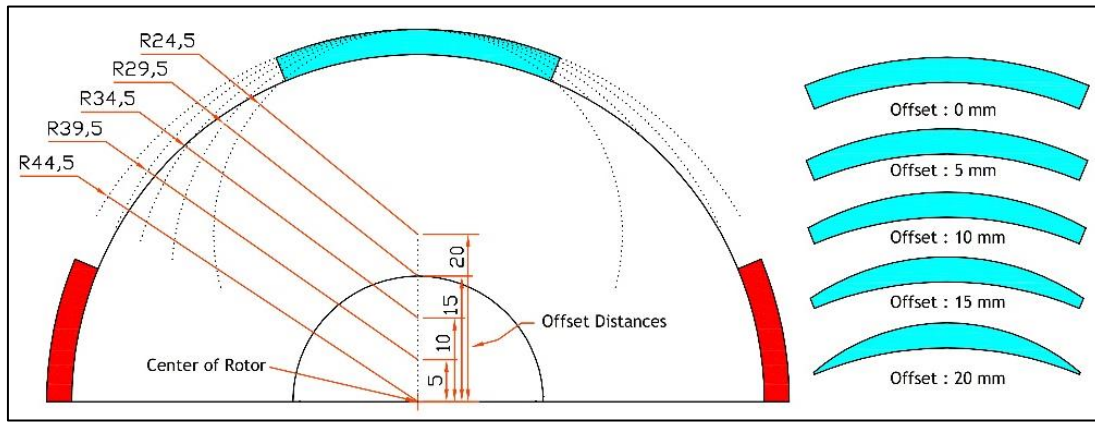
Bu bölümde ilk olarak tasarımı gerçekleştirilen KMSM'nin RMxpert ile analitik analizi ve akabinde Ansys Maxwell 2D ile sonlu eleman analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra geliştirilen yöntem ile farklı optimizasyon algoritması kullanılarak analitik optimizasyon çalışması yapılmış, elde edilen optimum parametreler ile her bir optimizasyon yöntemi için Maxwell 2D analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Mıknatısa ait mıknatıs kalınlığı, ofset ve Kutup Yayı / Kutup Adımı Oranı (KYO) değerlerinin değişiminin motor geometrisi üzerindeki fiziksel gösterimi Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4'de sırasıyla verilmiştir. Şekiller ölçekli olarak çizilmiş olup gerçek motor modeline aittir.



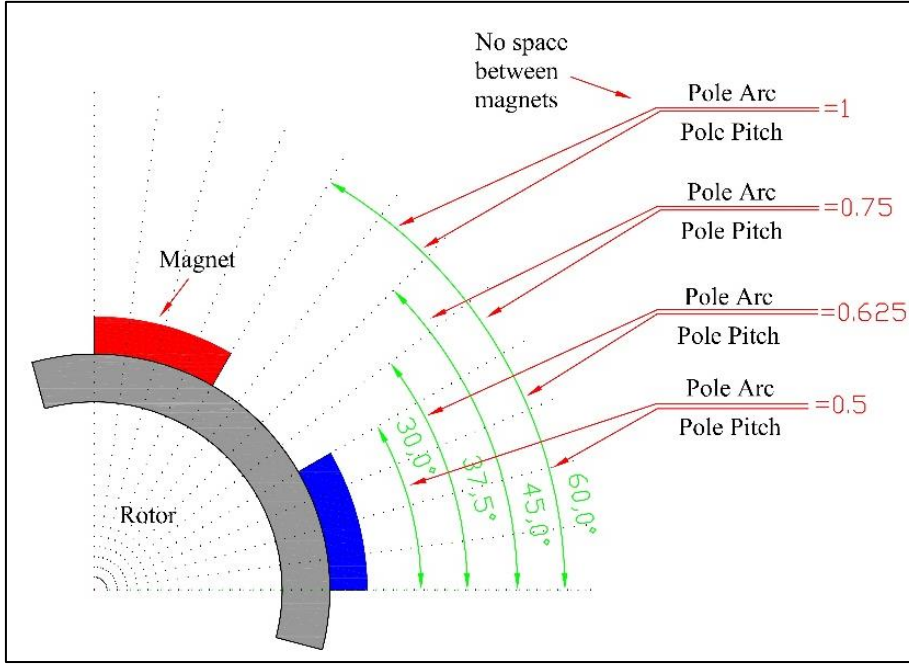
Şekil 5.2. Farklı Mıknatıs Kalınlıklarının Motor Üzerinde Gösterilmesi

Şekil 5.2’de görüleceği üzere hava aralığı ve şaft ölçüleri sabit tutularak mıknatıs kalınlığı değiştirilmiştir. Mıknatıs kalınlığının değişimi ile birlikte rotor back iron ölçüleri de değişmektedir. Optimizasyon çalışmaları sırasında mıknatıs kalınlığı değeri 2.5-5mm aralığında değiştirilmiştir. Mıknatıs kalınlığının artması, toplam mıknatıs tüketimini dolayısı ile motor maliyetini arttırmakla birlikte, hava aralığı akı yoğunluğunu ve vuru-tu torku değerini de arttırmaktadır. Pek çok tasarımcı açısından hedeflenen ortak özelliklerden biri de minimum mıknatıs tüketimi ile maksimum verim değerini yakamak olduğuna göre mıknatıs kalınlığının optimizasyonu bir zorunluluk olarak ifade edilebilir.



Şekil 5.3. Farklı Ofset Değerlerinin Mıknatıs Geometrisi Üzerinde Gösterimi

Şekil 5.3’de gösterildiği üzere ofset değeri rotor merkezinden belirli bir uzaklığa tanımlanan yardımcı bir nokta olarak ifade edilebilir. Tanımlanan bu offset uzaklığı doğrudan mıknatısın hava aralığına bakan yüzey geometrisini değiştirmektedir. Offset değerinin artması ile birlikte mıknatıs kenar kalınlıkları azalmakta ve sabit bir hava aralığından ziyade değişken bir hava aralığı mesafesi ortaya çıkmaktadır. Bu değişim çoğu zaman hava aralığı akı yoğunluğu değişimini dolayısı ile elde edilen back emf değerini sinüsoidal forma yaklaştırdığı için generatörlerde sıklıkla tercih edilmektedir. Motor olarak çalışma durumu dikkate alındığında offset değeri tanımlamak, harmoniklerin, vuru-tu torkunun ve mıknatıs tüketiminin azaltılması gibi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Diğer taraftan limitlerin üzerinde bir offset değeri tanımlamak ortalama hava aralığı akı yoğunluğu değerinde ciddi düşüşlere yol açarak motorun çıkış gücünde de düşmelere sebep olabilir. Bu sebeplerle optimum bir offset değeri seçilerek, vuru-tu torku ve mıknatıs tüketimi azaltılırken verim de artırılabilir. Optimum offset değerinin bulunabilmesi için optimizasyon çalışmalarında belirlenen offset değer aralığı 0-12mm’dir.



Şekil 5.4. Farklı KYO Değerleri

KYO değerinin değişimi Şekil 5.4’de verilmiştir. Embrace değeri kutup yayı / kutup adımı oranı olarakda bilinmektedir. Bu değer 1 olması kısaca rotor yüzeyinin tamamen mıknatıslarla kaplandığını ve mıknatıslar arasında hiç boşluk olmadığını ifade etmektedir. Çeşitli motor tasarımlarına bakıldığında tasarım kriterlerine göre bu değer genellikle 0.5-1 aralığında değiştiği görülmektedir. Embrace değerinin değişimi mıknatıs ile stator olukları arasındaki etkileşimi değiştirdiği için açık tip oluklara sahip makinalarda vuruntu torku değerini de etkilemektedir. Bununla birlikte ortalama hava aralığı yoğunluğu ve dalga formu, toplam mıknatıs tüketimi, çıkış gücü ve verim üzerinde söz sahibidir. Optimum güç yoğunluğu, mıknatıs tüketimi ve verim arasındaki ilişkiyi yakalayabilmek adına bu parametrenin de optimize edilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak mıknatıs kalınlığı, offset ve embrace değerleri mıknatıs geometrisi üzerinden doğrudan etkiye sahip olup mıknatıs geometrisini değiştirmekte ve bununla birlikte motora ait güç ve verim gibi önemli parametreler değişmektedir.

5.1.1. Analitik olarak elde edilen KMSM tasarımı

Analitik olarak tasarımı gerçekleştirilen KMSM’nin genel boyutları ortaya çıkarılmıştır ve elde edilen KMSM’nin detay performans çıktıları için RMxpert kullanılmıştır. RMxpert ile analitik analiz işlemleri tamamlanan KMSM’nin 2D analizi gerçekleştirilmiştir. Daha

sonra GA, YAKA ve SOA algoritmaları ile 5000 iterasyon olmak üzere mknatis geometrisi optimize edilmiş ve optimum çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Elde edilen bu parametreler KMSM'nin nihai parametreleri olarak kabul edildikten sonra her bir sonuun doğrulanması için 2D SEA yapılmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 5.1'de analitik olarak elde edilen motorun genel özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Analitik olarak elde edilen KMSM'nin genel özellikleri

Parametre	Değer
Anma Gücü (kW)	3
Anma Gerilimi (V)	305
Kutup Sayısı	4
Frekans (Hz)	50
Sürtünme Kayıpları (W)	25
Rüzgar Kayıpları (W)	25
Rotor Pozisyonu	İç Rotorlu
Kaynak Tipi	Sinüs
Çalışma Sıcaklığı (C)	75

Elektrik makinalarında rüzgâr sürtünme kayıplarını tahmin etmek zor olduğu için tahmini olarak 50W kabul edilmiştir. Ayrıca çalışma sıcaklığı 75 °C olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.2. KMSM Stator parametreleri

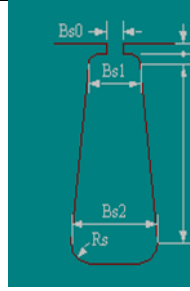
Parametre	Değer
Stator Oluk Sayısı	36
Stator Dış Çapı (mm)	150
Stator İç Çapı (mm)	90
Kullanılan Silisli Sac	M270-35A
Stator Nüve Uzunluğu (mm)	130

Stator çapına karar verilirken NEMA standartları da göz önüne alınmıştır ve stator dış çapının 150 mm olmasına karar verilmiştir. NEMA standardına göre bu geometrik ölçülerde, tasarlanan motor 100 tip olarak adlandırılmaktadır.

Çizelge 5.3. (a) KMSM Stator oluğunun ölçüleri

(b)Tasarımda kullanılan oluk

Parametre	Değer
hs0 (mm)	0,637
hs1 (mm)	0,5
hs2 (mm)	14,45
bs0 (mm)	2,3
bs1 (mm)	4
bs2 (mm)	6,35
Rs (mm)	1,2



Stator oluk geometrisi son Çizelge 5.3'deki değerlerini almadan önce parametrik çözümler gerçekleştirilmiş ve nihai değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.4. KMSM Rotor parametreleri

Parametre	Değer
Minimum Hava Aralığı (mm)	0,5
Rotor İç Çap (mm)	30
Rotor Nüve Uzunluğu (mm)	130
Kullanılan Malzeme	ST37

Rotor iç çap ölçüsü seçilirken, muadili hız ve güçte olan motorların mil ölçüsü dikkate alınmış ve seçilmiştir. Ayrıca nüve malzemesi olarak ST37 kullanılmıştır.

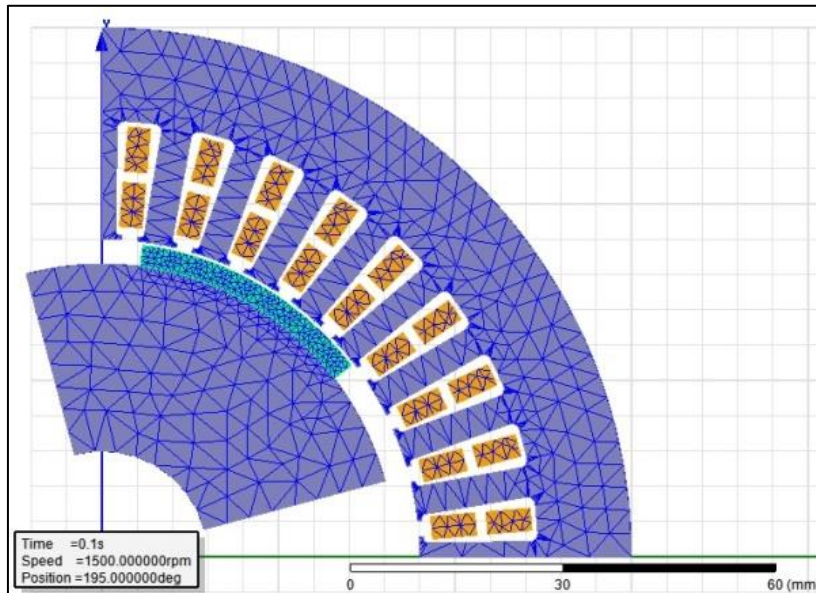
Çizelge 5.5. KMSM mıknatıs parametreleri

Parametre	Değer
Kutup Yayı (mm)	37,5
Mekanik Kutup Embrace	0,5
Elektriksel Kutup Embrace	0,46445
Mıknatısın Maksimum Kalınlığı (mm)	3
Mıknatısın Genişliği (mm)	33,7721
Mıknatıs Tipi	N40UH

Çizelge 5.6. Analitik olarak elde edilen KMSM'nin tam yük performans verileri

Parametre	Değer
RMS Hat Akımı (A)	7,09767
Spesifik Elektrik Yükleme(A/mm)	24,3995
Akım Yoğunluğu (A/mm ²)	4,97908
Rüzgar Sürtünme Kaybı (W)	50
Demir Kaybı (W)	19,5764
Bakır İletim Kayıpları (W)	178,782
Toplam Kayıplar (W)	248,359
Çıkış Gücü (W)	3001,23
Giriş Gücü (W)	3249,59
Verim (%)	92,3572
Senkron Hız (Rpm)	1500
Anma Torku (N.m)	19,1064
Maksimum Çıkış Gücü (W)	9109,66

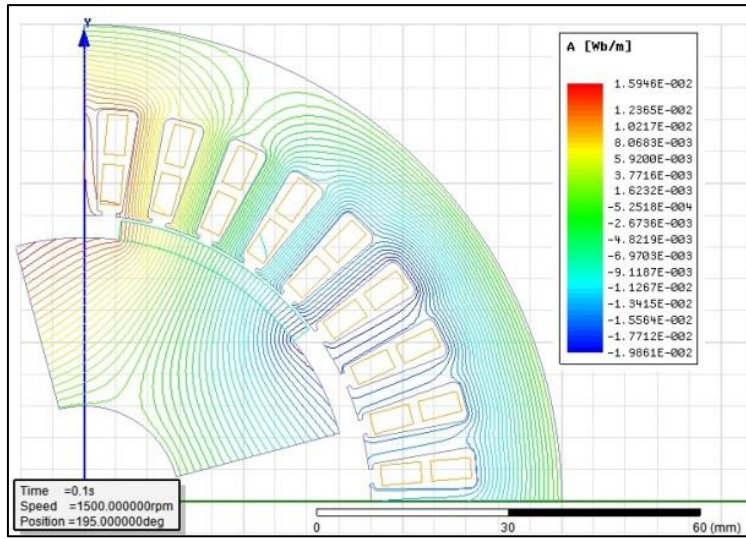
Çizelge 5.6'da performans değerleri incelendiğinde sonuçlar kötü değildir. Bunun sebeplerinden en önemlisi bu çalışmada yalnızca mıknatıs geometrisi optimizasyonu üzerinde durulacağından diğer parametrelerin optimizasyon öncesinde parametrik analizler yardımı ile tatmin edici seviyelere getirilmiştir. Motor performans değerleri her ne kadar yüksek olsa da verimde sağlanabilecek ufak bir iyileşme bile uzun vadede ciddi avantaj sağlayacaktır.



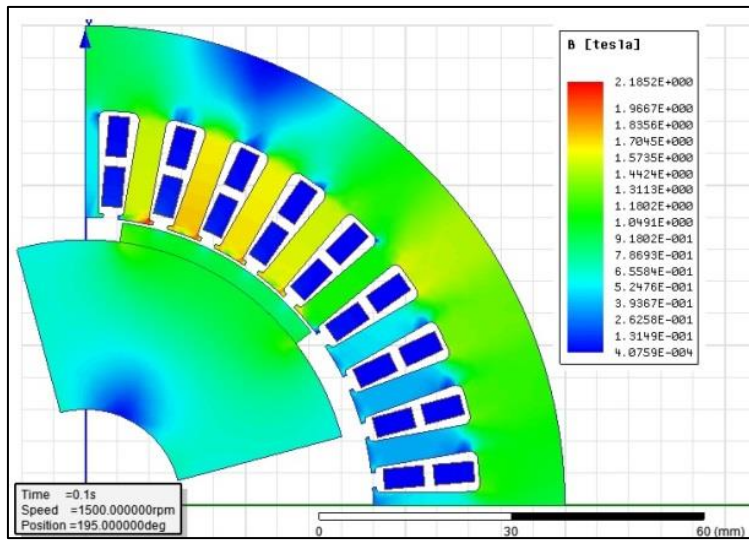
Şekil 5.5. KMSM mesh ağ gösterimi

Meydana gelen kayıpların önemli bir kısmının stator dişlerinde ve kalıcı mıknatıs çevresinde meydana gelmesinden dolayı, o bölgelerdeki elektromanyetik hesaplamaların doğruluk oranlarının daha yüksek olması için mesh yapısının bu bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir.

