


IZMIR KATIP CELEBI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**MODELLING AND OPTIMIZATION OF PERMANENT MAGNET
SYNCHRONOUS GENERATORS**



M.Sc. THESIS
Erhan NERGİZ
(600914008)

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Asist. Prof. Dr. Levent AYDIN

MART 2018

İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SABİT MIKNATISLI SENKRON GENERATÖRLERİN
MODELENMESİ VE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Erhan NERGİZ
(600914008)

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Dç. Dr. Levent AYDIN

MART 2018



İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 600914008 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Erhan NERGİZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SABİT MIKNATISLI SENKRON GENERATÖRLERİN MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :

Yard. Doç. Dr. Levent AYDIN
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. B. Burak ÖZHAN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

.....

Yard. Doç. Dr. Ebubekir ATAN
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

.....

Teslim Tarihi : 20.03.2017

Savunma Tarihi : 27.03.2018



ÖNSÖZ

Optimizasyon konusunda ve bu tez çalışmasının planlanmasının her aşamasında benden yardımını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, endüstriyel uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılan akademik bir konuyu bana sevdiren ve böyle güncel bir konuda tez çalışması yapmamı sağlayan danışman hocam Sayın Yard. Doç. Dr. Levent AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Sayın Ege Dinamik Elektromekanik Enerji ve Robot Sistemleri A.Ş'nin genel müdürü Dr. Durmuş UYGUN'a teşekkür ederim.

Son olarak, sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Mart 2018

Erhan NERGİZ
(Makine Mühendisi)



ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı.....	3
1.2 Araştırmanın Motivasyon Kaynağı ve Amaçları	5
1.3 Tez Çalışmasının Referans Aldığı Çalışmalar	6
1.4 Literatür Araştırması	6
2. GENERATÖR	11
2.1 Generatör Tanımı, Tarihi ve Çeşitleri	11
2.2 Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG).....	13
2.2.1 SMSG'nin yapısı	14
2.2.1.1 In-runner SMSG	14
2.2.1.2 Out-runner SMSG.....	15
2.2.1.3 Eksenel akılı SMSG.....	15
2.2.2 Boyutlandırma parametreleri	16
2.2.3 Endüstriyel uygulamalar	18
3. ANSYS MAXWELL	19
3.1 RMaxprt	19
3.1.1 Makine girdileri.....	20
3.1.2 Strator	21
3.1.2.1 Strator oluk boyutlandırması	21
3.1.2.2 Strator sarım değerleri.....	22
3.1.3 Rotor	22
3.1.3.1 Kutup.....	23
3.2 Optimetrics	23
4. REGRESYON ANALİZİ	25
4.1 Modeller.....	26
4.2 Regresyon Analizinin Amacı ve Kullanımı.....	27

4.3 Genel Uygunluk Denklemi.....	27
4.4 Nonlinear Regresyon Analizi	28
5. OPTİMİZASYON	31
5.1 Tek Amaçlı Optimizasyon	32
5.2 Tek Amaçlı Optimizasyon	32
5.3 Stokastik Optimizasyon Algoritmaları	33
5.3.1 Nelder-Mead algoritması.....	33
5.3.2 Random Search algoritması.....	35
5.3.3 Simulated Annealing algoritması.....	36
5.3.4 Differential Evolution algoritması	38
5.4 Wolfram Mathematica ve Optimizasyon Araçları.....	39
5.4.1 NMinimize ve NMaximize çözücüleri.....	40
6. PROBLEMİN TANIMI.....	43
6.1 Amaç ve Kısıt Fonksiyonları.....	43
6.2 Tasarım Değişkenleri ve Sabit Parametreler	43
6.3 Verilerin Elde Edilmesi.....	45
6.4 Matematiksel Modeller	52
6.5 Optimizasyon Problemleri.....	54
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	73
7.1 Mathematica ve Maxwell Sonuçlar	73
7.2 Sonuçların İncelenmesi ve Referans Çalışmayla Karşılaştırılması	88
7.3 Nihai Sonucun Belirlenmesi ve Elektiriksel Parametreler Açından Karşılaştırılması.....	112
8. GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR	117
KAYNAKLAR.....	119
EKLER	129
ÖZGEÇMİŞ.....	145

KISALTMALAR

SMSG : Sabit Miknatıslı Senkron Generatör

SG : Senkron Generatör

SEY : Sonlu Elemanlar Yöntemi

FEM : Finite Elements Method

rpm : Devir Sayısı (devir/dakika)

DC : Direct Current

AC : Alternating Current

DGM : Darbe Genişlik Modülasyonu

GA : Genetic Algorithm

SA : Simulated Annealing

DE : Differential Evolution

NM : Nelder-Mead

EMF : Elektro Magnetic Force

dq : Direct quadrator eksenler

DOE :Design Of Experiments

MDO : Multifizik Tasarım Optimizasyonu

DM : Decision Maker

ANN : Artificial Neural Network

D-D : Direct-Drive

3D : Üç Boyutlu

2D : İki Boyutlu

PV : Fotovoltaik

J : Akım yoğunluğu



SEMBOLLER

kVA : KiloVoltAmper

MVA : MegaVoltAmper

Hz : Herthz

V : Volt

kW : KiloWat

MW : MegaWatt

R² : Korelasyon Katsayısı

x : Girdi Değişkenleri

y : Yanıt Fonksiyonu

2p :Çift Kutup Sayısı

n : Generatör Çalışma Hızı (rpm)

f : Frekans



TABLO LİSTESİ

- Tablo 1.1** : MSG tasarımında kullanılan optimizasyon metodları
- Tablo 1.2** : Optimizasyon problemleri için kullanılan kısıtlar, tasarım değişkenleri ve optimizasyon metodları
- Tablo 2.1** : DD-MSG'lerin Avantajları
- Tablo 2.2** : MSG tasarım sürecinde dikkat edilmesi gereken önemli kriterler
- Tablo 2.3** : MSG tasarımında gerekli tasarım değişkenleri
- Tablo 3.1** : Rmxprt yazılımında tasarlanabilen Elektrik Makineleri
- Tablo 3.2** : Devre Tipleri
- Tablo 3.3** : Stator Parametreleri
- Tablo 3.4** : Stator Oluk Parametreleri
- Tablo 3.5** : Stator Sarım Parametreleri
- Tablo 3.6** : Rotor Parametreleri
- Tablo 5.1** : Dört optimizasyon metoduna ait “*Wolfram Mathematica*” programı ayarları
- Tablo 6.1** : Sabit alınan parametreler
- Tablo 6.2** : Modellerde kullanılan tasarım değişkenleri
- Tablo 6.3** : Verim parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (30720 satır)
- Tablo 6.4** : Tutma torku parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (6144 satır)
- Tablo 6.5** : Çıkış gücü parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (9216 satır)
- Tablo 6.6** : Hat voltajı parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (7776 satır)
- Tablo 6.7** : Oluk doluluk oranı parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (6480 satır)
- Tablo 6.8** : Ağırlık parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (2592 satır)
- Tablo 6.9** : Modellere ait R^2 ve R^2_{adj} sonuçları
- Tablo 6.10** : Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metodları
- Tablo 7.1** : Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları
- Tablo 7.2** : Tasarım değişkenlerine ait diğer parametrelerin Mathematica ve Maxwell sonuçları
- Tablo 7.3** : Referans çalışmaya ait simülasyon, ölçüm ve analitik sonuçları

Tablo 7.4	: Problem 1 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.5	: Problem 2 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.6	: Problem 3 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.7	: Problem 4 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.8	: Problem 5 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.9	: Problem 6 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.10	: Problem 7 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.11	: Problem 8 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.12	: Problem 9 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.13	: Problem 10 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.14	: Problem 11 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.15	: Problem 12 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.16	: Problem 13 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.17	: Problem 14 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.18	: Problem 15 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.19	: Problem 16 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.20	: Problem 17 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.21	: Problem 18 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.22	: Problem 19 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.23	: Problem 20 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.24	: Problem 21 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.25	: Problem 22 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.26	: Problem 23 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.27	: Problem 24 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.28	: Problem 25 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.29	: Problem 26 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.30	: Problem 27 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.31	: Problem 28 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.32	: Problem 29 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.33	: Problem 30 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.34	: Problem 31 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.35	: Problem 32 sonuçlarının revizyonu

Tablo 7.36	: Problem 33 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.37	: Problem 34 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.38	: Problem 35 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.39	: Problem 36 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.40	: Problem 37 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.41	: Problem 38 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.42	: Problem 39 sonuçlarının revizyonu
Tablo 7.43	: Problem 32 sonuçlarının tekrar revize edilmesi
Tablo A.1	: Tasarım değişkenlerinin maksimum ve minimum noktalarda fonksiyonlara olan etkisi
Tablo A.2	: Verim Maxwell Veri Sonuçları
Tablo A.3	: Tutma Torku Maxwell Veri Sonuçları
Tablo A.4	: Çıkış Gücü Maxwell Veri Sonuçları
Tablo A.5	: Hat Voltajı Maxwell Veri Sonuçları
Tablo A.6	: Oluk Doluluk Oranı Maxwell Veri Sonuçları
Tablo A.7	: Ağırlık Maxwell Veri Sonuçları



ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2.1** : 1894'te Westinghouse'da yapım aşamasında olan Niagara Generatörü, Pittsburg
- Şekil 2.2** : 1.5 MegaWatt DD Rüzgâr Türbini (SMSG)
- Şekil 2.3** : In-runner bir SMSG'nin 3D tasarımı
- Şekil 2.4** : In-runner SMSG 2D gösterimi
- Şekil 2.5** : Out-Runner SMSG 2D gösterimi
- Şekil 2.6** : Eksenel Akıllı SMSG
- Şekil 3.1** : ANSYS Maxwell v16
- Şekil 3.2** : Stator Oluk Parametrelerinin Gösterimi
- Şekil 5.1** : Nelder-Mead akış şeması (Barati'den uyarlanmış,2011)
- Şekil 5.2** : Random Search akış şeması (Zabinsky'den uyarlanmış,2011)
- Şekil 5.3** : Simulated Annealing akış şeması (Pham & Karaboğa'dan uyarlanmış, 2000)
- Şekil 5.4** : Differential Evolution akış şeması (Vo-Duy ve diğ.'den uyarlanmış, 2017)
- Şekil 7.1** : Problemlere ait verim ve oluk doluluk oranı sonuçları
- Şekil 7.2** : Problemlere ait verim katsayıları
- Şekil 7.3** : Problemlerin revizyon sonrası verim sonuçları
- Şekil 7.4** : Problemlerin revizyon sonrası ağırlık sonuçları
- Şekil 7.5** : Problemlerin verim-ağırlık katsayıları
- Şekil 7.6** : Elektriksel Açığa Bağlı Sargı Gerilimleri
- Şekil 7.7** : Elektriksel Açığa Bağlı Sargı Akımları
- Şekil 7.8** : Farklı Güçlerde Hıza Bağlı Verim
- Şekil 7.9** : Farklı Güçlerde Hıza Bağlı Akım Yoğunluğu
- Şekil 7.10** : Farklı Güçlerde Hıza Bağlı Hat Voltajı
- Şekil 7.11** : Generatör Genel Diyagramı
- Şekil 7.12** : Elektriksel Açığa Bağlı Tutma Torku



SABİT MIKNATISLI SENKRON GENERATÖRLERİN MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Gelişen teknoloji ve sanayileşme ile birlikte, enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyacın büyük bir kısmı fosil yakıtlı santrallerden karşılanmaktadır. Fakat fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar ve ömürlerinin de her geçen gün azalması, alternatif enerji kaynakları ile ilgili çalışmaların artmasına neden olmuştur. Bu enerji kaynaklarının en önemlileri; rüzgâr türbinleri, güneş enerjisi santralleri, hidroelektrik santraller, jeotermal enerji ve biyoenerji tesisleridir. Sabit mıknatıslı senkron generatörler (SMSG), özellikle D-D rüzgâr türbinlerinde, hidroelektrik santrallerinde ve elektrikli araçlarda mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Yenilenebilir enerji üretiminde ve türbin yapısı tasarım sürecinde SMSG'lerin verimliliği oldukça önemlidir. Bu çalışmada, "Maxwell RMXprt" programının çıktıları baz alınarak, başlangıç kriterleri belirli bir iç rotorlu SMSG'nin tasarım sürecinde, verime doğrudan etkiyen bağımsız değişkenler belirlenmiş, bu değişkenlerin maksimum verim için tahmini ve optimizasyonu için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Ayrıca bu değişkenler ile verim arasındaki ilişkileri yapılandırmak için nonlineer regresyon analizi uygulanmış, matematiksel hesaplamalar için de "Wolfram Mathematica" programı kullanılmıştır. SMSG başlangıç kriterleri olarak Çetinceviz (2017) doktora tezinde SEY ve Parametrik Analiz uygulayarak optimizasyonunu ve üretimini gerçekleştirdiği generatör parametreleri ele alınmıştır. Bu generatör modeli için deneysel sonuçların da incelenmiş olması ve "Maxwell RMXprt" sonuçlarıyla deneysel sonuçlarının birbirine yakınlığı, bu tez çalışmasının referansı olmasında önem teşkil etmiştir.

Bu çalışmada öncelikle verimi tahmin edebilmek için bir matematik model geliştirilmiştir. Verim modeline ek olarak ağırlık, tutma torku, oluk doluluk oranı, çıkış gücü ve hat voltajı değerlerini tahmin etmek için de beş farklı matematik model geliştirilmiştir. Bu modellerin oluşturulma amacı, maksimum verimde bir SMSG için ağırlığı ve tutma torkunu minimize etmek, oluk doluluk oranı aralığını belirlemek, çıkış gücünü ve hat voltajını istenen değerlere sabitlemektir. Oluşturulan genel matematik modelin, nonlineer regresyon analizleri sonucunda başlangıç kriterleri belirli bir SMSG için, verim optimizasyonu sürecinde gerekli değişkenleri doğru bir şekilde tahmin edebildiği görülmüştür. Modellerin oluşturulması tamamlandıktan sonra SMSG verim optimizasyonu için 39 adet problem oluşturulmuştur ve her bir problemin sonuçları Maxwell programı sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. SMSG optimizasyon çalışmalarında "Differential Evolution", "Nelder-Mead", "Simulated Annealing" ve "Random Search" metodları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda yüksek verimli bir SMSG modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model belirlenen tasarım kriterlerini sağlamaktadır ve elektriksel grafikleri incelendiğinde sargı akımları, sargı gerilimleri ve ısınma performansı gibi parametreler istenen aralıktadır. Tasarımda düşük rüzgâr hızlarında da elektrik üretimini mümkün kılmak için tutma torku da minimize edilmiştir.



MODELLING AND OPTIMIZATION OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATORS

SUMMARY

Along with developing technology and industrialization, energy need is increasing day by day. Much of this need is met by fossil-fueled power plants. However, the damage to the environment of fossil fuels and their longevity has been decreasing day by day, leading to increased work on alternative energy sources. The most important of these energy sources are; wind turbines, solar power plants, hydroelectric power plants, geothermal and bioenergy facilities. Permanent magnet synchronous generators (PMSG) are widely used in D-D wind turbines, hydroelectric power plants and electric vehicles to convert mechanical energy into electrical energy. The efficiency of PMSGs in renewable energy generation and turbine design process is very important. In this study, based on the outputs of "Maxwell RMxprt", the initial criteria were specified in the design process of inner-runner PMSG and the independent variables that directly affect the efficiency were determined. Then a mathematical model was developed for the estimation and optimization of these variables for maximum efficiency. In addition, nonlinear regression analysis was applied to construct relationships between these variables and efficiency, and "Wolfram Mathematica" program was used for mathematical calculations. As the starting criteria of PMSG, the constraints for the parameters specified from the doctoral thesis Cetinceviz (2017), which FEM and Parametric Analysis were applied to optimize the PMSG. The experimental results for this generator model have also been examined and the closeness of the experimental results to the "Maxwell RMxprt" results has been important for the reference of this thesis study.

In this study, firstly a mathematical model was developed to predict the efficiency. In addition to the efficiency model, five different mathematical models have been developed to estimate weight, cogging torque, stator slot fill rate, output power and line voltage. The purpose of these models is to minimize the weight and cogging torque for a PMSG at maximum efficiency, determine the stator slot fill rate range and fix the output power and line voltage to the desired values. The general mathematical model that was generated showed that the initial criteria for non-linear regression analysis can accurately predict the variables required for the efficiency optimization process for a given PMSG. After the models were completed, 39 problems were generated for the PMSG efficiency optimization and the results of each problem were compared with the Maxwell program results. "Differential Evolution", "Nelder-Mead", "Simulated Annealing" and "Random Search" methods are used in PMSG optimization studies. As a result of this work, the high efficiency PMSG model is created. The generated model satisfies the determined design criteria and when the electrical graphs are examined, the parameters such as winding currents, winding voltages and heating performance are in the desired range. In the design process, the cogging torque is also minimized to enable electricity generation at low wind speeds.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Generatör tasarım süreçlerinde, boyutlandırma hesaplamaları ve teknikleri generatör veriminin belirlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Verimli bir generatör tasarımında bu boyutlandırma parametrelerini doğru seçilmesi oldukça önemlidir. Generatör tasarımı incelenirken, ağırlık, oluk doluluk oranı, çıkış gücü, hat voltajı ve tutma torku gibi unsurlar tasarımı sınırlandıran faktörlerdir. Literatürde verim iyileştirme çalışmaları incelendiğinde farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Özellikle SMSG tasarımlarında her ne kadar tasarım için kullanılabilen yazılımlar olsa bile, özel uygulamalar için gerekli standart dışı sabit mıknatıslı makinelerin tasarımı, başlı başına uzmanlık ve uzun zaman gerektiren bir süreçtir. Literatür incelendiğinde bu süreçte kullanılan başlıca yöntemler **Tablo 1.1**'de gösterilmiştir;

Tablo 1.1 : SMSG tasarımında kullanılan optimizasyon ve analiz yöntemleri

Sonlu Elemanlar Yöntemi (Arslan, 2014; Kahourzade ve diğ. 2013; Uygun ve diğ. 2012; Wang ve diğ. 2016; Yıldırım ve diğ. 2009).	Mixed-Integer Constrained MultiObjective Optimization (Sindhya ve diğ. 2017).
Design of Experiments (Wang ve diğ. 2016).	NIMBUS and NSGA-II Optimization (Sindhya ve diğ. 2017).
ϵ -Constrained Differential Evolution (Rastogi ve diğ. 2016).	Decision Maker (Sindhya ve diğ. 2017).
GradientBasedMutation (Rastogi ve diğ. 2016).	Gradient Optimization Algorithm (Bobon ve diğ. 2017).
	Mixed-Integer Constrained Multi Objective Optimization (Sindhya ve diğ. 2017).

SMSG'lerin hem verimli hem de hafif tasarlanabilmesi enerji üretiminde ve özel uygulama gereksinimlerinde oldukça önemlidir. Özellikle küçük ölçekli rüzgâr türbinleri, elektrik dağıtım altyapısının ekonomik açıdan sorun teşkil ettiği kırsal bölgelerde önemli bir enerji

alternatifi sağlamaktadır. Yüksek verimli ve hafif SMSG tasarımlarının, bu gibi rüzgar türbinlerinde kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Ayrıca yüksek verimlilik ve hafifliğin yanında, tutma torkunun düşük olması, düşük rüzgâr hızlarında da enerji üretimine olanak sağlamaktadır.

Tez çalışmasının organizasyonu aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir:

Bu çalışma 8 bölümden oluşmaktadır. **Bölüm 1**'de SMSG'lerin endüstriyel alanda ve yenilenebilir enerji sektöründeki önemi, çalışmayı yapmamızdaki amaçlarımız ve bu konu ile ilgili yapılmış literatürde yer almış çalışmalar anlatılmıştır. **Bölüm 2**'de generatör ile ilgili genel bilgiler anlatılmış ve çeşitleri belirtilmiştir. Generatör çeşitlerinden olan SMSG'nin yapısı ve çeşitleri anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde SMSG'nin boyutlandırma parametrelerine ve endüstriyel uygulamalarına yer verilmiştir. **Bölüm 3**'de bu tez çalışmasında modelleri oluşturmak için kullanılan verilerin elde edildiği, elektrik makinelerinin tasarımı da oldukça yaygın olarak kullanılan ANSYS Maxwell arayüzü anlatılmıştır. Programda tasarlanabilecek elektrik makineleri, bölümleri ve SMSG tasarımı da bilinmesi gereken parametreler bu bölümde incelenmiştir. **Bölüm 4**'te, regresyon analizinin anlatımı, **Bölüm 5**'te optimizasyon hakkında genel bilgilendirme ve yaygın metodlardan olan "Nelder-Mead", "Random Search" ile bu çalışmada da yaygın olarak kullanılan "Simulated Annealing" ve "Differential Evolution" yöntemleri incelenmiştir. **Bölüm 6**'da mühendislik problemimiz için oluşturduğumuz modeller ve bu modeller ile kurulan optimizasyon problemleri anlatılmıştır. Ayrıca modellerin oluşturulması için Maxwell programından verilerin elde edilmesi işlemleri de bu bölümde anlatılmıştır. **Bölüm 7**'de kurulan problemlerden elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve referans çalışma ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen nihai generatör modeline ait hız ve elektriksel açığa bağlı olarak verim, çıkış gücü, tutma torku, hat voltajı, armatür termal yoğunluğu ve sargı gerilimleri gibi birçok parametreye bu bölümde incelenmiştir. **Bölüm 8**'de bu konu üzerinde yapılması hedeflenen çalışmalar anlatılmıştır.

1.1 Problemin Tanımı

SMSG tasarımlarında verimi ve ağırlığı etkileyen birçok değişken vardır. Spesifik bir SMSG tasarımında bu değişkenlerin doğru seçilebilmesi, generatör verimi açısından oldukça önemlidir. Değişkenlerin doğrudan etkilediği ve tasarım sürecinde dikkate alınması gereken kıstaslar (**Tablo 2.2**) bulunmaktadır. Belirtilen kıstaslardan bu çalışma kapsamında, verim artırılması amaçlanmıştır. Verimle birlikte, ağırlık, oluk doluluk oranı, çıkış gücü, hat voltajı ve tutma torku gibi değerlerin istenen aralıklarda olması hedeflenmiştir.

Tasarım ve boyutlandırma sürecinde değişkenlerin her biri yukarıda belirtilen parametreleri etkilemektedir. Generatör tasarımında incelenen tasarım değişkenleri (**Tablo 2.3**) içerisinde referans çalışma dikkate alındığında bazıları sabit alınmış (**Tablo 6.1**), bazıları da tasarım değişkeni olarak seçilmiştir (**Tablo 6.2**). Yapılan bu çalışmada öncelikle verimi maksimize etmek amaçlanmıştır ve verim için bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur.

Fakat SMSG tasarımlarında sadece verime odaklanmak, diğer fonksiyonların istenen değerler dışında çıkmasına sebep olabilir ve generatörün gerçekte üretimi ve kullanılabilirliği mümkün olmaz. Bu yüzden toplam ağırlık, oluk doluluk oranı, çıkış gücü, hat voltajı ve tutma torku için de kısıt fonksiyonları oluşturulmuştur. Böylece bu tez kapsamında regresyon analizi kullanılarak, altı farklı model oluşturulmuştur. Bu çalışmanın amaçları, kısıtları, tasarım değişkenleri ve kullanılan optimizasyon metodları **Tablo 1.2**'de gösterilmiştir.

Tablo 1.2: Optimizasyon problemleri için kullanılan kısıtlar, tasarım değişkenleri ve optimizasyon metodları

Problem No	Amaç	Eşitlik ve Eşitsizlik Kısıtları	Tasarım Değişkenleri	Optimizasyon Algoritması
1	Verim Maksimizasyonu	<ul style="list-style-type: none"> • Kutup Sayısı =24 • Slot Sayısı =72 • Frekans=50 Hz • Hız = 250 rpm • $0 < \text{Verim} < 100$ • Tutma Torku < 0.01 (N.m) • $3800 < \text{Çıkış Gücü} < 5000$ (Watt) • $350 < \text{Hat Voltajı} < 420$ (Volt) • $55 < \text{Oluk Doluluk Oranı} < 70$ (%) • Ağırlık < 55 (kg) • $D_i < D_o$ • $I_m < R_T$ • $d_0 < B_s0 < B_s1$ • $AG < B_s0$ • $J < 6$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Hava aralığı (AG) • Oluk açıklığı (Bs0) • Oluk düşük genişliği (Bs1) • Oluk alt genişliği (Bs2) • Oluk başına iletken sayısı (CS) • Stator iç çapı (Di) • Stator dış çapı (Do) • Mıknatis açıklığı (E) • Oluk açıklığı yüksekliği (Hs0) • Kama yüksekliği (Hs1) • Yaralı oluk yüksekliği (Hs2) • Stator ve rotor uzunluğu (L) • iletken katsayısı (NS) • Mıknatis eğimi (O) • Rotor kalınlığı (RT) • Oluk alt yarıçapı (Rs) • Kayık (S) • iletken çapı (d0) • Mıknatis kalınlığı (Im) 	<p>Simulated Annealing (SA) Differential Evolution (DE) Random Search (RS) Nelder-Mead (NM)</p>
2	Tutma Torku Kısıtlama			
3	Çıkış Gücü Kısıtlama			
4	Hat Voltajı Kısıtlama			
5	Oluk Doluluk Oranı Kısıtlama			
6	Ağırlık Kısıtlama			

1.2 Araştırmanın Motivasyon Kaynağı ve Amaçları

Bu tez çalışmasını seçme motivasyonumuz aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- SMSG tasarımında verim maksimizasyonu, verimin birçok değişkene bağlı olmasından ve bu değişkenlerin SMSG'nin diğer özelliklerini de etkilemesinden dolayı çözülmesi zor bir fenomendir.
- Generatör tiplerinden olan SMSG, özellikle orta ölçekli rüzgâr türbinlerinde, hidroelektrik santrallerinde ve elektrikli araçlarda çok yaygın kullanılmaktadır ve her geçen gün kullanımı artmaktadır.
- Verim, SMSG seçiminde ve rüzgâr türbini uygulamalarında çok önemli bir parametredir. Bu sebeple tasarım değişkenlerinin doğru seçilmesi çok önemlidir.
- Birçok çalışmada SMSG'lerin verimlerinin artırılması, bununla birlikte ağırlıklarının azaltılması amaçlanmıştır.
- Rüzgar türbinlerinde, düşük rüzgar hızlarında da elektrik üretiminin sağlanabilmesi için tutma torkunun azaltılmasına yönelik de çalışmalar bulunmaktadır.
- Optimizasyonun, SMSG tasarımında bu değişkenlerin doğru seçilebilmesinde çok önemli bir yeri vardır.

Bu çalışmayı yaparken ulaşmak istediğimiz hedefler şu şekilde sıralanabilir;

- Özel bir SMSG tasarımında, tasarım değişkenlerine bağlı olarak verimin matematiksel modelini oluşturmak.
- Optimum tasarım değişkenleri ile maksimum verim ve minimum ağırlığı elde etmek.
- Verim ve ağırlığın yanında, düşük rüzgar hızlarında da elektrik üretiminin sağlanabilmesi için tutma torkunun da minimize edilmesi.
- Optimizasyonu yapılan generatörün istenen kriterlere uygun olması.
- Optimizasyon sonuçlarının referans çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılması.

1.3. Tez Çalışmasının Referans Aldığı Çalışmalar

Bu çalışmada, aşağıdaki referanslar temel alınarak tez çalışması organize edilmiştir. Referans alınan SMSG, Çetinceviz, (2017) doktora tezinde tasarımını ve üretimini yaptığı 4 kw gücündeki, 250 d/dk nominal çalışma hızındaki ve 400 V çıkış gerilimli generatördür. Belirtilen bu doktora tezinde, generatörün başlangıç parametreleri analitik olarak hesaplanmış, temel boyutlandırma işlemleri Maxwell Rmxprt programında yapılmış ve sonlu elemanlar yöntemi ile 2D ve 3D manyetik analizleri yapılmıştır. Ayrıca ANSYS programında, ısıl ve yapısal analizler yapılmıştır. Tasarımı ve analizleri tamamlanan generatörün mekanik tasarımı SolidWorks programında yapılmış ve üretimi tamamlanmıştır. Tez sonuçları incelendiğinde deneysel sonuçlar ile Maxwell Rmxprt simülasyon sonuçları birbirine çok yakındır.