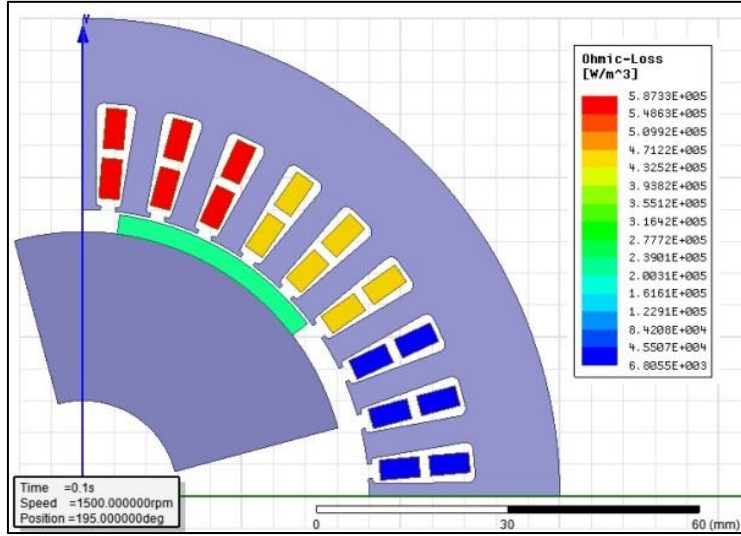
Şekil 5.6 ve Şekil 5.9 arasındaki grafiklerde başlangıç parametrelerine göre gerçekleştirilen 2 boyutlu SEA sonuçları görülmektedir.



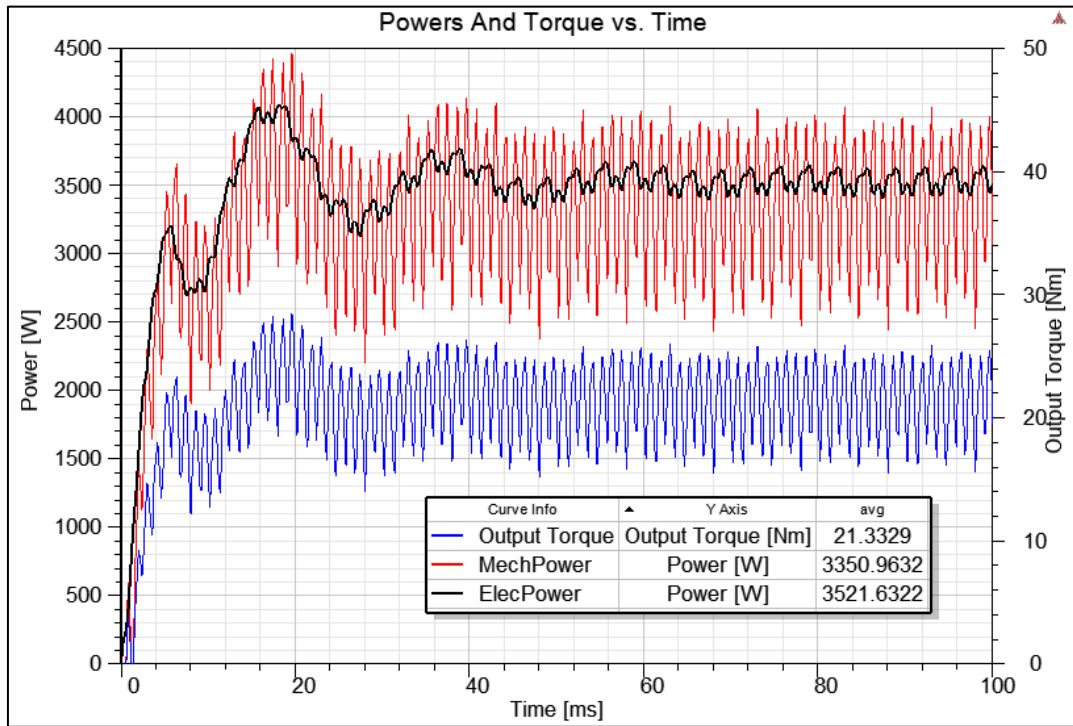
Şekil 5.6. KMSM 100ms'de manyetik akı dağılımı



Şekil 5.7. KMSM 100ms'de manyetik akı yoğunluğu dağılımı



Şekil 5.8. KMSM 100ms’de stator bakır kayıpları



Şekil 5.9. Tasarlanan KMSM’ye ait 0-100ms Arası Giriş-Çıkış Gücü ve Tork Grafiği

Yukarıda yer alan SEA sonuçları incelendiğinde, analitik analiz ve SEA ile gerçekleştirilen tasarım doğrulama analizlerinin arasındaki fark görülmektedir. Görülen bu fark aynı zamanda SEA ile gerçekleştirilen analizlerin önemi daha iyi anlaşılmasında yardımcı olmaktadır.

5.1.2. KMSM tasarım optimizasyonu

Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasında kullanılan amaç fonksiyonu bir minimizasyon fonksiyonudur Eş. 7.1’de verilmiştir.

$$F_{min} = 100 - Eff \quad (7.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen Eff değeri motorun analiz sonucunda elde edilen verim değeridir.

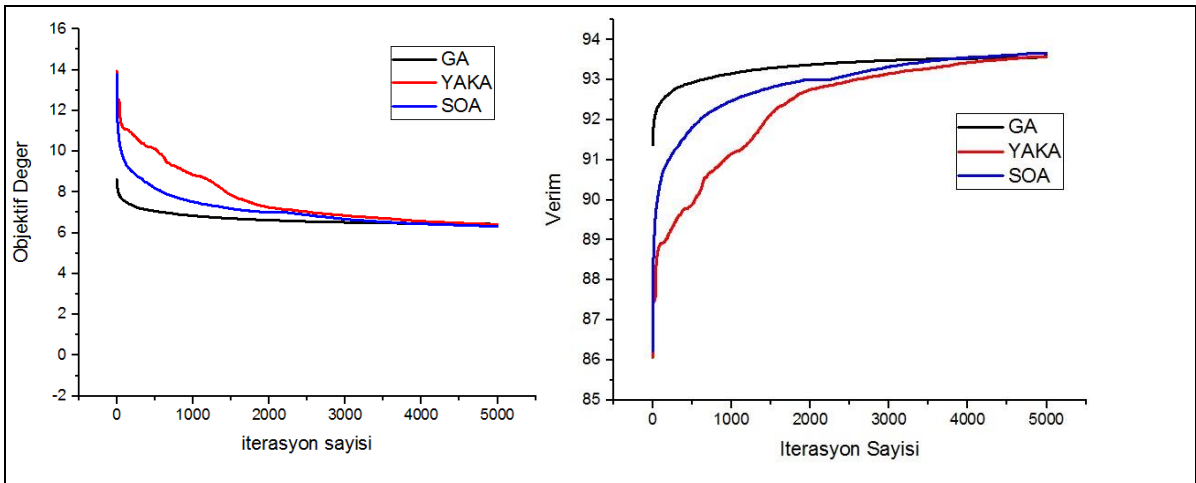
Bu optimizasyon çalışmasında, tasarlanan ve analitik analizi gerçekleştirilen KMSM’nin mıknatıs geometrisinin iyileştirilmesini esas almaktadır. Kullanılan 3 farklı optimizasyon algoritmasında da aynı parametreler ve sınır şartları kullanılmıştır ve bu aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$2,5 \leq \text{Mıknatıs Kalınlığı} \leq 5 \quad (7.2)$$

$$0 \leq \text{Ofset} \leq 12 \quad (7.3)$$

$$0,5 \leq KYO \leq 1 \quad (7.4)$$

Sınır şartları Eş. 7.2 ve 7.4 arasında verilen KMSM, Eş. 7.1’de yer alan amaç fonksiyonunu ile 3 farklı sezgisel algoritma ile optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalı olarak aşağıdaki Şekil 5.15’de verilmiştir.



Şekil 5.10. KMSM optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılması

GA'nın en hızlı algoritma olduğu ancak elde edilen global maksimum değerinin SOA ile elde edildiği gözlemlenmiştir.

Geliştirilen yöntem ile SOS ve ABC optimizasyon algoritmalarını kullanarak çalışma gerçekleştirilmiştir. GA algoritması ile gerçekleştirilen analizlerde ise Ansys Maxwell içerisindeki optimizasyon araçlarından faydalanılmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Aşağıdaki Çizelge 5.7'de değişken olarak kabul edilen parametrelerin, optimizasyon sonucunda aldıkları değerler ve performansa etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çizelge 5.7. KMSM'nin optimizasyon öncesi ve sonrası performans parametreleri

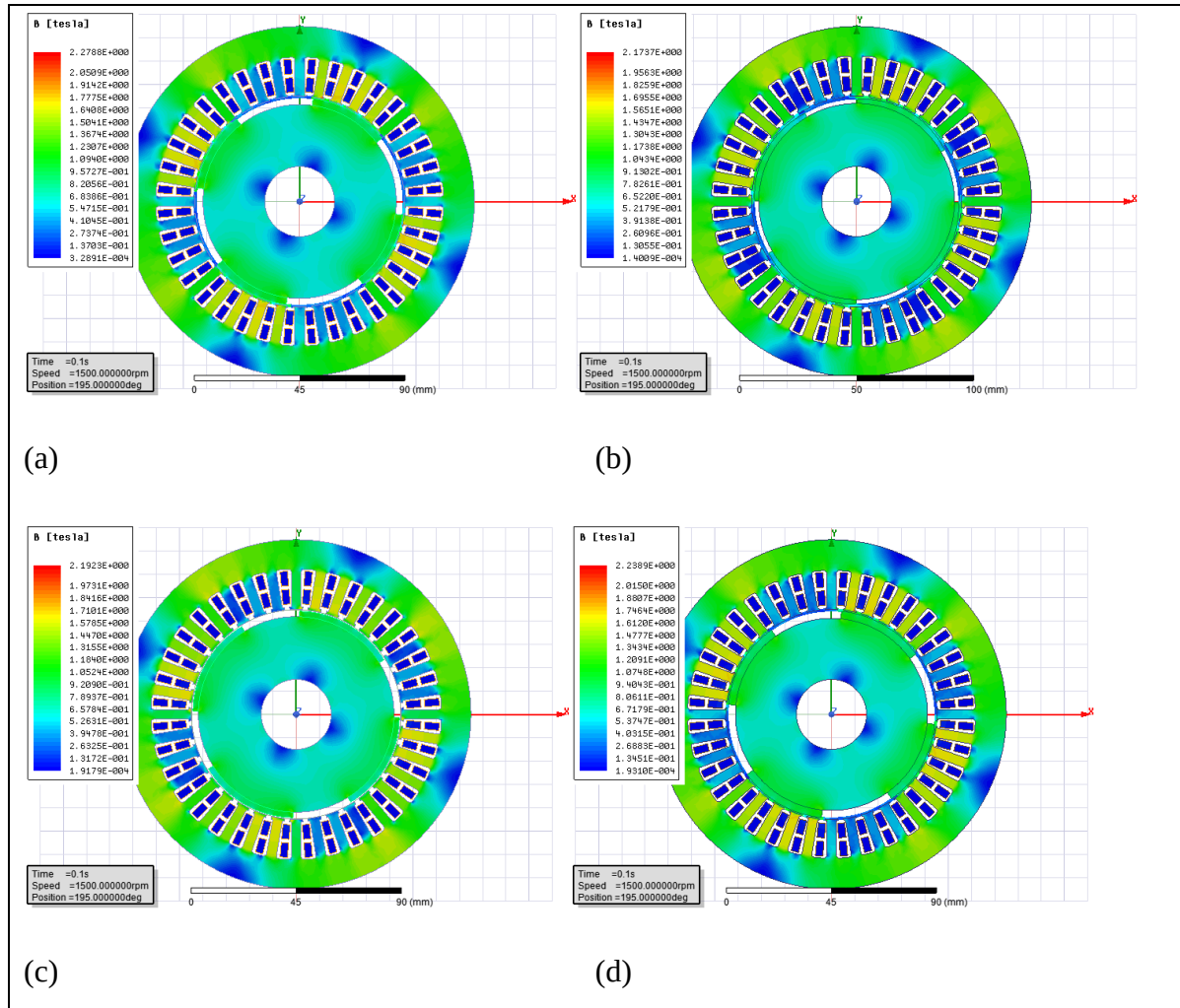
Motor Parametreleri	Analitik Olarak Elde Edilen Model	YAKA	SOS	GA
Mıknatis Kalınlığı	3	2,523	2,5	3,273
Ofset	0	5,269	1558	0,949
Embrance	0.5	0,6573	0,6243	0,5445
Verim	%92,35	%93,55	%93,58	%93,50
Spesifik Elektrik Yükleme	24399	20930	20790	21005
Stator Akım Yoğunluğu	4,97	4,27	4,24	4,25
Toplam Kayıplar	248,359	206,849	205,857	208,559
Kalıcı Mıknatis Ağırlığı (kg)	0,389	0,387	0,397	0,457

Optimizasyon çalışmalarının analitik sonuçları birbirine yakın olsa da KMSM'nin verimini ve tork karakteristiği etkilemektedir. Çizelge 5.8 incelendiğinde YAKA algoritması ile toplam kayıplar %16,71 azalırken SOA ile bu oran %17,11'dir. YAKA algoritması ile elde edilen mıknatis ağırlığı başlangıçtaki ağırlığı ile neredeyse aynı iken SOS ile elde edilen mıknatis ağırlığı %2 daha ağır olduğu görülmektedir.

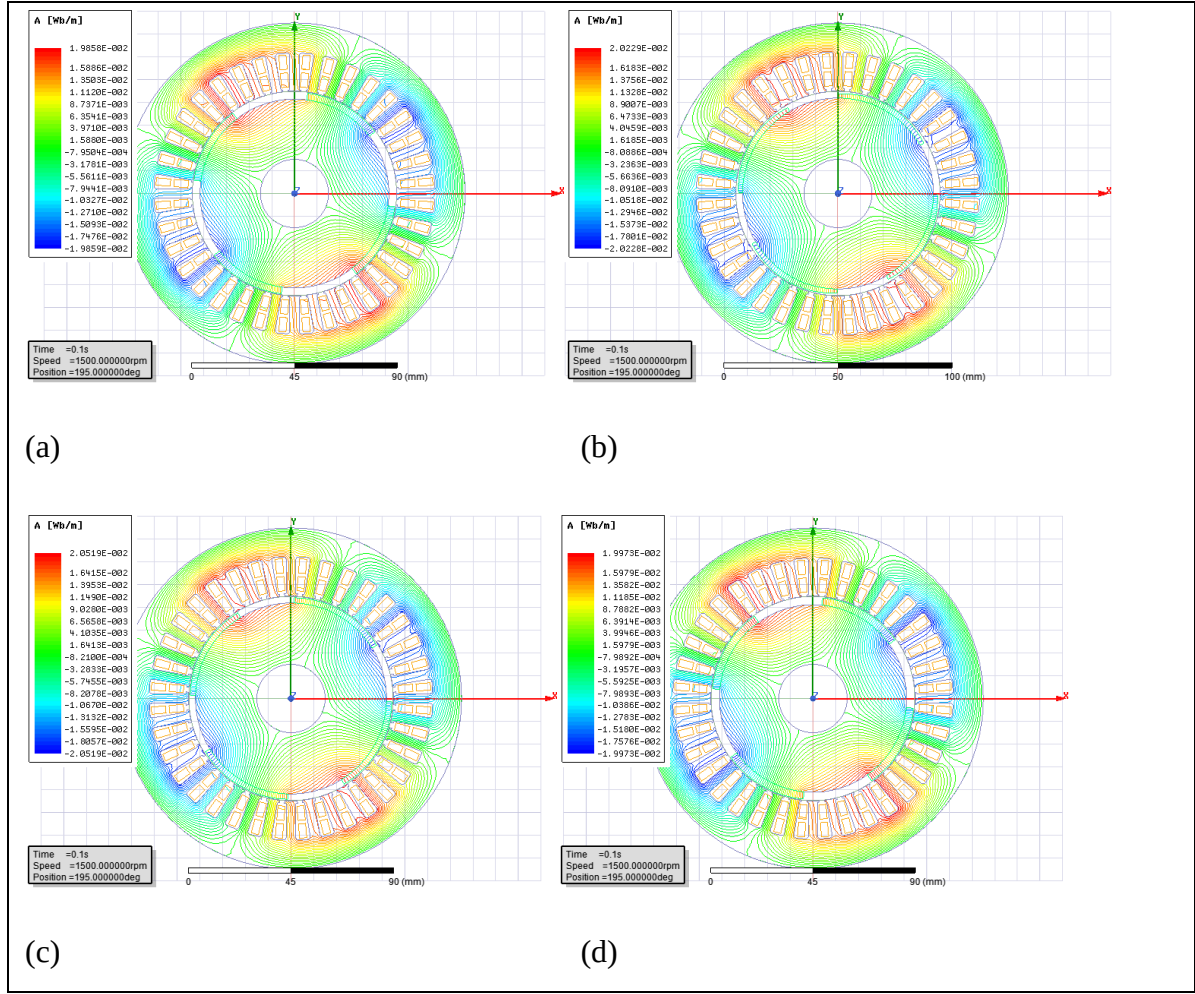
5.1.3. KMSM 2 boyutlu sonlu eleman analizleri

Bu çalışmada tasarlanan ve SEA analizleri gerçekleştirilen KMSM, 0 ile 100 ms aralığında çalıştırılarak motorun manyetik akı yoğunluğu dağılımı, manyetik alan enerjisi, stator sargılarındaki akım yoğunluğu gibi parametre görsel olarak izlenebilmekte ve giriş-çıkış gücü ve nüve kayıpları gibi birçok parametre incelenebilmektedir.

Gerçekleştirilen bu analizlerde birçok performans parametresini elde etmek mümkündür. Motor çalışırken elektromanyetik olarak, dört modelde mıknatıs geometrisinin değişiminden ötürü meydana gelen etkileri net olarak karşılaştırabilmek için 0-100ms aralığındaki manyetik akı yoğunluğu, akı yolları, manyetik alan enerjisi, sargı akım yoğunluğu gibi parametrelerin değişimleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

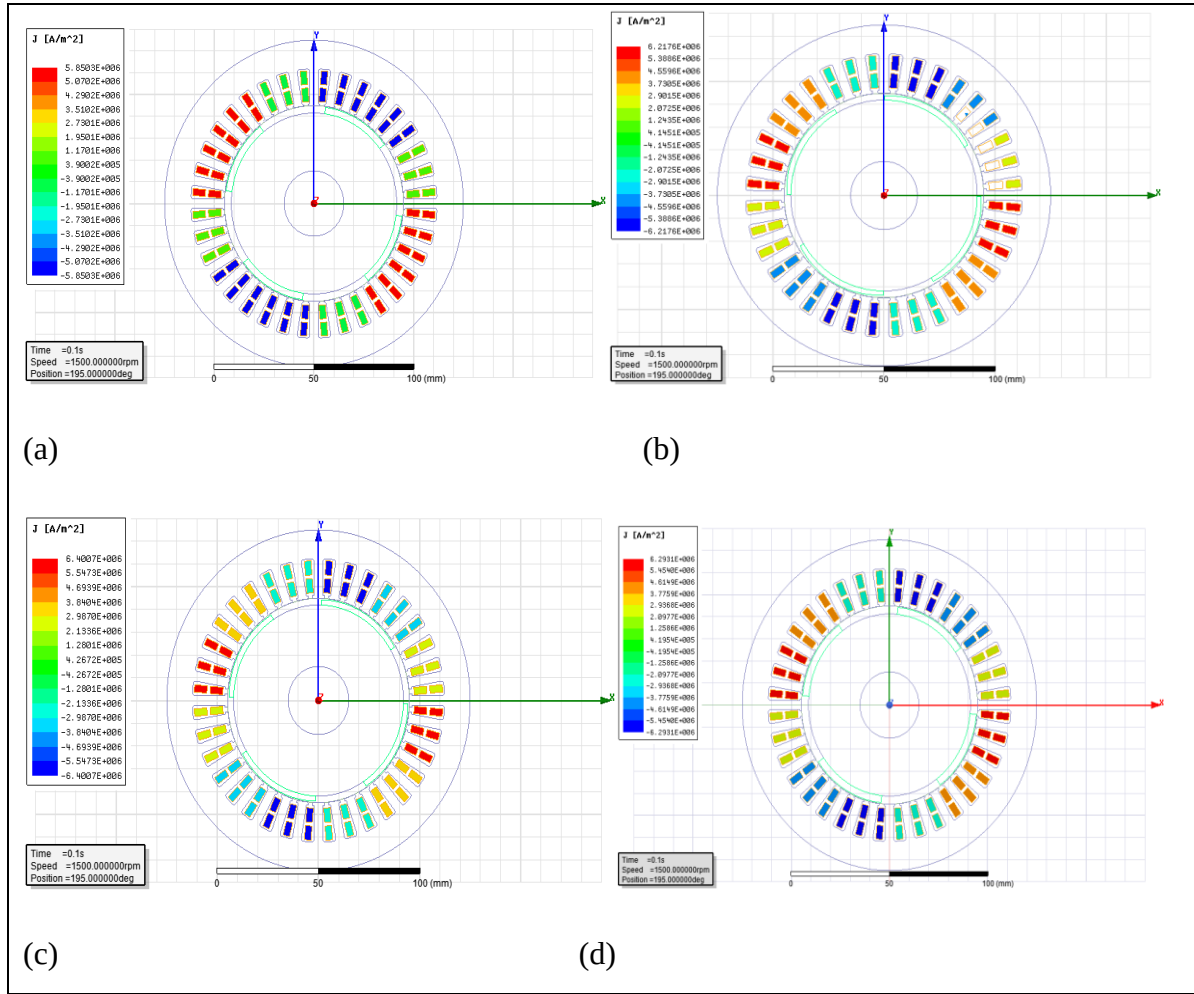


Şekil 5.11. Manyetik akı yoğunluğu dağılımın (a) Analitik parametrelerde (b)YAKA parametrelerinde (c) SOA parametrelerinde (d) GA parametrelerinde



Şekil 5.12. KMSM Manyetik akı dağılımı (a) Analitik parametrelerde (b) YAKA parametrelerinde (c) SOA parametrelerinde (d) GA parametrelerinde

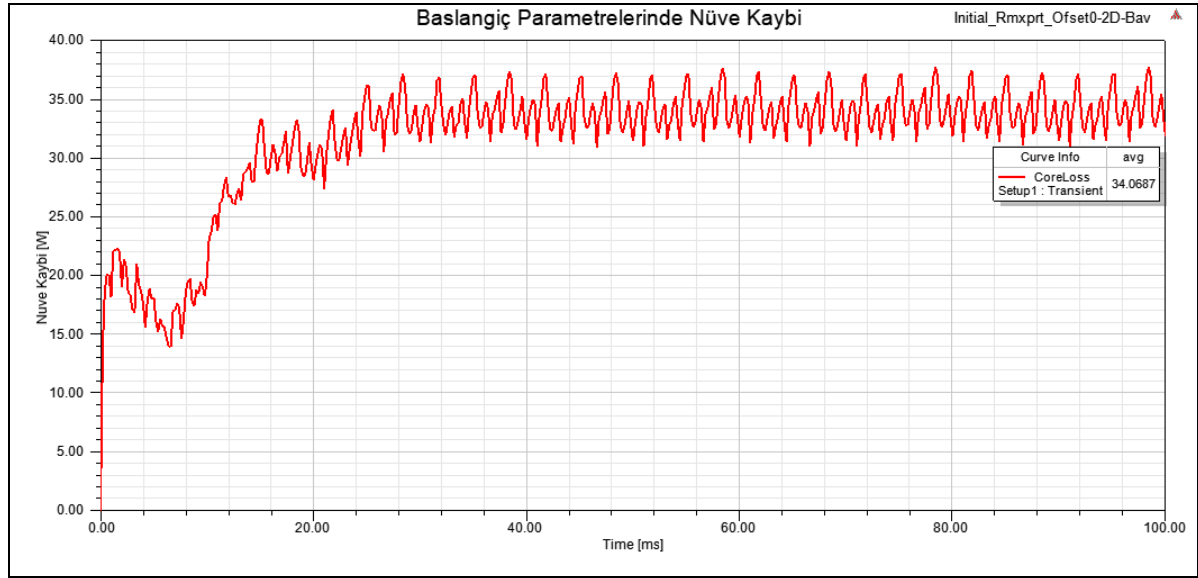
Şekil 5.11 ve 5.12 incelendiğinde motor nominal değerlerinde çalışırken elde edilen manyetik akı yoğunluğunun ve akının dağılımı görülmektedir. Analizi gerçekleştirilen toplamda dört farklı modelin manyetik akı yoğunluklarının dağılımı benzerlik göstermekle birlikte motor anma şartlarında çalışırken nüvenin doyuma gitmediği görülmektedir. Nüvenedeki manyetik akı yoğunluğunun uygun kabul edilen bir seviyede bulunması, KMSM'nin çalışma sıcaklığını düşük olmasını sağlayacak bir parametredir.



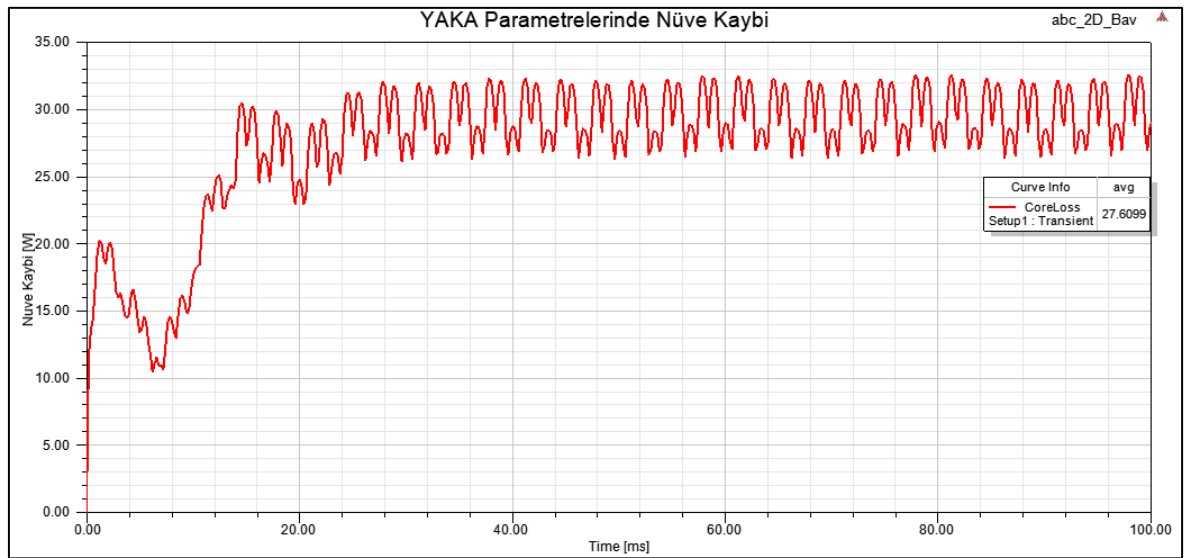
Şekil 5.13. KMSM Stator sargılarındaki akım yoğunluğunun gösterimi (a) Analitik parametrelerde (b)YAKA parametrelerinde (c) SOA parametrelerinde (d) GA.parametrelerinde

Şekil 5.13’de 100ms’deki akım yoğunluğunun değişimi görülmektedir. Şekil 5.14 incelendiğinde 100ms’de motorun kalkışının gerçekleşmiş ve anma şartlarında analizin devam ettiği görülmektedir. Şekil 5.13 incelendiğinde ise nominal akım yoğunluğunun ($4,5 \text{ A/mm}^2$) olduğu görülmektedir. Elde edilen bu değer tasarım ve uygulama açısından uygun bir seviyededir. Ancak, akım yoğunluğunun yüksek olması gereken özel tasarımlarda daha etkili (sıvı soğutma vb.) soğutma yöntemleri kullanılmalıdır.

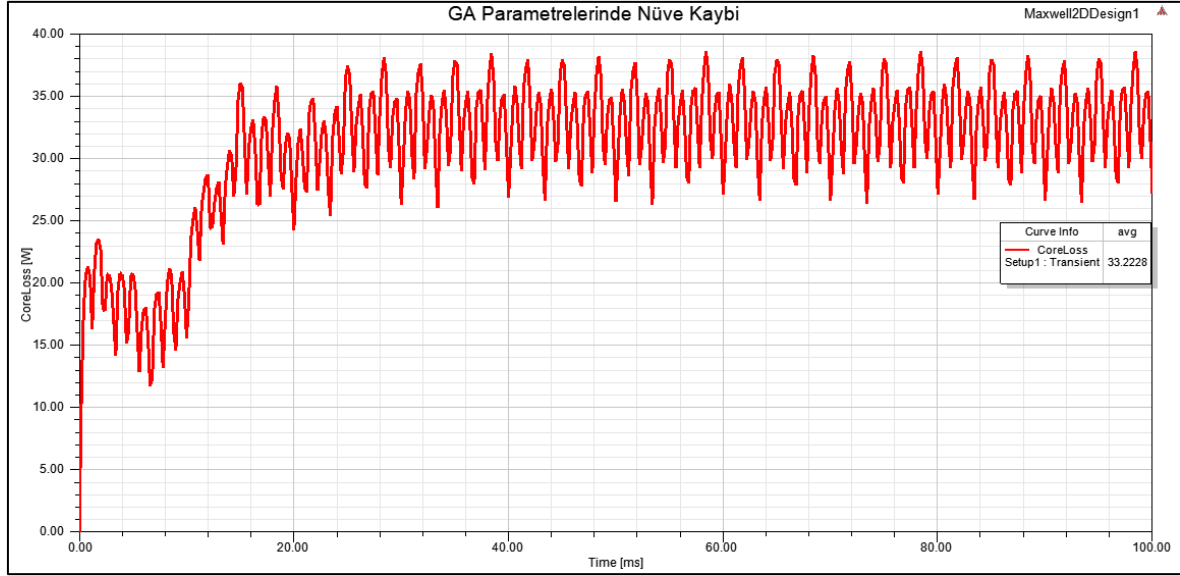
Şekil 5.14 ve Şekil 5.17 arasındaki motor kayıplarının önemli bir bölümünü oluşturan nüve kayıplarının SEA sonuçları görülmektedir.



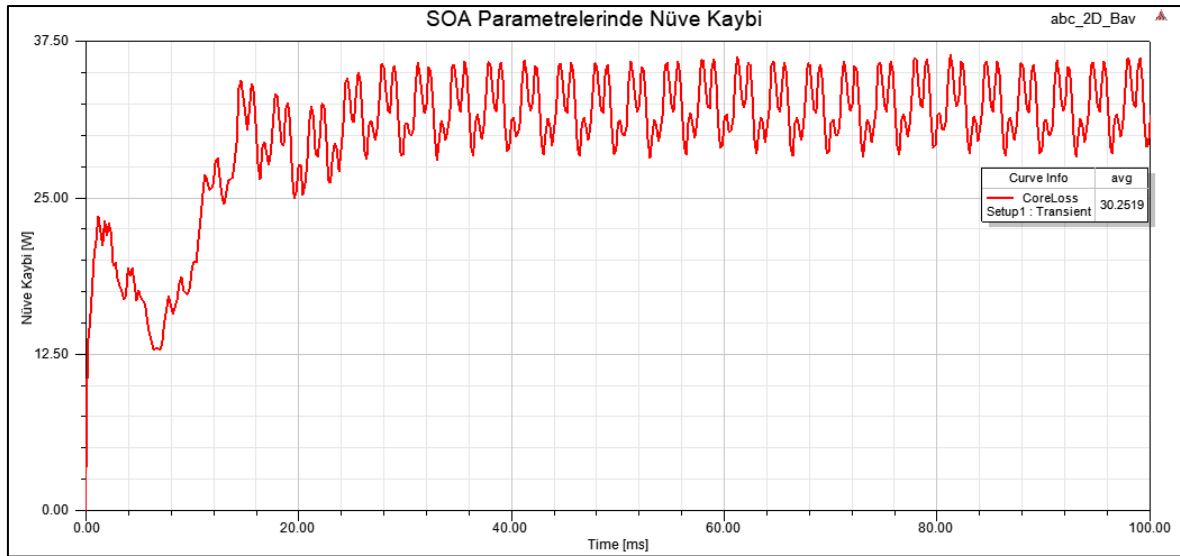
Şekil 5.14. Analitik olarak elde edilen modelin nüve kayıplarının zamana göre değişimi