Belirtilen doktora tez çalışmasındaki SMSG'ye benzer bir generatör tasarımı Çetinceviz ve diğ. (2015) çalışmasında ele alınmıştır. Bu çalışmada oluk açıklığı, mıknatıs açıklığı ve uzunluğu gibi değerler parametrik olarak optimize edilmiş ve akarsu uygulamaları için bir SMSG tasarımı amaçlanmıştır.

Yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde simülasyon sonuçlarının, deneysel test sonuçları ile büyük oranda uyduğu görülmüştür. Bu sebeple regresyon modellerinin oluşturulmasında kullanılan verim dasetinin oluşturulması için, ANSYS Maxwell Rmxprt arayüzünden yararlanılmıştır.

1.4 .Literatür Araştırması

Uygun ve diğ. (2016) çalışmalarında 0.6 kW gücünde SMSG optimizasyonu için ANSYS Simplorer harici devre simülatörüne bağlı olarak Maxwell Rmxprt generatör modelini kullanmıştır. Generatörün performansını analiz etmek için ortak simülasyon yöntemi kullanılmıştır. ANSYS Rmxprt programında girdi olarak kullanılacak olan generatöre ait başlangıç parametreleri bulunurken analitik hesaplamalar yapılmıştır. Tasarlanan ve üretilen generatörün deneysel test sonuçları incelenmiştir. Araştırma sonucunda ağ bağlantısı olmayan SMSG tasarlanmış, optimize edilmiş ve üretilmiştir. Ancak bu prototip üzerindeki çalışma henüz devam etmektedir.

Yıldırım ve diğ. (2009), küçük güçlü bir rüzgâr türbininde kullanım için aksel akı bir sürekli mıknatıslı bir generatörün analizi için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Generatörün modellenmesi için Ansoft Maxwell yazılımını kullanmışlar ve analiz sonuçları ile prototip makinede yapılan deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada elektrik enerjisinin ulaşmadığı kırsal bölgelerde kullanılabilecek, küçük bir rüzgâr türbini için SMSG modellenmesi yapıp elektromanyetik analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar yöntemi (SEY) sonuçlarının birbirine yakınlığı dikkat çekmektedir.

Ulu ve diğ. (2012), rüzgâr türbini uygulamaları için, 500 kW çift beslemeli asenkron bir generatörün tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Generatörün manyetik olarak tasarımında SEY çalışılmış ve benzetim ortamı olarak Ansoft Maxwell 2D yazılımı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, analizler sonucu tasarlanan generatörün istenen güç değerlerini ve tasarım performans kriterlerini karşıladığı görülmüştür.

Uygun ve diğ. (2012), küçük ölçekli rüzgâr türbinleri için, dış rotorlu 1 kW gücünde bir SMSG için, bilgisayar destekli tasarım, analiz ve deneysel doğrulama üzerinde çalışmışlardır. Bilgisayar destekli tasarımı yapılan generatör için, SEY uygulanmış ve deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Araştırmanın sonucu olarak amaçlanan modelin, düşük başlama tork değerindeki düşük hızlı rüzgâr türbinleri için uygun olduğu izlenmiştir.

Arslan (2014), yüksek hızlı, iç rotorlu, sabit mıknatıslı senkron generatör tasarımı ile ilgili çalışma yapmıştır. Generatörün modellenmesi için Ansoft Maxwell v14 yazılımı kullanılmış, sonlu elemanlar yöntemi ile iki ve üç boyutlu analizler yapılmıştır. Optimizasyonu tamamlanan generatörün üretimi yapılmış, test sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. İncelenen test sonuçlarının, Maxwell programının simülasyon çıktılarını yansıttığı görülmüştür.

Türkmenoğlu ve diğ. (2016), neodyum mıknatıslı senkron generatörlerde, tasarım parametre değişikliklerinin generatör verimine etkisini incelemiştir. Çalışmada neodyum mıknatıslı generatör tasarımı, ANSYS (Maxwell, RMxprt) kullanılarak yapılmış, tasarım parametrelerinden hava aralığı, neodyum mıknatıs türü, stator ve rotorda kullanılan çelik sac türü gibi parametreler birbirleriyle uyumlu olacak şekilde değiştirilerek sonuçlar gözlenmiştir. Kullanılan materyaller değiştirilerek ağırlık ve verim çıktıları incelenmiştir.

Rasilo (2007), düşük voltajlı senkron generatör optimizasyonu ve tasarımı yapmıştır. Çalışmada farklı yedek sarımların, hava aralığı akı yoğunluğu harmonikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve otomatik voltaj regülasyonu denenmiştir. Optimizasyon metodları olarak Fourier- Analiz ve sonlu elemanlar yöntemi, yazılım olarak ise MATLAB kullanılmıştır.

Fodorean (2011), çalışmasında hafif elektrikli araçlarda kullanım için, sabit mıknatıslı makinelerin global tasarım ve optimizasyonunu yapmıştır. Optimizasyon metodu olarak SEY kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, çıkış gücü sabit iken ağırlığın azaltılması hedeflenmiş ve SMSG ağırlığı %28 oranında azaltılmıştır.

Gonzalez ve diğ. (2011), çıkık kutuplu senkron generatörlerde parametre tahmini için DC-decay test uygulamışlardır. Bu çalışmada optimizasyon metodları olarak, GA ve Gauss-Newton algoritmaları kullanılmıştır.

Chinamalli ve diğ. (2012), SMSG'lerde güç kaybı minimizasyonu için, parçacık sürüsü optimizasyon algoritması kullanmışlardır. Sonuçlar MATLAB 2011b programındaki model

simülasyonundan alınmıştır. Araştırmanın sonucunda güç kaybını %22.12 oranında azaltmayı başarmışlardır.

Sun ve diğ. (2013), rüzgar türbinlerinde kullanılan SMSG'lerde kontrol parametrelerinin tasarımı ve optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Optimizasyon metodu olarak manuel tuning ve parçacık sürüsü algoritması kullanılmıştır.

Kahourzade ve diğ. (2013), eksenel akılı SMSG için boyutlandırma optimizasyonu için GA, sonlu elemanlar ve sonlu hacimler analizlerini kullanmışlardır. Çalışmada 1 kW SMSG için boyutlandırma parametreleri belirlenmiştir. Tasarım amaçları olarak, maksimum güç yoğunluğu, daha az tutma torku, en iyi ısı yayılımı ve indirgenmiş EMF'de toplam harmonik dağılımları minimize edilmesi çalışılmıştır.

Khan ve diğ. (2013), dikey eksenli rüzgâr türbinleri için düşük rüzgâr hızlarında çalışabilecek, çok kutuplu üç fazlı bir SMSG optimizasyonu çalışmışlardır. Generatör modeli MATLAB/Simulink programında simüle edilmiştir. Araştırmanın sonucu olarak 1.8 kW olarak simülasyonu yapılan SMSG, laboratuvar ortamında ancak 1.5 kW üretebilmiştir. Bunun sebebi olarak simulink tasarımındaki, sürtünme faktöründeki ve dq indüktansındaki değişiklik gösterilmiştir.

Ghita ve diğ. (2013), düşük hızlı SMSG'ler için, SEY kullanarak kullanılabilir manyetik akı analizi yapmışlardır. Çalışmada, 3 fazlı, 3 kW gücünde, 380 V, referans hızı 240 rpm, referans frekansı 50 Hz bir SMSG için çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sonlu elemanlar yönteminden faydalanılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, tasarım parametrelerinin optimum aralıklarda seçilmesi ile, kullanılabilir indüktör manyetik akısının maksimize edilebileceği anlaşılmıştır. Bu maksimizasyon çalışması ile, SMSG üretiminde önemli malzemelerin daha verimli kullanılabilmesini sağlamıştır.

Paplicki (2014), elektrik kontrollü SMSG'lerde akı kontrol aralığını geliştirmek için optimizasyon çalışması yapmıştır. Çalışmada, üç boyutlu SEY ve GOT-It yazılımının optimizasyon modülü kullanılmıştır. Yüksüz geri elektro-manyetik güç (back-EMF), deneysel sonuçlarda incelenmiş ve analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ile analiz sonuçlarının birbirini kabul edilebilir oranda karşıladığı görülmüştür.

Xie ve diğ. (2016), yaptıkları çalışmada, direk sürürlü yüzey yerleştirmeli bir SMSG için manyetik akı bağlantısı optimizasyonu yapmışlardır. Optimizasyon sürecinde nonlinear dinamik diferansiyel eşitlikleri ve SEY kullanılmıştır.

Mizuno ve diğ. (2016), SMSG'lerde rotor tasarımı için, GA kullanarak topoloji optimizasyonu uygulamışlardır. Araştırmanın sonucunda optimize edilmiş bir rotor yapısında daha az mıknatıs kullanılmasına rağmen, çıkış gücünün artırılabilceği görülmüştür.

Angle (2016), sabit mıknatıslı senkron makinelerin modellenmesi, tasarımı ve optimizasyonu ile ilgili çalışma yapmıştır. Bu çalışmada çözümler için Maxwell eşitlikleri kullanılmış ve tutma torkunu azaltma teknikleri üzerinde de çalışılmıştır. Araştırmanın sonucunda, SMSG'lerde mıknatıs ağırlığının azaltılabildiği, böylece hafiflik gerektiren robot uygulamalarında kullanılabilirliğin arttırılabileceği izlenmiştir.

Wang ve diğ. (2016), bağımsız güç sistemlerinde kullanılan, hibrit tahrikli SMSG'ler için elektromanyetik tasarım yapılmış ve sabit mıknatıs şekil optimizasyonu çalışılmıştır. Tasarım sonucunda yüksek verim ve düşük voltaj dalgalanması hedeflenmiştir. Optimizasyon sürecinde SEY ve Desing Of Experiments (DOE) kullanılmış, analiz çıktıları analitik ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Hestengen (2016), hidrogüç senkron generatörlerin tasarım optimizasyonu ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Optimizasyon problemi MATLAB programında oluşturulmuş ve optimizasyon metodu olarak GA 'den faydalanılmıştır. Araştırmanın sonucunda her bir simülasyon için optimal çözümün farklılık gösterdiği izlenmiştir. Ayrıca güç faktörünün değiştirilmesi ile toplam üretim maliyetinin %4.4 oranında azaltılabileceği görülmüştür. Çalışılan simülasyon programının, kullanıcının gerekli parametreleri girmesi ile makine tasarımına uygun sonuçlar verebildiği, fakat daha iyi güvenilirlik için 10'dan fazla optimizasyon yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

Rastogi ve diğ. (2016), SMSG'lerin tasarım, analiz ve optimizasyonu ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada ağırlığı ve kayıpları optimize etmek için, gradient based mutation optimizasyon tekniği ile birlikte ϵ -coNSained differential evolution kullanılmıştır. SMSG tasarımını doğrulamak için Maxwell-Ansys sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda 1 kW, 428 rpm SMSG için optimal tasarım gösterilmiştir.

Bazzo ve diğ. (2017), SMSG'lerde multifizik tasarım optimizasyonu ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Maliyet azaltmaya yönelik gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasında 55kW'lık orta boy bir rüzgar türbini ele alınmıştır. MDO sonuçları SEY ile doğrulanmıştır ve sonuçlar arasında %2 farklılık olduğu izlenmiştir.

Sindhya ve diğ. (2017), Interactive Multiobjective optimizasyonu kullanarak SMSG tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada problem mixed-integer constrained multiobjective optimizasyon olarak tanımlanmış ve 6 adet amaç fonksiyonu belirlenmiştir. Çözümleri elde etmek için, NIMBUS ve NSGA-II optimizasyon metotları kullanılmıştır. Araştırmanın sonucunda Decision Maker (DM), tasarım için optimal sonucu sağlamıştır. Gelecekte, interaktif multiobjektif optimizasyon metotlarının, farklı elektrik makineleri topolojileri ve farklı modelleri için kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Ishikawa ve diğ. (2017), GA cleaning method kullanarak, daha yüksek çıkış gücü ve daha az mıknatıs hacmi kullanımı için, SMSG'lerde rotor yapısı optimizasyonu yapmışlardır. Bu araştırma ile elde edilen SMSG, Prius isimli elektrik araçta kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, çıkış gücü %11.6 arttırılmış ve mıknatıs hacmi%21.8 azaltılmıştır.

Bobon ve diğ. (2017), gradient optimizasyon algoritması kullanarak, güç ret testleri tabanlı nonlinear model parametrelerinin SMSG'lerde hesaplanması ile ilgili çalışmışlardır. Çalışmada amaç fonksiyonunu oluşturulmuş ve minimize edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın sonucunda, 200 MW ve 50 MW turbogeneratörler için nihai parametre sonuçları tahmin edilmiş, dalgaformu karşılaştırmaları ölçülmüş ve hesaplanmıştır.

A.Putek ve diğ.(2017), SMSG'lerde varyans tabanlı sağlamlık optimizasyonu çalışması yapmışlardır. Çalışmada, stochastic nonlinear time-dependent magnetoquasistatic arayüz problemini çözmek için topology derivative metotdu uygulanmıştır. Çalışmanın temel amacı, rotor kutuplarının ve stator diş tabanının, elektromanyetik kayıpların ve tork dalgalanmasını azaltılması için malzeme belirsizliğini de hesaba katarak sağlam tasarımıdır. Malzeme parametreleri için giriş değişkenleri, polynomial chaos expansion tekniği kullanılarak modellenmiştir.

Kurt ve diğ. (2009), aksenal akıllı sabit mıknatıslı senkron makinelerin tasarımı ve optimizasyonu için Taguchi Yaklaşım metodunu kullanmışlardır. Optimizasyon için her biri 4 farklı seviyede 5 faktör seçilmiştir. Araştırmanın sonucunda, Taguchi ve SEY metotları kullanılarak, elektrik makinelerinin tasarımında hem zamandan hem de maliyetten kazanç sağlanabildiği görülmüştür.

Tsai ve diğ. (1995), senkron generatör analizinde, Neural Network tabanlı Saturation Model'in geliştirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada, ANN Saturation modeli, 5kVA-240 Vçıkık kutuplu senkron generatör kullanılarak geliştirilmiş ve elde edilen saturation model, direkt olarak standart senkron makine dinamik simülasyon çalışmalarına uygulanmıştır. Simülasyonun sonucunda, ANN Saturation modelinin, makinenin non-lineer manyetik karakteristiğini yüksek doğrulukta tahmin edebildiği izlenmiştir.

Baki (1998), çıkık kutuplu senkron makineler için, Park Teorisi'nin rotor malzemesinin sönüm tesiri eklendiğinde nasıl modifiye edilebileceği ve basamak tepkisi testinden hesaplanan matematiksel modelin makine parametrelerini nasıl tahmin edebildiği üzerine çalışmalar yapmıştır. Yapılan bu çalışmanın sonucunda ölçülen parametreler, statik test ve konvansiyonel test sonuçlarıyla karşılaştırılmış, yeni yaklaşım sonuçlarının tutarlı ve tatmin edici olduğu görülmüştür.

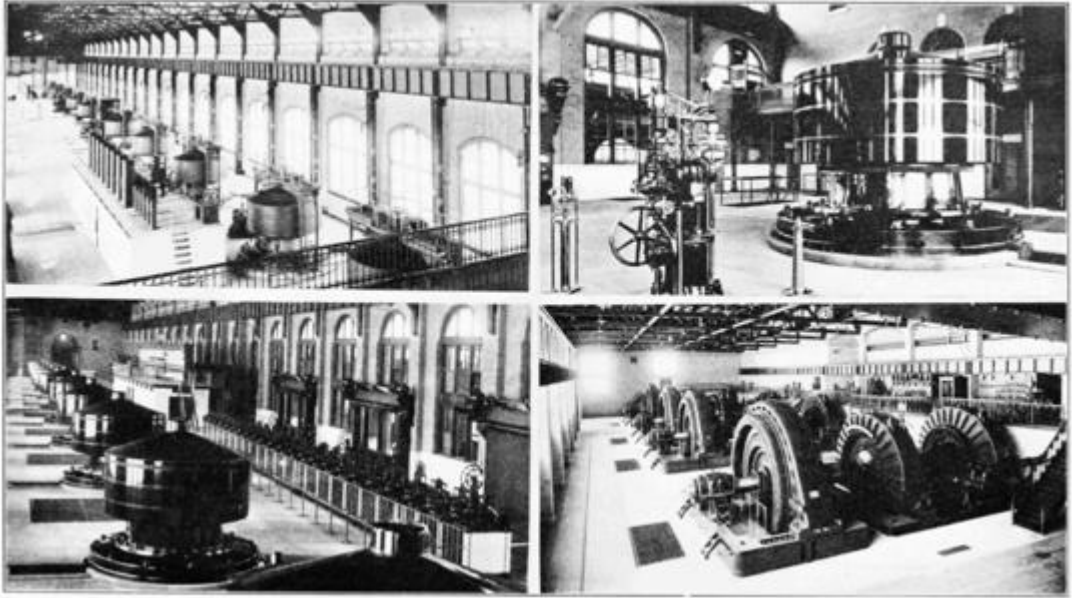
BÖLÜM 2

GENERATÖR

2.1. Generatör Tanımı, Tarihi ve Çeşitleri

Fransızca'da "générateur" olarak bilinen generatörler, literatürde mekanik enerjiyi elektriğe çeviren makineler olarak tanımlanmaktadır.

1831 yılında Michael Faraday tarafından "Faraday Disc" olarak üretilen küçük generatör, o dönemde çok ilgi görmese de, 1850'li yıllarda, generatörlerdeki seri üretime öncülük etmiştir (Bowers, 1975; Chisholm ve diğ. 1911). Ampulün icadından sonra, Edison Şirketi 1880'de NewYork ve Milano'da DC üretim tesisleri kurdu (Mould, 2016). 1890'ların başlangıcında, alternatif akımın kullanım alanı, avantajları kanıtlandıktan sonra yaygın hale geldi. Nikola Tesla'nın çalışmaları günümüzde ev aydınlatma endüstrisinin birçok alanında kullanılan alternatif akım generatörleri için önemli bir yer tutmaktadır (Cunningham, 2013; Connor, 2014; Gucciardo, 2011; Taiwo, 2017). AC generatörlerini kullanan ilk büyük hidroelektrik santral 1895 yılında Niagara Şelalesi'nde açılmıştır (**Şekil 2.1**).



Şekil 2.1: 1894'te Westinghouse'da yapım aşamasında olan Niagara Generatörü, Pittsburg
(Arnot, 1908)

Generatörler, doğru akım generatörleri, asenkron generatörler ve senkron generatörler olarak üç farklı tipte sınıflandırılır. Genelde stator ve rotor olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır.

Rüzgâr türbini uygulamalarında, özellikle küçük kapasiteli rüzgâr türbinlerinde, doğru akımın düşük güvenilirlik ve bakım gereksinimlerine rağmen kullanılmaktadır. Yarı iletken teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, doğru akım makineleri son yıllarda fırçasız sabit mıknatıslarla tasarlanmaya başlamıştır. Bu yapısal değişikliklerin temel amacı, kayıpları azaltmak ve verimliliği artırmaktır. Sınırlı mıknatıs kapasitesi ve gücü nedeniyle, fırçasız doğru akım makineleri, özellikle küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinde, özellikle de şebekeden bağımsız olarak kullanılmaktadır.

Rotor tipine göre asenkron generatörler, çift beslemeli asenkron generatörler ve sincap kafesli asenkron generatörler olarak ikiye ayrılır. Asenkron motorlar, stator sargılarına uygulanan alternatif akımı mekanik enerjiye dönüştüren elektrikli makinelerdir. Asenkron makinelerde stator ve rotor arasında elektrik bağlantısı yoktur ve tamamen elektromanyetik indüksiyon prensibine göre çalışmaktadır. Asenkron makine AC uyarma akımına ihtiyaç duyar. Bu makineler bu nedenle hem kendinden uyarılmış hem de harici olarak uyarılmış makineler olabilir.

Senkron bir makine, dönüş hızı alternatif akım kaynağının frekansı ile orantılı olan, yükten bağımsız bir elektrikli makinedir. Eşzamanlı makine, küçük güçlerde bir elektromıknatıs veya sabit manyetik bir rotor ve statordaki bir veya çok fazlı alternatif akım sargıları ile sabit bir senkron hızda dönen bir motor veya generatör olarak çalışabilen bir alternatif akım makineleridir. İlk olarak 1885'te Nollet ve Van Malderen tarafından bir generatör olarak kullanılmıştır (Andrews, 2005; Meyer, 1972; Savini, 2014). Bugün, gücü 1500-2000 MegaVoltAmper'e (MVA) ulaşmış ve gerilimler 6, 15, 20, 27 Kilovolt (kV) seviyesindedir ve genellikle generatör olarak kullanılmaktadırlar. Senkron makineler doğrudan şebekeye bağlı değildir, özel başlatma yöntemleri ile çalıştırılırlar. Senkron makinelerin stator ve rotor sarımları farklı kaynaklardan beslendiğinden, çift eksitasyon makineleri olarak adlandırılmaktadır. Senkron makineler sürekli mıknatıslarla düşük güç üretirler, ancak sarım ile yüksek güç üretirler. Bu makinelerin gücünü artırmak, birim güç başına maliyeti düşürür ve verimliliği artırır. Rotor yapısı açısından çıkıntılı kutup ve yuvarlak (silindirik) kutuplu olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yuvarlak kutuplu senkron generatörler yüksek hızlara, küçük rotor yarıçapına ve büyük rotor uzunluklarına sahiptir. Genelde kutup sayıları çiftler halinde oluşur. Armatür ve indüktör arasındaki hava boşluğu sabittir. Çıkıntılı kutuplu senkron generatörler çok sayıda kutba, geniş çaplı ve kısa rotor uzunluğuna sahiptir, bu nedenle armatür ve indüktör arasındaki hava boşluğu değişir. Senkron generatörler, sabit hız ve frekansa bağlı rüzgâr türbinlerinde ve frekansların sabit olduğu operasyonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2. Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG)

Sabit mıknatıslı senkron generatörler (SMSG), rotor üzerindeki sargıların yerine mıknatıslardan oluşan senkron makinelerdir. Sabit mıknatıslı senkron generatörler (**Şekil 2.2**) enerjiyi üretmeye başlamak için şebeke elektriğine ihtiyaç duymazlar, bu yüzden kendinden uyarımlı generatörler olarak adlandırılırlar. Düşük hızlarda enerji üretme yeteneklerinden dolayı, küçük ölçekli rüzgâr türbini uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Anvari ve diğ. 2015).



Şekil 2.2: 1.5 MegaWatt DD Rüzgâr Türbini (SMSG) (Polinder ve diğ. 2006).

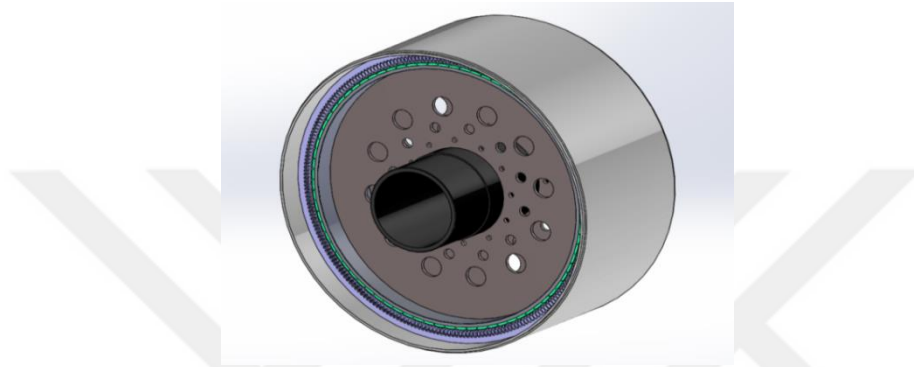
SMSG'ler DD rüzgâr türbini sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Doğrudan tahrik sistemlerinde, generatör mili doğrudan rüzgâr türbininin şaftına bağlanır. Bu nedenle, doğrudan tahrik sistemlerinde verimlilik daha yüksek ve daha güvenilirdir. Doğrudan tahrikli sabit mıknatıslı generatörlerin avantajları **Tablo 2.1**'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: DD-SMSG'lerin Avantajları (Fei ve diğ. 2010).

✓ Düşük Maliyet (Jang ve diğ. 2012; Potgieter ve diğ. 2012).	✓ Yüksek Verim	✓ Yüksek Güç Yoğunluğu (Tapia ve diğ. 2013; Wang ve diğ. 2011)
✓ Düşük Bakım Gereksinimleri	✓ Kolay Soğutma	✓ Kolay Kontrol

2.2.1. SMSG'nin Yapısı

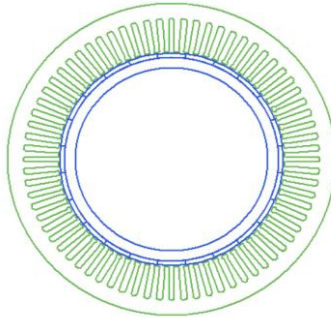
Stator ve rotor, SMSG'lerin ana bileşenleridir. Preslenmiş lamine ince levhalar ve sargılardan oluşan generatörün sabit parçasına stator denilmektedir. Diğer ana bileşen, mıknatısların bulunduğu rotordur ve generatörün dönen kısmıdır (Elosegui ve diğ. 2007). Sabit mıknatıslı generatörler, rotor yapısına göre in-runner ve out-runner olarak ikiye ayrılmaktadırlar (Madani, 2011). In-runner generatörlerde rotor, generatörün iç kısmında mıknatısların yerleştirildiği kısımdır ve stator generatörün dış kısmında yer almaktadır (Şekil 2.3). Out-runner generatörlerde bu durum tam tersi şeklindedir.



Şekil 2.3: In-runner bir SMSG'nin 3D tasarımı

2.2.1.1. In-runner SMSG

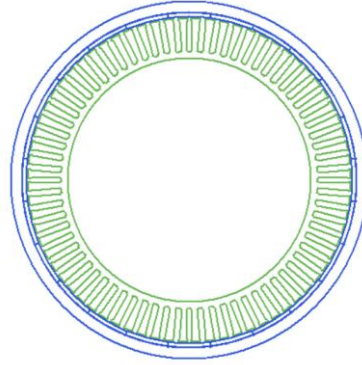
In-runner SMSG'lerde rotor kısmı içeridedir ve stator dış kısımda yer almaktadır. Bir sonraki şekil (Şekil 2.4), bir in-runner SMSG çizimini göstermektedir. In-runner generatörlerde kutup sayısı, aynı güçteki out-runner generatörlere göre daha düşüktür. Çünkü rotor iç kısma yerleştirildiği için aynı güçte çap küçülmektedir. Generatörlerin avantaj ve dezavantajları, uygulama alanına göre değerlendirilmelidir. In-runner ve out-runner generatörleri, rotor statorun iç kısmında veya dış kısmında döndüğünden radyal akı generatörleri olarak adlandırılırlar.



Şekil 2.4: In-runner SMSG 2D gösterimi

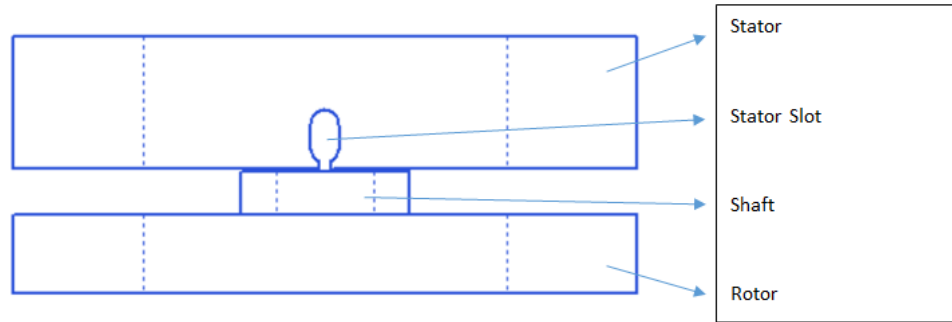
2.2.1.2. Out-runner SMSG

Out-runner SMSG'lerde, rotor statoru çevreler ve mıknatıslar genellikle rotorun iç çevresi üzerinde yerleştirilmiştir. **Şekil 2.5**, out-runner bir SMSG'nin iki boyutlu (2D) modelini ifade etmektedir. Bu nedenle tasarımda daha büyük rotor çaplarına ve daha fazla kutup sayısına ulaşmak mümkündür. Bu tür generatörler kullanım alanlarına göre avantaj ve dezavantajlara sahiptir (Li ve diğ. 2014).