Şekil 5.15. YAKA parametrelerinde nüve kayıplarının zamana göre değişimi



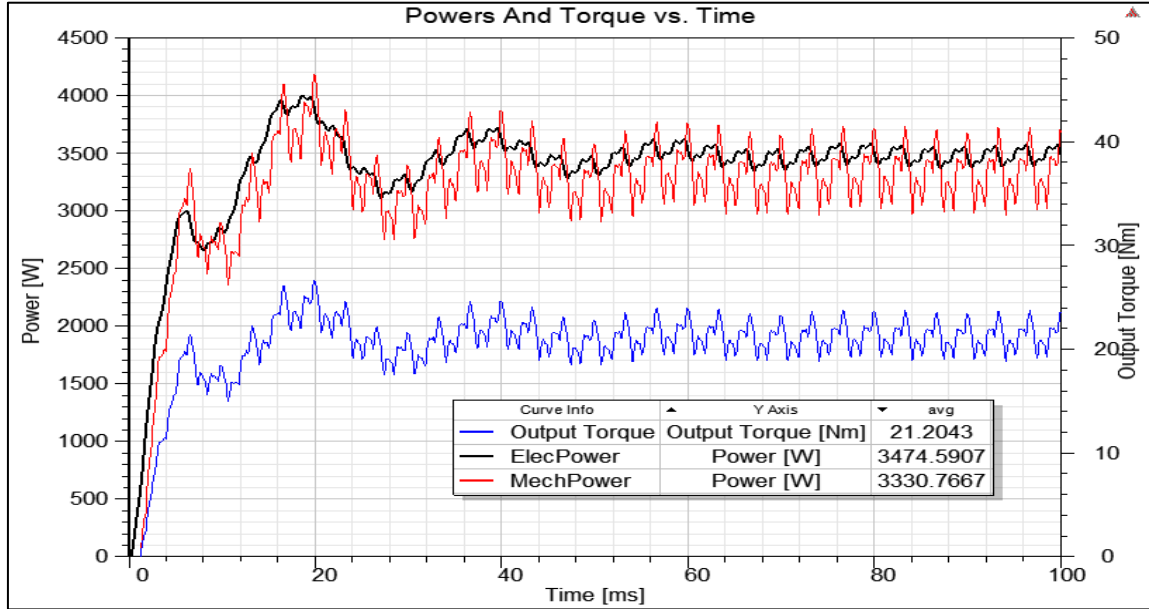
Şekil 5.16. GA parametrelerinde nüve kayıplarının zamana göre değişimi



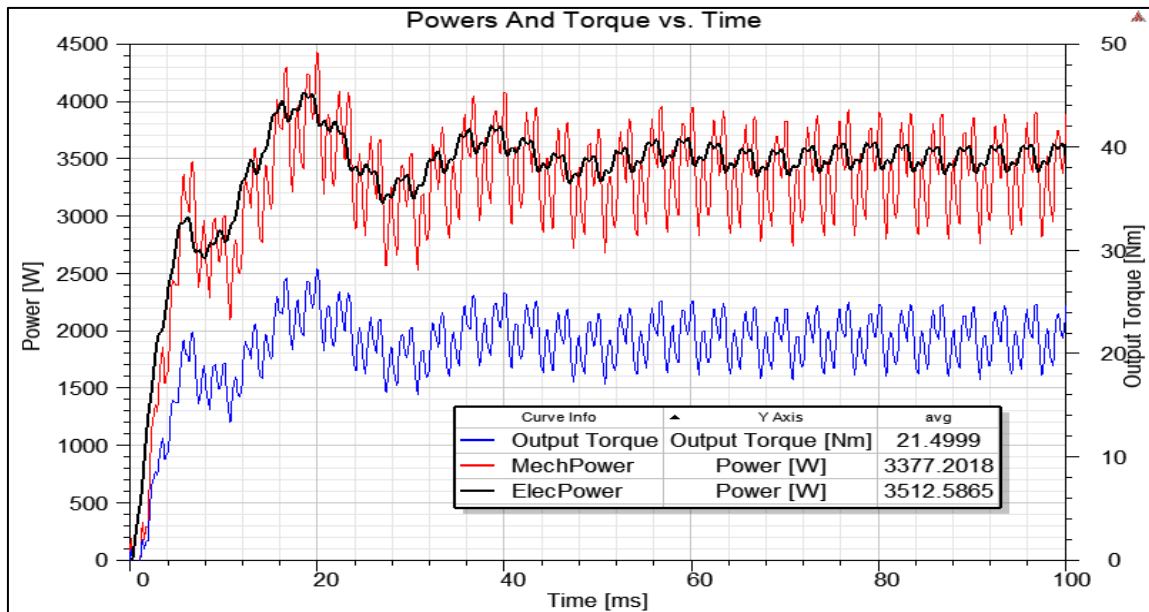
Şekil 5.17. SOA parametrelerinde nüve kayıplarının zamana göre değişimi

Şekil 5.14 ve Şekil 5.17 arasındaki sonuçlar incelendiğinde 0-100ms arasında meydana gelen nüve kayıpları görülmektedir. Mıknatıs geometrisinin nüve üzerindeki akı yoğunluğunu değiştirdiği Şekil 5.11’de gözlemlenmişti. Şekil 5.17’de ise nüve kayıplarına olan etkisi gözlemlenmiştir. Optimizasyon sonucunda en yüksek verime ulaşılan SOA algoritmasında başlangıç modeline göre nüve kayıplarının %11 azaldığı görülmektedir.

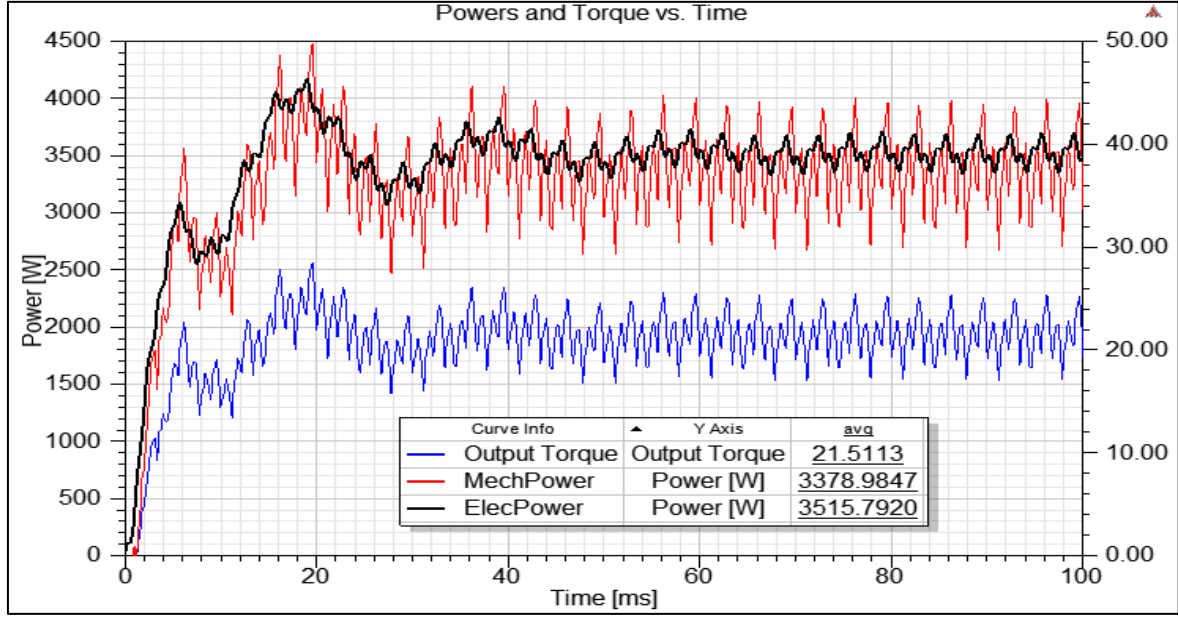
Başlangıç parametresi ve elde edilen üç adet optimum parametre sonuçları ile gerçekleştirilen 2D SEA analizleri ile analitik analiz sonuçlarının doğruluğu kontrol edilmiştir. Gerçekleştirilen SEA analiz sonucunda elde edilen Giriş-Çıkış Gücü ve Tork grafikleri aşağıda yer alan şekillerde görülmektedir.



Şekil 5.18. YAKA ile elde edilen sonuca ait 0-100ms arası giriş-çıkış gücü ve tork grafiği



Şekil 5.19. SOA ile elde edilen sonuca ait 0-100ms arası giriş-çıkış gücü ve tork grafiği



Şekil 5.20. GA ile elde edilen sonuca ait 0-100ms arası güç ve tork grafiği

Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 incelendiğinde görüldüğü üzere 2D SEA ile elde edilen analizler sonucunda elde edilen verim değeri ile RMxpert analizleri sonucunda elde edilen analiz sonuçları paralellik gösterdiği görülmektedir. Ayrıca, mıknatıs geometrisinin sadece verime değil tork karakteristiğine de etkide bulunduğu çok net görülmektedir. Her iki optimizasyon algoritması ile elde edilen mıknatıs ofset değerinin artması hava aralığı akısını sinüsoidal dalga formuna yakınlıştırmıştır ve bu da çıkış torkunun artması noktasında etkili olmuştur.

5.2. KMSG Tasarım Optimizasyonu

5.2.1. Analitik olarak elde edilen KMSG tasarımı

Analitik olarak tasarımı gerçekleştirilen dış rotorlu KMSG'nin genel boyutları ortaya çıkarılmıştır ve elde edilen KMSG'nin detay performans çıktıları için RMxpert kullanılmıştır. RMxpert ile analitik analiz işlemleri tamamlanan KMSG'nin 2 boyutlu SEA gerçekleştirilmiştir.

Tasarım işlemleri gerçekleştirilmiş olan dış rotorlu KMSG'nin mıknatıs geometrisi optimize edilmiş ve generatör verimine olan etkileri incelenmiştir. Optimizasyon algoritması olarak, Matlab ortamı üzerinde YAKA kullanılmıştır.

Başlangıçta analitik hesaplamalar sonucu elde edilen KMSG modeline dayalı olarak optimize edilen generatör parametreleri, optimum parametreler belirlendikten sonra SEA'ne tabi tutularak doğrulanmış ve optimizasyon öncesi ve sonrası mıknatıs geometrisine ait generatör performans verileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Aşağıdaki Çizelge 5.8'de analitik olarak elde edilen motorun genel özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 5.8. Analitik olarak elde edilen KMSG'nin genel özellikleri

Parametre	Değer
Anma Gücü (kW)	1,5
Anma Gerilimi (V)	120
Kutup Sayısı	16
Anma Hızı (Rpm)	375
Rotor Pozisyonu	Dış Rotorlu

Genel parametreleri yukarıdaki gibi verilen KMSG'nin stator parametreleri aşağıdaki Çizelge 5.9'de verilmiştir.

Çizelge 5.9. KMSG Stator Parametreleri

Parametre	Değer
Stator Oluk Sayısı	48
Stator Dış Çapı (mm)	227
Stator İç Çapı (mm)	127
Kullanılan Silisli Sac	M270-35A
Stator Nüve Uzunluğu (mm)	45

Çizelge 5.10. (a)KMSG Stator oluğunun ölçüleri (b)Tasarımda kullanılan geometri

Parametre	Değer	
hs0 (mm)	2	
hs1 (mm)	1	
hs2 (mm)	31,3	
bs0 (mm)	2,65	
bs1 (mm)	8,2	
bs2 (mm)	4,1	
Rs (mm)	1,5	

Stator oluk geometrisi son Çizelge 5.10'daki değerlerini almadan önce parametrik çözümler gerçekleştirilmiş ve nihai değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.11. KMSG Rotor Parametreleri

Parametre	Değer
Rotor Dış Çapı (mm)	255
Rotor İç Çap (mm)	230
Rotor Nüve Uzunluğu (mm)	45
Kullanılan Malzeme	ST37

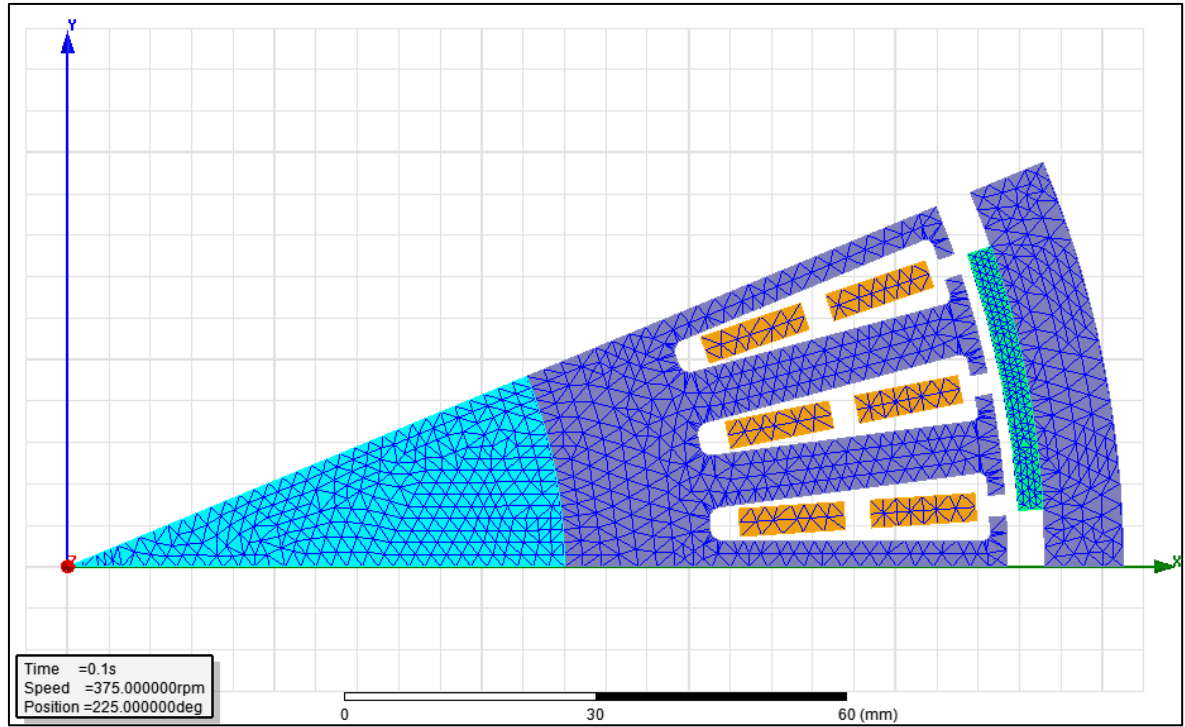
Rotor iç çap ölçüsü seçilirken, muadili hız ve güçte olan motorların mil ölçüsü dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.12. KMSG Mıknatıs Bilgileri

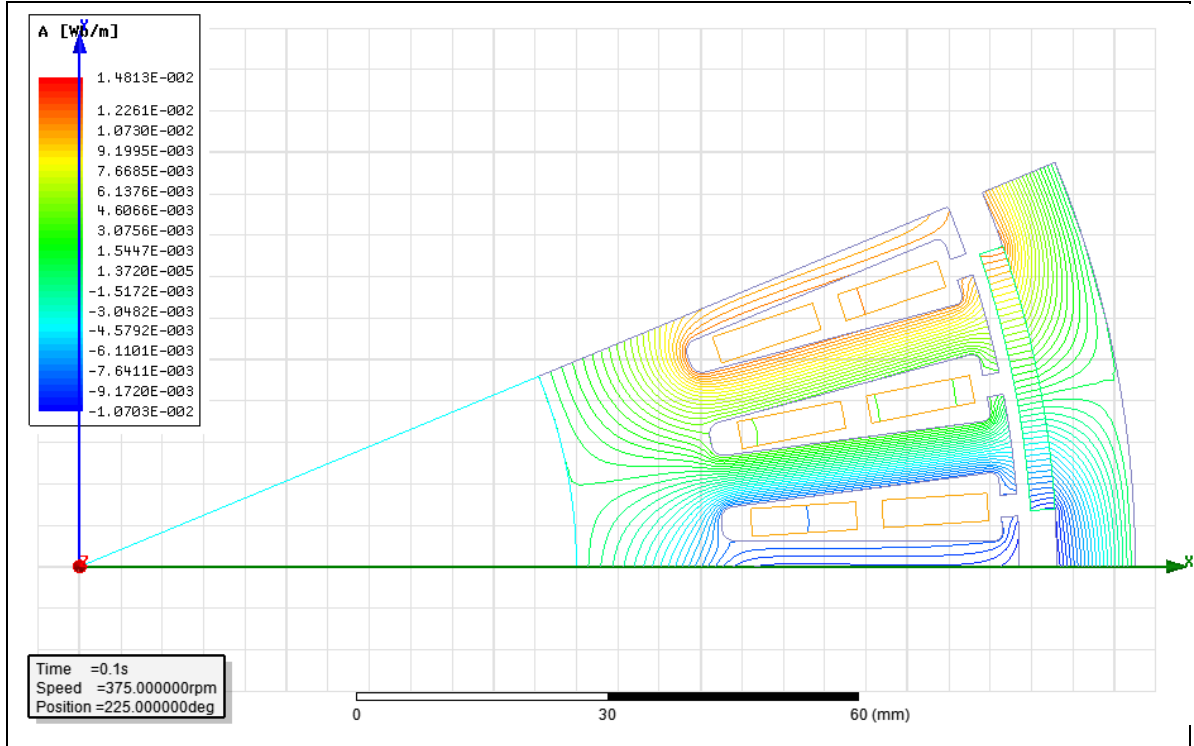
Parametre	Değer
Ofset	5
Mıknatısın Maksimum Kalınlığı (mm)	3
KYO	0,7
Mıknatıs Tipi	SmCo28