Şekil 2.5: Out-Runner SMSG - 2D gösterimi

2.2.1.3. Eksenel Akılı SMSG



Şekil 2.6: Eksenel Akılı SMSG

Eksenel akılı SMSG'ler, rotor ve statorun yerleştirilmesinden dolayı radyal akı makinalarından farklıdır. Radyal akı makinalarında, rotor statorun içinde veya dışında döner, fakat eksenel akı SMSG'lerde rotor ve stator eksenel olarak döner. Bu hareket, iki diskin birbirini üzerinde dönmesi şeklinde düşünülebilir. Eksenel akı generatörlerinde birden fazla rotor veya stator yapısı tasarlanabilir ve eksenel akı generatörlerinin üretimi için farklı kombinasyonlar denenebilir. Bu makineler, generatör gövdesinin kullanım alanlarına göre bağlantılarını kaldırarak büyük avantajlar sağlayabilir. **Şekil 2.6**, bir stator ve rotor içeren eksenel akı generatörünün parçalarını göstermektedir. Bu şekilde tasarlanmış makineler için mıknatıslar

statorun yan tarafına yerleştirilir. Bu makinelerin farklı versiyonları da mevcuttur. Örneğin, bir çift stator ve orta dönümlü rotor tasarımı düşünülürse, mıknatıslar rotorun her iki tarafına yerleştirilmelidir ve statorlar rotorun sağ ve sol kısmını çevrelemelidir (Kinnunen, 2007).

2.2.2. Boyutlandırma Parametreleri

SMSG tasarımlarında, verim ve ağırlığı doğrudan etkileyen birçok değişken vardır. Bu durumda, generatör verimliliği için bu değişkenlerin doğru seçimi oldukça önemlidir. Tasarım sürecinde dikkat edilmesi gereken ve bu değişkenlerden etkilenen bazı önemli kriterler vardır. Bunlardan en önemlileri **Tablo 2.2**'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: SMSG tasarım sürecinde dikkat edilmesi gereken önemli kriterler

✓ Verim	✓ Oluk Doluluk Oranı	✓ Hat Voltajı
✓ Ağırlık	✓ Çıkış Gücü	✓ Tutma Torku
✓ Hava Aralığı Akı Yoğunluğu	✓ Sarım Voltajları	✓ Sarım Akımları
✓ Güç Faktörü	✓ Armatür Termal Yüklenmesi	✓ Akım yoğunluğu

Generatör tasarımına başlandığında öncelikli olarak, istenen güç, frekans, çalışma hızı ve hat voltajı gibi değerlerin bilinmesi gerekmektedir ve generatör bu değerlere uygun olarak tasarlanmalıdır. Bu değerler analitik olarak hesaplanabileceği gibi kullanım yerinden alınacak olan ölçümlerle de belirlenebilir. Genel olarak, generatörün verimliliğini ve diğer kriterleri etkileyen en etkili 32 adet tasarım değişkeni **Tablo 2.3**'de listelenmiştir.

Tablo 2.3: SMSG tasarımında gerekli tasarım değişkenleri

✓ Hava Aralığı	✓ Stator Dış Çapı	✓ Stator İç Çapı	✓ Stator ve Rotor Uzunlukları
✓ Kaykısı	✓ Rotor Dış Çapı	✓ Rotor İç Çapı	✓ Devre Tipi
✓ Oluk Açıklığı($Bs0$)	✓ Miknatıs Açıklığı (E)	✓ İletken Katsayısı (NS)	✓ İletken Çapı
✓ Oluk Düşük Genişliği ($Bs1$)	✓ Oluk Açıklığı Yüksekliği ($Hs0$)	✓ Miknatıs Eğimi (O)	✓ Magnet Kalınlığı
✓ Oluk Alt Genişliği ($Bs2$)	✓ Kama Yüksekliği ($Hs1$)	✓ Rotor Kalınlığı	✓ Kutup Sayısı
✓ Oluk Başına İletken Sayısı (CS)	✓ Yararlı Oluk Yüksekliği ($Hs2$)	✓ Oluk Alt Yarıçapı (R_s)	✓ Stator Yığılma Faktörü
✓ Stator Malzemesi	✓ Rotor Malzemesi	✓ Miknatıs Malzemesi	✓ Oluk Sayısı
✓ Sarım Katmanı	✓ Sarım Tipi	✓ Paralel kol sayısı	✓ Kutup Tipi

2.2.3. Endüstriyel Uygulamalar

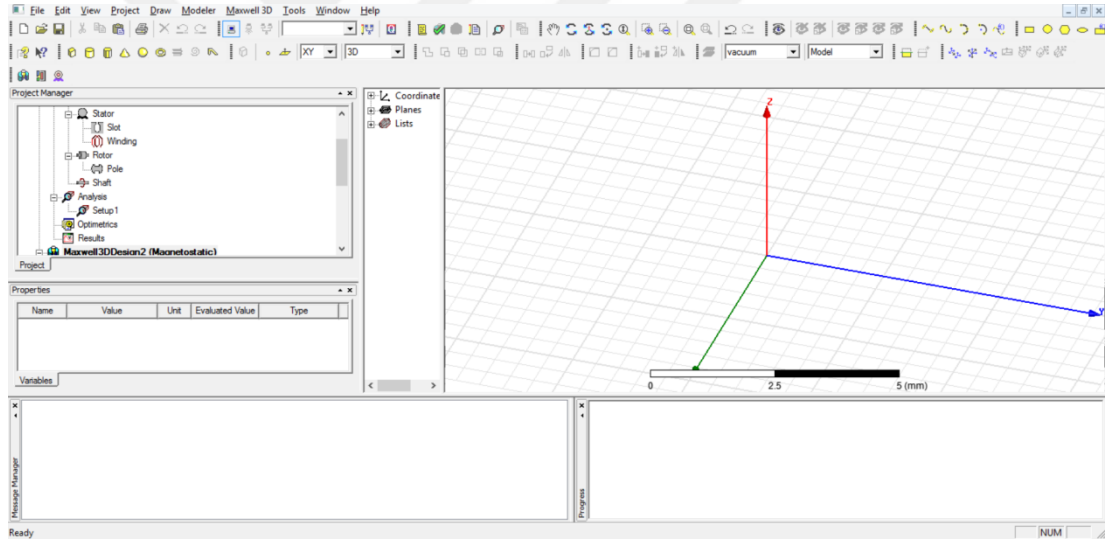
Geçmişten günümüze, sabit mıknatıslı makineler yüksek verimlilik, düşük ağırlık ve hacim nedeniyle farklı endüstriyel alanlarda kullanılmıştır. Aydın ve diğ. (2012), beyaz eşyalarda kullanılmak üzere, gerekli tasarım parametrelerinde sabit mıknatıslı bir makine tasarlamışlardır. Yüksek moment-kütle oranı, yüksek verim, düşük hacim ve kütle bu alanda bir fırsat sunmaktadır (Boules, 1987; Sebastian ve diğ. 1986, 1987). Düşük hacim ve düşük kütle, havacılık endüstrisindeki kullanımlarda maliyeti düşürmektedir. Bu nedenle Nikbakhsh ve diğ. (2014), havacılık sistemlerinde sabit mıknatıslı senkron generatörün hacmini azaltarak ve verimliliğini artırarak kullanmışlardır. SMSG'nin kompakt boyutları, kayıp azaltma, daha yüksek güç yoğunluğu, optimum verimlilik ve güvenilirlik özellikleri, özellikle son on yılda yatırım yapan yükselen rüzgâr enerjisi sektöründe avantajlar sağlamaktadır (Gieras, 2013; Jones, 1999; Nagorny ve diğ. 2005). Fathabadi ve diğ. (2018), bir mikro-rüzgâr türbini ve fotovoltaik (PV) modülü ile çalışan bir prototip araba inşa etmişlerdir. Bu çalışmada, rüzgâr türbini sisteminde sabit mıknatıslı senkron generatör kullanılmıştır. Hibrit sistem kullanarak, plug-in bir hibrid elektrikli aracın menzilinin 19.6 km arttırılabildiği kanıtlanmıştır. Yousefian ve diğ. (2018) rüzgâr türbini tesisleri için çift beslemeli sabit mıknatıslı senkron generatör üzerinde çalışmışlardır. Yukarıdaki bu çalışmalardan da görülebileceği gibi, birçok yeni nesil çalışmada SMSG kullanımı oldukça yaygındır.

BÖLÜM 3

ANSYS MAXWELL

ANSYS Maxwell, elektrik motorları, generatörler, aktüatörler, sensörler, konvertörler ve diğer elektromanyetik ve elektromekanik makinelerin tasarımı ve analizi için lider bir programdır. Bu program ile yapılan çalışmalar ve bu çalışmaların deney sonuçları incelendiğinde, program sonuçlarının gerçekliği büyük ölçüde yansıttığı görülmektedir. Programın arayüzü **Şekil 3.1**'te gösterilmektedir. ANSYS Maxwell programı 3 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar:

- RMaxprt
- Maxwell 2D
- Maxwell 3D



Şekil 3.1: ANSYS Maxwell v16

3.1. Rmaxprt

RMaxprt, elektrik makinelerinin boyutlandırılmasında, birçok farklı şekilde analiz imkânı sağlayan bir tasarım ve optimizasyon yazılımıdır. Programın en büyük avantajlarından birisi parametrik analiz yapılabilmesidir. Böylece, binlerce şartı içeren hesaplamalar çok kısa sürede çözülebilmektedir. Tasarlanan makinelerin reaksiyonları ve konfigürasyonları farklı analiz tiplerinde incelenebilir. Bu programda çözülebilen 13 tip elektrikli makine vardır ve bu makineler **Tablo 3.1** 'te gösterilmektedir.

SMSG tasarımı ve optimizasyonu Hız Ayarlı Senkron Makine bölümünde incelenebilir. Bu bölümün içeriği ve girilmesi gereken parametreler şu şekildedir;

Tablo 3.1: Rmxprt yazılımında tasarlanabilen Elektrik Makineleri		
✓ Hız Ayarlı Senkron Makine	✓ Şebeke Başlatmalı Sabit Miknatıslı Senkron Motor	✓ 3 Fazlı Çıkıntısız Senkron Makine
✓ Fırçasız Sabit Miknatıslı DC Motor	✓ Sabit Miknatıslı DC Motor	✓ 3 Fazlı Senkron Makine
✓ Tırnaklı Alternatör	✓ Tek Fazlı Asenkron Motor	✓ Universal Motor
✓ DC Makine	✓ Anahtarlama Relüktans Motor	✓ 3 Fazlı Asenkron Motor
✓ Yuvarlak Kutuplu Makine		

3.1.1. Makine Girdileri

Bu bölümde girilmesi gereken parametreler, Kutup Sayısı, Rotor Pozisyonu (In-runner veya Out-runner), Sürtünme Kayıpları, Sarım Kayıpları, Referans Hız, Kontrol Tipi (DC-DGM-AC) ve Devre Tipi (Y3-L3-S3-C2-L4-S4) şeklindedir ve **Tablo 3.2**'de gösterilmiştir.

Kutup sayısı (2p), SMSG tasarımında girilmesi gereken ilk parametrelerden biridir. Senkron generatörlerde kutup sayısı, frekansa (f) ve SMSG'nin referans hızı olarak da adlandırılan generatör çalışma hızına (n) bağlıdır [1]. Kutup sayısı çift olmak zorundadır, bu yüzden “2p” ile gösterilir.

$$2p = \frac{120f}{n} \quad (1)$$

On-grid ve off-grid uygulamalar için, SMSG tasarımında kontrol tipi olarak Alternatif akım (AC) seçilmelidir. Referans hız değeri, generatörün en verimli noktada çalışması istenen hız değeridir. Devre tipi 6 çeşittir ve **Tablo 3.2**'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2: Devre Tipleri

✓ Y-Tipi 3-Faz	✓ Çapraz-Tipi 2-Faz
✓ Döngü-Tipi 3-Faz	✓ Döngü-Tipi 4-Faz
✓ Yıldız-Tipi 3-Faz	✓ Yıldız-Tipi 4-Faz

3.1.2 . Stator

Stator parametreleri bu bölümde incelenmektedir. Ayrıca, generatör verimliliğini de doğrudan etkileyen bu parametreler **Tablo 3.3**'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3 : Stator Parametreleri

✓ Dış Çap (mm)	✓ Yığılma Faktörü	✓ Oluk Tipi
✓ İç Çap (mm)	✓ Malzeme	✓ Kayk
✓ Uzunluk (mm)	✓ Oluk Sayısı	

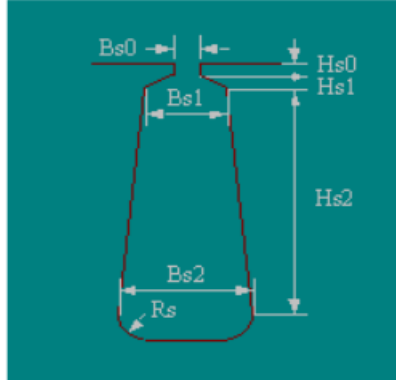
3.1.2.1. Stator Oluk Boyutlandırması

SMSG verimliliğini etkileyen en önemli değerlerden birisi de slot parametreleridir. Bu parametrelerin doğru bir şekilde seçilmesi ile hem SMSG verimliliği artırılabilir hem de tutma torku azaltılabilir. Stator oluğu tasarlanırken bilinmesi gereken değerler **Tablo 3.4**'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Stator Oluk Parametreleri

✓ Hs0 (mm)	✓ Hs1 (mm)	✓ Hs2 (mm)	✓ Bs0 (mm)
✓ Bs1(mm)	✓ Bs2 (mm)	✓ Rs (mm)	

Tüm bu parametreler stator oluk ölçüleridir. Generatör tasarımını yapılırken, oluk açıklığı (Bs0) değerinin, sarım kolaylığı açısından iletken çapından daha küçük olmasına dikkat edilmelidir. Oluk parametrelerinin oluk üzerinde tam olarak nereyi ifade ettiği **Şekil 3.2**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Stator Oluk Parametrelerinin Gösterimi

3.1.2.2. Stator Sarım Değerleri

Sargı değerlerinin de doğru belirlenmesi SMSG tasarımında oldukça önemlidir. Bu nedenle, güç ve voltaj gibi istenen kriterlerde yüksek verim elde etmek için bu değerleri çok hassas bir şekilde seçmek gerekir. Sarım bölümünde belirlenmesi gereken bu parametreler **Tablo 3.5**'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Stator Sarım Parametreleri

✓ Sarım Katmanları (1 veya 2)	✓ Oluk Başına İletken Sayısı
✓ Sarım Tipi (Tam-Sarım veya Yarım-Sarım)	✓ İletken Katsayısı
✓ Paralel kol sayısı	✓ İletken Kaplaması
✓ İletken Çapı (mm)	

3.1.3. Rotor

Rotor bölümünde girilecek parametrelerin çoğu stator bölümündekilere benzer, ancak bu parametrelerin değerleri farklı olacaktır. Dış ve iç çaplar, out-runner generatörlerde daha yüksek olmalıdır. In-runner generatörler için bunun tam tersi olmalıdır. Özel tasarımlar hariç tüm generatörlerde stator ve rotor uzunluğu aynı tasarlanır. Rotor parametreleri **Tablo 3.6**'te gösterilmiştir.

Tablo 3.6: Rotor Parametreleri

✓ Dış Çap (mm)	✓ İç Çap (mm)	✓ Uzunluk (mm)
✓ Malzeme	✓ Yığın Faktörü	✓ Kutup Tipi

3.1.3.1. Kutup

Bu bölümde, mıknatısla ilgili parametreler belirlenir. Mıknatısın şekli, boyutları ve malzemesi SMSG verimliliğini doğrudan etkiler. Mıknatıs açıklığı, eğimi, tipi ve kalınlığı en önemli parametreleridir.

3.2. Optimetrics

ANSYS Optimetrics, ANSYS HFSS, ANSYS Maxwell ve ANSYS Q3D Extractor'a parametrik, optimizasyon, hassasiyet ve istatistiksel analiz yetenekleri ekleyen çok fonksiyonlu bir RMXprt bölümüdür. Optimetrik Analiz, giriş değerlerinin değişken olduğu ve çıkış değerlerini etkilediği her türlü elektrik makinesinin optimizasyonunu incelemek için kullanılır.

Optimetrics ile model geometrisi, malzeme özellikleri ve bileşen değerleri parametre olarak isimlendirilebilir. Çıkış değerleri herhangi bir işlem sonrası miktar veya sonuç değeri olabilir, giriş değerleri ise geometrik veya referans değerler olabilir. Bu tez çalışmasındaki SMSG'nin optimizasyon problemi için girdi verileri, bu bölümün parametrik analiz kısmından elde edilmiştir. Optimetrik Analiz; Parametrik Analiz, Optimizasyon, Hassasiyet, İstatistiksel ve Tuning gibi farklı analiz bölümlerinden oluşmaktadır.

Parametrik analiz, kullanıcıların belirlenen aralıkta tek veya çoklu giriş değişkenlerinde yerleşim çeşitlenmesine izin verir ve çıkış miktarlarını tahsis eder. Araştırmacılar optimizasyonda kullanılacak parametrelere isim atayabilmektedir. Hassasiyet, tanımlanan giriş değişkenlerinden hangisinin diğer parametrelerden daha etkili olduğunu belirler. İstatistik, tanımlanan giriş değişkenlerinden hangisinin diğer parametrelerden daha etkili olduğunu belirler. Tuning ise, parametrik bir analizin sonuçlarına istenen performansı elde etmek için kullanılabilir. Bu tez kapsamında bu bölümlerden en çok Parametrik Analiz kısmından faydalanılmıştır.



BÖLÜM 4

REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi; bir değişkenin (bağımlı değişken) bir veya birden fazla değişken ile (bağımsız – açıklayıcı değişken) arasındaki ilişkinin matematiksel bir ifade şeklinde yazılmasıdır. Regresyon analizi değişkenlerden birinin bir miktar değiştiğinde diğer değişkenin buna tepkisini inceleyen bir analiz yöntemi olarak ifade edilebilir. Elde edilen matematiksel ifadeye ise regresyon denklemi adı verilmektedir (Orhunbilge, 2000). Regresyon modeli oluşturulurken iki temel yöntem kullanılır. Bunlar; en küçük kareler yöntemi ve en büyük olasılık yöntemleridir. Hata teriminin nominal dağılımı ile ilgili bir varsayım olmadığı için bu matematiksel modelde en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Bu model için matematiksel araç olan en küçük kareler yöntemi ilk olarak Parisli Matematikçi Adrien Marie Legendre tarafından 1805 yılında Dunquerque ve Barcelona arasındaki meridyen yayının uzunluğunu hesaplamak için doğrusal olarak tanımlanmış ve yeni oluşturulmuş ölçüm birimi “metre” için kullanılmıştır. Gauss 1801 de Ceres astroidinin yörüngesinin belirlenmesinde yöntemi kullanmış bunu da 1809 yılında açıklamıştır. Gauss'ta, Legendre'de en küçük kareler yöntemini astronomik gözlemlerde uyduların güneş üzerindeki konumunu hesaplamak için kullanmışlardı. 1809'da Gauss , 1820'de de Laplace, yöntemi istatistiksel olarak ispatlamış, tekniği nonlinear durumlara genişletmiş ve ağırlıklandırılmış en küçük kareleri tanıtmıştır. Regresyon analizi ilk olarak Francis Galton tarafından 19. yüzyılın sonlarında kullanılmıştır. Galton çalışmasında; ebeveynlerin boyları ile çocuklarının boyları arasındaki ilişkiyi incelemiş ve genel olarak uzun boylu ebeveynlerin çocuklarının uzun kısa boylu ebeveynlerin çocuklarının ise kısa olduğu sonucuna varmasına rağmen çocukların boylarının ana kütle boy ortalamasına doğru yaklaşma eğiliminde olduğunu görmüştür. Bu eğilimi “ortaya doğru çekilme = regression to mediocrity” olarak adlandırmıştır. (Galton, 1886). Galton'un çalışmaları, değişkenler arasındaki istatistik ilişkileri inceleyen “Regresyon Analizi (Regression Analysis – Relationship Analysis)”nin başlangıcı olmuştur. Günümüzde regresyon analizi için lineer ve nonlinear olmak üzere iki türlü yaklaşım bulunmaktadır.

4.1. Modeller

Regresyon analizinin ana ögelerinden biri modeldir. Bir model, nicel terimlerle çalışılan deneysel sistemi ifade eden matematiksel bir fonksiyondur. Regresyon analizinin genel formu [1] şu şekilde ifade edilir :

$$y = f(x;a) \quad (1)$$

Genellikle modeli oluşturan 3 ana öge vardır: matematiksel ilişki veya fonksiyon (f), parametreler (a) ve değişkenler (x). Genel olarak, bir veya iki bağımsız değişkene sahip olup gerçek değerli sürekli denklemlerden daha basit olduğu söylenebilir. Bunlara örnek olarak üstel, hiperbolik ve logaritmik fonksiyonlar verilebilir. Aynı fonksiyonlar, mevcut fiziksel süreçlerden tamamen ilgisiz olayların modellenmesinde de kullanılabilir

Fonksiyonun nasıl oluşturulduğuna bağlı olarak, modeller iki geniş grupta kategorize edilebilir. (Ferreti ve diğ., 1989):

- Yapılandırılmış veya mekanistik modeller,
- Yapılandırılmamış veya ampirik modeller.

Yapılandırılmış modeller, altında yatan mekanizmanın teorik alt yapısından elde edilebilir. Yapılandırılmış modeller, modeli oluşturulan sistemle ilgili bilgi ve fikir sahibiyiz veya modeli oluşturulan sistemle ilgili bir teori var anlamına gelir. Yapılandırılmamış modeller, ölçümlerin açıklanmasında kullanışlı oldukları için seçilen ampirik fonksiyonlardır (Reinsch, 1967; Marschner ve diğ., 1978). Yarı ampirik modellerin üçüncü bir grubu ise, teorik değerlendirmelerden ve kısmen gözlemlerden elde edildiğinden, yukarıdaki türler arasında yer alır (Seshadri ve diğ., 1963), (Barker ve diğ., 1980).

Modelleri oluşturan diğer bir unsur da parametrelerdir. Fonksiyon, eğri türünü belirlediğinde, gerçek şekli, konumu ve oranı parametre değerleri ile belirlenir. Mekanik ve yarı ampirik modellerde, parametreler, sistem için gerekli olan özellikleri bölümlü modellerde oran veya difüzyon sabitlerini temsil ettiği için esas itibarıyla önemlidir. Ampirik modellerde, parametreler eğriyi net bir şekilde tanımlamak ve daha doğru hesaplamalar yapmak için vardır, fakat sistemin herhangi bir temel unsurunu temsil etmezler.

Parametrelerin model fonksiyonundaki matematiksel ifadelerinden yola çıkarak, modelleri lineer ve nonlineer olarak iki farklı kategoriye ayırabiliriz. Bu ayrım nonlineer fonksiyonlarla oluşturulan matematiksel modellerin çalışması için gerekli olan metodoloji lineer modellere

göre çok daha kompleks olduğundan dolayı önemlidir. İkinci bir neden olarak da, lineer modellerin genellikle incelenmesi ve anlaşılması kolaydır, bunun yanında gerçek hayatta az sayıda fenomeni modellemek için kullanılabilirler.

Fonksiyonlar ayrıca bağımsız değişkenlerine göre lineer olabilir ya da olmayabilir. Değişkenlere ve parametrelere göre lineerlik veya lineerlik ile ilgili her türlü kombinasyon mevcuttur.

Bu tez kapsamında, ele alınan problem kompleks bir yapıya sahip olması sebebiyle , nonlinear regresyon modelleri tercih edilmiştir.

4.2. Regresyon Analizinin Amacı ve Kullanımı

Nonlineer regresyon üç farklı amaçla kullanılabilir:

- Modelin geçerliliğini sınamak (veya hipotezi karşılaştırmak),
- Modeli karakterize etmek (diğer bir deyişle parametreleri tahmin etmek),
- Sistemin davranışını tahmin etmek (enterpolasyon ve kalibrasyon).

Model doğrulama veya karşılaştırma, regresyon analizinin önemli bir uygulamasıdır. Bir sisteme ait matematiksel model ile deney verilerinin karşılaştırılması ile oluşturulan iki sistemde uyan bir eğri oluşturmak matematiksel modelin doğruluğunun önemli bir göstergesidir fakat iyi bir uyum matematiksel modelimizin her durumda doğru olduğunun bir kanıtı değildir. Bu noktada modeli tanımak ve dikkatli hareket etmek yapılan analizin doğruluğu açısından son derece önemlidir. Parametrelerin tahmin edilmesi, regresyonun nihai bir sonucudur. Regresyon, davranışları tahmin etmek için, enterpolasyon (veya tahmin) ve kalibrasyon (veya ters tahmin) için yararlıdır. Enterpolasyon ve ekstrapolasyon ise gerçek deneyler yapmak zorunda kalmadan sistemin davranışını öngörmek için kullanılabilirler.

4.3. Genel Uygunluk Denklemi

Bazı nonlineer modeller, veri dönüştürme yoluyla lineerleştirilebilir ve bu dönüştürme grafik çizim yoluyla analiz edilmeye olanak sağlar. Bununla birlikte, deney veri hataları genellikle veri dönüştürme ile değişikliğe uğrarlar ve dolayısıyla parametre değerlendirmesinde önemli hatalara yol açabilirler. Bunun yanında, belirli bir modeli lineerleştiren ve birbirinden farklı sonuçlar veren bazı dönüşümler vardır. Buna rağmen, bu durum grafik gösterimlerin kullanılmayacağı anlamına gelmez. Aksine, herhangi bir veri analizinde ilk adım grafiksel

gösterim olmalıdır çünkü önerilen modelde belirgin sapmalar varsa bu sapmaların ilk aşamada saptanmasına olanak sağlarlar ve bilgiyi sezgisel bir şekilde yoğunlaştırmanın en iyi yoludur. Bu nedenlerden dolayı, veri analiz yöntemi olarak kullanılmasında fayda vardır.

Nonlinear sayısal yöntemler ise, grafiksel yöntemlerin yukarıda bahsedilen dezavantajlarının çoğunu çözmektedir. Grafiksel yöntemler zayıf deneysel verilerle karşılaştırıldığında başarısız olmasına rağmen, hazırlanan modelde bariz yanlışlıklar varsa bunu anlamının en hızlı ve kolay yoludur. Sayısal yöntemlerde risk, deneyin gerçek sonucu olarak alınabilecek bir cevap vermesi olabilir. Bu, durum sayısal analize başlamadan önce deneylerin grafik yorumlarının yapılmasının önemli nedenlerinden biridir. Özetle; her iki yöntemin de modelleme aşamasında kullanılması daha doğru bir sonuca ulaştıracaktır.

4.4. Non-Linear Regresyon Analizi

Nonlinear regresyon modelinin denklemi [2] aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$y_i = f(x_i, \theta) + \varepsilon_i \quad (2)$$

Bu denklemde “ ε ” (hata teriminin) bağımsız olarak alınabileceği ve normal dağılımlı olduğu varsayılır.

Nonlinear regresyon analizinde maddeler halinde aşağıda açıklanan önemli özellikler, matematiksel modelleme sürecinin daha sistematik halde oluşturulmasını sağlamaktadır.

a) Fonksiyonun doğrusal veya lineerleştirilebilir olması gerekmediğinden nonlinear regresyon, linear regresyona göre daha esneklerdir. Bu da doğrusal olmayan regresyon fenomenini veriye uydurmak için geniş bir seçim bandı sağlar.

b) Nonlinear regresyon, f fonksiyonunun lineer hale getirilebildiği durumlarda dönüşümlerin ve doğrusal regresyonun kullanımından daha uygun olabilir.

c) Nonlinear regresyonda, incelenen problemin detaylı bir şekilde anlaşılması için f fonksiyonunun ne tür bir fonksiyon (polinom, trigonometrik, üstel vb.) olduğu bilinmelidir. Linear regresyon modellerinde bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkisi kabaca bilinen ve hassas bir sonuç istenmeyen proses tahminleri için uygundur.

Nonlineer regresyon modelleri zaten en genel matematiksel ifadeleri içerdiklerinden fonksiyonel olarak genelleştirilmiş hallerini oluşturma imkanı yoktur. Mühendislikte kullanılan temel bir kaç model tipi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Polinom tipi:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots a_nx^n \quad (3)$$

Üstel fonksiyon tipi:

$$y = a_0 + a_1e^x + a_2e^{x^2} + \dots a_n e^{x^n} \quad (4)$$

Trigonometrik fonksiyon tipi:

$$y = a_0 + a_1\sin x + a_2\sin x^2 + \dots a_n \sin x^n \quad (5)$$

Rasyonel fonksiyon tipi:

$$y = \frac{a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots a_nx^n}{b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots b_nx^n} \quad (6)$$

Bu noktada yukarıda örneklendirilen tek bağımsız değişkenli modellerin birden fazla bağımsız değişken içeren kombinasyonlarının da üretilebileğinden bahsetmek gerekir. Bir diğer önemli noktada, özel fonksiyonlar (Bessel, Laguerre, Lambert, Gamma, vb.) ya da elementer fonksiyonların farklı kombinasyonlarda model yapıları olarak seçilebilir.



BÖLÜM 5

OPTİMİZASYON

Optimizasyon, verilen kısıtlar kümesi altında ve seçilen bir optimizasyon hedef fonksiyonuna uygun olarak, tasarım değişkenlerinin mümkün olan en iyi değerlerinin elde edildiği bir prosedürdür. Mühendislikte optimizasyon yaygın olarak, toplam maliyeti en aza indirecek veya muhtemel güvenilirliği ve kaliteyi maksimize edecek şekilde kullanılır. Tasarım aşamaları, optimizasyon prosedürünün uygulanabileceği pek çok durumu içerir. Bu sebeple etkili bir optimizasyon algoritması kullanarak en iyi çözümü sistematik bir temelle bulabilmek, bir mühendis için başarı kriteri olarak değerlendirilir.

Tasarım problemlerini çözmek için birçok optimizasyon algoritması mevcuttur. Bu algoritmalar geleneksel ve geleneksel olmayan yöntemler olarak katagorize edilebilir. Geleneksel yöntemler daha çok gradyan tabanlıdır (fonksiyonların türev bilgilerine ihtiyaç duyarlar) ve deterministik bir yaklaşımla problemi formülize ederler. Bu sebeple nonlinear fonksiyonları içeren, daha karmaşık ve uzun matematiksel yapılarla ifade edilen problemler için tercih edilmezler. Kısıtlı varyasyon ve Lagrange çarpanları geleneksel yöntemleri analitiktir ve geleneksel yöntemlere örnek olarak verilebilir (Silva,2014). Geleneksel olmayan yöntemler ise stokastik süreçleri ve sezgisel tabanlı arama tekniklerini kullanarak sonuca gider ve yaklaşık çözüm üretirler. Türeve ihtiyaç duyulmaması, tam sayılı programlamaya uyarılma kolaylığı, ayrık ve sürekli çözüm kümelerinin her ikisinden de sonuca gidebilme kabiliyeti gibi artlarından dolayı mühendislik problemlerinin çözümünde tercih edilmektedirler. Generatör parametrelerinin belirlenmesi, süreç olarak nonlinear terimler içerdiğinden, geleneksel optimizasyon yöntemleri ile çözülemez. Bu koşullar altında, *Evolutionary Algorithms (GA)*, *Differential Evolution (DE)*, *Nelder-Mead (NM)*, *Ant Colony Optimization (ACO)*, *Memetic Algorithms (MA)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)* ve *Simulated Annealing (SA)* yöntemleri gibi stokastik optimizasyon metotlarının kullanılması uygundur.

Bu çalışmada SMSG verim optimizasyon sürecinde, sırasıyla “*Random Search (RS)*”, “*Differential Evolution (DE)*”, “*Nelder-Mead (NM)*” ve *Simulated Annealing(SA)* metotları kullanılmıştır.

5.1 Tek Amaçlı Optimizasyon

Tek amaçlı optimizasyon, minimize ya da maksimize etmek istediğimiz bir tane amaç fonksiyonumuzun olması durumudur. Bu optimizasyon yaklaşımı tasarım değişkenleri, kısıtlar ve kısıtların sınırlarını içermektedir. Tek amaçlı optimizasyon yaklaşımı ile çözülen problemler aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$\text{minimizasyon} \quad f(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \quad (1)$$

$$\text{öyle ki} \quad h_1(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (2)$$

$$g_1(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\theta^L \leq (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \leq \theta^u \quad (4)$$

Burada f amaç fonksiyonu, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ tasarım değişkenleri, h ve g ise kısıtlardır.

5.2 Çok Amaçlı Optimizasyon

Çok amaçlı bir optimizasyon problemi şu şekilde ifade edilebilir;

Minimizasyon

$$f_1(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n), f_2(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n), \dots, f_t(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$$

$$\text{öyle ki} \quad h_1(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (6)$$

$$g_1(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$$\theta^L \leq (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \leq \theta^u \quad (8)$$

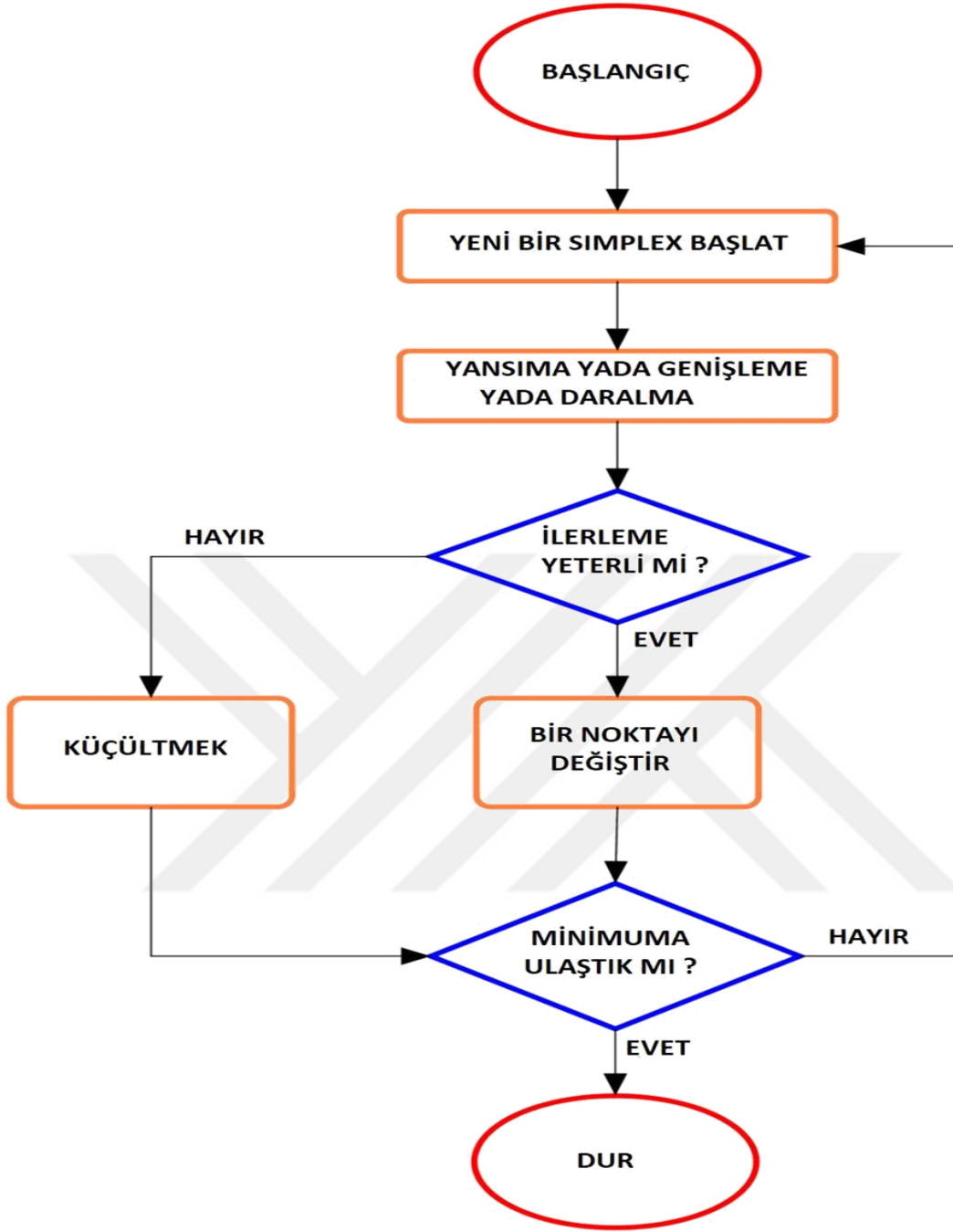
Burada f_1, f_2, \dots, f_t minimizasyon yada maksimizasyon yapılacak fonksiyonlardır.

5.3 Stokastik Optimizasyon Algoritmaları

Bu tezde, yüksek verimli SMSG tasarımı için oluşturulan optimizasyon problemleri için DE, NM, RS ve SA yöntemleri kullanılmış ve aşağıdaki alt bölümlerde algoritmaların basamakları kısaca açıklanmıştır.

5.3.1 Nelder-Mead Algoritması

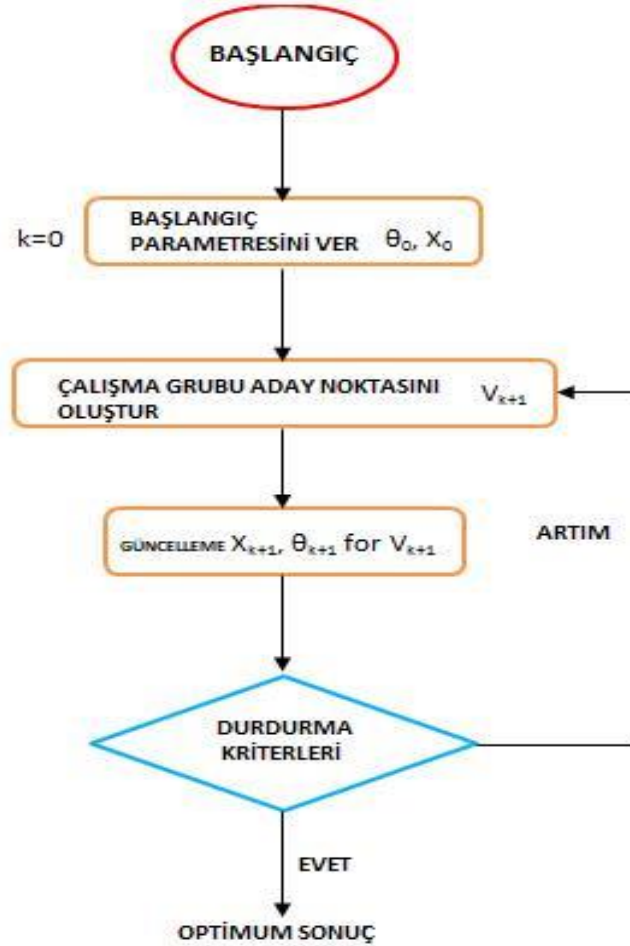
Nelder-Mead (NM) algoritması, geleneksel bir lokal arama yöntemidir. Nelder ve Mead (1965) tarafından öncelikle kısıtsız optimizasyon problemleri için oluşturulmuştur. Nelder-Mead küresel bir optimizasyon algoritması olmasa da, pratikte çok fazla lokal minimuma sahip olmayan problemler için oldukça kullanışlıdır. Algoritma seçeneklerinin ayarlanması yansıma, genişleme, daralma ve büzülme olarak adlandırılan dört temel prosedür ile kontrol edilir. Karakteristik özelliklerden biri algoritmanın ilk birkaç iterasyonda önemli derecede ilerleme sağlamasıdır. Yöntem genellikle yineleme başına “shrink” dışında bir veya iki fonksiyon değerlendirmesine ihtiyaç duyar ve dönüşümler, pratikte nadiren görülür. Buna ek olarak, simpleks hedef fonksiyonun yerel konturuna uyacak şekilde yönünü, boyutunu ve şeklini değiştirebilir, bu nedenle NM optimum noktanın olduğu zor alanların hesaplanmasında yüksek esnekliğe sahiptir. Algoritmaya ait akış şeması kabaca **Şekil 5.1**'de verildiği gibi ifade edilebilir.



Şekil 5.1 : Nelder-Mead akış şeması (Barati'den uyarlanmış,2011)

5.3.2 Random Search Algoritması

Monte-Carlo yöntemi olarak da bilinen Random Search yöntemi, stokastik tabanlı bir algoritma olup Branch ve Bound, Interval Analysis ve Tunneling gibi deterministik yöntemlerinden belirgin farklılıkları vardır. Stokastik süreçte, rasgele sayı üreticisine dayanan bir takım standart teknikler ve programlar vardır. Elde edilen değerlerin, hedeflenen herhangi bir dağılıma yakınlık sağlaması için ölçeklendirilmesi ve dönüştürülmesi gerekir. Random Search algoritmasının en belirgin avantajı, sürekli ve ayrık alanlarda da dahil olmak üzere konveks olmayan, türevlenebilir amaç fonksiyonları için global optimuma ulaşabilme yeteneğine sahip olmasıdır. RS yönteminin diğer bir avantajı, karmaşık problemlerde uygulanmasının diğer yöntemlere göre kolay olmasıdır. RS algoritmalarını, kötü yapılanmış küresel optimizasyon problemlerinde diğer yöntemlere kıyasla hızlı sonuç verdiği için "güçlü" oldukları ve iyi performans sergilediği söylenebilir. **Şekil 5.2**'de metodun temel çalışma prensiplerini içeren bir akış şeması mevcuttur. Random Search yönteminin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi (Zabinsky, 2011) çalışmasında bulunabilir.



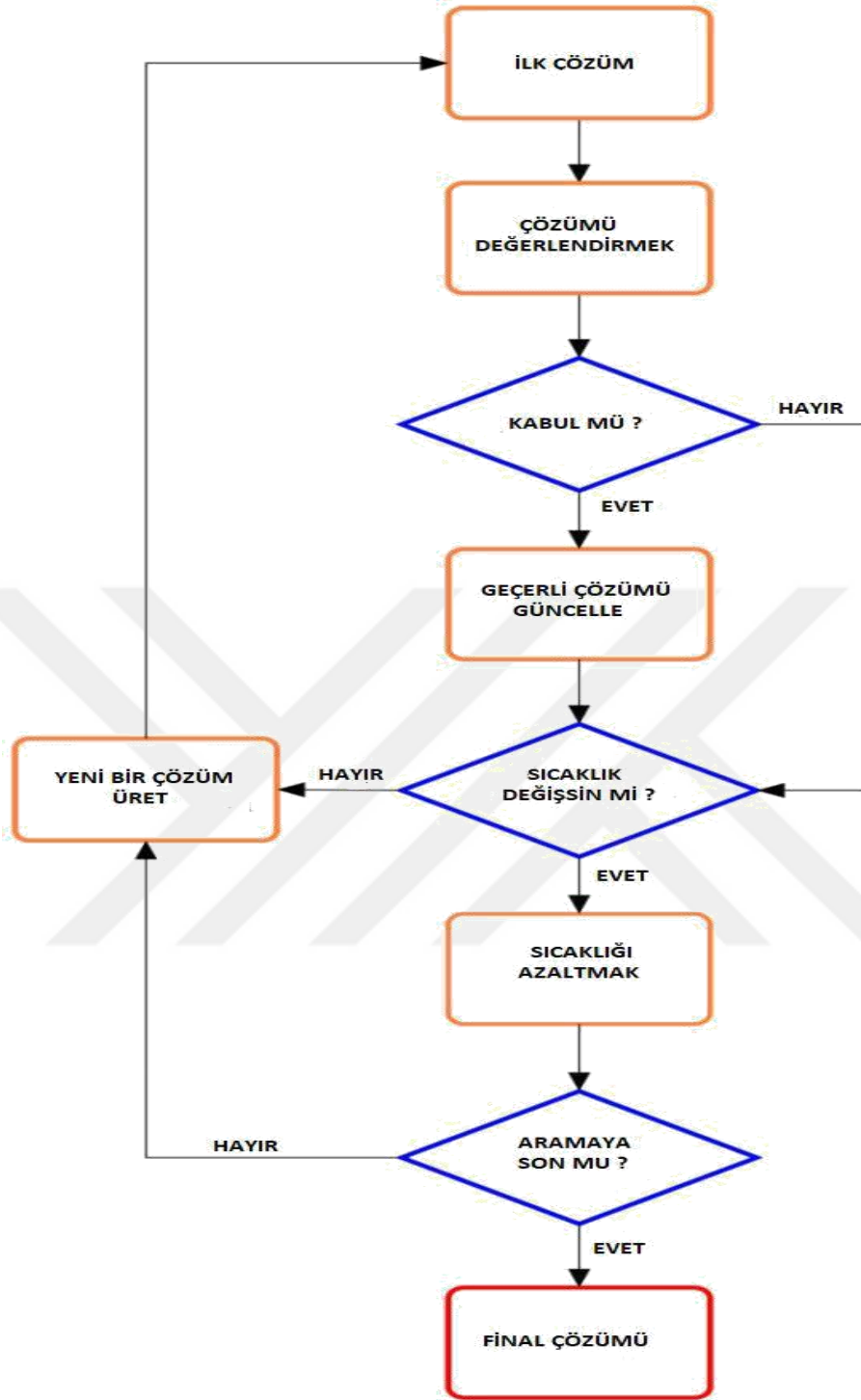
Şekil 5.2 : Random Search akış şeması (Zabinsky'den uyarlanmış,2011)

5.3.3 Simulated Annealing Algoritması

En popüler rasgele arama yöntemlerinden biri de SA'dır. Bir metalin yüksek sıcaklığa ısıtıldığı ve yavaşça soğumasına izin verilen, tavlama işleminin fiziksel sürecine dayanır. Ergitme işlemi, maddenin atomik yapısının daha düşük bir enerji seviyesine geçmesine neden olur bu da malzemenin sertleşmesini sağlar. SA algoritması modelin yerel bir minimumdan uzaklaşarak, küresel optimal noktayı keşfetmesini ve yerleşmesini sağlar. SA'nın en büyük avantajı farklı tip (sürekli, ayrık veya karışık tamsayı) optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilmesidir. Bu yöntemin çalışması, her tekrarda rastgele yeni bir nokta üretilir ve tüm durdurma ölçütleri yerine getirildiğinde algoritma durur. Yeni noktanın geçerli noktadaki veya arama kapsamındaki boşluğu, Boltzmann'ın olasılık dağılımına dayanmaktadır. Dağılım, bir sistemin "T" sıcaklığında termal denge içindeki enerjisini ifade eder. Boltzmann'ın olasılık dağılımı matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir (Rao, 2009);

$$P(E) = e^{-E/kT} \quad (9)$$

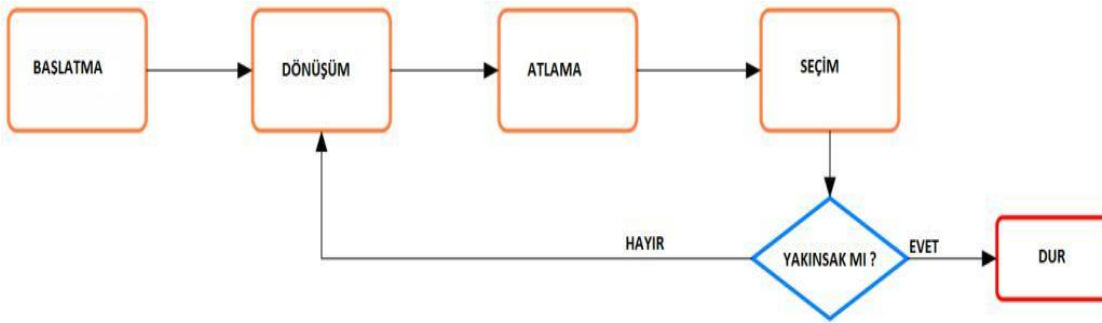
Burada, $P(E)$ enerji seviyesine ulaşma ihtimalini temsil eder, k , Boltzmann sabiti ve T , sıcaklıktır. SA algoritmasının akış şeması Şekil 5.3'te gösterilmektedir.



Şekil 5.3 : Simulated Annealing akış şeması (Pham & Karaboğa'dan uyarlanmış 2000)

5.3.4 Differential Evolution Algoritması

DE algoritması, optimizasyon için Price & Storn, (1997) tarafından geliştirilen evrimsel programlamanın bir dalıdır. DE’de her değişkenin değeri gerçek sayı ile temsil edilir. DE’nin basit bir yapısının olması, kullanımının kolay olması, hızlı olması ve sağlamlığı avantajlarıdır. DE, gerçek değerli değişkenlerle problemleri çözmek için en iyi genetik tip algoritmalarından biridir. DE, uzman bilgisi veya karmaşık tasarım algoritmalarına başvurmadan neredeyse çözülemeyen tüm problemlere çözüm üretebilmek için çeşitli bilim ve mühendislik uygulamalarında kullanılmıştır. DE, dönüşümü bir arama mekanizması olarak kullanır ve arama, uygulanabilir alandaki muhtemel bölgelere yönlendirir. Her nesil için D boyutlu parametre vektörlerinin popülasyonu olarak NP değişkenlerini kullanan nüfusa dayalı bir arama tekniğidir. Problemlerle ilgili hiçbir bilgi mevcut değilse ilk popülasyon rasgele seçilir. Mevcut ön çözüm durumunda, başlangıç popülasyonu genellikle ön çözüme normal dağılmış rasgele sapmalar eklenerek üretilir. DE, iki popülasyon üyesi arasındaki ağırlıklı fark vektörünü üçüncü bir üyeye ekleyerek yeni parametre vektörleri üretir. Ortaya çıkan vektör, önceden belirlenmiş bir popülasyon üyesinden daha düşük bir hedef fonksiyon değeri üretirse, yeni oluşturulan vektör, karşılaştırıldığı vektörün yerine geçer. En iyi parametre vektörü, optimizasyon işlemi sırasında yapılan ilerlemeyi takip etmek için her jenerasyon için değerlendirilir. Rasgele sapmalar üretmek için nüfustan uzaklığı ve yön bilgisini çıkarmak mükemmel yakınsaklık özelliklerine sahip uyarlanabilir bir düzende sonuçlanır (Price ve diğ., 2005). DE algoritmasının akış şeması Şekil 5.4’de gösterilmektedir. **Tablo 5.1** optimizasyon metodlarının Mathematica ayarlarını göstermektedir.



Şekil 5.4 : Differential Evolution akış şeması (Vo-Duy ve diğ.’den uyarlanmış,2017)

Tablo 5.1: Dört optimizasyon metoduna ait “Wolfram Mathematica” programı ayarları

Opsiyonlar	DE	NM	RS	SA
Cross Probability	0.5	-	-	-
Random Seed	0	5/1/2/5	0	0
Scaling Factor	0.6	-	-	-
Search Points	-	-	3000	1000
Tolerance	0.001	0.001	0.001	0.001
Contract Ratio	-	0.5	-	-
Expand Ratio	-	2.0	-	-
Reflect Ratio	-	1.0	-	-
Shrink Ratio	-	0.5	-	-
Level Iterations	-	-	-	50
Perturbation Scale	-	-	-	0.1

5.4. Wolfram Mathematica ve Optimizasyon Araçları

Mathematica programlama dilinde lokal optimizasyon problemleri “FindMinimum” çözücüsü kullanılarak çözülebilir. Optimizasyon problemleri ayrıca problem karmaşıklığına, yaklaşım seçimine, analitik ve nümerik çözüm arayışına bağlı olarak “Minimize” veya “NMinimize” çözücülerini kullanarak da sayısal olarak çözülebilir.

Aşağıdaki örneklerde Mathematica programına ait farklı çözücü kullanımları listelenmiştir.

Minimize komutu kullanırsak,

```
In[1]:= NMinimize[{x^2 - (y - 1)^2, x^2 + y^2 ≤ 4}, {x, y}]
```

```
Out[1]= {-9., {x → 2.05919 × 10-8, y → -2.}}
```

NMinimize kullanarak problemi sayısal olarak çözmek istersek,

```
In[1]:= NMinimize[x^4 - 3 x^2 - x, x]
Out[1]= {-3.51391, {x -> 1.30084}}
```

FindMinimum, sayısal olarak yerel bir minimum bulur. Bu örnekte bulunan yerel minimum da lokal bir minimumdur.

```
In[1]:= FindMinimum[Sin[x] Sin[2 y], {{x, 2}, {y, 2}}]
Out[1]= {-1., {x -> 1.5708, y -> 2.35619}}
```

5.4.1. NMinimize ve NMaximize Çözücüleri

“NMinimize” ve “NMaximize”, kısıtlı global optimum değeri bulmak için çeşitli algoritmalar uygular. Bu algoritmalar, türevlenebilir veya sürekli olmayan ve yerel optimum metotları tarafından kolayca yakalanmayan fonksiyonlarda da çalışabilecek kadar esneklerdir.

Bazı problemlerde optimum nokta bulmak kısıtlamalar olmadan bile zordur ve bundan dolayı bu tip problemlerde kullanılan yöntemler başarısız olabilir. Fonksiyonu farklı başlangıç koşullarında birkaç kez optimize etmek ve sonuçların en iyisini almak sıklıkla yararlı olabilir.

$(-x^4 - 3x^2 + x)$ ifadesinin maksimumunu bulalım,

```
In[1]:= NMaximize[-x^4 - 3 x^2 + x, x]
Out[1]= {0.0825888, {x -> 0.16374}}
```

$(x^2 - (y - 1)^2)$ fonksiyonunun minimumunu şu kısıtlarla bulalım:

$$(x^2 + y^2 \leq 4)$$

-

```
In[1]:= NMinimize[{x^2 - (y - 1)^2, x^2 + y^2 <= 4}, {x, y}]
Out[1]= {-9., {x -> 2.05919 × 10-8, y -> -2.}}
```

NMinimize çözücüsü, çalışmaya başlamak için dikdörtgen bir başlangıç bölgesine ihtiyaç duyar. Diğer sayısal yöntemler de benzer bir başlangıç noktası veya ilk değer verme süreci ile

çözümüne başlar. İlk bölge, her değişkene bir sonlu üst ve alt sınır vererek belirtilir. Bu kısıtlamalarda değişkenlerde $\{x, a, b\}$ eklenerek yapılır. Her ikisi de verilirse, değişkenlerin sınırları başlangıç bölgesi için kullanılır. Bir değişken x için başlangıç bölgesi belirtilmemişse, varsayılan başlangıç bölgesi kullanılır. Farklı değişkenlerin başlangıç bölgeleri farklı şekillerde tanımlanabilir.

NMinimize ve NMaximize, otomatik, "DifferentialEvolution", "NelderMead", "RandomSearch" ve "SimulatedAnnealing" olmak üzere çeşitli optimizasyon yöntemlerine sahiptir. "Method" seçeneği ile kontrol edilir. Metoda özgü tüm seçenekler, metodun sol tarafında dizeler halinde verilmelidir.