Çizelge 5.13. Analitik olarak elde edilen KMSG'nin tam yük performans verileri

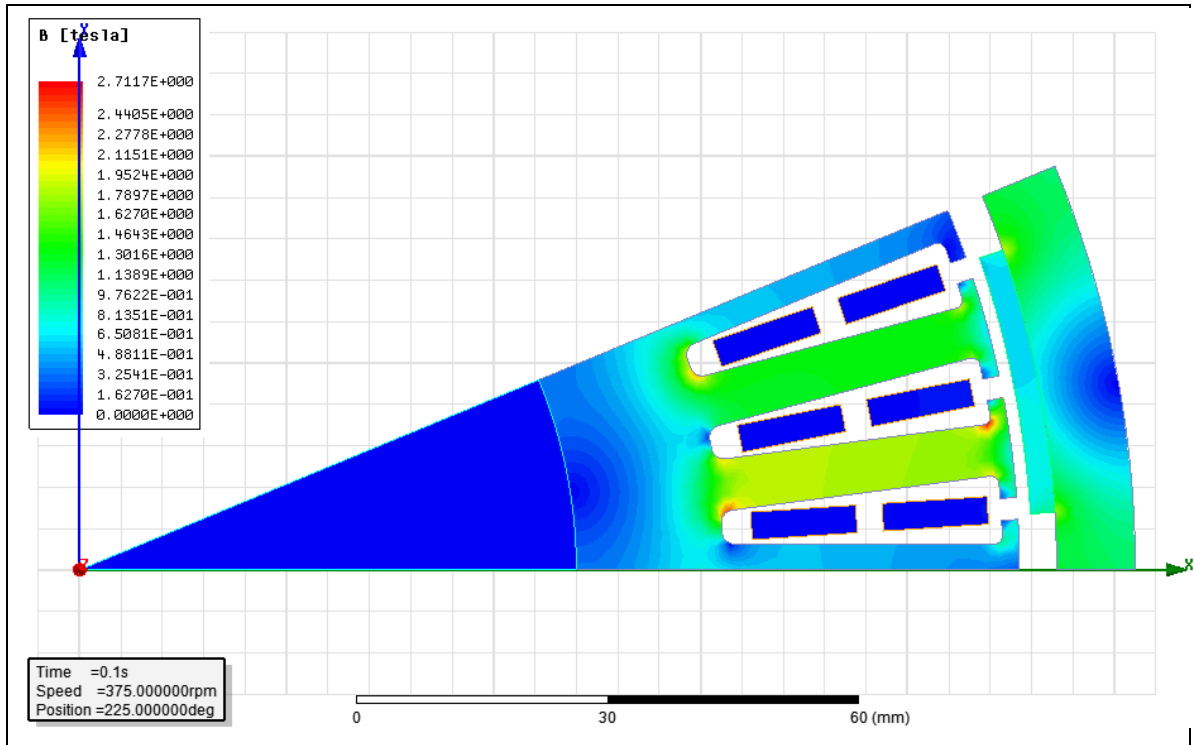
Parametre	Değer
RMS Hat Akımı (A)	7,92475
Spesifik Elektrik Yükleme(A/mm)	24636,6
Akım Yoğunluğu (A/mm ²)	3,500
Bakır İletim Kayıpları (W)	134,634
Toplam Kayıplar (W)	248,359
Çıkış Gücü (W)	1500
Giriş Gücü (W)	1635,39
Verim (%)	92,3572
Senkron Hız (Rpm)	375
Kısa Devre Akımı (A)	22,71
Maksimum Çıkış Gücü (W)	3626,59



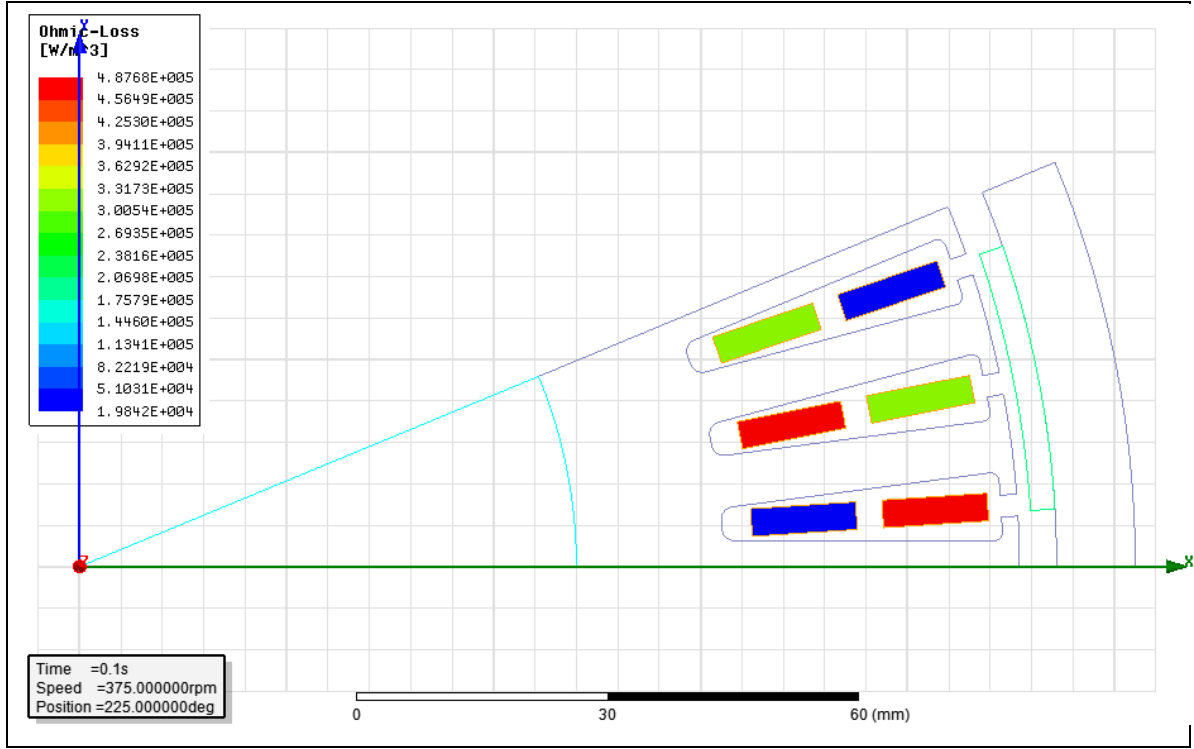
Şekil 5.21. KMSG 2 boyutlu mesh ağı



Şekil 5.22. KMSG 100ms’de manyetik akı dağılımı



Şekil 5.23. KMSG 100ms’de manyetik akı yoğunluğu dağılımı



Şekil 5.24. KMSG 100ms’de stator bakır kayıpları

Yukarıda yer alan SEA sonuçları incelendiğinde SEA ile gerçekleştirilen tasarım doğrulama analizleri incelendiğinde analitik olarak tasarlanan KMSG’nin kabul edilebilir bir tasarım olduğu görülmektedir. Ancak, gerçekleştirilecek optimizasyon çalışması ile daha iyi performans değerlerine sahip olacağı değerlendirilmektedir.

5.2.2 KMSG tasarım optimizasyonu

KMSG tasarım optimizasyonunda kullanılan amaç fonksiyonu bir minimizasyon fonksiyonu olup aşağıdaki gibidir.

$$F_{min} = 1/Eff \quad (7.5)$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen Eff değeri KMSG’nin RMxpert analizi sonucunda elde edilen verim değeridir.

Bu optimizasyon çalışmasında, tasarlanan ve analitik analizi gerçekleştirilen KMSG’nin mıknatıs geometrisinin optimize edilerek performansın iyileştirilmesini esas almaktadır.

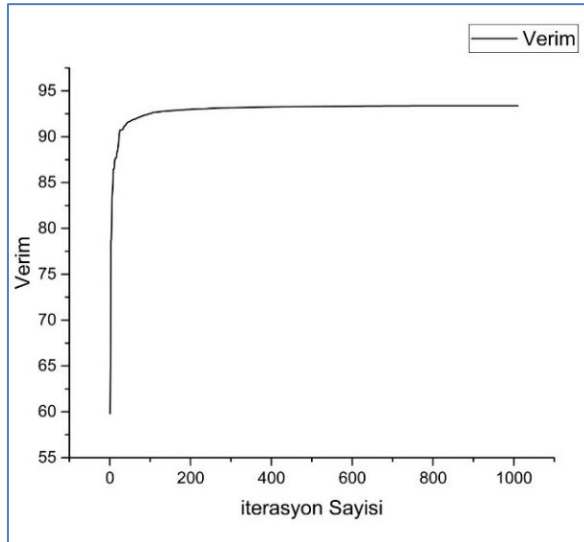
Yapılan optimizasyon çalışmasında yer alan parametreler ve sınır şartları aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$1,5 \leq \text{Mıknatıs Kalınlığı} \leq 4,5 \quad (7.6)$$

$$2,5 \leq \text{Ofset} \leq 10 \quad (7.7)$$

$$0,35 \leq \text{KYO} \leq 1 \quad (7.8)$$

Sınır şartları Eş. 7.2 ve 7.4 arasında verilen KMSG, Eş. 7.1’de yer alan amaç fonksiyonunu kullanarak sezgisel bir algoritma olan YAKA ile optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.25. İterasyon sayısına karşılık verimin değişimi

Çalışma sonucunda elde edilen iterasyon sayısına karşılık verimin değişimi yukarıdaki şekilde görüldüğü gibidir. Şekilden de anlaşılacağı üzere yaklaşık 200 iterasyondan sonra optimum verime yaklaşılmıştır. Optimum noktaya bu kadar hızlı bir şekilde ulaşmak YAKA algoritmasının hızı ile ilgilidir.

Aşağıdaki Çizelge 5.14’de değişken olarak kabul edilen parametrelerin, optimizasyon sonucunda aldıkları değerler ve performansa etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çizelge 5.14. KMSG'nin optimizasyon öncesi ve sonrası performans parametreleri

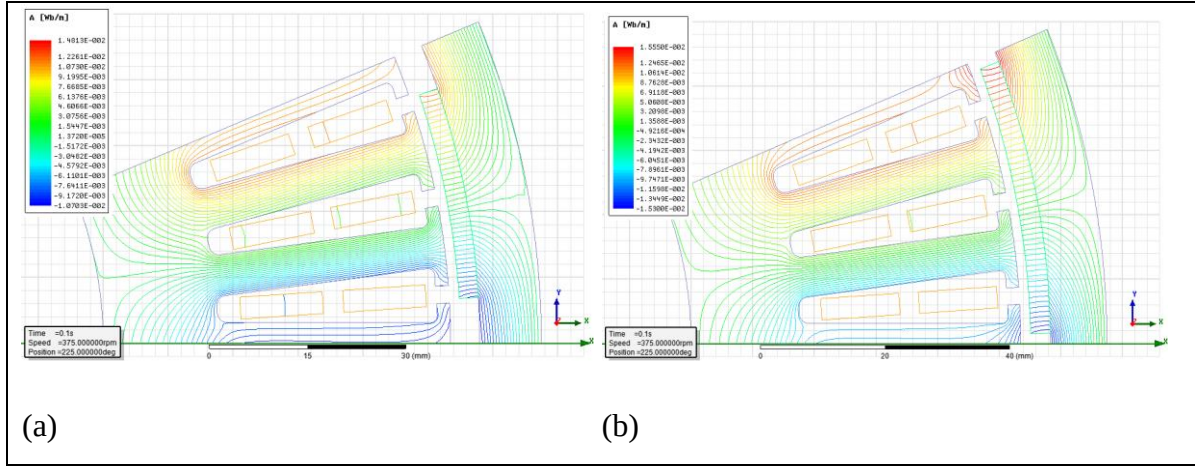
Motor Parametreleri	Analitik Olarak Elde Edilen Model	YAKA
Mıknatıs Kalınlığı	3	3,31
Ofset	5	7,86
Embrance	0.7	0,93
Verim	%91,66	%93,15
Spesifik Elektrik Yükleme	24725	21135
Maksimum Çıkış Gücü (kW)	3,76	4,66
Kalıcı Mıknatıs Ağırlığı (kg)	0,57	0,83

Yukarıda yer alan Çizelge 5.14'de mıknatıs geometrisinin optimizasyon öncesi ve sonrası değişiminin generatör performansı üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

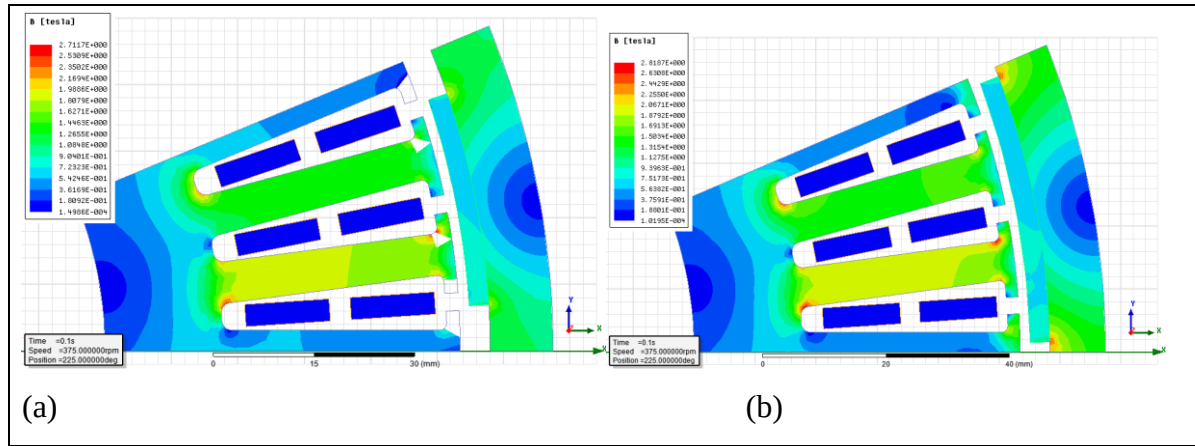
Verimdeki yükselmenin yanı sıra generatörün termal yüklenme ve spesifik elektrik yüklenme değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Diğer bir söylemle, generatör verimi artarken, generatör hedeflenen çıkış gücünü daha rahat sağlayabilecektir. Ayrıca, KMSG'de kullanılan toplam mıknatıs ağırlığında bir artış meydana gelmiştir.

5.2.3 KMSG 2 boyutlu sonlu eleman analizleri

Bu çalışmada analitik olarak tasarlanan ve YAKA ile optimizasyonu tamamlanan, SEA analizleri gerçekleştirilen KMSG, 0 ile 100 ms aralığında çalıştırılarak motorun manyetik akı dağılımı, manyetik akı yoğunluğu dağılımı, stator sargılarındaki akım yoğunluğu gibi parametreler görsel olarak karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

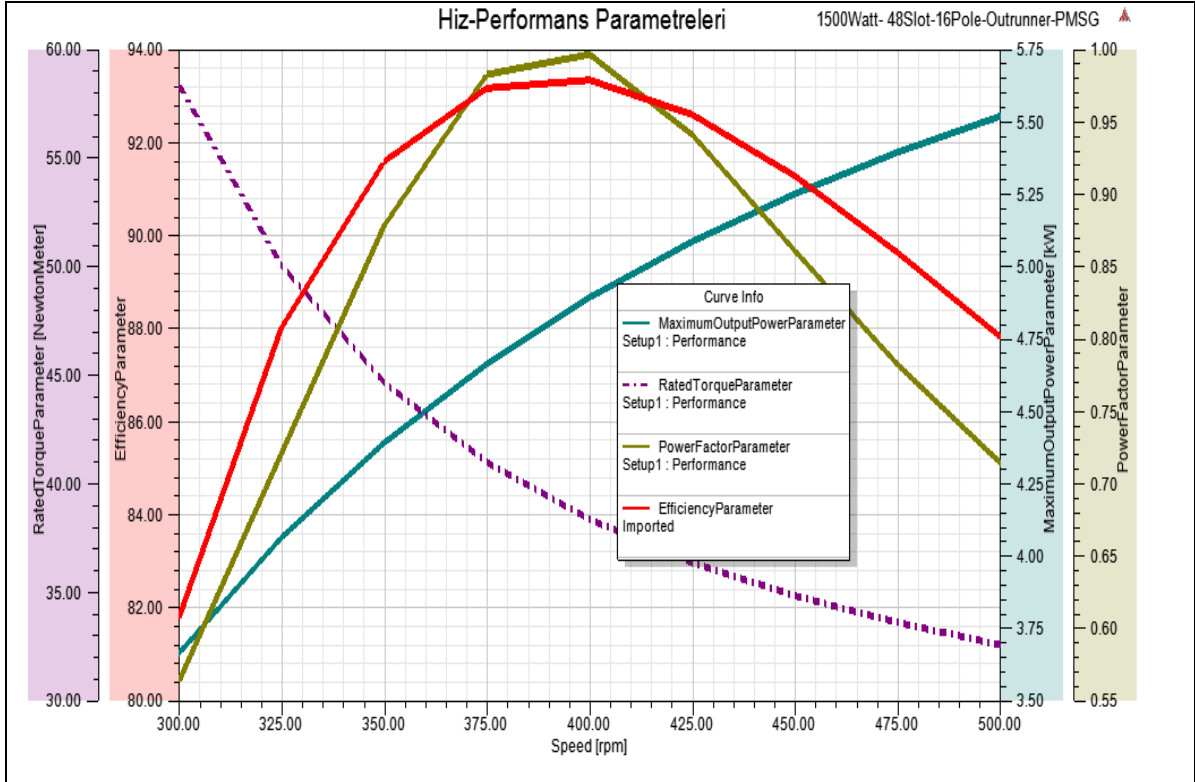


Şekil 5.26. KMSG manyetik akı dağılımının gösterimi (a) Analitik parametrelerde (b)YAKA parametrelerinde