Varsayılan yöntemle NMinimize, sorunun türüne göre hangi yöntemi kullanacağını seçer. Amaç fonksiyonu ve kısıtlamaları lineer ise, "LinearProgramming" çözücüsü kullanılır. Tamsayı değişkenleri varsa veya nonlinear ifadeler söz konusu ise "Differential Evolution" devreye alınır.



BÖLÜM 6

PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada, Yücel Çetinceviz'in (2017) doktora tezinde, orta ölçekli rüzgar türbinleri için tasarladığı ve ürettiği 4 kw gücündeki generatör referans alınmış ve gerekli veri seti Maxwell Rmxprt programından sağlanmıştır.

6.1 Amaç ve Kısıt Fonksiyonları

Bu tez çalışmasının temel amacı referans alınan SMSG için verimin maksimize edilmesidir. Bu nedenle çalışmanın amaç fonksiyonu verimdir. Verim maksimize edilirken tasarlanan generatörün diğer şartları da sağlaması gerekmektedir. Verim optimizasyonu yapılırken **Tablo 2.2**'de belirtilen kriterlerden referans çalışma için öncelikli olarak sağlanması gerekenler şu şekilde belirlenmiştir;

Tutma Torku < 0.01 (Nm)

3800 $<$ Çıkış Gücü < 5000 (Watt)

350 $<$ Hat Voltajı < 420 (Volt)

55 $<$ Oluk Doluluk Oranı < 70 (%)

Ağırlık < 55 (kg)

Belirtilen bu şartlar problemin kısıt fonksiyonları olarak ele alınmıştır. Böylece optimizasyon problemi bir adet amaç, 5 adet kısıt olmak üzere toplam 6 adet fonksiyon içermektedir. Belirlenen her bir fonksiyon için ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur.

6.2 Tasarım Değişkenleri ve Sabit Parametreler

Bu çalışmada referans çalışmanın veriminin artırılması amaçlandığı için bazı parametreler sabit alınmıştır. Öncelikli olarak makine tipi generatördür ve optimizasyon için gerekli veriler ANSYS Maxwell Rmxprt programının ASSM(Adjust Speed Synchronous Machine) bölümünde Parametrik Analiz kullanılarak elde edilmiştir. Referans generatör ile sabit alınan parametreler **Tablo 6.1**'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Sabit alınan parametreler

✓ Kutup Sayısı: 24	✓ Slot Sayısı: 72	✓ Frekans : 50 Hz	✓ Referans Hız:250 rpm
✓ Rotor Pozisyonu: İç Rotorlu	✓ Kontrol Tipi: Alternatif Akım	✓ Devre Tipi: Y3	✓ Yığın faktörü: 0.95
✓ Stator Malzemesi: M19_24G	✓ Rotor Malzemesi: st-37	✓ Mıknatıs Malzemesi: NdFe35	✓ Slot Tipi: 3. Tip
✓ Kutup Tipi: Yüzey Yerleştirmeli	✓ Yük Tipi: Bağımsız Generatör	✓ Sarım Tipi: Tam Sarımlı	✓ Sargı Adımı: 3
✓ Güç Faktörü: 1	✓ Sargı Katları: 1	✓ Paralel kol sayısı: 1	

Bu çalışmada **Tablo 2.3**'te belirtilen tasarım değişkenlerinden amaç ve kısıt fonksiyonlarını doğrudan etkileyen 19 adet tasarım değişkeni belirlenmiştir. Bu değişkenler belirlenirken değişkenin verime ve diğer parametrelere etkisi dikkate alınmıştır. Referans alınan çalışmada da bu değişkenler kullanılarak generatör optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tasarım değişkenleri belirlendikten sonra bu değişkenlerin maksimum ve minimum noktalarında diğer fonksiyonlara etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada ele alınan ve fonksiyonlarda kullanılan tasarım değişkenleri **Tablo 6.2**'de gösterilmiştir.

Tablo 6.2: Modellerde kullanılan tasarım değişkenleri

✓ Hava aralığı (AG)	✓ Oluk açıklığı (Bs0)	✓ Oluk düşük genişliği (Bs1)	✓ Oluk alt genişliği (Bs2)
✓ Oluk başına iletken sayısı (CS)	✓ Stator iç çapı (Di)	✓ Stator dış çapı (Do)	✓ Mıknatıs açıklığı (E)
✓ Oluk açıklığı yüksekliği (Hs0)	✓ Kama yüksekliği (Hs1)	✓ Yararlı oluk yüksekliği (Hs2)	✓ Stator ve rotor uzunluğu (L)
✓ İletken katsayısı (NS)	✓ Mıknatıs eğimi (O)	✓ Rotor kalınlığı (RT)	✓ Oluk alt yarıçapı (Rs)
✓ Kaykısı (S)	✓ İletken çapı (d0)	✓ Mıknatıs kalınlığı (lm)	

6.3 Verilerin Elde Edilmesi

Öncelikli olarak her bir değişken ortalama değerinde iken Maxwell programında çözülmüş ve fonksiyonların sonuçları incelenmiştir. Daha sonra sırasıyla her bir değişken için maksimum ve minimum değerlerinde çözümler yaptırılmış ve fonksiyonlara olan etkisi incelenmiştir. Böylece her bir fonksiyon için hangi değişkenin daha etkili olduğu saptanmaya çalışılmıştır. Bu şekilde toplam 43 adet çözüm yapılmış ve sonuçlar **Tablo A.1**'de verilmiştir. Bu işlemden sonra her bir fonksiyona hangi değişkenin daha çok etkilediği hesaplanmıştır. Bu işlem şu şekilde yapılmıştır;

- Değişkenin minimumdan maksimum değere değişim yüzdesi hesaplanmıştır;

$$DY = \left(\frac{x_{max} - x_{min}}{x_{max}} \right) * 100 \quad (1)$$

- Bu değer değişim yüzdesi olarak tabloda belirtilmiştir.
- Daha sonra fonksiyon sonucunda maksimumdan minimum değer çıkartılmıştır. Bu değerde değişim olarak tabloya eklenmiştir.
- Son olarak fonksiyonlardaki değişimler, değişim yüzdesi oranına göre sıralanmıştır. Değişim yüzdesi oranına göre fonksiyon değişimleri şu formülle hesaplanmıştır ve tabloya eklenmiştir;

$$\frac{Değişim * 100}{DY} \quad (2)$$

Bu işlemler yapıldıktan sonra değişkenlerin değişim oranına göre fonksiyonları ne kadar etkiledikleri incelenmiş ve fazla etkileyen değişkenlere daha fazla değer verilmiştir.

Verim modeli için gerekli verileri elde etmek için Maxwell parametrik analizde değişkenlere verilen değerler **Tablo 6.3**'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi verimi en çok etkileyen değişken iletken çapıdır. Bu nedenle bu değişkenin 5 farklı değeri ele alınmıştır. İletken kesitinden sonra CS ve N.o.S değişkenlerinin verimi etkilediği görülmektedir. Bu değişkenlere de 4'er değer verilmiştir. Rotor kalınlığı değişkenine 3 değer verilmiştir. Diğer 7 değişkene ikişer, kalan değişkenlere de birer değer verilmiştir. Böylece bu değerler programa girildikten sonra 30720 farklı kombinasyon için verim sonucu elde edilmiştir. Maxwell parametrik analiz ile bilgisayarın (HP Z1 8 Core Work Station, RAM 32 GB) bütün verilerin oluşturulması 13 gün sürmüştür. Sonuçlar verim modelini oluşturmak için kullanılmıştır ve **Tablo A.2**'de gösterilmiştir.

Tablo 6.3: Verim parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (30720 satır)

T. D.	Min.	Max.	Değişim (%)	Verim @max.	Verim @min.	Verim Değişim	%100 Oran	Verilen Değer Sayısı	Verilen Değerler
Bs0	1	6.9	85.5	89.96	90	0.04	0.046	1	2.5
Hs 0	0.1	5	98	89.91	90.03	0.12	0.12	1	1
AG	0.1	2	95	89.91	90.11	0.2	0.21	1	1
Rs	0.1	5	98	89.93	90.14	0.21	0.21	1	2.5
Hs 1	0.1	5	98	89.85	90.08	0.23	0.23	1	1.5
O	1	110	99.09	89.72	90.18	0.46	0.46	1	80
S	0.1	2	95	89.48	90.16	0.68	0.71	1	1
lm	2	12	83.3	90.18	89.39	0.79	0.94	1	5
Bs2	3	12	75	89.5	90.86	1.36	1.81	2	3, 9
CS	12	92	86.95	85.4	72.85	12.55	14.43	4	12, 38, 64, 92
NS	1	10	90	96.61	82.9	13.71	15.23	4	2, 4, 7, 10
L	59	111	46.85	89.24	90.25	1.01	2.15	2	59, 111
Hs 2	10	30	66.66	89.4	91.03	1.63	2.44	2	10,30
Bs1	3	11	72.72	88.64	90.59	1.95	2.68	2	3, 8.5
E	0.4	1	60	90.02	88.09	1.93	3.21	2	0.4, 1
Do	340	481	29.31	90.17	88.22	1.95	6.65	2	385, 481
Di	196	310	36.77	88.12	85.65	2.47	6.71	2	196, 310
RT	6	20	70	90.08	84	6.08	8.68	3	6, 13, 20
d0	0.127	4.11	96.9	97.96	12.32	85.64	88.37	5	0.3211, 0.6438, 1.15, 2.053, 3.665

Tutma torku modelini oluşturmak için gerekli parametreler de Maxwell parametrik analiz bölümünden oluşturulmuştur. Bu verileri oluşturmak için programa girilen değişkenler **Tablo 6.4**'de gösterilmektedir. Değişim yüzdelerinin hesaplanmasından sonra tutma torkunu en çok etkileyen değişkenin slot parametresi (Bs0) olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu değişkene 4 farklı değer verilmiştir. İkinci çok etkileyen değişkenin, stator dış çapı (Do) olduğu görülmüştür ve bu değişkene de 3 farklı değer verilmiştir. Tutma torkunu etkileme sırasına göre 9 değişkene 2'şer, diğer değişkenlere de 1'er değer verilmiştir. Böylece tutma torku modeli için toplamda 6144 veri elde edilmiştir. Verilerin bilgisayarda (HP Z1 8 Core Work Station, RAM 32 GB) oluşturulması yaklaşık 7 gün sürmüştür ve **Tablo A.3**'de gösterilmiştir.

Tablo 6.4: Tutma torku parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (6144 satır)

T.D.	Min.	Max.	Değişim (%)	Tutma Torku @min.	Tutma Torku @max.	Tutma Torku Değişim	%100 Oran	Verilen Değer Sayısı	Verilen Değerler
CS	12	92	86.95	12.20	12.20	0	0	1	52
NS	1	10	90	12.20	12.20	0	0	1	4
d0	0.127	4.11	96.9	12.20	12.20	0	0	1	1.15
Rs	0.1	5	98	12.23	12.18	0.05	0.05	1	2.5
Hs1	0.1	5	98	12.13	12.42	0.29	0.29	1	1.5
Hs0	0.1	5	98	12.12	12.53	0.41	0.41	1	1
Hs2	10	30	66.66	12.04	12.33	0.29	0.43	1	23
E	0.4	1	60	16	14.87	1.13	1.88	1	0.5
S	0.1	2	95	12.04	0	12.04	12.67	2	0.1, 2
L	59	111	46.85	8.39	16	7.61	16.24	2	59, 111
RT	6	20	70	1.05	13.95	12.9	18.42	2	10, 20
O	1	110	99.09	23.72	4.89	18.83	19	2	1, 75
Do	340	481	29.31	5.25	12.20	6.95	23.71	3	385, 433, 481
AG	0.1	2	95	5.34	9.99	4.56	4.8	2	0.1, 2
Im	2	10	80	6.56	1.09	5.47	6.85	2	3, 8
Bs2	3	12	75	13.17	7.69	5.48	7.3	2	3, 9
Di	196	310	36.77	1.67	4.80	3.13	8.51	2	212, 310
Bs1	3	11	72.72	13.12	6	7.12	9.79	2	6, 8.5
Bs0	1	6.9	85.5	2.07	84.98	82.91	96.9	4	1,3,5,5.9

Generatör verim optimizasyonu incelenirken oluşturulan modellerden biri de çıkış gücüdür. Çıkış gücü modeli için gerekli veriler de Maxwell parametrik analiz bölümünden elde edilmiştir. Değişim yüzdesi incelendiğinde değişkenlere verilen değerler **Tablo 6.5**'te gösterilmektedir. Çıkış gücünü en çok etkileyen parametrelerin stator-rotor uzunluğu (L) ve oluk başına iletken sayısı (CS) olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu değişkenlere 4'er değer verilmiştir. Bu iki değerden sonra çıkış gücünü en çok etkileyen parametreler, stator dış çapı (Do) ve rotor kalınlığıdır ve bu değişkenlere de 3'er değer verilmiştir. Tasarım değişkenlerinden 6 tanesine 2'şer, diğerlerine de 1'er değer verilerek toplamda 9216 veri elde edilmiştir. Bu verilerin bilgisayardan (HP Z1 8 Core Work Station, RAM 32 GB) alınması yaklaşık 10 gün sürmüştür. Oluşturulan veriler çıkış gücü modelinin oluşturulmasında kullanılmış ve **Tablo A.4**'de gösterilmiştir.

Tablo 6.5: Çıkış gücü parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (9216 satır)

T.D.	Min.	Max.	Değişim (%)	Çıkış Gücü @min	Çıkış Gücü @max	Değişim	%100 Oran	Verilen Değer Sayısı	Verilen Değerler
Bs0	1	6.9	85.5	3656	3500	156	182.5	1	2.5
Hs0	0.1	5	98	3696	3641	55	56.12	1	1
AG	0.1	2	95	4190.5	3255	935.5	984.7	1	1
Rs	0.1	5	98	3716	3674	42	42.86	1	2.5
Hs1	0.1	5	98	3696	3679	17	17.3	1	1.5
O	1	110	99.09	4228	3196	1032	1041.47	1	80
S	0.1	2	95	4054	2769	1285	1352.5	1	1
lm	2	12	83.3	2263.5	4722.5	2459	2952	2	3, 8
L	59	111	46.85	1880	5919	4039	8621.13	4	59,76,93,111
Bs2	3	12	75	4053.5	2369	1684.5	2246	2	3, 9
Hs2	10	30	66.66	3750	3664	86	129	1	23
E	0.4	1	60	1625	3707	2082	3470	2	0.4, 1
Do	340	481	29.31	1629	3699	2070	7062.5	3	385,433, 481
Bs1	3	11	72.72	3634	1864	1770	2434	2	6, 8.5
CS	12	92	86.95	202	7234	7032	8087.5	4	12,38, 64, 92
NS	1	10	90	3170.5	4206	1035.5	1150.5	1	4
Di	196	310	36.77	645	1677	1032	2806.5	2	212, 310
RT	6	20	70	340.5	4176.5	3836	5480	3	10, 15, 20
d0	0.127	4.11	96.9	106.3	4315	4208.7	4343.5	2	0.3211,3.66 5

Optimizasyonu yapılan generatörün referans hız değerinde, hat voltajının 370-390 V aralığında olması istenmektedir. Bu nedenle hat voltajı için de model oluşturulmuştur. Model oluşturulması için gerekli verileri elde etmek için tasarım değişkenlerine farklı değerler verilmiştir ve verilen değerler **Tablo 6.6**'de gösterilmektedir. Bu değerler yine hat voltajını etkileme yüzdesine göre verilmiştir. Hat voltajını en çok etkileyen 5 tasarım değişkenine (L, Do, CS,RT,d0) 3'er değer verilmiştir. Bu tasarım değişkenleri dışında 5 adet tasarım değişkenine 2'ser, diğerlerine ise birer adet değer verilmiştir. Böylece toplamda 7776 adet veri elde edilmiştir. Veri sonuçlarının bilgisayardan (HP Z1 8 Core Work Station, RAM 32 GB) alınması yaklaşık 8 gün sürmüştür ve sonuçlar **Tablo A.5**'de gösterilmiştir.

Tablo 6.6: Hat voltajı parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (7776 satır)

D.V.	Min.	Max.	Değişim (%)	Hat Voltajı @min.	Hat Voltajı @max.	Voltaj Değişim	%100 Oran	Verilen Değer Sayısı	Verilen Değerler
Bs0	1	6.9	85.5	365	357	8	9.35	1	2.5
Hs0	0.1	5	98	367	364	3	3.06	1	1
AG	0.1	2	95	390.5	344.5	45.5	47.9	1	1
Rs	0.1	5	98	367.5	366	1.5	1.53	1	2.5
Hs1	0.1	5	98	367	366	1	1.02	1	1.5
O	1	110	99.09	392	341.5	50.5	50.96	1	80
S	0.1	2	95	384	318	66	69.5	1	1
lm	2	12	83.3	287.5	414.75	127.25	152.76	2	3, 8
L	59	111	46.85	262	464	202	431.2	3	59,85, 111
Bs2	3	12	75	384	294	90	120	2	3, 9
Hs2	10	30	66.66	368	366	2	3	1	23
E	0.4	1	60	245	367.5	122.5	204.2	2	0.4, 1
Do	340	481	29.31	245	366	121	412.8	3	385,433, 481
Bs1	3	11	72.72	363	261.5	101.5	139.5	2	3, 8.5
CS	12	92	86.95	93.5	511	417.5	480.2	3	12, 52, 92
NS	1	10	90	340	391	51	56.6	1	4
Di	196	310	36.77	155	248	93	253	2	212, 310
RT	6	20	70	111.5	390	278.5	397.85	3	10, 15, 20
d0	0.127	4.11	96.9	72.66	396	323.3	333.7	3	0.3211, 1.15, 3.665

SMSG sarımı yapılırken, toplam iletken kesiti ve oluk başına düşen iletken sayısı gibi sarım verilerinin doğru belirlenmesi sarım kolaylığı açısından önemlidir. Bu değerler doğrudan oluk doluluk oranı parametresini etkilemektedir. Oluk doluluk oranının tasarımı yapılan generatör için %65-70 arasında olması amaçlanmıştır. Bu nedenle oluk doluluk oranı da optimizasyon probleminde kısıt fonksiyonu olarak belirlenmiştir ve ayrı model oluşturulmuştur. Model oluşturulması için tasarım değişkenlerine verilen değerler **Tablo 6.7**'de gösterilmektedir.

Tablo 6.7: Oluk doluluk oranı parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (6480 satır)

T.D.	Min.	Max.	Değişim (%)	Oluk Doluluk Oranı @min.	Oluk Doluluk Oranı @max.	Oluk Doluluk Oranı Değişim	%100 Oran	Verilen Değer Sayısı	Verilen Değerler
Bs0	1	6.9	85.5	58.29	55.27	3.02	3.53	2	1, 4,9
Hs0	0.1	5	98	58.29	58.29	0	0	1	1
AG	0.1	2	95	58.29	58.29	0	0	1	1
Rs	0.1	5	98	64.5	54.72	9.78	9.98	2	0.1, 2
Hs1	0.1	5	98	58.29	58.29	0	0	1	1.5
O	1	110	99.09	58.29	58.29	0	0	1	80
S	0.1	2	95	58.29	58.29	0	0	1	1
lm	2	12	83.3	58.29	58.29	0	0	1	5
L	59	111	46.85	58.29	58.29	0	0	1	85
Bs2	3	12	75	96.67	45.79	50.88	67.84	3	5, 7, 9
Hs2	10	30	66.66	124	45.35	78.65	118	3	10, 20, 30
E	0.4	1	60	58.29	58.29	0	0	1	0.5
Do	340	481	29.31	58.29	58.29	0	0	1	433
Bs1	3	11	72.72	91.90	45.62	46.28	63.64	3	5, 6.5, 8.5
CS	12	92	86.95	13.5	103	89.5	102.93	3	12, 52, 92
NS	1	10	90	29.15	291.5	262.35	291.5	4	2, 4, 7, 10
Di	196	310	36.77	58.29	58.29	0	0	1	212
RT	6	20	70	58.29	58.29	0	0	1	15
d0	0.127	4.11	96.9	2.54	1043.42	1040.88	1074.2	5	0.3211, 0.6438, 1.15, 2.053, 3.665

Değişim yüzdesine bakıldığında oluk doluluk oranını en çok etkileyen değişkenin iletken çapı olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu değişkene 5 farklı değer verilmiştir. İletken kesitinden sonra bu parametreyi etkileyen değişken NS'dir ve 4 farklı değer verilmiştir. Tasarım değişkenlerinden 4 tanesine 3'er, 2 tanesine 2'şer, diğerlerine de 1'er değer verilmiştir. Böylece 6480 farklı veri sonucu oluşturulmuştur ve oluşturulan değerler **Tablo A.6**'da gösterilmiştir. Sonuçların bilgisayardan (HP Z1 8 Core Work Station, RAM 32 GB) elde edilmesi yaklaşık 7 gün sürmüştür.

Generatör verim optimizasyonu yapılırken aynı zamanda ağırlık değeri de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışmada optimizasyonu yapılan generatörün 55 kg'dan hafif olması hedeflenmiştir. Bu nedenle ağırlık için de model oluşturulmuş, model için gerekli veriler Maxwell parametrik analizden elde edilmiştir. Parametrik analiz için tasarım değişkenlerine verilen değerler **Tablo 6.8**'de gösterilmektedir. Değişim yüzdesine göre ağırlık parametresini en çok etkileyen değişken stator dış çapı (Do)'dur ve bu değişkene 4 farklı değer verilmiştir. Ağırlığa etkisine göre 4 adet değişkene 3'er, 3 adet değişkene 2'şer, diğerlerine de 1'er değer verilmiştir. Verilen değerlerden sonra ağırlık için toplamda 2592 veri sonucu alınmıştır. Alınan veriler **Tablo A.7**'de gösterilmiştir ve bilgisayar (HP Z1 8 Core Work Station, RAM 32 GB) sonuçlarının alınması yaklaşık 5 gün sürmüştür.

Tablo 6.8: Ağırlık parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (2592 satır)

T.D.	Min.	Max.	Değişim (%)	Ağırlık @min	Ağırlık @max	Ağırlık Değişim	%100 Oran	Değer Sayısı	Verilen Değerler
Bs0	1	6.9	85.5	31.4	31	0.4	0.46	1	2.5
Hs0	0.1	5	98	31.38	30.88	0.5	0.5	1	1
AG	0.1	2	95	31.32	31.25	0.07	0.07	1	1
Rs	0.1	5	98	32.01	30.74	1.27	1.27	1	2.5
Hs1	0.1	5	98	31.57	30.58	0.99	0.99	1	1.5
O	1	110	99.09	31.5	30.86	0.64	0.64	1	80
S	0.1	2	95	31.28	31.28	0	0	1	1
lm	2	12	83.3	29.9	34.5	4.6	5.52	1	5
L	59	111	46.85	22.69	39.88	17.19	36.7	3	59, 85, 111
Bs2	3	12	75	34.2	29.13	5.07	6.76	1	8.5
Hs2	10	30	66.66	35.26	29.15	6.11	9.16	2	10, 30
E	0.4	1	60	30	31.5	1.5	2.5	1	0.5
Do	340	481	29.31	20.95	77	56.05	191.29	4	385, 417, 449, 481
Bs1	3	11	72.72	33	29.28	3.72	5.11	1	7

Tablo 6.8 (devam): Ağırlık parametrik analiz değerlerinin belirlenmesi (2592 satır)

CS	12	92	86.95	26	36.5	10.5	12.07	2	12, 92
NS	1	10	90	27.85	58.83	30.98	34.42	3	2, 6, 10
Di	196	310	36.77	48.51	23.45	25.06	68.15	3	212, 253, 310
RT	6	20	70	28.88	36.09	7.21	10.3	2	10, 20
d0	0.127	4.11	96.9	24.53	97.96	73.43	75.77	3	0.3211, 1.15, 3.665

6.4 Matematiksel Modeller

Tez çalışmasının bu bölümünde generatör tasarım değişkenlerinin fonksiyonu olarak, verim, tutma torku, çıkış gücü, hat voltajı, oluk doluluk oranı ve ağırlık parametreleri için ayrı ayrı modeller geliştirilmesi amaçlanmıştır. Önceki bölümlerde de vurgulandığı gibi verim ve diğer parametreler generatör tasarım değişkenlerine bağlıdır.

Oluşturulmak istenen modelleri etkileyen bağımsız olarak kontrol edilebilir işlem parametreleri **Tablo 6.2**'de gösterilmiştir. Bu çalışmada model oluşturmak için kullanılan veriler Maxwell programından elde edilmiş ve Tablo A.2, Tablo A.3, Tablo A.4, Tablo A.5, **Tablo A.6**, **Tablo A.7**'de gösterilmiştir. Matematiksel modeller SMSG parametrelerinin optimum değerlerini tanımlamak için geliştirilmiştir. Bunun için çok değişkenli non-lineer regresyon tipi kullanılmıştır. Bu işlemden sonra elde edilen bilgiler, verimi optimize etmek ve parametrelerin amaç fonksiyonları üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılmıştır.

Modellerin oluşturulma aşamasında standart non-lineer çoklu regresyon analizi ile Artificial Neural Network (ANN) metodu hibrit olarak kullanılmıştır. Bu nedenle her model için çalışma dataları %80 ve %20 olarak iki parçaya rastgele ayrılmıştır. Regresyon modellemeleri %80'lik data kullanılarak yapılmış, modelin doğruluğunu ifade eden R^2 değerleri %20'lik data kullanılarak hesaplanmıştır. %80'lik verilerle oluşturulan modellere “training”, %20'lik verilerle yapılan doğrulama sonuçlarına da “testing” isimleri verilmiştir. Modellerin oluşturulması, sonuçların karşılaştırılması ve R^2 'lerin hesaplanmasında Wolfram Mathematica programı kullanılmıştır. Bütün modeller için kullanılan regresyon eşitliğinin genel formu [3] şu şekildedir:

$$[a_0 + (\sum_{i=1}^{19} a_i x_i)^2] / [b_0 + (\sum_{i=1}^{19} b_i x_i)^2] \quad (3)$$

Bu fonksiyonda x , tasarım değişkenlerinin kodlanmış değerlerini ifade eder, y ise modeller için çıktı değerini göstermektedir. $a_0, a_1, a_2, \dots, b_0, b_1, b_2$ değerleri ise en küçük kareler tekniği kullanılarak belirlenen modelin katsayılarını ifade etmektedir. Modellerin doğruluğunu

saptamak için training (%80) ve testing(%20) sonuçları için R^2 ve R^2_{adj} değerleri hesaplanmıştır. **Tablo 6.9** herbir model için R^2 ve R^2_{adj} sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 6.9: Modellere ait R^2 ve R^2_{adj} sonuçları

R^2	Verim	Çıkış Gücü	Hat Voltajı	Oluk Doluluk Oranı	Tutma Torku	Ağırlık
R^2 training(%80)	0.950	0.990	0.990	0.998	0.991	0.999
R^2 testing(%20)	0.949	0.989	0.991	0.998	0.990	0.999
R^2_{adj}	0.950	0.990	0.989	0.998	0.991	0.999

6.5 Optimizasyon Problemleri

Bu tez kapsamında toplam 39 adet nonlineer ayrık (discrete) optimizasyon problemi çözülmüştür. Çözülen problemlere ait kısıtlar ve kullanılan metodlar **Tablo 6.10**'de gösterilmektedir.

Tablo 6.10: Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

Problem No:	Problem Tanımı:	Optimizasyon Metodu:
1	<p>Amaç : Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 96$, $0.1 < \text{AG} < 3$, $0.5 < \text{Bs0} < 10$, $1 < \text{Bs1} < 12$, $1 < \text{Bs2} < 15$, $5 < \text{CS} < 70$, $150 < \text{Di} < 400$, $300 < \text{Dout} < 500$, $0.3 < \text{E} < 1.1$, $0.05 < \text{Hs0} < 6$, $0.05 < \text{Hs1} < 6$, $5 < \text{Hs2} < 40$, $20 < \text{L} < 250$, $0.1 < \text{NS} < 15$, $1 < \text{O} < 110$, $5 < \text{RT} < 30$, $0.1 < \text{Rs} < 6$, $0.1 < \text{S} < 2$, $0.125 < \text{d0} < 5$, $1 < \text{lm} < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

2	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, Tutma Torku < 2, Oluk Doluluk Oranı < 60, $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4500$, $0.1 < \text{AG} < 3$, $0.5 < \text{Bs}_0 < 10$, $1 < \text{Bs}_1 < 12$, $1 < \text{Bs}_2 < 15$, $5 < \text{CS} < 70$, $150 < \text{Di} < 450$, $300 < \text{Dout} < 500$, $0.3 < \text{E} < 1.1$, $0.05 < \text{Hs}_0 < 6$, $0.05 < \text{Hs}_1 < 6$, $5 < \text{Hs}_2 < 40$, $20 < \text{L} < 250$, $0.1 < \text{NS} < 15$, $1 < \text{O} < 110$, $5 < \text{RT} < 30$, $0.1 < \text{Rs} < 6$, $0.1 < \text{S} < 2$, $0.125 < \text{d}_0 < 5$, $2 < \text{lm} < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs₀, Bs₁, Bs₂, CS, Di, Dout, E, Hs₀, Hs₁, Hs₂, L, NS, O, RT, Rs, S, d₀, lm</p>	Nelder-Mead
3	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, Tutma Torku < 2, $20 < \text{Oluk Doluluk Oranı} < 60$, $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4500$, $0.8 < \text{AG} < 1.3$, $2 < \text{Bs}_0 < 3$, $5 < \text{Bs}_1 < 9$, $6 < \text{Bs}_2 < 11$, $48 < \text{CS} < 58$, $260 < \text{Di} < 300$, $350 < \text{Dout} < 400$, $0.7 < \text{E} < 1$, $0.5 < \text{Hs}_0 < 1.5$, $1 < \text{Hs}_1 < 2$, $18 < \text{Hs}_2 < 30$, $75 < \text{L} < 105$, $1 < \text{NS} < 4$, $70 < \text{O} < 90$, $7 < \text{RT} < 15$, $1 < \text{Rs} < 3.5$, $0.8 < \text{S} < 1.2$, $0.75 < \text{d}_0 < 2$, $3 < \text{lm} < 10$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs₀, Bs₁, Bs₂, CS, Di, Dout, E, Hs₀, Hs₁, Hs₂, L, NS, O, RT, Rs, S, d₀, lm</p>	Nelder-Mead

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

4	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $0.7 < \text{AG} < 1.5$, $1 < \text{Bs}_0 < 3$, $5 < \text{Bs}_1 < 10$, $6 < \text{Bs}_2 < 12$, $40 < \text{CS} < 58$, $260 < \text{Di} < 310$, $350 < \text{Dout} < 450$, $0.5 < \text{E} < 1$, $0.5 < \text{Hs}_0 < 1.5$, $1 < \text{Hs}_1 < 2$, $18 < \text{Hs}_2 < 35$, $75 < \text{L} < 110$, $1 < \text{NS} < 4$, $70 < \text{O} < 90$, $7 < \text{RT} < 15$, $1 < \text{Rs} < 3.5$, $0.8 < \text{S} < 1.2$, $0.75 < \text{d}_0 < 2.5$, $3 < \text{lm} < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs₀, Bs₁, Bs₂, CS, Di, Dout, E, Hs₀, Hs₁, Hs₂, L, NS, O, RT, Rs, S, d₀, lm</p>	Nelder-Mead
5	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4500$, $0.8 < \text{AG} < 1.3$, $2 < \text{Bs}_0 < 3$, $5 < \text{Bs}_1 < 9$, $6 < \text{Bs}_2 < 11$, $48 < \text{CS} < 58$, $260 < \text{Di} < 300$, $350 < \text{Dout} < 400$, $0.7 < \text{E} < 1$, $0.5 < \text{Hs}_0 < 1.5$, $1 < \text{Hs}_1 < 2$, $18 < \text{Hs}_2 < 30$, $75 < \text{L} < 105$, $1 < \text{NS} < 4$, $70 < \text{O} < 90$, $7 < \text{RT} < 15$, $1 < \text{Rs} < 3.5$, $0.8 < \text{S} < 1.2$, $0.75 < \text{d}_0 < 2$, $3 < \text{lm} < 10$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs₀, Bs₁, Bs₂, CS, Di, Dout, E, Hs₀, Hs₁, Hs₂, L, NS, O, RT, Rs, S, d₀, lm</p>	Nelder-Mead

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

6	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $AG = 0.6 \parallel AG = 1, Bs0 = 2.5, Bs1 = 3 \parallel Bs1 = 8, Bs2 = 3 \parallel Bs2 = 9, CS = 12 \parallel CS = 38$ $\parallel CS = 64, Di = 196 \parallel Di = 310, Dout = 385, E = 0.4 \parallel E = 0.8, Hs0 = 1, Hs1 = 1.5, Hs2 = 10 \parallel Hs2 = 20 \parallel$ $Hs2 = 30, L = 59, NS = 2, O = 80, RT = 6, Rs = 2.5, S = 1, d0 = 0.3211 \parallel d0 = 0.6438, lm = 5$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead
7	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97, 5 < Bs1, 5 < Bs2, 12 < Hs2 < 30, 1.5 < Bs0 < 3$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $AG = 1, CS = 52, Di = 280, Dout = 370, E = 0.92, L = 85, NS = 2, O = 80, RT = 10.5, Rs = 2.5, S = 1, d0 = 0.9116, lm = 5$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead
8	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97, 5 < Bs1, 5 < Bs2, 12 < Hs2 < 30, 1.5 < Bs0 < 3, 0 < AG < 2$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $CS = 52, Di = 280, Dout = 370, E = 0.92, L = 85, NS = 2, O = 80, RT = 10.5, Rs = 2.5, S = 1, d0 = 0.9116, lm = 5$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

9	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $5 < \text{Bs1}$, $5 < \text{Bs2}$, $12 < \text{Hs2} < 30$, $1.5 < \text{Bs0} < 3$, $0 < \text{AG} < 2$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{CS} = 52$, $\text{Di} = 280$, $\text{Dout} = 370$, $\text{E} = 0.92$, $\text{NS} = 2$, $\text{O} = 80$, $\text{RT} = 10.5$, $\text{Rs} = 2.5$, $\text{S} = 1$, $d_0 = 0.9116$, $\text{Im} = 5$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, Im</p>	Nelder-Mead
10	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $20 < \text{Oluk Doluluk Oranı} < 60$, $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4500$, $5 < \text{Bs1}$, $5 < \text{Bs2}$, $12 < \text{Hs2} < 30$, $1.5 < \text{Bs0} < 3$, $0 < \text{AG} < 2$, $270 < \text{Di} < 290$, $0 < \text{Hs0}$, $50 < \text{L}$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{CS} = 52$, $\text{Dout} = 370$, $\text{E} = 0.92$, $\text{NS} = 2$, $\text{O} = 80$, $\text{RT} = 10.5$, $\text{Rs} = 2.5$, $\text{S} = 1$, $d_0 = 0.9116$, $\text{Im} = 5$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, Im</p>	Nelder-Mead
11	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $20 < \text{Oluk Doluluk Oranı} < 60$, $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4500$, $300 < \text{Hat Voltajı} < 450$, $5 < \text{Bs1}$, $5 < \text{Bs2}$, $12 < \text{Hs2} < 30$, $1.5 < \text{Bs0} < 3$, $0 < \text{AG} < 2$, $270 < \text{Di} < 290$, $0 < \text{Hs0}$, $50 < \text{L}$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{CS} = 52$, $\text{Dout} = 370$, $\text{E} = 0.92$, $\text{NS} = 2$, $\text{O} = 80$, $\text{RT} = 10.5$, $\text{Rs} = 2.5$, $\text{S} = 1$, $d_0 = 0.9116$, $\text{Im} = 5$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, Im</p>	Nelder-Mead

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

12	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $5 < \text{Bs1}$, $5 < \text{Bs2}$, $17 < \text{Hs2} < 35$, $1.5 < \text{Bs0} < 3$, $0.4 < \text{AG} < 2$, $270 < \text{Di} < 290$, $0 < \text{Hs0}$, $50 < \text{L}$, $360 < \text{Dout} < 380$, $3 < \text{lm} < 6$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{CS} = 52$, $\text{E} = 0.92$, $\text{NS} = 2$, $\text{O} = 80$, $\text{RT} = 10.5$, $\text{Rs} = 2.5$, $\text{S} = 1$, $\text{d0} = 0.9116$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead
13	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4500$, $5 < \text{Bs1}$, $5 < \text{Bs2}$, $17 < \text{Hs2} < 35$, $1.5 < \text{Bs0} < 3$, $0.4 < \text{AG} < 2$, $270 < \text{Di} < 290$, $0 < \text{Hs0}$, $50 < \text{L}$, $360 < \text{Dout} < 380$, $0.5 < \text{d0} < 2$, $3 < \text{lm} < 6$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{CS} = 52$, $\text{E} = 0.92$, $\text{NS} = 2$, $\text{O} = 80$, $\text{RT} = 10.5$, $\text{Rs} = 2.5$, $\text{S} = 1$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead
14	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $5 < \text{Bs1}$, $5 < \text{Bs2}$, $17 < \text{Hs2} < 35$, $1.5 < \text{Bs0} < 3$, $0.4 < \text{AG} < 2$, $270 < \text{Di} < 290$, $15 < \text{CS}$, $0 < \text{Hs0}$, $60 < \text{L}$, $360 < \text{Dout} < 380$, $0.5 < \text{d0} < 2$, $3 < \text{lm} < 6$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{E} = 0.92$, $\text{NS} = 2$, $\text{O} = 80$, $\text{RT} = 10.5$, $\text{Rs} = 2.5$, $\text{S} = 1$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

15	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $6 < \text{Bs1}$, $6 < \text{Bs2}$, $17 < \text{Hs2} < 30$, $1.5 < \text{Bs0} < 3$, $0.4 < \text{AG} < 1.6$, $270 < \text{Di} < 290$, $20 < \text{CS}$, $0 < \text{Hs0}$, $60 < \text{L}$, $360 < \text{Dout} < 380$, $0.5 < \text{d0} < 1.5$, $3 < \text{lm} < 7$</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $E = 0.92$, $\text{NS} = 2$, $O = 80$, $\text{RT} = 10.5$, $\text{Rs} = 2.5$, $S = 1$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead
16	<p>Amaç: Maksimum Güç</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4200$, $0.7 < \text{AG} < 1.5$, $1 < \text{Bs0} < 3$, $5 < \text{Bs1} < 10$, $6 < \text{Bs2} < 12$, $40 < \text{CS} < 58$, $260 < \text{Di} < 310$, $350 < \text{Dout} < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < \text{Hs0} < 1.5$, $1 < \text{Hs1} < 2$, $18 < \text{Hs2} < 35$, $75 < L < 110$, $1 < \text{NS} < 4$, $70 < O < 90$, $7 < \text{RT} < 15$, $1 < \text{Rs} < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < \text{d0} < 2.5$, $3 < \text{lm} < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

17	<p>Amaç: Maksimum Voltaj</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $300 < y_{\text{voltaj}} < 380$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead
18	<p>Amaç: Minimum Oluk Doluluk Oranı</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $30 < \text{Oluk Doluluk Oranı} < 65$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead
19	<p>Amaç: Minimum Ağırlık</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $30 < \text{Ağırlık} < 150$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	Nelder-Mead

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

20	<p>Amaç: Minimum Tutma Torku</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Tutma Torku} < 5$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs₀, Bs₁, Bs₂, CS, Di, Dout, E, Hs₀, Hs₁, Hs₂, L, NS, O, RT, Rs, S, d₀, lm</p>	Nelder-Mead
21	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4500$, $0.8 < AG < 1.3$, $2 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 9$, $6 < Bs_2 < 11$, $48 < CS < 58$, $260 < Di < 300$, $350 < Dout < 400$, $0.7 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 30$, $75 < L < 105$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2$, $3 < lm < 10$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs₀, Bs₁, Bs₂, CS, Di, Dout, E, Hs₀, Hs₁, Hs₂, L, NS, O, RT, Rs, S, d₀, lm</p>	Method = "NelderMead"

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

22	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4500$, $0.8 < \text{AG} < 1.3$, $2 < \text{Bs}_0 < 3$, $5 < \text{Bs}_1 < 9$, $6 < \text{Bs}_2 < 11$, $48 < \text{CS} < 58$, $260 < \text{Di} < 300$, $350 < \text{Dout} < 400$, $0.7 < \text{E} < 1$, $0.5 < \text{Hs}_0 < 1.5$, $1 < \text{Hs}_1 < 2$, $18 < \text{Hs}_2 < 30$, $75 < \text{L} < 105$, $1 < \text{NS} < 4$, $70 < \text{O} < 90$, $7 < \text{RT} < 15$, $1 < \text{Rs} < 3.5$, $0.8 < \text{S} < 1.2$, $0.75 < \text{d}_0 < 2$, $3 < \text{lm} < 10$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"DifferentialEvolution"</p>
23	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4500$, $0.8 < \text{AG} < 1.3$, $2 < \text{Bs}_0 < 3$, $5 < \text{Bs}_1 < 9$, $6 < \text{Bs}_2 < 11$, $48 < \text{CS} < 58$, $260 < \text{Di} < 300$, $350 < \text{Dout} < 400$, $0.7 < \text{E} < 1$, $0.5 < \text{Hs}_0 < 1.5$, $1 < \text{Hs}_1 < 2$, $18 < \text{Hs}_2 < 30$, $75 < \text{L} < 105$, $1 < \text{NS} < 4$, $70 < \text{O} < 90$, $7 < \text{RT} < 15$, $1 < \text{Rs} < 3.5$, $0.8 < \text{S} < 1.2$, $0.75 < \text{d}_0 < 2$, $3 < \text{lm} < 10$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"SimulatedAnnealing"</p>

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

24	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $5 < \text{Bs1}$, $5 < \text{Bs2}$, $12 < \text{Hs2} < 30$, $1.5 < \text{Bs0} < 3$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{AG} = 1$, $\text{CS} = 52$, $\text{Di} = 280$, $\text{Dout} = 370$, $\text{E} = 0.92$, $\text{L} = 85$, $\text{NS} = 2$, $\text{O} = 80$, $\text{RT} = 10.5$, $\text{Rs} = 2.5$, $\text{S} = 1$, $\text{d0} = 0.9116$, $\text{lm} = 5$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"DifferentialEvolution"</p>
25	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $5 < \text{Bs1}$, $5 < \text{Bs2}$, $12 < \text{Hs2} < 30$, $1.5 < \text{Bs0} < 3$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{AG} = 1$, $\text{CS} = 52$, $\text{Di} = 280$, $\text{Dout} = 370$, $\text{E} = 0.92$, $\text{L} = 85$, $\text{NS} = 2$, $\text{O} = 80$, $\text{RT} = 10.5$, $\text{Rs} = 2.5$, $\text{S} = 1$, $\text{d0} = 0.9116$, $\text{lm} = 5$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"SimulatedAnnealing"</p>
26	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97$, $5 < \text{Bs1}$, $5 < \text{Bs2}$, $12 < \text{Hs2} < 30$, $1.5 < \text{Bs0} < 3$, $0 < \text{AG} < 2$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{CS} = 52$, $\text{Di} = 280$, $\text{Dout} = 370$, $\text{E} = 0.92$, $\text{L} = 85$, $\text{NS} = 2$, $\text{O} = 80$, $\text{RT} = 10.5$, $\text{Rs} = 2.5$, $\text{S} = 1$, $\text{d0} = 0.9116$, $\text{lm} = 5$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"DifferentialEvolution"</p>

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

27	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97, 5 < \text{Bs1}, 5 < \text{Bs2}, 12 < \text{Hs2} < 30, 1.5 < \text{Bs0} < 3, 0 < \text{AG} < 2$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{CS} = 52, \text{Di} = 280, \text{Dout} = 370, \text{E} = 0.92, \text{L} = 85, \text{NS} = 2, \text{O} = 80, \text{RT} = 10.5, \text{Rs} = 2.5, \text{S} = 1, \text{d0} = 0.9116, \text{lm} = 5$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"SimulatedAnnealing"</p>
28	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97, 5 < \text{Bs1}, 5 < \text{Bs2}, 17 < \text{Hs2} < 35, 1.5 < \text{Bs0} < 3, 0.4 < \text{AG} < 2, 270 < \text{Di} < 290, 0 < \text{Hs0}, 50 < \text{L}, 360 < \text{Dout} < 380, 3 < \text{lm} < 6$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{CS} = 52, \text{E} = 0.92, \text{NS} = 2, \text{O} = 80, \text{RT} = 10.5, \text{Rs} = 2.5, \text{S} = 1, \text{d0} = 0.9116$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"DifferentialEvolution"</p>
29	<p>Amaç: Maksimum Verim</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Verim} < 97, 5 < \text{Bs1}, 5 < \text{Bs2}, 17 < \text{Hs2} < 35, 1.5 < \text{Bs0} < 3, 0.4 < \text{AG} < 2, 270 < \text{Di} < 290, 0 < \text{Hs0}, 50 < \text{L}, 360 < \text{Dout} < 380, 3 < \text{lm} < 6$</p> <p>Eşitlik Kısıtları: $\text{CS} = 52, \text{E} = 0.92, \text{NS} = 2, \text{O} = 80, \text{RT} = 10.5, \text{Rs} = 2.5, \text{S} = 1, \text{d0} = 0.9116$</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"SimulatedAnnealing"</p>

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

30	<p>Amaç: Maksimum Güç</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4200$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs₀, Bs₁, Bs₂, CS, Di, Dout, E, Hs₀, Hs₁, Hs₂, L, NS, O, RT, Rs, S, d₀, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"DifferentialEvolution"</p>
31	<p>Amaç: Maksimum Güç</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $3500 < \text{Çıkış Gücü} < 4200$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs₀, Bs₁, Bs₂, CS, Di, Dout, E, Hs₀, Hs₁, Hs₂, L, NS, O, RT, Rs, S, d₀, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"SimulatedAnnealing"</p>
32	<p>Amaç: Maksimum Voltaj</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $300 < \text{y voltaj} < 380$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs₀, Bs₁, Bs₂, CS, Di, Dout, E, Hs₀, Hs₁, Hs₂, L, NS, O, RT, Rs, S, d₀, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"DifferentialEvolution"</p>

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

33	<p>Amaç: Maksimum Voltaj</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $300 < y_{\text{voltaj}} < 380$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"SimulatedAnnealing"</p>
34	<p>Amaç: Minimum Oluk Doluluk Oranı</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $30 < \text{Oluk Doluluk Oranı} < 65$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"DifferentialEvolution"</p>
35	<p>Amaç: Minimum Oluk Doluluk Oranı</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $30 < \text{Oluk Doluluk Oranı} < 65$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"SimulatedAnnealing"</p>

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

36	<p>Amaç: Minimum Ağırlık</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $30 < \text{Ağırlık} < 150$, $0.7 < \text{AG} < 1.5$, $1 < \text{Bs}_0 < 3$, $5 < \text{Bs}_1 < 10$, $6 < \text{Bs}_2 < 12$, $40 < \text{CS} < 58$, $260 < \text{Di} < 310$, $350 < \text{Dout} < 450$, $0.5 < \text{E} < 1$, $0.5 < \text{Hs}_0 < 1.5$, $1 < \text{Hs}_1 < 2$, $18 < \text{Hs}_2 < 35$, $75 < \text{L} < 110$, $1 < \text{NS} < 4$, $70 < \text{O} < 90$, $7 < \text{RT} < 15$, $1 < \text{Rs} < 3.5$, $0.8 < \text{S} < 1.2$, $0.75 < \text{d}_0 < 2.5$, $3 < \text{lm} < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"DifferentialEvolution"</p>
37	<p>Amaç: Minimum Ağırlık</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $30 < \text{Ağırlık} < 150$, $0.7 < \text{AG} < 1.5$, $1 < \text{Bs}_0 < 3$, $5 < \text{Bs}_1 < 10$, $6 < \text{Bs}_2 < 12$, $40 < \text{CS} < 58$, $260 < \text{Di} < 310$, $350 < \text{Dout} < 450$, $0.5 < \text{E} < 1$, $0.5 < \text{Hs}_0 < 1.5$, $1 < \text{Hs}_1 < 2$, $18 < \text{Hs}_2 < 35$, $75 < \text{L} < 110$, $1 < \text{NS} < 4$, $70 < \text{O} < 90$, $7 < \text{RT} < 15$, $1 < \text{Rs} < 3.5$, $0.8 < \text{S} < 1.2$, $0.75 < \text{d}_0 < 2.5$, $3 < \text{lm} < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"SimulatedAnnealing"</p>
38	<p>Amaç: Minimum Tutma Torku</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Tutma Torku} < 5$, $0.7 < \text{AG} < 1.5$, $1 < \text{Bs}_0 < 3$, $5 < \text{Bs}_1 < 10$, $6 < \text{Bs}_2 < 12$, $40 < \text{CS} < 58$, $260 < \text{Di} < 310$, $350 < \text{Dout} < 450$, $0.5 < \text{E} < 1$, $0.5 < \text{Hs}_0 < 1.5$, $1 < \text{Hs}_1 < 2$, $18 < \text{Hs}_2 < 35$, $75 < \text{L} < 110$, $1 < \text{NS} < 4$, $70 < \text{O} < 90$, $7 < \text{RT} < 15$, $1 < \text{Rs} < 3.5$, $0.8 < \text{S} < 1.2$, $0.75 < \text{d}_0 < 2.5$, $3 < \text{lm} < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs0, Bs1, Bs2, CS, Di, Dout, E, Hs0, Hs1, Hs2, L, NS, O, RT, Rs, S, d0, lm</p>	<p>Method =</p> <p>"DifferentialEvolution"</p>

Tablo 6.10 (devam): Problemlerin tanımı, kısıtlar ve kullanılan optimizasyon metotları

39	<p>Amaç: Minimum Tutma Torku</p> <p>Eşitsizlik Kısıtları: $0 < \text{Tutma Torku} < 5$, $0.7 < AG < 1.5$, $1 < Bs_0 < 3$, $5 < Bs_1 < 10$, $6 < Bs_2 < 12$, $40 < CS < 58$, $260 < Di < 310$, $350 < Dout < 450$, $0.5 < E < 1$, $0.5 < Hs_0 < 1.5$, $1 < Hs_1 < 2$, $18 < Hs_2 < 35$, $75 < L < 110$, $1 < NS < 4$, $70 < O < 90$, $7 < RT < 15$, $1 < Rs < 3.5$, $0.8 < S < 1.2$, $0.75 < d_0 < 2.5$, $3 < lm < 15$</p> <p>Eşitlik Kısıtları:</p> <p>Tasarım Değişkenleri: AG, Bs₀, Bs₁, Bs₂, CS, Di, Dout, E, Hs₀, Hs₁, Hs₂, L, NS, O, RT, Rs, S, d₀, lm</p>	Method = "SimulatedAnnealing"
----	--	----------------------------------

Problem 1: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır ve sadece verim modelinde çözüm yaptırılmıştır. Verim ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır.

Problem 2: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır. Verim modeli ile birlikte tutma torku, oluk doluluk oranı ve çıkış gücü modellerinde de birlikte çözüm yaptırılmıştır. Verim, tutma torku, oluk doluluk oranı, çıkış gücü ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır.

Problem 3: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır. Verim modeli ile birlikte tutma torku, oluk doluluk oranı ve çıkış gücü modellerinde de birlikte çözüm yaptırılmıştır. Verim, tutma torku, oluk doluluk oranı, çıkış gücü ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. Problem 2'ye göre tasarım değişkenliklerinin aralıkları azaltılmıştır. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır.

Problem 4: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır ve sadece verim modelinde çözüm yaptırılmıştır. Verim ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. Problem 1'e göre tasarım değişkenlerinin aralıkları değiştirilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır.

Problem 5: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır. Verim modeli ile çıkış gücü modeli de eşitsizlik sınırı olarak tanımlanmıştır. Verim, çıkış gücü ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır.

Problem 6: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır ve sadece verim modelinde çözüm yaptırılmıştır. Verim için eşitsizlik, tasarım değişkenleri için eşitlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır.

Problem 7: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır ve sadece verim modelinde çözüm yaptırılmıştır. Verim ve 4 adet tasarım değişkeni için eşitsizlik, 13 adet tasarım değişkeni için eşitlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Bununla birlikte 24 ve 25'inci problemler de DE ve SA metotları ile tekrar çözdürülmüştür.

Problem 8: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır ve sadece verim modelinde çözüm yaptırılmıştır. Verim ve 5 adet tasarım değişkeni için eşitsizlik, 12 adet tasarım değişkeni için eşitlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Bununla birlikte 26 ve 27'inci problemler de DE ve SA metotları ile tekrar çözdürülmüştür.

Problem 9: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır ve sadece verim modelinde çözüm yaptırılmıştır. Verim ve 5 adet tasarım değişkeni için eşitsizlik, 11 adet tasarım değişkeni için eşitlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Problem 8'e göre eşitlik kısıtları farklılık göstermektedir.

Problem 10: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır. Verim modeli ile birlikte oluk doluluk oranı ve çıkış gücü modelleri de eşitsizlik sınırı olarak tanımlanmışlardır. Verim, oluk doluluk oranı, çıkış gücü ve 8 adet tasarım değişkeni için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. 10 adet tasarım değişkeni için eşitlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır.

Problem 11: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır. Verim modeli ile birlikte oluk doluluk oranı, çıkış gücü ve hat voltajı modelleri de eşitsizlik sınırı olarak tanımlanmışlardır. Verim, oluk doluluk oranı, çıkış gücü, hat voltajı ve 8 adet tasarım

değişkeni için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. 10 adet tasarım değişkeni için eşitlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır.

Problem 12: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır ve sadece verim modelinde çözüm yaptırılmıştır. Verim ve 10 adet tasarım değişkeni için eşitsizlik, 8 adet tasarım değişkeni için eşitlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Bununla birlikte 28 ve 29'uncu problemler de DE ve SA metotları ile tekrar çözdürülmüştür.

Problem 13: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır. Verim modeli ile birlikte çıkış gücü modeli de birlikte çözüm yaptırılmıştır. Verim, çıkış gücü ve 11 adet tasarım değişkeni için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. 7 adet tasarım değişkeni için eşitlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır.

Problem 14: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır ve sadece verim modelinde çözüm yaptırılmıştır. Verim ve 12 adet tasarım değişkeni için eşitsizlik, 6 adet tasarım değişkeni için eşitlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır.

Problem 15: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır ve sadece verim modelinde çözüm yaptırılmıştır. Verim ve 12 adet tasarım değişkeni için eşitsizlik, 6 adet tasarım değişkeni için eşitlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Problem 14'e göre eşitsizlik kısıtları farklılık göstermektedir.

Problem 16: Bu optimizasyon probleminde maksimum çıkış gücü amaçlanmıştır ve sadece çıkış gücü modelinde çözüm yaptırılmıştır. Çıkış gücü ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Bununla birlikte 30 ve 31'inci problemler de DE ve SA metotları ile tekrar çözdürülmüştür.

Problem 17: Bu optimizasyon probleminde maksimum hat voltajı amaçlanmıştır ve sadece hat voltajı modelinde çözüm yaptırılmıştır. Hat voltajı ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Bununla birlikte 32 ve 33'üncü problemler de DE ve SA metotları ile tekrar çözdürülmüştür.

Problem 18: Bu optimizasyon probleminde minimum oluk doluluk oranı amaçlanmıştır ve sadece oluk doluluk oranı modelinde çözüm yaptırılmıştır. Oluk doluluk oranı ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Bununla birlikte 34 ve 35'inci problemler de DE ve SA metotları ile tekrar çözdürülmüştür.

Problem 19: Bu optimizasyon probleminde minimum ağırlık amaçlanmıştır ve sadece ağırlık modelinde çözüm yaptırılmıştır. Ağırlık ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları

velirtilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Bununla birlikte 36 ve 37'inci problemler de DE ve SA metotları ile tekrar çözdürülmüştür.