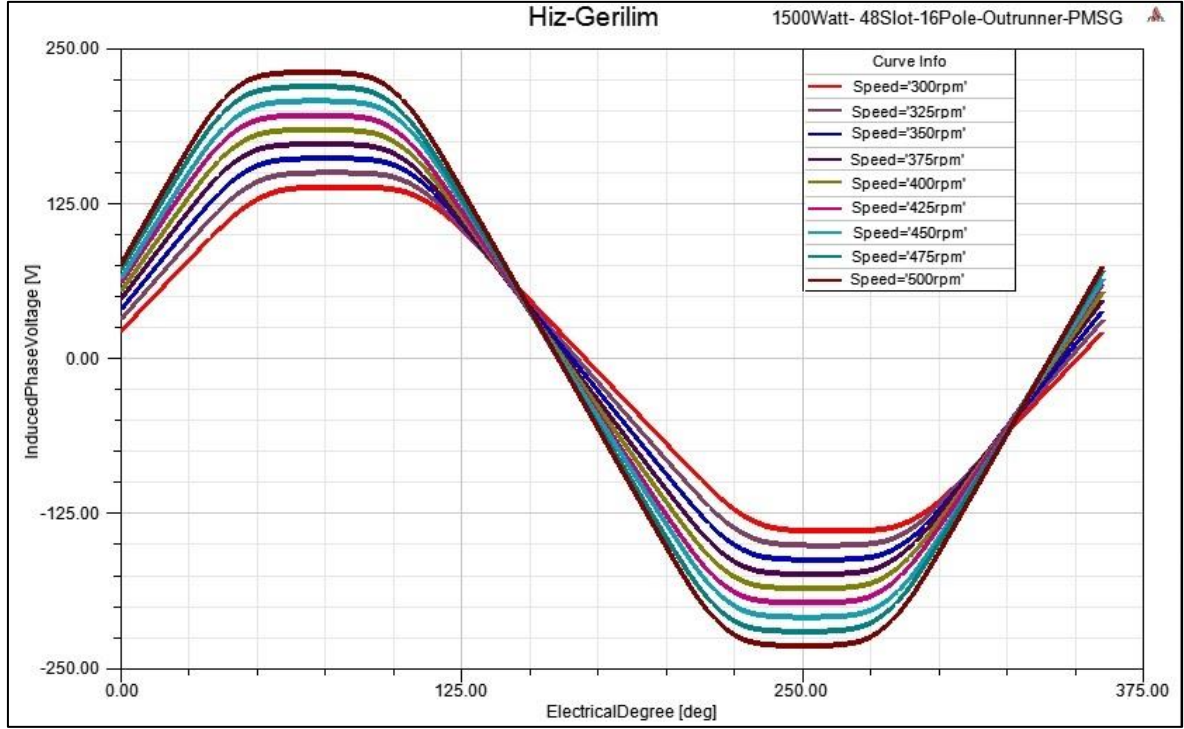
Şekil 5.27. KMSG manyetik akı yoğunluğunun gösterimi (a) Analitik parametrelerde (b) YAKA parametrelerinde

Şekil 5.27 ve 5.28 incelendiğinde motor nominal değerlerinde çalışırken elde edilen manyetik akı yoğunluğunun ve akının dağılımı görülmektedir. Analizi gerçekleştirilen iki farklı modelin manyetik akı yoğunluklarının dağılımı benzerlik göstermekle birlikte KMSG anma şartlarında çalışırken nüvenin doyuma gitmediği görülmektedir.



Şekil 5.28. Hıza karşılık generatör performans değerlerinin değişimi

Yukarıda yer alan Şekil 5.29’de generatör hızına karşılık verim, tork, çıkış gücü ve güç katsayısı gibi performans parametrelerinin değişimi verilmiştir. Burada hız ile birlikte maksimum çıkış gücünün de arttığı, verimin ve güç faktörünün anma hızına kadar arttığı ve sonrasında düşüşe geçtiği görülmektedir.



Şekil 5.29. Hıza karşılık gerilimin değişimi

Yukarıdaki Şekil 5.30 incelendiğinde KMSG'nin hızına bağlı olarak üretilen gerilimin değiştiği görülmektedir. Benzer değişim KMSG sabit hızda çalışırken yük değiştirildiğinde de görülmektedir. KMSG'lerin uyarım akısı kontrol edilemediğinden dolayı meydana gelen bu değişim dikkate alındığında, KMSG'lerin kullanılması için bir AA-AA dönüştürücü kullanılmasının gerekliliği net bir şekilde anlaşılmaktadır.

5.3. Asenkron Motor Tasarım Optimizasyonu

Bu çalışmada bir asenkron motorun stator dış çapı (SOD) , stator iç çapı (SID), nüve uzunluğu, stator ve rotor oluk geometrisi, oluk başına sipir sayısı (CPS) parametrelerinin optimizasyonu YAKA ile 3 farklı amaç fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

5.3.1. Analitik olarak elde edilen asenkron motor tasarımı

Çalışmada kullanılan ve optimizasyon işleminde kullanmak için analitik tasarımı gerçekleştirilen üç fazlı asenkron motora ait genel parametreler aşağıdaki tabloda görüldüğü gibidir.

Çizelge 5.15. Analitik olarak elde edilen asenkron motorun genel özellikleri

Parametre	Değer
Anma Gücü (kW)	18,5
Anma Gerilimi (V)	380
Kutup Sayısı	4
Senkron Hız (Rpm)	1500
Rotor Pozisyonu	İç Rotorlu

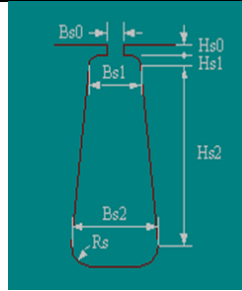
Genel parametreleri yukarıdaki gibi verilen asenkron motorun genel stator parametreleri aşağıdaki Çizelge 5.16’da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Asenkron motorun stator parametreleri

Parametre	Değer
Stator Oluk Sayısı	36
Stator Dış Çapı (mm)	260
Stator İç Çapı (mm)	170
Kullanılan Silisli Sac	M270-35A
Stator Nüve Uzunluğu (mm)	150

Çizelge 5.17. (a) Asenkron motor stator oluğunun ölçüleri (b)Tasarımda kullanılan oluk geometrisi

Parametre	Değer
hs0 (mm)	0,73
hs1 (mm)	1,5
hs2 (mm)	17
bs0 (mm)	3,1
bs1 (mm)	7,2
bs2 (mm)	10,2
Rs (mm)	1,2



Stator oluk geometrisi son Çizelge 5.17’deki değerlerini almadan önce parametrik çözümler gerçekleştirilmiş ve nihai değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.18. Asenkron motorun rotor parametreleri

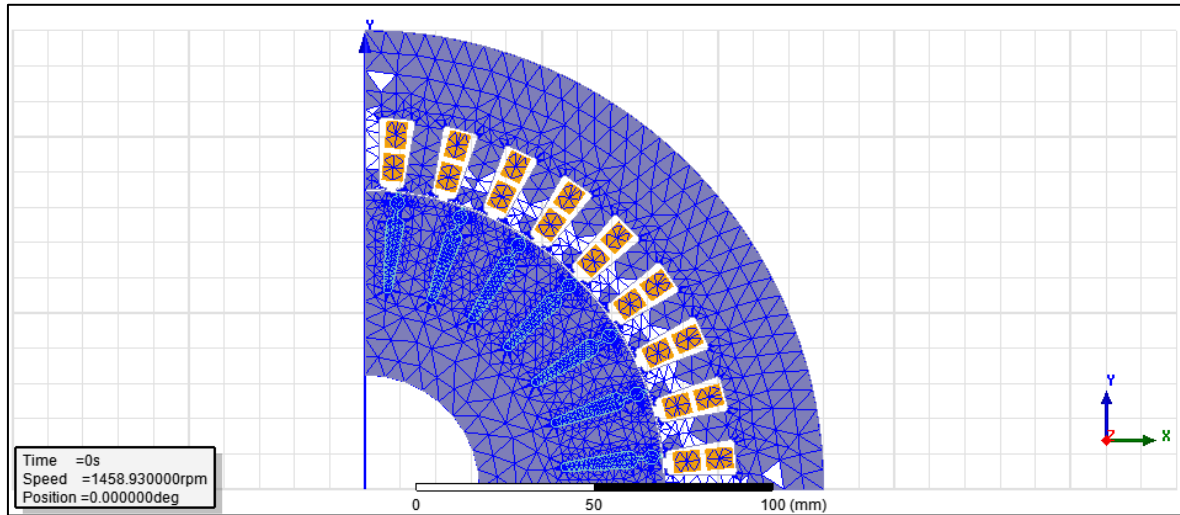
Parametre	Değer
Rotor Oluk Sayısı	28
Hava Aralığı Uzunluğu (mm)	1
Rotor İç Çap (mm)	65
Rotor Nüve Uzunluğu (mm)	150
Kullanılan Malzeme	M270-35A

Rotor iç çap ölçüsü seçilirken, muadili hız ve güçte olan motorların mil ölçüsü dikkate alınmıştır.

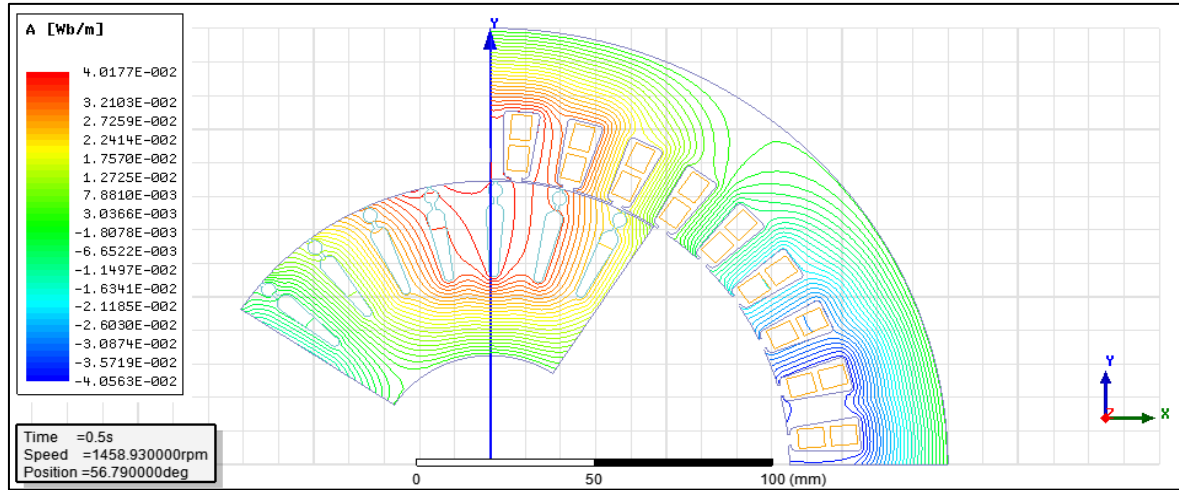
Çizelge 5.19. Analitik olarak elde edilen asenkron motorun tam yük performans verileri

Parametre	Değer
Spesifik Elektrik Yükleme(A/mm)	37583
Stator Bakır Kaybı	984.25 (W)
Rotor Bakır Kaybı	527.44 (W)
Nüve Kaybı	375.12 (W)
Çıkış Gücü (W)	18500
Giriş Gücü (W)	20807
Verim	%88.9
Güç Faktörü	0,811
Hız (Rpm)	1458
Güç Faktörü	0,811

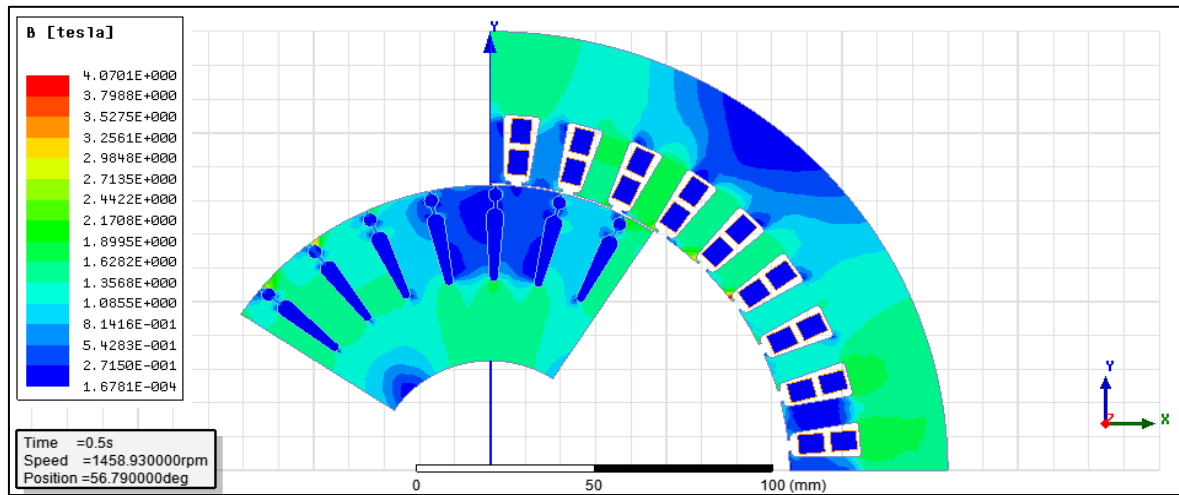
Analitik yöntemler ile elde edilen asenkron motor modelinin analiz sonuçları incelendiğinde spesifik elektrik yükleme ve kayma (s) değerinin yüksek olduğu, verim ve güç faktörünün düşük olduğu görülmektedir. Gerçekleştireceğimiz çalışmada kullanacağımız amaç fonksiyonları toplam kayıpları minimize etmek olsa da, sonuçlar incelenirken lokal maksimum noktasından kaçınmak için diğer performans parametrelerine de dikkat edilmiştir.



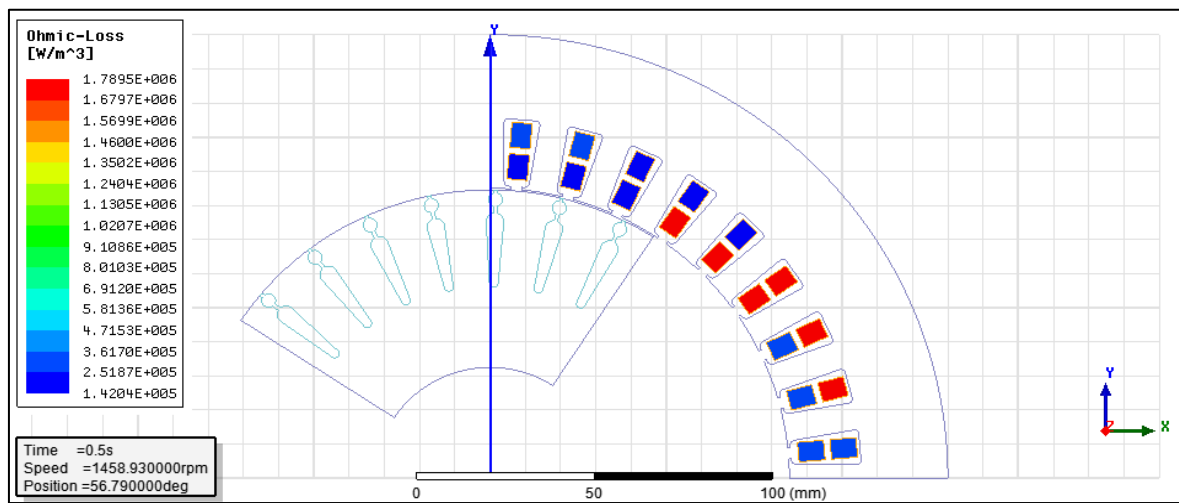
Şekil 5.30. Asenkron motorun 2 boyutlu mesh ağı



Şekil 5.31. Asenkron motorun 500ms'de manyetik akı dağılımı



Şekil 5.32. Asenkron motorun 500ms'de manyetik akı yoğunluğu dağılımı



Şekil 5.33. Asenkron motor 500ms'de stator bakır kayıpları

Yukarıda yer alan SEA sonuçları incelendiğinde SEA ile gerçekleştirilen tasarım doğrulama analizleri incelendiğinde analitik yöntemler kullanarak tasarlanan asenkron motorun, performans çıktılarının iyileştirilmesi gerektiği görülmektedir. Gerçekleştirilecek optimizasyon çalışması ile daha iyi performans değerlerine sahip olacağı değerlendirilmektedir.