Problem 20: Bu optimizasyon probleminde minimum tutma torku amaçlanmıştır ve tutma torku modelinde çözüm yaptırılmıştır. Tutma torku ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları velirtilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Bununla birlikte 38 ve 39'uncu problemler de DE ve SA metotları ile tekrar çözdürülmüştür.

Problem 21: Bu optimizasyon probleminde maksimum verim amaçlanmıştır. Verim modeli ile birlikte çıkış gücü modeli de eşitsizlik sınırı olarak tanımlanmıştır. Verim, çıkış gücü ve tasarım değişkenleri için eşitsizlik kısıtları verilmiştir. Optimizasyon metodu olarak Nelder-Mead kullanılmıştır. Bununla birlikte 22 ve 23'üncü problemler de DE ve SA metotları ile tekrar çözdürülmüştür.



BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1.Mathematica ve Maxwell Sonuçlar

Tablo 7.1: Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları

Problem No:	Sonuçlar Mathematica	Sonuçlar-1 Maxwell
1	Verim=96, {AG=0.890636, Bs0= 7.73737, Bs1= 8.09076, Bs2= 9.07311, CS= 48.53, Di= 276.669, Dout = 380.372, E = 0.5539, Hs0= 3.10684, Hs1= 4.55607, Hs2= 21.2546, L= 126.654, NS= 9.91174, O= 17.146, RT= 10.211, Rs= 3.54763, S= 0.882108, d0= 2.81638, lm= 9.85132}	Verim=98.69
2	Verim=97, {AG=0.2503, Bs0= 2.94955, Bs1= 4.06814, Bs2= 5.73814, CS= 23.2471, Di= 260.738, Dout= 369.813, E= 0.28623, Hs0= 5.07026, Hs1= 3.20091, Hs2= 16.4345, L= 241.389, NS= 4.48457, O= 35.4899, RT= 14.2576, Rs= 2.28516, S= 0.088953, d0= 0.139261, lm= 5.81747}	Verim=27.76
3	Verim=46.3391, {AG= 1.34522, Bs0= 3.45748, Bs1= 11.1955, Bs2= 9.53095, CS= 60.1287, Di= 271.083, Dout= 371.871, E= 0.660738, Hs0= 0.256168, Hs1= 2.00117, Hs2= 26.0822, L= 96.2042, NS= 1.47733, O= 91.0787, RT= 15.0993, Rs= 2.87007, S= 1.07697, d0= 1.01372, lm= 2.45009}	Verim=91.82

Tablo 7.1 (devam): Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları

4	Verim=97, {AG=1.25125, Bs0= 2.18834, Bs1= 5.71005, Bs2= 10.3009, CS= 46.6797, Di= 280.298,Dout= 396.943, E= 0.766474, Hs0= 1.04035, Hs1= 1.21699, Hs2= 26.989, L= 84.6907, NS=2.00824, O= 76.0951, RT= 11.2829, Rs= 2.01562, S= 1.02722, d0= 1.48233, lm= 6.85827}	Verim=95.8
5	Verim=97.000000001016275064, {AG= 1.0856606886547036454, Bs0= 2.4041491613023108841, Bs1= 6.2499354797139675939, Bs2= 7.2494539354819467680, CS= 49.252033248792609824, Di= 267.84017022486710384, Dout= 381.30810143229731177, E= 0.94240545403799142526, Hs0= 1.0335550401137217166, Hs1= 1.6999010259855495466, Hs2= 20.070508994713016507, L= 85.198197529618140985, NS= 2.0634303192172870570, O= 78.511985421097008265, RT= 10.979536979149113022, Rs= 3.0225043867584707162, S= 1.0155470443171215421, d0= 1.3310701897059013008, lm= 4.5251786775853670204}	Verim=95.5
6	Verim=96.7696, {AG= 0.6, Bs0= 2.5, Bs1= 8.,Bs2= 9., CS= 38., Di= 196., Dout= 385., E= 0.4, Hs0= 1., Hs1= 1.5, Hs2= 30., L= 59., NS= 2., O= 80., RT= 6., Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.3211, lm= 5.}	Verim=36.37
7	Verim=97., {AG= 1., Bs0= 2.12634, Bs1= 5.88141, Bs2= 6.05451, CS= 52., Di= 280., Dout= 370., E= 0.92, Hs0= 2.00151, Hs1= 0.806122, Hs2= 28.8298, L= 85.,NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 5.}	Verim=90.68
8	Verim=97., {AG= 1.77839, Bs0= 1.77676, Bs1= 7.09188, Bs2= 5.54713, CS= 52., Di= 280., Dout= 370., E= 0.92, Hs0= 1.37807, Hs1= 0.610505, Hs2= 23.8922, L= 85., NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 5.}	Verim=91.12

Tablo 7.1 (devam): Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları

9	Verim=97., {AG= 1.5544, Bs0= 2.66604, Bs1= 5.00121, Bs2= 5.03521, CS= 52., Di= 280., Dout= 370., E= 0.92, Hs0= 1.74007, Hs1= 1.0206, Hs2= 12.0044, L= 49.6532, NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 5.}	Verim=93.62
10	Verim=19.2941, {AG= 0.106133, Bs0= 2.04694, Bs1= 5.84236, Bs2= 6.19988, CS= 52.,Di= 278.952, Dout= 370., E= 0.92, Hs0= 0.284413, Hs1= 0.778049, Hs2= 20.5286,L= 51.0847, NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 5.}	Verim=92.69
11	Verim=0.127323, {AG= 0.0845102, Bs0= 1.53656, Bs1= 9.66613, Bs2= 5.16526, CS= 52.,Di= 273.393, Dout= 370., E= 0.92, Hs0= 0.436462, Hs1= 1.17107, Hs2= 18.3415, L= 50.5362, NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 5.}	Verim=92.66
12	Verim=97., {AG= 1.87585, Bs0= 2.03197, Bs1= 5.01553, Bs2= 5.196, CS= 52., Di= 287.827, Dout= 376.898, E= 0.92, Hs0= 0.659943, Hs1= 0.759795, Hs2= 34.3402, L= 52.4095, NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 3.29193}	Verim=91.29
13	Verim=97., {AG= 1.725, Bs0= 1.63344, Bs1= 6.04176, Bs2= 6.31666, CS= 52., Di= 275.085, Dout= 364.045, E= 0.92, Hs0= 1.18493, Hs1= 0.572317, Hs2= 31.1972, L= 51.3476, NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 1.32301, lm= 3.52858}	Verim=95.83
14	Verim=97., {AG= 1.74063, Bs0= 1.73161, Bs1= 5.50765, Bs2= 6.91087, CS= 15.9726, Di= 272.54, Dout= 364.752,E= 0.92, Hs0= 1.66567, Hs1= 0.23401, Hs2= 26.9043, L= 62.4211, NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 1.77465, lm= 4.84132}	Verim=89.25

Tablo 7.1 (devam): Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları

15	Verim=97., {AG= 0.965029, Bs0= 1.56543, Bs1= 6.06925, Bs2= 7.47928, CS= 20.9716, Di= 279.531, Dout= 367.038, E= 0.92, Hs0= 1.80125, Hs1= 0.555691, Hs2= 23.3881, L= 62.222, NS= 2.,O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 1.36634, lm= 3.80115}	Verim=92.54
16	Güç=4200., {AG= 1.41065, Bs0= 2.22518, Bs1= 6.82945, Bs2= 8.2465, CS= 49.2354, Di= 286.95, Dout= 365.99, E= 0.89096, Hs0= 1.22764, Hs1= 1.2354, Hs2= 22.7748, L= 100.717, NS= 1.94876, O= 78.6943, RT= 13.2108, Rs= 1.52185, S= 0.946551, d0= 1.01262, lm= 7.62599}	Verim=92
17	Voltaj=380., {AG= 0.867404, Bs0= 1.36542, Bs1= 8.08826, Bs2= 7.64017, CS= 52.0901, Di= 271.295, Dout= 381.248, E=0.820193, Hs0= 1.10973, Hs1= 1.21104, Hs2= 24.7798, L= 84.9828, NS= 2.62222, O= 80.6488, RT= 11.6087, Rs= 2.6227, S= 1.03041, d0= 1.8327, lm= 5.70089}	Verim=96.9
18	Oluk Doluluk Oranı=30., {AG= 0.75291, Bs0= 0.900999, Bs1= 7.2727, Bs2= 9.73776, CS= 44.1735, Di= 283.617, Dout= 415.64, E= 0.618196, Hs0= 0.377983, Hs1= 1.25604, Hs2= 25.7306, L= 90.9974, NS= 2.2871, O= 75.2585, RT= 11.3448, Rs= 2.53495, S= 1.01899, d0= 1.1985, lm= 3.32979}	Verim=94
19	Ağırlık=30., {AG= 1.19154, Bs0= 1.65017, Bs1= 8.9987, Bs2= 8.90353, CS= 53.6287, Di= 280.267, Dout= 426.456, E=0.617413, Hs0= 1.34058, Hs1= 1.72862, Hs2= 30.1605, L= 97.2236, NS= 2.03066, O= 76.5251, RT= 8.3447, Rs= 1.53685, S= 0.926919, d0= 1.28239, lm= 6.34772}	Verim=93.61

Tablo 7.1 (devam): Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları

20	<p>Tutma Torku=$-9.31156 \cdot 10^{-10}$, {AG= 0.762769, Bs0= 2.69113, Bs1= 9.87691, Bs2= 9.58163, CS= 50.397,</p> <p>Di= 284.286, Dout= 385.423, E= 0.910571, Hs0= 0.984333, Hs1= 1.77421, Hs2= 29.1805, L= 103.164, NS= 2.52361, O= 79.9478, RT= 11.0147, Rs= 2.28261, S= 1.27394, d0= 1.0386, lm= 2.20746}</p>	Verim=90.86
21	<p>Verim=97.000000001016275064, {AG= 1.0856606886547036454, Bs0= 2.4041491613023108841,</p> <p>Bs1= 6.2499354797139675939, Bs2= 7.2494539354819467680, CS= 49.252033248792609824,</p> <p>Di= 267.84017022486710384, Dout= 381.30810143229731177, E= 0.94240545403799142526,</p> <p>Hs0= 1.0335550401137217166, Hs1= 1.6999010259855495466, Hs2= 20.070508994713016507,</p> <p>L= 85.198197529618140985, NS= 2.0634303192172870570, O= 78.511985421097008265,</p> <p>RT= 10.979536979149113022, Rs= 3.0225043867584707162, S= 1.0155470443171215421,</p> <p>d0= 1.3310701897059013008, lm= 4.5251786775853670204}</p>	95.55

Tablo 7.1 (devam): Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları

22	Verim=97.000000001667515903, {AG= 0.97195542012448827742, Bs0= 2.9209965955105163166, Bs1= 7.0997408507544660697, Bs2= 9.8759410882910782160, CS= 50.643513951892811780, Di= 282.69743068750073505, Dout= 357.31723911371741250, E= 0.73377830955023956486, Hs0= 0.79338283124579522061, Hs1= 1.9919070011761904245, Hs2= 19.337733352868865074, L= 90.479660899606386377, NS= 3.1342982481411371665, O= 84.121949574154163734, RT= 9.9984392953300590265, Rs= 3.3193558864336820256, S= 1.0329953878023426758, d0= 1.1749634861220247148, lm= 4.0000543638341652587}	96.4
23	Verim=97.000000000967176561, {AG= 0.81520156186134668543, Bs0= 2.3719968025938993533, Bs1= 7.7270846648627489640, Bs2= 4.9861937350694532857, CS= 40.654023949774368946, Di= 298.06414441912359689, Dout= 379.67563575915682500, E= 0.94307785636057123211, Hs0= 1.3189539554749749890, Hs1= 2.0819708591423340336, Hs2= 22.006633881348628731, L= 79.913206060876825647, NS= 4.2960848066925576824, O= 71.407813418589470971, RT= 11.288603856609471986, Rs= 4.9985124261111818171, S= 0.97454810567959742205, d0= 0.95780711020536971661, lm= 2.5532858305350117661}	95.75

Tablo 7.1 (devam): Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları

24	Verim=97., {AG= 1., Bs0= 1.96878, Bs1= 5.00017, Bs2= 5.35636, CS= 52., Di= 280., Dout= 370., E= 0.92, Hs0= 1.56182, Hs1= 0.823515, Hs2= 12.0005, L= 85.,NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 5.}	92
25	Verim=97., {AG= 1., Bs0= 1.60961, Bs1= 6.55493, Bs2= 5.86056, CS= 52., Di= 280., Dout= 370., E= 0.92, Hs0= 1.90081, Hs1= 0.582017, Hs2= 13.3166, L= 85.,NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 5.}	91.8
26	Verim=97., {AG= 1.70865, Bs0= 1.50145, Bs1= 5.00088, Bs2= 5.09678, CS= 52., Di= 280., Dout= 370., E= 0.92, Hs0= 2.09908, Hs1= 6.00801, Hs2= 19.6858, L= 85., NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 5.}	91.3
27	Verim=97., {AG= 1.9518, Bs0= 1.98144, Bs1= 5.17371, Bs2= 5.82333, CS= 52., Di= 280., Dout= 370., E= 0.92, Hs0= 0.578105, Hs1= 0.96924, Hs2= 29.4494, L= 85., NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 5.}	90.7
28	Verim=97., {AG= 1.71415, Bs0= 1.50009, Bs1= 5.74717, Bs2= 5.85049, CS= 52., Di= 273.124, Dout= 370.104, E= 0.92, Hs0= 0.500138, Hs1= 0.614928, Hs2= 34.9998,L= 57.5586, NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 3.11373}	91.2

Tablo 7.1 (devam): Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları

29	Verim=97., {AG= 0.793992, Bs0= 1.54508, Bs1= 5.06603, Bs2= 5.69701, CS= 52., Di= 284.662, Dout= 373.52, E= 0.92, Hs0= 1.73508, Hs1= 0.701976, Hs2= 34.3667, L= 51.6509, NS= 2., O= 80., RT= 10.5, Rs= 2.5, S= 1., d0= 0.9116, lm= 3.77341}	91.1
30	Güç=4200., {AG= 1.29951, Bs0= 1.95826, Bs1= 8.99076, Bs2= 10.2839, CS= 51.9175, Di= 299.163, Dout= 374.185, E=0.588486, Hs0= 0.562065, Hs1= 2.01828, Hs2= 18.781, L= 80.3819, NS= 0.715489, O= 86.1717, RT= 16.0212, Rs= 4.39888, S= 1.18087, d0= 1.18492, lm= 7.8913}	88.8
31	Güç=4200., {AG= 1.0112, Bs0= 2.56991, Bs1= 4.62401, Bs2= 10.4999, CS= 51.6058, Di= 272.625, Dout= 339.602, E=0.850386, Hs0= 1.76288, Hs1= 1.26409, Hs2= 20.5459, L= 89.7365, NS= 4.96534, O= 78.9643, RT= 11.5621, Rs= -0.174342, S= 1.0565, d0= 0.54826, lm= 2.93598}	87.9
32	Voltaj=380., {AG= 0.870363, Bs0= 1.2555, Bs1= 6.59479, Bs2= 7.60098, CS= 45.2161, Di= 291.325, Dout= 380.413, E=0.815254, Hs0= 1.28853, Hs1= 1.06027, Hs2= 31.4202, L= 96.0203, NS= 1.48782, O= 79.5305, RT= 13.187, Rs= 1.52879, S= 0.876675, d0= 1.13839, lm= 3.87609}	93.46
33	Voltaj=380., {AG= 1.29725, Bs0= 2.85131, Bs1= 5.35194, Bs2= 9.05473, CS= 53.8028, Di= 250.469, Dout= 409.219, E=0.809851, Hs0= 0.635624, Hs1= 1.8799, Hs2= 32.5997, L= 97.2181, NS= 0.738543, O= 67.1785, RT= 15.59231, Rs= 2.55257, S= 1.05426, d0= 1.07399, lm= 8.4453}	86.4

Tablo 7.1 (devam): Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları

34	Oluk Doluluk Oranı=30., {AG= 0.989981, Bs0= 1.02227, Bs1= 10.1197, Bs2= 12.5323, CS= 44.6403, Di= 293.949, Dout= 477.316, E= 0.483941, Hs0= 1.15331, Hs1= 1.17553, Hs2= 9.77982, L= 99.0699, NS= 2.34945, O= 70.9068, RT= 11.0759, Rs= 3.04965, S= 1.07145, d0= 2.20638, lm= 5.52968}	96.77
35	Oluk Doluluk Oranı=30., {AG= 0.891298, Bs0= 2.62154, Bs1= 7.7001, Bs2= 5.43739, CS= 35.0179, Di= 321.945, Dout= 419.123, E= 0.559101, Hs0= 0.36101, Hs1= 2.38842, Hs2= 30.5782, L= 96.1256, NS= 2.54814, O= 86.7676, RT= 12.8409, Rs= 1.51912, S= 1.04303, d0= 1.9026, lm= 5}	96.5
36	Ağırlık=30., {AG= 0.743058, Bs0= 1.19535, Bs1= 8.71644, Bs2= 8.26675, CS= 62.5215, Di= 278.057, Dout= 453.365, E= 0.676672, Hs0= 0.850606, Hs1= 1.81098, Hs2= 64.91521, L= 91.9109, NS= 2.77855, O= 84.8638, RT= 8.68812, Rs= 2.91272, S= 1.13451, d0= 1.33299, lm= 4.11873}	93.84
37	Ağırlık=30., {AG= 1.01127, Bs0= 1.68527, Bs1= 7.37708, Bs2= 7.90275, CS= 38.5594, Di= 294.504, Dout= 407.1, E= 0.655076, Hs0= 0.633724, Hs1= 1.42567, Hs2= 29.3197, L= 92.2847, NS= 1.23836, O= 90.5536, RT= 8.06011, Rs= 1.60873, S= 1.21225, d0= 1.49222, lm= 6.61367}	95.6
38	Tutma Torku=-9.82742*10 ⁻¹⁰ , {AG= 0.879665, Bs0= 0.644246, Bs1= 3.864509, Bs2= 3.93714, CS= 48.296, Di= 185.73, Dout= 291.394, E= 0.34313, Hs0= 1.45946, Hs1= 2.89016, Hs2= 23.608, L= 88.6288, NS= 8.44701, O= 0.689076, RT= 16.1933, Rs= 1.69419, S= 1.60106, d0= 0.659131, lm= 14.9172}	93.17

Tablo 7.1 (devam): Problemlerden elde edilen tasarım değişkenleri ve bu değişkenlere ait Maxwell sonuçları

39	Tutma Torku= $-9.40793 \cdot 10^{-10}$, {AG= 0.91015, Bs0= 2.64716, Bs1= 8.30846, Bs2= 2.58008, CS= 35.0377, Di= 285.808, Dout= 453.03, E= 0.728156, Hs0= 1.51575, Hs1= 1.72464, Hs2= 37.3724, L= 79.7208, NS= 1.648831, O= 88.279, RT= 16.8178, Rs= 1.51601, S= 0.875185, d0= 0.934133, lm= 8.23732}	92.8
----	---	------

Tablo 7.2: Tasarım değişkenlerine ait diğer parametrelerin Mathematica ve Maxwell sonuçları

Problem No:	Sonuçlar-1 Mathematica	Sonuçlar-1 Maxwell
1	Tutma Torku=0.377, Çıkış Gücü=3876, Hat Voltajı=-69.5, Oluk Doluluk Oranı=26328, Ağırlık=-443	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=6039.63, Hat Voltajı=486.63, Oluk Doluluk Oranı=1230, Ağırlık=391.19
2	Tutma Torku=0.962, Çıkış Gücü=3576, Hat Voltajı=-1000, Oluk Doluluk Oranı= $-2.22178 \cdot 10^6$, Ağırlık=402.6	Tutma Torku=106.13, Çıkış Gücü=343.8, Hat Voltajı=122.6, Oluk Doluluk Oranı=1.77, Ağırlık=94.26
3	Tutma Torku=0.1, Çıkış Gücü=3833, Hat Voltajı=265, Oluk Doluluk Oranı= 20, Ağırlık=-206	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=1389.95, Hat Voltajı=225.9, Oluk Doluluk Oranı=57.85, Ağırlık=43.47

Tablo 7.2 (devam): Tasarım değişkenlerine ait diğer parametrelerin Mathematica ve Maxwell sonuçları

4	Tutma Torku=0.079, Çıkış Gücü=49915,Hat Voltajı=479, Oluk Doluluk Oranı= 127059, Ağırlık=1395	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=3452, Hat Voltajı=352.6, Oluk Doluluk Oranı=85.8, Ağırlık=48.6
5	Tutma Torku=-0.01, Çıkış Gücü=3719,Hat Voltajı=557.5, Oluk Doluluk Oranı= 199145, Ağırlık=134.4	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=4168.6, Hat Voltajı=388.9, Oluk Doluluk Oranı=115.4, Ağırlık=47.5
6	Tutma Torku=-0.09, Çıkış Gücü=-1783.4,Hat Voltajı=164.3, Oluk Doluluk Oranı= -15979.9, Ağırlık=-64.4	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=14.5, Hat Voltajı=31.28, Oluk Doluluk Oranı=2.83, Ağırlık=30.52
7	Tutma Torku=-0.22, Çıkış Gücü=1396.5,Hat Voltajı=90.6, Oluk Doluluk Oranı= 457635, Ağırlık=2173.02	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=5132.1, Hat Voltajı=431.9, Oluk Doluluk Oranı=46.7, Ağırlık=32
8	Tutma Torku=-0.14, Çıkış Gücü=-944.7,Hat Voltajı=65.32, Oluk Doluluk Oranı= 544800, Ağırlık=1951	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=4161.2, Hat Voltajı=388.6, Oluk Doluluk Oranı=52.7, Ağırlık=32.86
9	Tutma Torku=-0.2, Çıkış Gücü=-4593,Hat Voltajı=-571.4, Oluk Doluluk Oranı= 346333, Ağırlık=1141.32	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=1750.1, Hat Voltajı=251.9, Oluk Doluluk Oranı=125, Ağırlık=22.26
10	Tutma Torku=-0.07, Çıkış Gücü=3653,Hat Voltajı=-12977.3, Oluk Doluluk Oranı= 59.99, Ağırlık=-2112.27	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=2547.5, Hat Voltajı=304.6, Oluk Doluluk Oranı=63.22, Ağırlık=21.8

Tablo 7.2 (devam): Tasarım değişkenlerine ait diğer parametrelerin Mathematica ve Maxwell sonuçları

11	Tutma Torku=-0.05, Çıkış Gücü=3952.6,Hat Voltajı=448.9, Oluk Doluluk Oranı= 60, Ağırlık=-247	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=1466.2, Hat Voltajı=231.45, Oluk Doluluk Oranı=57, Ağırlık=21.85
12	Tutma Torku=-0.04, Çıkış Gücü=26110,Hat Voltajı=131.5, Oluk Doluluk Oranı= 250613, Ağırlık=3880.5	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=1275.4, Hat Voltajı=216.3, Oluk Doluluk Oranı=46.5, Ağırlık=21.4
13	Tutma Torku=-0.02, Çıkış Gücü=3825.8,Hat Voltajı=154.8, Oluk Doluluk Oranı= 414602, Ağırlık=4392.7	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=1372.85, Hat Voltajı=224.2, Oluk Doluluk Oranı=88, Ağırlık=25.8
14	Tutma Torku=-0.15, Çıkış Gücü=173.5,Hat Voltajı=148, Oluk Doluluk Oranı= 427195, Ağırlık=-5982	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=229, Hat Voltajı=95.9, Oluk Doluluk Oranı=55.28, Ağırlık=25.4
15	Tutma Torku=-0.24, Çıkış Gücü=356.2,Hat Voltajı=133.9, Oluk Doluluk Oranı= 229117, Ağırlık=2089.75	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=418.9, Hat Voltajı=126.9, Oluk Doluluk Oranı=42.4, Ağırlık=23.15
16	Tutma Torku=-0.07, Verim=-16,Hat Voltajı=384.75, Oluk Doluluk Oranı= -76490, Ağırlık=484	Tutma Torku=0.79, Çıkış Gücü=6733.32, Hat Voltajı=494.4, Oluk Doluluk Oranı=54.6, Ağırlık=36.3
17	Tutma Torku=0.1, Verim=122.7,Çıkış Gücü=-89979.4, Oluk Doluluk Oranı= 424440, Ağırlık=123.7	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=4104.8, Hat Voltajı=386.3, Oluk Doluluk Oranı=165.3, Ağırlık=58.5

Tablo 7.2 (devam): Tasarım değişkenlerine ait diğer parametrelerin Mathematica ve Maxwell sonuçları

18	Tutma Torku=0.07, Verim=-6.25,Çıkış Gücü=-7862.9, Hat Voltajı= 379.7, Ağırlık=306.2	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=2205.5, Hat Voltajı=284.1, Oluk Doluluk Oranı=52.7, Ağırlık=52.9
19	Tutma Torku=0.11, Verim=41.5,Çıkış Gücü=-26360.8, Hat Voltajı= -5719, Oluk Doluluk Oranı=-6388.8	Tutma Torku=0.33, Çıkış Gücü=3597, Hat Voltajı=362.1, Oluk Doluluk Oranı=62.6, Ağırlık=62.3
20	Ağırlık=38.2, Verim=41.5,Çıkış Gücü=-2741.2, Hat Voltajı= 66.7, Oluk Doluluk Oranı=89505	Tutma Torku=1.17, Çıkış Gücü=2242.8, Hat Voltajı=286.5, Oluk Doluluk Oranı=34.8, Ağırlık=40
21	Tutma Torku=-0.013, Çıkış Gücü=356.2,Hat Voltajı=557.5, Oluk Doluluk Oranı= 199145, Ağırlık=134	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=4032.8, Hat Voltajı=382.5, Oluk Doluluk Oranı=113.5, Ağırlık=47.2
22	Tutma Torku=0.11, Çıkış Gücü=4295.48,Hat Voltajı=661, Oluk Doluluk Oranı= 28852.5, Ağırlık=8.14	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=3381.4, Hat Voltajı=350.8, Oluk Doluluk Oranı=143.4, Ağırlık=42.4
23	Tutma Torku=-0.2, Çıkış Gücü=3556.7,Hat Voltajı=419.9, Oluk Doluluk Oranı= 114152, Ağırlık=-229.2	Tutma Torku=0.48, Çıkış Gücü=2857.8, Hat Voltajı=323, Oluk Doluluk Oranı=90, Ağırlık=35.2
24	Tutma Torku=-0.18, Çıkış Gücü=-4603.36,Hat Voltajı=-324.5, Oluk Doluluk Oranı= 359781, Ağırlık=1732.25	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=5639.3, Hat Voltajı=451.5, Oluk Doluluk Oranı=118.3, Ağırlık=36.3

Tablo 7.2 (devam): Tasarım değişkenlerine ait diğer parametrelerin Mathematica ve Maxwell sonuçları

25	Tutma Torku=-0.22, Çıkış Gücü=-3026.6,Hat Voltajı=-51.92, Oluk Doluluk Oranı= 450559, Ağırlık=2057.82	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=5263.7, Hat Voltajı=436.4, Oluk Doluluk Oranı=90.5, Ağırlık=35.5
26	Tutma Torku=-0.08, Çıkış Gücü=-1331.9,Hat Voltajı=-872, Oluk Doluluk Oranı= 211477, Ağırlık=-174.9	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=4084.8, Hat Voltajı=384.7, Oluk Doluluk Oranı=78.6, Ağırlık=34.3
27	Tutma Torku=-0.03, Çıkış Gücü=7874.7,Hat Voltajı=70.5, Oluk Doluluk Oranı= 337568, Ağırlık=1555	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=3995.7, Hat Voltajı=381, Oluk Doluluk Oranı=49.6, Ağırlık=32.6
28	Tutma Torku=-0.01, Çıkış Gücü=65.68.5,Hat Voltajı=130.5, Oluk Doluluk Oranı= 247178, Ağırlık=4597.77	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=1417, Hat Voltajı=227.8, Oluk Doluluk Oranı=40, Ağırlık=23.4
29	Tutma Torku=-0.21, Çıkış Gücü=18089.3,Hat Voltajı=176.5, Oluk Doluluk Oranı= 275944, Ağırlık=3728.3	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=1447.4, Hat Voltajı=230.7, Oluk Doluluk Oranı=44, Ağırlık=20.8
30	Tutma Torku=0.06, Verim=14.08,Hat Voltajı=696, Oluk Doluluk Oranı= 2.2×10^6 , Ağırlık=-341.27	Tutma Torku=0.67, Çıkış Gücü=2095.8, Hat Voltajı=277, Oluk Doluluk Oranı=33.4, Ağırlık=26
31	Tutma Torku=-0.21, Verim=46.05,Hat Voltajı=523, Oluk Doluluk Oranı= 420442, Ağırlık=-784.7	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=2837.5, Hat Voltajı=321.4, Oluk Doluluk Oranı=42, Ağırlık=24.2

Tablo 7.2 (devam): Tasarım değişkenlerine ait diğer parametrelerin Mathematica ve Maxwell sonuçları

32	Tutma Torku=-0.1, Verim=13.24,Çıkış Gücü=-53709, Oluk Doluluk Oranı= 78135.7, Ağırlık=391	Tutma Torku=0.62, Çıkış Gücü=4670.8, Hat Voltajı=412.8, Oluk Doluluk Oranı=48.15, Ağırlık=38.6
33	Tutma Torku=0.09, Verim=-27.65,Çıkış Gücü=-2992.37, Oluk Doluluk Oranı= -148515, Ağırlık=169.17	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=4152.2, Hat Voltajı=389, Oluk Doluluk Oranı=23.35, Ağırlık=57.2
34	Tutma Torku=0.09, Verim=-390.28,Çıkış Gücü=426.23, Hat Voltajı= 214.8, Ağırlık=355.17	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=1136.4, Hat Voltajı=204.3, Oluk Doluluk Oranı=295.1, Ağırlık=115.3
35	Tutma Torku=0.29, Verim=93.42,Çıkış Gücü=-2476.25, Hat Voltajı= 8.15, Ağırlık=-350.36	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=3015.4, Hat Voltajı=333, Oluk Doluluk Oranı=114.5, Ağırlık=58.2
36	Tutma Torku=0.19, Verim=-120,Çıkış Gücü=-7590, Hat Voltajı= 64.5, Oluk Doluluk Oranı=4604.4	Tutma Torku=0, Çıkış Gücü=4529.8, Hat Voltajı=407.3, Oluk Doluluk Oranı=54.8, Ağırlık=75.7
37	Tutma Torku=0.15, Verim=38.68,Çıkış Gücü=-8089.15, Hat Voltajı= -522.84, Oluk Doluluk Oranı=-354173	Tutma Torku=0.33, Çıkış Gücü=2966.5, Hat Voltajı=329.8, Oluk Doluluk Oranı=71.7, Ağırlık=48
38	Ağırlık=-344.22, Verim=72.17,Çıkış Gücü=2339.62, Hat Voltajı= 3654.64, Oluk Doluluk Oranı=59583.7	Tutma Torku=0.01, Çıkış Gücü=673.2, Hat Voltajı=158.3, Oluk Doluluk Oranı=169.4, Ağırlık=34.54
39	Ağırlık=-384.99, Verim=-131.4,Çıkış Gücü=-7986.6, Hat Voltajı= -303.4, Oluk Doluluk Oranı=-45155	Tutma Torku=1.38, Çıkış Gücü=2375.45, Hat Voltajı=296, Oluk Doluluk Oranı=27.4, Ağırlık=58.7

Sonuçlar-I tablosunda (**Tablo 7.2**) Mathematica ve Maxwell değerleri incelendiğinde dikkati çeken noktalardan birisi de bazı sonuçlarda model ve Maxwell arasında önemli farklar oluşmasıdır. Bu farkın sebebi modelin nonlineerlik seviyesinin çok yüksek olması ve tasarım değişkenlerine ait regresyon sabitlerinin değer seviyelerinin 10^{-11} ile 10^{11} arasında değişmesidir.