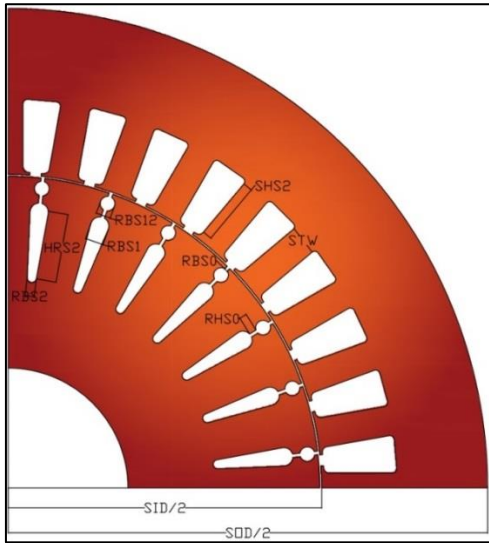
5.3.2. Asenkron motor tasarım optimizasyonu

Verimi yükseltmek için kullanılan amaç fonksiyonları aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$F1 = 100 - Eff \quad (7.9)$$

$$F2 = 1/Eff \quad (7.10)$$

$$F3 = 1/(100 - Eff) \quad (7.11)$$



Şekil 5.34. Asenkron motor geometrik değişkenlerin gösterimi

Yukarıdaki Şekil 5.31’de asenkron motorun 2 boyutlu kesit alanı verilerek, değişken olarak kullanılan geometrik parametreler gösterilmektedir. Ayrıca aşağıdaki eşitliklerde bu değişkenlerin sınır şartları yer almaktadır.

$$240 \leq SOD \leq 300 \quad (7.3)$$

$$150 \leq SID \leq 190 \quad (7.4)$$

$$100 \leq L \leq 220 \quad (7.2)$$

$$6 \leq STW \leq 11 \quad (7.3)$$

$$15 \leq SHS2 \leq 22 \quad (7.4)$$

$$2 \leq RBS12 \leq 7 \quad (7.3)$$

$$0,5 \leq RBS0 \leq 2 \quad (7.4)$$

$$14 \leq RHS2 \leq 22 \quad (7.2)$$

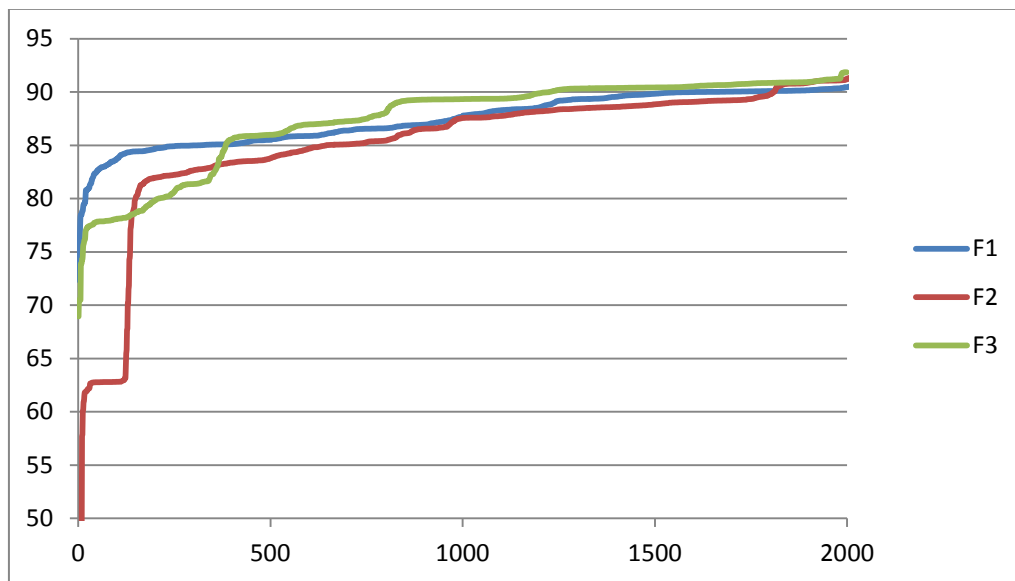
$$2 \leq RBS1 \leq 8 \quad (7.3)$$

$$1 \leq RHS0 \leq 4 \quad (7.4)$$

$$1 \leq RBS2 \leq 4 \quad (7.4)$$

Burada stator oluk alanı optimizasyon boyunca değişken olduğundan dolayı, stator doluluk oranı uygulanabilir bir değer olan %65'i geçmeyecek şekilde, toplam iletken kesiti RMxprt tarafından otomatik olarak ayarlanmaktadır.

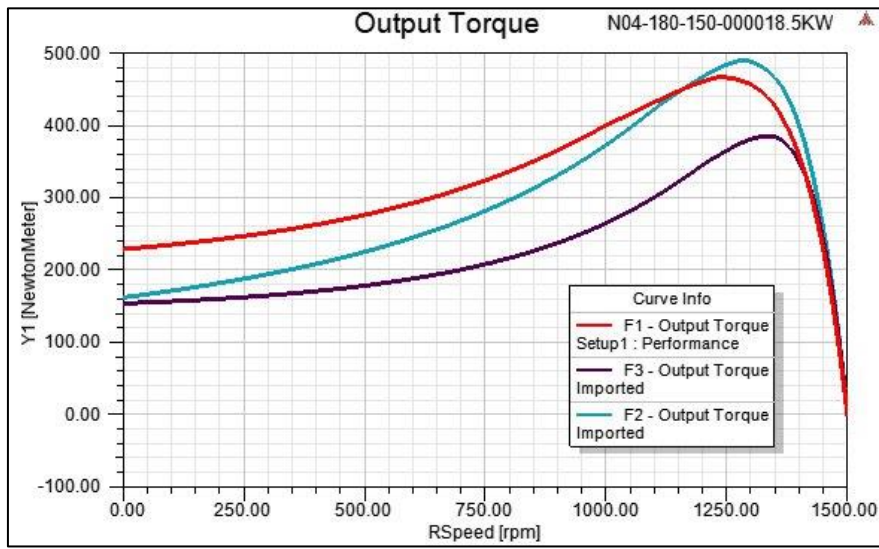
Her bir fonksiyon için gerçekleştirilen 2000 iterasyonun karşılaştırılması aşağıdaki Figure 2'de verilmiştir.



Şekil 5.35. İterasyon sayısına karşılık verim

CPS değeri de dahil edildiğinde toplam 12 değişkenin kullanıldığı çalışmada her bir amaç fonksiyonu ile 2000 iterasyon gerçekleştirilmiş ve yukarıdaki Şekil 5.32 incelendiğinde de, kullanılan sezgisel optimizasyon algoritmasının aynı olmasına rağmen amaç fonksiyonunun çalışmanın sonucuna etkisi çok net bir şekilde görülmektedir.

Asenkron motorlarda verimin yanı sıra, yük altında kalkış yapabilme özelliğinden dolayı hız-tork eğrisinin de önemi büyüktür. Aşağıdaki Şekil 5.33’de 3 farklı modelin tork-hız eğrileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 5.36. Asenkron motorda tork-hız eğrilerinin karşılaştırılması

Yukarıdaki şekil incelendiğinde, F1 ile elde edilen sonuçlarda kalkış momentinin daha yüksek olduğu ancak F2 ile elde edilen modelin de devrilme momentinin daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir.

Ayrıca, aşağıdaki Çizelge 5.20’de analitik yöntemler ile elde edilen tasarımın performans değerleri ile üç farklı amaç fonksiyonu ile elde edilen değişkenler ve bu değişken parametrelere göre performans değerleri sunulmuştur.

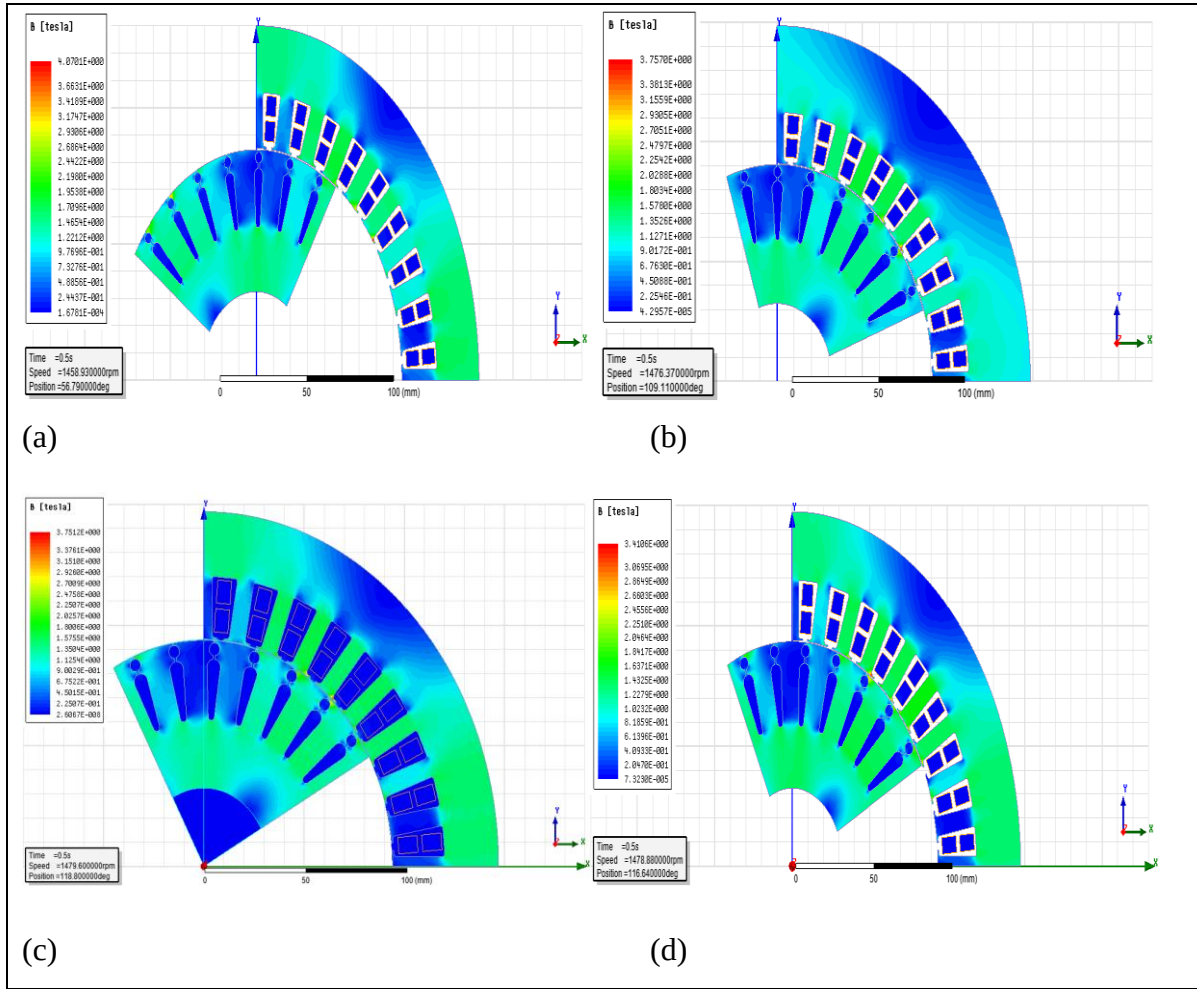
Çizelge 5.20. Asenkron motorun optimizasyon öncesi ve sonrası performans parametreleri

Parametre	Analitik Olarak Elde Edilen Model	F ₁	F ₂	F ₃
CPS	100	76	76	78
SOD (mm)	270	297.4	294.6	294.8
SID (mm)	170	182.8	188.3	188.3
L (mm)	150	210.1	205.4	205.4
STW (mm)	8	7.98	8.17	8.17
SHS2 (mm)	17	17.88	20.05	21.54
RBS12 (mm)	4	4.43	5.27	5.27
RBS0 (mm)	1	1.21	0.56	0.57
RHS2 (mm)	18	20.49	21.6	21.6
RBS1 (mm)	5	5.31	6.77	6.77
RBS2 (mm)	2.5	2.42	3.13	3.13
RHS0 (mm)	2	1.51	1.48	2.55
Spesifik Elektrik Yükleme (A/m)	37583	24406	24152	24572
Stator Bakır Kaybı (W)	984.25	519.84	412.63	442.78
Rotor Bakır Kaybı (W)	527.44	299.98	257.03	267.68
Nüve Kaybı (W)	375.12	406.40	547.95	492.69
Verim	%88.9	%91.79	%91.85	%91.9
Güç Faktörü	0,811	0.855	0.834	0.846
Hız (Rpm)	1458	1476	1479	1478

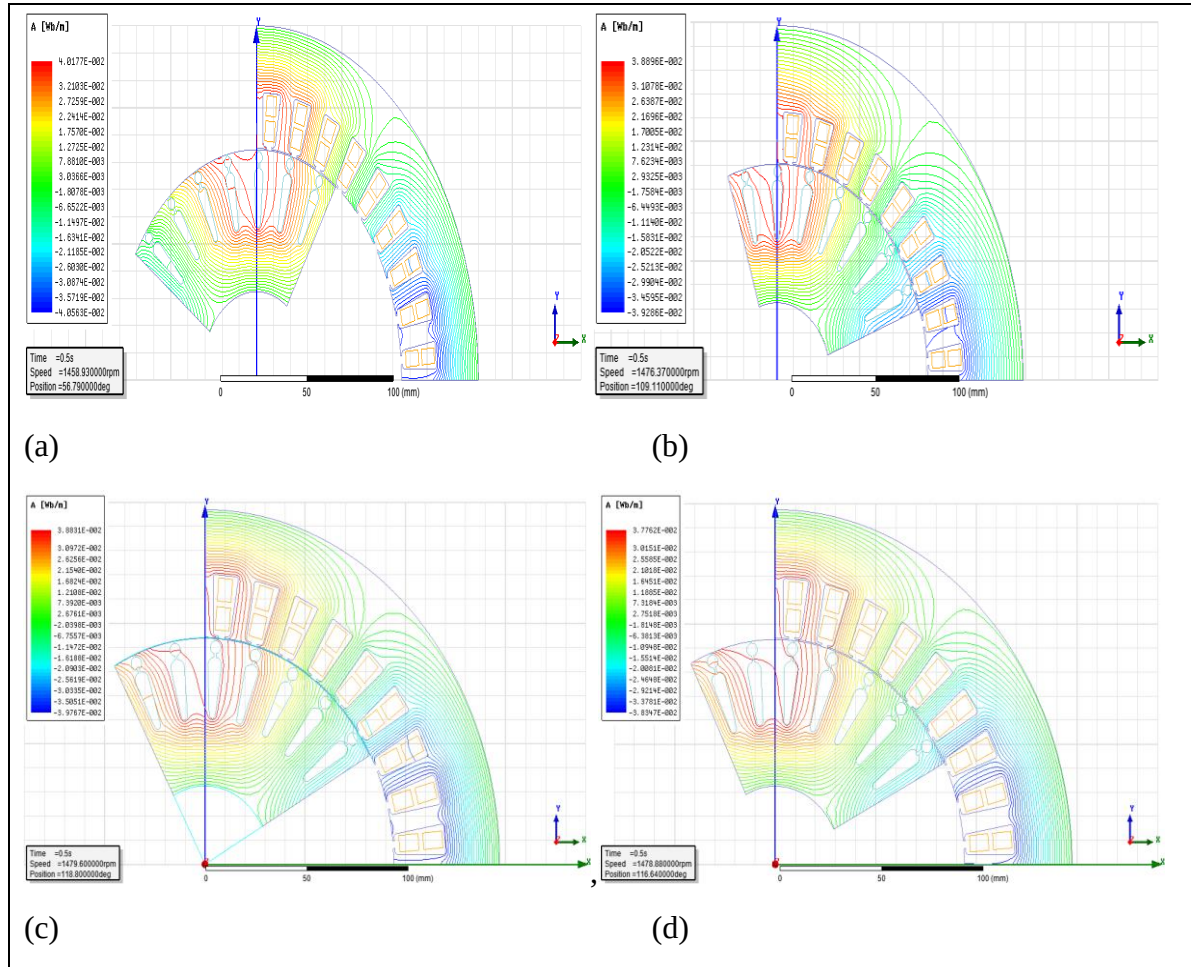
Burada F1 ile verim %3.25, güç faktörü %5.42 artarken, spesifik elektrik yükleme %35 azalmıştır. F2 ile verim %3.31, güç faktörü %2.83 artarken, spesifik elektrik yükleme %35.7 azalmıştır. F3 ile verim %3.37, güç faktörü %4.31 artarken, spesifik elektrik yükleme %34.6 azalmıştır.

5.3.3. Asenkron motor 2 boyutlu sonlu eleman analizleri

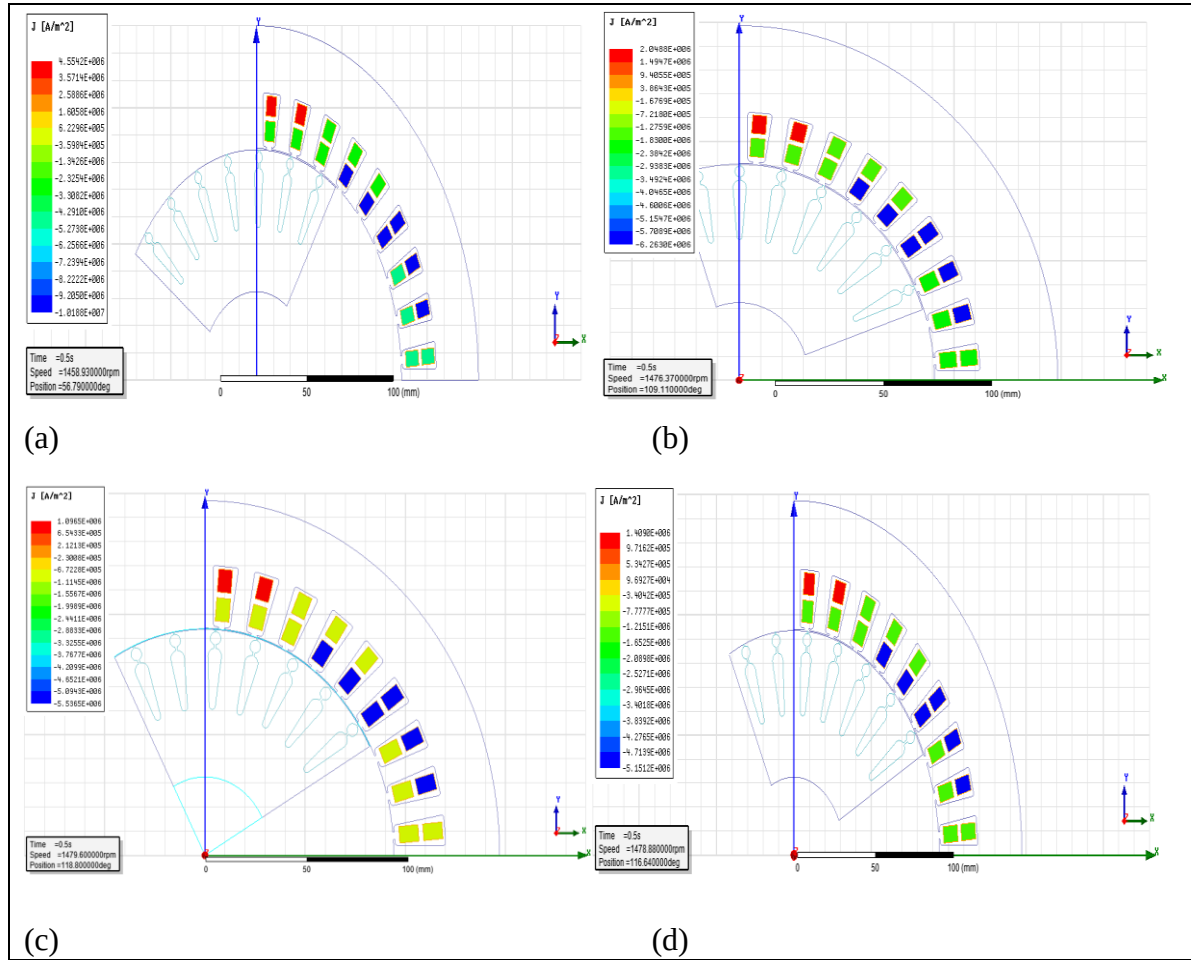
Bu çalışmada analitik yöntemler kullanarak tasarlanan ve YAKA ile optimizasyonu tamamlanan, SEA analizleri gerçekleştirilen asenkron motorun, 0 ile 500 ms aralığında çalıştırılarak motorun manyetik akı dağılımı, manyetik akı yoğunluğu dağılımı, stator sargılarındaki akım yoğunluğu gibi parametreler görsel olarak karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 5.37. Asenkron motorun manyetik akı yoğunluğu dağılımı (a) Başlangıç parametrelerinde (b) F1 fonksiyonu sonucu (c) F2 fonksiyonu sonucu (d) F3 fonksiyonu sonucu



Şekil 5.38. Asenkron motorun manyetik akı dağılımı (a) Başlangıç parametrelerinde (b) F1 fonksiyonu sonucu (c) F2 fonksiyonu sonuc (d) F3 fonksiyonu .sonucu



Şekil 5.39. Asenkron motorun stator sargılarındaki akım yoğunluğunun gösterimi
 (a) Analitik parametrelerde (b) F1 fonksiyonu sonucu (c) F2 fonksiyonu sonucu (d) F3 fonksiyonu sonucu

Şekil 5.36'da 500ms'deki stator sargılarındaki akım yoğunluğunun değişimi görülmektedir. Şekil 5.36 incelendiğinde 500ms'de motorun kalkışının gerçekleşmiş ve anma şartlarında analizin devam ettiği görülmektedir.

Şekil 5.34 ve Şekil 5.36 arasındaki sonuçlar incelendiğinde, elde edilen 3 farklı tasarım uygulama açısından uygun bir seviyededir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında endüstride kullanımı gün geçtikçe artan KMSM ve KMSG'lerin en önemli parametrelerinden birisi olan, rotorunda kullanılan kalıcı mıknatısların geometrik parametreleri farklı yapay zeka optimizasyon algoritmaları kullanılarak verim iyileştirilme çalışması yapılmıştır. Bu tez çalışmasında ayrıca, dünyamızda üretilen elektriğin büyük çoğunluğunun harcandığı asenkron motorların tasarım optimizasyonu da gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, önce elektrik makinalarında kullanılan malzemeler incelenmiş ve elektrik makinalarının genel tasarım süreci açıklanmıştır. Kullanılan yapay zeka optimizasyon algoritmalarından bahsettikten sonra analitik olarak tasarım hesaplamaları tamamlanan KMSM, KMSG ve asenkron motor öncelikle Ansys Maxwell RMxpert ile analitik olarak analiz edilmiştir. Analitik analiz sonuçlarının tasarım hedefine uygun olduğuna kanaat getirildiğinde Maxwell 2D ile SEA'ne tabi tutularak tasarım doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir.

SEA yöntemlerinin doğruluk oranlarının yüksek olması prototip maliyetini minimize etmekle birlikte, birçok farklı tasarımın hızlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

SEA sonrasında elde edilen sonuçlar incelenmiş ve sonrasında MATLAB ve Ansys Maxwell RMxpert arasında kurulan bağlantı vasıtası ile optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Optimizasyon algoritması olarak YAKA ve SOA algoritmaları MATLAB üzerinden çalıştırılırken, karşılaştırma kabiliyetini arttırmak için Ansys içerisinde GA algoritması da kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan 3 farklı optimizasyon algoritması ile elde edilen optimum parametreler SEA'ne tabi tutulmuş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu karşılaştırma ile hem kullanılan sezgisel algoritmalarının performansları hemde amaç fonksiyonunun optimizasyon sürecine etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde görüldüğü üzere Matlab üzerinden kontrolü sağlanan SOA ve YAKA ile elde edilen sonuçlar, Maxwell içerisinde yer alan GA'ya göre daha yavaş ancak

daha iyidir. Tezin ana amaçlarından birisi olan Ansys Maxwell içerisinde yer alan algoritmalara olan bağlılığın ortadan kalkması neticesinde güncel ve farklı optimizasyon tekniklerinin kullanımı uygulanabilir olmuştur.

Ayrıca bu tez çalışmasında uygulanan bu yöntem ile Ansys içerisinde yer alan optimizasyon algoritmalarına bağlılık ortadan kalkmakla birlikte yalnızca elektrik makinalarının değil, elektromanyetik problemlerin optimizasyonları içinde kullanılabilir hale gelmiştir.

KAYNAKLAR

1. Islam, R., Husain, I., Fardoun, A., and McLaughlin, K. (2009). Permanent-magnet synchronous motor magnet designs with skewing for torque ripple and cogging torque reduction. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Industry Applications*, 45(1), 152-160.
2. Ocak, C., Tarimer, İ., and Dalcı, A. (2016). Advancing Pole Arc Offset Points in Designing an Optimal PM Generator. *TEM Journal*, 5(2), 126.
3. Li, Y., Zou, J., and Lu, Y. (2003). Optimum design of magnet shape in permanent-magnet synchronous motors. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Magnetics*, 39(6), 3523-3526.
4. Liu, X., Fu, W. N., and Niu, S. (2017). Optimal structure design of permanent magnet motors based on a general pattern of rotor topologies. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Magnetics*, 53(11), 1-4.
5. Li, Y., Xing, J., Wang, T., and Lu, Y. (2008). Programmable design of magnet shape for permanent-magnet synchronous motors with sinusoidal back EMF waveforms. *IEEE transactions on magnetics*, 44(9), 2163-2167.
6. Lee, J. G., Hwang, N. W., Ryu, H. R., Jung, H. K., and Woo, D. K. (2017). Robust Optimization Approach Applied to Permanent Magnet Synchronous Motor. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Magnetics*, 53(6), 1-4.
7. Lei, G., Liu, C., Zhu, J., and Guo, Y. (2015). Techniques for multilevel design optimization of permanent magnet motors. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Energy Conversion*, 30(4), 1574-1584.
8. Zhu, X., Xiang, Z., Quan, L., Wu, W., and Du, Y. (2018). Multimode optimization design methodology for a flux-controllable stator permanent magnet memory motor considering driving cycles. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Industrial Electronics*, 65(7), 5353-5366.
9. Sreejeth, M., Singh, M., and Kumar, P. (2015). Particle swarm optimisation in efficiency improvement of vector controlled surface mounted permanent magnet synchronous motor drive. *In IET Power Electronics*, 8(5), 760-769.
10. İnternet: Gauchía, A., Boada, B. L., Boada, M. J. L., and Díaz, V. (2014). Integration of MATLAB and ANSYS for advanced analysis of vehicle structures. Paper presented at the *MATLAB Applications for the Practical Engineer*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.intechopen.com%2Fbooks%2Fmatlab-applications-for-the-practical-engineer%2Fintegration-of-matlab-and-ansys-for-advanced-analysis-of-vehicle-structures&date=2018-06-29> Son Erişim Tarihi: 29/05/2018.
11. Mutluer, M., ve Bilgin, O. (2012). *Design optimization of PMSM by particle swarm optimization and genetic algorithm*. Paper presented at the 2012 International Symposium on The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Trabzon, Turkey.

12. Caramia, R., Palka, R., Wardach, M., and Piotuch, R. (2013). Multiobjective geometry optimization of a SPMSM using an evolutionary algorithm. *International Symposium on Theoretical Electrical Engineering*, 51-52.
13. Li, Y., Xing, J., Wang, T., and Lu, Y. (2008). Programmable design of magnet shape for permanent-magnet synchronous motors with sinusoidal back EMF waveforms. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Magnetics*, 44(9), 2163-2167.
14. Ilka, R., Gholamian, S. A., and Addeh, J. (2013). Optimum design of a five-phase surface-mounted permanent magnet synchronous motor using bees algorithm. *Journal of Electrical Engineering*, 13(1), 146-153.
15. Laskaris, K. I., and Kladas, A. G. (2011). Permanent-magnet shape optimization effects on synchronous motor performance. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Industrial Electronics*, 58(9), 3776-3783.
16. Khazaei, S., Tahani, A., Yazdani-Asrami, M., and Gholamian, S. A. (2015). Optimal design of three phase surface mounted permanent magnet synchronous motor by particle swarm optimization and bees algorithm for minimum volume and maximum torque. *Journal of Advances in Computer Research*, 6(2), 83-98.
17. Duan, Y., Harley, R.G., and Habetler, T.G. (2008). Multi-objective design optimization of surface mount permanent magnet machine with particle swarm intelligence. *IEEE Swarm Intelligence Symposium*, 49(3), 1268 - 1275.
18. Tutelea, L., and Boldea, I. (2010). *Surface permanent magnet synchronous motor optimization design: Hooke Jeeves method versus genetic algorithms*. Paper presented at the 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Bari, Italy
19. Sarikhani, A., and Mohammed, O. (2014). *A multi-physics multi-objective optimal design approach of PM synchronous machines*. Paper presented at the Electrical Machines (ICEM), 2014 International Conference Berlin, Germany.
20. Jabbari, A., Shakeri, M., and Nabavi Niaki, S. A. (2010). Pole shape optimization of permanent magnet synchronous motors using the reduced basis technique. *Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 6(1), 48-55.
21. Fujishima, Y., Wakao, S., Yamashita, A., Katsuta, T., Matsuoka, K., and Kondo, M. (2002). Design optimization of a permanent magnet synchronous motor by the response surface methodology. *Journal of Applied Physics*, 91(10), 8305-8307.
22. Kong, Y., Lin, M., Guo, R., Li, N., and Xu, D. (2018). Design and optimization of an outer-rotor permanent magnet synchronous machine with an amorphous stator core. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Applied Superconductivity*, 28(3), 1-5.
23. Gradinaru, V., Tutelea, L., and Boldea, I. (2008). *25 kW, 15 krpm, 6/4 PMSM: Optimal design and torque pulsation reduction via FEM*. Paper presented at the OPTIM 2008. 11th International Conference, Brasov, Romania.

24. Mi, C. C. (2006). Analytical design of permanent-magnet traction-drive motors. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Magnetics*, 42(7), 1861-1866.
25. Cassimere, B. N., and Sudhoff, S. D. (2009). Population-based design of surface-mounted permanent-magnet synchronous machines. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Energy Conversion*, 24(2), 338-346.
26. Yenipinar, B., Yılmaz, C., Sönmez, Y., ve Işık, M. (2017). Asenkron motorlarda rotor oluşunun farklı optimizasyon yöntemleri ile optimizasyonunun gerçekleştirilmesi ve performansa etkilerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi* 21(1), 1-6.
27. Üstün, O. (2004). *Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor Hızının Bulanık Sinirsel ve Kayma Kipli Denetleyicilerle Dönüştürümlü Denetimi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
28. Karaboğa, D. (2014). *Yapay zekâ optimizasyon algoritmaları*. İstanbul: Nobel Yayın Dağıtım, 1-244.
29. Vural, M. (2005). *Genetik Algoritma Yöntemi İle Toplu Üretim Planlama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
30. Yücenur, G. N. (2011). *Optimizasyon Problemlerinin Çözümünde Melez Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
31. Elmas, Ç. (2010). *Yapay zeka uygulamaları*. Ankara: Seçkin Yayıncılık, 1-421.
32. Cheng, M. Y., and Prayogo, D. (2014). Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm. *Computers & Structures*, 139(1), 98-112.
33. Tejani, G. G., Savsani, V. J., and Patel, V. K. (2016). Adaptive symbiotic organisms search (SOS) algorithm for structural design optimization. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3(3), 226-249.
34. Ruskartina, E., Vincent, F. Y., Santosa, B., and Redi, A. P. (2015). Symbiotic Organism Search (SOS) for Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 9(5), 850-854.
35. Kurt, Ü. (2006). *Eksenel Akıllı Sürekli Mıknatıslı Senkron Maknalar İçin Yeni Tasarım Modeli Geliştirme*. Doktora Tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
36. Furlani, E. P. (2001). *Permanent magnet and electromechanical devices: materials, analysis, and applications*. New York: Academic Press, 1-180.
37. Yan, Y., Zhu, J., and Guo, Y. (2007). A permanent magnet synchronous motor model with core loss. *Journal of JSAEM, Japanese Society of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 15, 147-150.

38. Ocak, C. (2009). *Mikro-Hidroelektrik ve Rüzgar Santralleri İçin Düşük Devirli Eksenel Akılı Kalıcı Mıknatıslı Generatör Tasarımı ve Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Ankara.
39. Murthy, K. M. (2008). *Computer-aided design of electrical machines*. Canada: BS Publisher.
40. Liu, T., Huang, S. and Gao, J. (2011). *Optimal design of the direct-drive high power permanent magnet generator turbine by wind*. Paper presented at 2011 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, Malaga, Spain.
41. Ping, H. W., ve Keet, W. Y. (2011). *Effects of cogging torque due to amount of stator slot in permanent magnet generator using finite element analysis*. Paper presented at the *Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)*, Niagara Falls, ON, Canada.
42. Bhuvaneswari, R., & Subramanian, S. (2005). Optimization of three-phase induction motor design using simulated annealing algorithm. *Electric Power Components and Systems*, 33(9), 947-956.
43. Skalka, M., Ondrusek, C., Kurfurst, J., and Cipin, R. (2012). *Harmonic reduction in induction machine using slot wedges optimization*. Paper presented at the International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Sorrento, Italy.
44. Çunkaş, M., and Akkaya, R. (2006). Design optimization of induction motor by genetic algorithm and comparison with existing motor. *Mathematical and Computational Applications*, 11(3), 193-203.
45. Gürdal, O. (2001). *Elektrik makinalarının tasarımı*. Ankara: Atlas Yayın Dağıtım, 1-70.
46. Duan, Y. (2010). *Method For Design and Optimization of Surface Mount Permanent Magnet Machines And Induction Machines*. Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology, Atlanta.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YENİPINAR, Burak
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 18.02.1992 , Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (546) 236 06 18
 e-mail : yenipinar.burak@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / E-E Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / E-E Mühendisliği	2015
Lise	Oğuzhan Endüstri Meslek Lisesi	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	Pars Makina Ltd. Şti.	Ar-Ge Mühendisi
2015-2016	Elsan Elektrik A.Ş.	Elektrik Tasarım ve Test Şefi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Yenipinar, B , Yılmaz, C , Sönmez, Y , Işık, M . (2017). Asenkron Motorlarda rotor oluşunun farklı optimizasyon yöntemleri ile optimizasyonunun gerçekleştirilmesi ve performansa etkilerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi* 21(1),1-6

Hobiler

Tarih, Fizik



GAZİ GELECEKTİR..