7.2 Sonuçların İncelenmesi ve Referans Çalışmayla Karşılaştırılması

Referans alınan doktora çalışmasında (Çetinçeviz, 2017) optimizasyonu yapılan SMSG için simülasyon, ölçüm ve analitik sonuçları **Tablo 7.3**'de gösterilmiştir. Bu çalışmada aynı SMSG için verim iyileştirmesi amaçlanmıştır. Test sonuçları, analitik ve simülasyon sonuçlarına oldukça yakın değerlerdedir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan modeller, **Tablo 6.10**'de gösterilen optimizasyon problemlerinde çözdürülmüştür.

Tablo 7.3: Referans çalışmaya ait simülasyon, ölçüm ve analitik sonuçları

Parametreler	Simülasyon	Ölçüm	Analitik
Verim (%)	93.07	93	92.9
Tutma Torku (Nm)	0	-	-
Güç (Watt)	4885.87	4740	4791
Hat Voltajı (Volt)	421	442.89	415.3
Oluk Doluluk Oranı (%)	68.46	-	-
Ağırlık (kg)	35	-	-

Sonuçların değerlendirilmesinde öncelikle Wolfram Mathematica kullanılarak elde edilen tasarım değişkeni sonuçları ANSYS Ansoft Maxwell programına girilmiş ve Sonuç I (**Tablo 7.1**) değerleri elde edilmiştir. Optimizasyon probleminde bu parametrelerden verim amaç fonksiyonudur ve maksimize edilmesi amaçlanmıştır.

Sonuç-1 değerlerinin, referans SMSG ile karşılaştırıldığında istenilen aralıkta olmaması durumunda, bazı tasarım değişkenlerinde revizeler yapılarak Sonuç II değerleri elde edilmiştir. Bu revizeler yapılırken öncelikle “Oluk Doluluk Oranı” ve “Çıkış Gücü” sonuçları dikkate alınmıştır. Oluk doluluk oranını doğrudan etkileyen değişkenler stator oluk ve sarım parametreleridir. Oluk doluluk oranının beklenenden düşük veya yüksek olması durumunda öncelikle iletken kesitinde (d_0) değişiklik yapılmıştır. Bu değişiklik yapılırken en çok dikkat edilmesi gereken parametre oluk açıklığı (Bs_0) parametresidir. Çünkü sarım rahatlığı açısından $d_0 < Bs_0$ olmalıdır. Oluk açıklığı sınırlandırmasından dolayı iletken kesitinde yapılan değişiklik yeterli değil ise oluk başına düşen iletken sayısı (CS) veya iletken katsayısı (NS)

parametrelerinde değişiklik yapılmıştır. Ayrıca ıkış gücü, tutma torku gibi sınırlarında istenilen aralıktaki olması için diğer tasarım değişkenlerinde de revizeler yapılmıştır. Fakat optimizasyon modelinden elde edilen sonuçlara bağlı kalmak için revize edilen tasarım değişkeni sayısı minimum seçilmiştir.

Tablo 7.4'de belirtilen Sonuç I değerlerinde verim yüksek olmasına rağmen gücü ve voltaj değerleri çok düşüktür. Bununla birlikte oluk doluluk oranı ve ağırlık değerleri çok yüksektir. Parametrelerin istenen aralıklara gelebilmesi için d_0 , RT, NS ve l_m değişkenlerinde revizyonlar yapılmıştır. Yapılan bu revizeden sonra verim değeri biraz düşme göstermiştir.

Tablo 7.4:Problem 1 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	98.69	94.01
Tutma Torku (Nm)	0	0
Gücü (Watt)	6039.63	4477.9
Hat Voltajı (Volt)	468.96	403.7
Oluk Doluluk Oranı (%)	1230	67.11
Ağırlık (kg)	391.19	56.22
Değişim	$d_0=2.81, RT=10.2, NS=9, l_m=9.8$	$d_0=1.31, RT=12, NS=2, l_m=5$

Tablo 7.5'de belirtilen Sonuç I değerlerinde verim çok düşüktür. Bunun sebebi oluk doluluk oranının çok düşük olmasıdır. Bununla birlikte gücü, voltaj ve oluk doluluk oranı değerleri de aralığın altındadır. Sadece tutma torku olması gerekenden çok yüksektir. Oluk doluluk oranının 55-70 aralığında olması gerekmektedir. Parametrelerin istenilen aralıklara çekilebilmesi için d_0 , S, H_{s2} ve E değişkenlerinde revizyonlar yapılmıştır. Bu revizyondan sonra verim değerinde artış izlenmiştir. Fakat ağırlık değeri istenilen değerin biraz üstündedir.

Tablo 7.5: Problem 2 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	27.76	94.51
Tutma Torku (Nm)	106.13	0
Güç (Watt)	343.8	4185.6
Hat Voltajı (Volt)	122.6	393.5
Oluk Doluluk Oranı (%)	1.77	66.29
Ağırlık (kg)	94.25	103.6
Değişim	d0=0.13,S=0.08,Hs2=16.4,E=0.28	d0=1.02,S=1,Hs2=26,E=0.4

Tablo 7.6'da Sonuç I'de verimin düşük olmasının yanında güç ve hat voltajı değerleri de istenen düzeyde değildir. Verimin düşük olması yine oluk doluluk oranının küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle kablo çapında 0.1 mm'lik bir artış yapılmış ve oluk doluluk oranı %67.8'e çıkartılmıştır. Fakat yapılan revizyon işlemine rağmen güç ve hat voltajı değerleri istenilen seviyede değildir.

Tablo 7.6: Problem 3 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	91.82	92.74
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	1389.95	1416.5
Hat Voltajı (Volt)	225.9	228
Oluk Doluluk Oranı (%)	57.85	67.8
Ağırlık (kg)	43.47	46.2
Değişim	d0=1.2	d0=1.3

Tablo 7.7'de gösterilen problemde oluk doluluk oranını düşürmek için kablo çapında 0.2 mm'lik azaltma yapılmıştır. Yapılan revizyondan sonra verim değeri biraz düşmüş ve ağırlık da azalmıştır.

Tablo 7.7: Problem 4 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	95.8	94.9
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	3452	3346
Hat Voltajı (Volt)	352.6	349.3
Oluk Doluluk Oranı (%)	85.8	64.18
Ağırlık	48.6	44.62
Değişim	d0=1.48	d0=1.28

Tablo 7.8'de ilk çalışmada oluk doluluk oranı istenen aralığın oldukça üzerindedir. Bu nedenle iletken kesiti azaltılmış ve yararlı oluk yüksekliği artırılmıştır. Böylece oluk doluluk oranı %65.4 olmuştur ve verim değeri biraz düşmüştür.

Tablo 7.8: Problem 5 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	95.5	94.14
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	4168.6	4096.63
Hat Voltajı (Volt)	388.9	386
Oluk Doluluk Oranı (%)	115.4	65.4
Ağırlık (kg)	47.5	42.6
Değişim	d0=1.33,Hs2=20.07	d0=1.2,Hs2=30

Tablo 7.9'de Sonuç I değerlerinde verimin çok düşük olduğu görülmektedir. Bunun temel sebebi oluk doluluk oranının çok düşük olmasıdır. Değerlerin istenen aralıklara gelmesi için iletken kesiti, stator iç çapı, uzunluk ve mıknatıs açıklığı değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. Böylece hem parametreler istenen aralığa gelmiş hem de verim değeri artmıştır.

Tablo 7.9: Problem 6 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	36.37	95.68
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	14.5	4157.13
Hat Voltajı (Volt)	31.28	390.6
Oluk Doluluk Oranı (%)	2.83	67.3
Ağırlık (kg)	30.52	41.6
Değişim	d0=0.32,Di=196,L=59,E=0.4	d0=1.56,Di=300,L=100,E=0.85

Tablo 7.10'de ilk sonuçlarda oluk doluluk oranı biraz düşüktür ve çıkış gücü yüksektir. Parametrelerin istenen seviyeye gelmesi için iletken kesitinde ve mıknatıs açıklığında değişiklik yapılmıştır. Verim değerinin arttığı izlenmiştir.

Tablo 7.10: Problem 7 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	90.68	93.09
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	5132.1	4191.8
Hat Voltajı (Volt)	431.9	390.5
Oluk Doluluk Oranı (%)	46.7	68.2
Ağırlık (kg)	32	34.66
Değişim	d0=0.91,E=0.92	d0=1.1, E=0.65

Tablo 7.11'da, ilk sonuçlarda parametre aralıkları istenen değerlere yakın çıkmıştır. Sadece oluk doluluk oranını biraz arttırmak için iletken kesitinde revize yapılmıştır. Bu revizeden sonra verimin de arttığı görülmüştür.

Tablo 7.11: Problem 8 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	91.12	92.8
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	4161.2	4303.9
Hat Voltajı (Volt)	388.6	395.2
Oluk Doluluk Oranı (%)	52.7	67.6
Ağırlık (kg)	32.86	34.7
Değişim	d0=0.91	d0=1.03

Tablo 7.12'da, Sonuç I değerlerinde oluk doluluk oranı, aralığın oldukça üstündedir ve çıkış gücü düşüktür. Bu nedenle yararlı oluk yüksekliği, iletken kesiti ve uzunluk değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. Yapılan değişikliklerden sonra verim değeri biraz düşmüştür.

Tablo 7.12: Problem 9 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	93.62	92.5
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	1750.1	4115.5
Hat Voltajı (Volt)	251.9	386.7
Oluk Doluluk Oranı (%)	125	68
Ağırlık (kg)	22.26	33
Değişim	Hs2=12, d0=0.91,L=49.65	Hs2=30, d0=1.02,L=80

Tablo 7.13'de ilk sonuçlar istenen aralıklara yakındır. Sadece iletken kesiti ve uzunluk değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. Yapılan değişikliklerden sonra sonra verim değerinde çok az bir değişiklik olduğu görülmüştür.

Tablo 7.13: Problem 10 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	92.69	92.6
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	2547.5	4027.4
Hat Voltajı (Volt)	304.6	382.5
Oluk Doluluk Oranı (%)	63.22	67.4
Ağırlık (kg)	21.8	27.3
Değişim	d0=0.91, L=51.08	d0=0.94, L=65

Tablo 7.14'de ilk sonuçlar istenen aralıkların biraz altındadır. Bu nedenle iletken kesiti ve uzunluk değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. Yapılan bu değişikliklerden sonra verim değerinde çok az bir düşme izlenmiştir.

Tablo 7.14: Problem 11 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	92.66	92.5
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	1466.2	4445.8
Hat Voltajı (Volt)	231.45	401.8
Oluk Doluluk Oranı (%)	57	68.8
Ağırlık (kg)	21.85	38.17
Değişim	d0=0.91, L=50.53	d0=1, L=90

Tablo 7.15'de oluk doluluk oranını arttırmak için iletken kesitinde revize yapılmıştır. Çıkış gücünü arttırmak için de uzunluk arttırılmıştır. Yapılan değişikliklerden sonra verimde artış görülmüştür.

Tablo 7.15: Problem 12 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	91.29	92.58
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	1275.4	3868.9
Hat Voltajı (Volt)	216.3	375.1
Oluk Doluluk Oranı (%)	46.5	68
Ağırlık (kg)	21.4	39.88
Değişim	d0=0.91, L=50.53	d0=1.1, L=95

Tablo 7.16'de oluk doluluk oranı istenen aralığın üstündedir ve çıkış gücü düşüktür. Değerlerin istenen aralığa gelmesi için iletken kesiti ve uzunluk değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. Yapılan değişikliklerden sonra verim değerinde biraz düşme izlenmiştir.

Tablo 7.16: Problem 13 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	95.03	93.32
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	1372.85	4060
Hat Voltajı (Volt)	224.2	384.1
Oluk Doluluk Oranı (%)	88	68
Ağırlık (kg)	25.8	38.36
Değişim	d0=1.32, L=51.34	d0=1.16, L=95

Tablo 7.17'de ilk sonuçların istenen aralıklara gelmesi için d0, CS, L veAG değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. Yapılan değişikliklerden sonra verim değerinde artış görülmüştür.

Tablo 7.17: Problem 14 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	89.25	94.5
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	229	4049.26
Hat Voltajı (Volt)	95.9	384
Oluk Doluluk Oranı (%)	55.28	67.5
Ağırlık (kg)	25.4	36.16
Değişim	d0=1.77, CS=16,L=62.4,AG=1.74	d0=1.18, CS=44,L=88,AG=1

Tablo 7.18'de oluk doluluk oranını arttırmak için, oluk başına iletken sayısı artırılmıştır. Ayrıca çıkış gücü ve hat voltajının artması için uzunluk artırılmıştır. Bu revizelerden sonra verimde de artış görülmüştür.

Tablo 7.18: Problem 15 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	92.54	95.7
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	418.9	4198.2
Hat Voltajı (Volt)	126.9	391.5
Oluk Doluluk Oranı (%)	42.4	67.9
Ağırlık (kg)	23.15	48.2
Değişim	CS=20,L=62.22	CS=32,L=125

Tablo 7.19'da oluk doluluk oranını arttırmak için iletken kesiti arttırılmış, çıkış gücü ve hat voltajını düşürmek için uzunluk azaltılmıştır. Ayrıca tutma torkunu sıfırlamak için kayık arttırılmıştır. Sonuç olarak verim değerinin de arttığı görülmüştür.

Tablo 7.19: Problem 16 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	92	93.9
Tutma Torku (Nm)	0.79	0
Güç (Watt)	6733.32	3957.8
Hat Voltajı (Volt)	494.4	379.5
Oluk Doluluk Oranı (%)	54.6	68.5
Ağırlık (kg)	36.3	29.7
Değişim	d0=1.01,L=100.71,S=0.94	d0=1.12,L=75,S=1

Tablo 7.20'da ilk sonuçlarda oluk doluluk oranı çok yüksektir. Bu nedenle iletken kesiti azaltılmıştır. Güç ve hat voltajını dengelemek için uzunluk biraz arttırılmıştır. Yapılan revizelerden sonra verimde düşme izlenmiştir.

Tablo 7.20: Problem 17 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	96.9	93.85
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	4104.8	4127.44
Hat Voltajı (Volt)	386.3	387.4
Oluk Doluluk Oranı (%)	165.3	68.7
Ağırlık (kg)	58.5	43.45
Değişim	d0=1.83,L=85	d0=1.18,L=88

Tablo 7.21'de oluk doluluk oranının artırılması için iletken kesiti artırılmıştır. Fakat oluk açıklığı değerinin iletken kesitinden büyük olması gerekmektedir. Bu nedenle Bs0 değeri de artırılmıştır. Çıkış gücü ve hat voltajını dengelemek için stator iç çapı da artırılmıştır. Tasarım değişkenlerinde yapılan bu revizyonlardan sonra verim değerinde artış görülmüştür.

Tablo 7.21: Problem 18 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	94	95.04
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	2205.5	4157.5
Hat Voltajı (Volt)	284.1	389.7
Oluk Doluluk Oranı (%)	52.7	68.8
Ağırlık (kg)	52.9	39.6
Değişim	d0=1.2,Bs0=0.9,Di=283.6	d0=1.37,Bs0=1.5,Di=340

Tablo 7.22'de oluk doluluk oranını arttırmak için iletken kesiti revize edilmiştir. Çıkış gücü ve hat voltajını dengelemek için stator iç ve dış çaplarında değişiklikler yapılmıştır. Ayrıca tutma torkunun azaltılması için kaykık miktarı artırılmıştır. Tasarım değişkenlerinde yapılan bu revizyonlardan sonra verim değeri biraz artış görülmüştür.

Tablo 7.22: Problem 19 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	93.61	94
Tutma Torku (Nm)	0.33	0
Güç (Watt)	3597	4021
Hat Voltajı (Volt)	362.1	382.8
Oluk Doluluk Oranı (%)	62.6	67.5
Ağırlık (kg)	62.3	49
Değişim	d0=1.2,Di=280,Do=426.5,S=0.92	d0=1.33,Di=288,Do=400,S=1

Problem 20 sonuçlarında değerlerin istenen aralıklara gelebilmesi için iletken kesiti, kaykırı ve mıknatıs kalınlığı değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. **Tablo 7.23**'de belirtilen değişikliklerden sonra verim değerinde artış görülmüştür.

Tablo 7.23: Problem 20 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	90.86	94.8
Tutma Torku (Nm)	1.17	0
Güç (Watt)	2242.8	4000
Hat Voltajı (Volt)	286.5	382
Oluk Doluluk Oranı (%)	34.8	68.1
Ağırlık (kg)	40	49.45
Değişim	d0=1.03,S=1.27,lm=2.2	d0=1.44,S=1,lm=5.5

Oluk doluluk oranının düşmesi için iletken kesiti azaltılmıştır. Çıkış gücü ve hat voltajını dengelemek için stator iç çapında revize yapılmıştır. **Tablo 7.24**'de belirtilen değişikliklerden sonra verimde biraz düşme izlenmiştir.

Tablo 7.24: Problem 21 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	95.55	93.19
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	4032.8	4162.9
Hat Voltajı (Volt)	382.5	388.7
Oluk Doluluk Oranı (%)	113.5	68.1
Ağırlık (kg)	47.2	40.17
Değişim	d0=1.33,Di=267.8	d0=1.03,Di=275

Oluk doluluk oranı çok yüksektir bu nedenle iletken kesiti düşürülmüştür. Diğer parameterlerin dengelenmesi için stator iç çapı ve mıknatıs kalınlığı da revize edilmiştir. **Tablo 7.25**'de belirtilen değişikliklerden sonra verimde düşme görülmüştür.

Tablo 7.25: Problem 22 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	96.4	93.39
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	3381.4	4102.7
Hat Voltajı (Volt)	350.8	386.7
Oluk Doluluk Oranı (%)	143.4	67
Ağırlık (kg)	42.4	27
Değişim	$d_0=1.17, D_i=282.7, l_m=4$	$d_0=0.8, D_i=295, l_m=5$

Bu çalışmada oluk doluluk oranını düşürmek ve diğer parameterleri dengelemek için iletken kesiti, stator iç-dış çapları ve mıknatıs kalınlığı değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. **Tablo 7.26**'de gösterilen değişikliklerden sonra verimde çok az düşme izlenmiştir.

Tablo 7.26: Problem 23 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	95.75	95.15
Tutma Torku (Nm)	0.48	0
Güç (Watt)	2857.8	4138.5
Hat Voltajı (Volt)	323	388.2
Oluk Doluluk Oranı (%)	90	68.7
Ağırlık (kg)	35.2	41.5
Değişim	$d_0=0.95, D_i=298, l_m=2.55, D_o=380$	$d_0=0.83, D_i=305, l_m=5, D_o=410$

Oluk doluluk oranı çok yüksektir. Bunun nedeni yararlı oluk yüksekliğinin çok düşük olmasıdır. Yararlı oluk yüksekliği ve uzunluk değişkenlerinde yapılan revizelerden sonra parametreler istenen aralıklara gelmiştir. **Tablo 7.27**'de gösterilen değişikliklerden sonra verim biraz düşmüştür.

Tablo 7.27: Problem 24 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	92	91.8
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	5639.3	4040.2
Hat Voltajı (Volt)	451.5	382.9
Oluk Doluluk Oranı (%)	118.3	66.4
Ağırlık (kg)	36.3	29.45
Değişim	Hs2=12,L=85	Hs2=23,L=72

Tablo 7.28'de belirtilen çalışmada da problem-24 ile aynı sorunlar dikkat çekmektedir. Yararlı oluk yüksekliği ve uzunluk değişkenleri revize edilmiştir. Bu revizyondan sonra verim çok az da olsa artmıştır.

Tablo 7.28: Problem 25 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	91.8	91.87
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	5263.7	4133.3
Hat Voltajı (Volt)	436.4	387.2
Oluk Doluluk Oranı (%)	90.5	66
Ağırlık (kg)	35.5	30.47
Değişim	Hs2=13.3,L=85	Hs2=19,L=75

Tablo 7.29'de ilk sonuçlar, istenen aralıklara oldukça yakındır. Sadece oluk doluluk oranını biraz yüksektir ve azaltılması için iletken kesitinde revize yapılmıştır. Yapılan bu değişiklikten sonra verimde düşme görülmüştür.

Tablo 7.29: Problem 26 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	91.3	90.24
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	4084.8	4004.6
Hat Voltajı (Volt)	384.7	381
Oluk Doluluk Oranı (%)	78.6	68.6
Ağırlık (kg)	34.3	33.45
Değişim	d0=0.91	d0=0.85

Tablo 7.30'da belirtilen çalışmada da problem-26'daki durumun tam tersi vardır. Oluk doluluk oranı biraz düşüktür ve arttırmak için iletken kesiti revize edilmiştir. Yapılan bu değişiklikten sonra verim biraz artmıştır.

Tablo 7.30: Problem 27 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	90.7	92.95
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	3995.7	4173.35
Hat Voltajı (Volt)	381	389.4
Oluk Doluluk Oranı (%)	49.6	68.5
Ağırlık (kg)	32.6	35.2
Değişim	d0=0.91	d0=1.07

Tablo 7.31'da, oluk doluluk oranı ve diğer parametrelerin istenen aralıklara gelebilmesi için iletken kesiti, mıknatıs kalınlığı ve uzunluk değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. İkinci sonuçlar istenen aralıktadır ve verim artmıştır.

Tablo 7.31: Problem 28 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	91.2	93.94
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	1417	4044.9
Hat Voltajı (Volt)	227.8	383.8
Oluk Doluluk Oranı (%)	40	69.75
Ağırlık (kg)	23.4	36
Değişim	d0=0.91, lm=3.11,L=57.55	d0=1.2, lm=5.5,L=80

Oluk doluluk oranının artması için iletken kesiti, diğer parametrelerin dengelenmesi için uzunluk arttırılmıştır. **Tablo 7.32**'da belirtilen değişikliklerden sonra verim de artmıştır.

Tablo 7.32: Problem 29 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	91.1	92.87
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	1447.4	4069.6
Hat Voltajı (Volt)	230.7	385.15
Oluk Doluluk Oranı (%)	44	68
Ağırlık (kg)	20.8	37.7
Değişim	d0=0.91,L=51.65	d0=1.13, L=90

İlk sonuçlarda oluk doluluk oranı düşüktür. Bu nedenle iletken katsayısı arttırılmıştır. Diğer değerlerin dengelenmesi için mıknatis açıklığı ve stator iç-dış çapları revize edilmiştir. **Tablo 7.33**'de gösterilen değişikliklerden sonra verim ve ağırlık değerlerinde artış görülmüştür.

Tablo 7.33: Problem 30 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	88.8	94.07
Tutma Torku (Nm)	0.67	0.75
Güç (Watt)	2095.8	4043.12
Hat Voltajı (Volt)	277	383.5
Oluk Doluluk Oranı (%)	33.4	69
Ağırlık (kg)	26	38.3
Değişim	NS=1,E=0.58,Di=299,Do=374	NS=2,E=0.8,Di=315,Do=400

Tablo 7.34'te ilk sonuçlarda parametreler istenen aralıklardan düşüktür. Bu nedenle iletken kesiti ve mıknatis kalınlığı arttırılmıştır. Tasarım değişkenlerinde yapılan bu işlemde sonra verimde de artış izlenmiştir.

Tablo 7.34: Problem 31 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	87.9	92
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	2837.5	4024
Hat Voltajı (Volt)	321.4	382.5
Oluk Doluluk Oranı (%)	42	68.5
Ağırlık (kg)	24.2	26.8
Değişim	d0=0.54,lm=2.93	d0=0.69,lm=5

Tablo 7.35'de gösterilen **Problem 32**'ye ait ilk sonuçlarda, diğer problemlere kıyasla oluk doluluk oranının düşük olmasına rağmen verimin yüksek olması dikkat çekmektedir. Bu nedenle öncelikle oluk doluluk oranını arttırmak için oluk başına iletken sayısı değişkeni artırılmıştır. Tutma torkunu azaltmak için kaykırı miktarı artırılmıştır. Diğer parametreleri dengelemek için de stator iç-dış çapları, mıknatıs kalınlığı ve oluk açıklığı değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. Bu revizelerden sonra verim artış göstermiş ve %96.25'e ulaşmıştır. Literatür araştırması göz önünde bulundurulduğunda bu değer 4 kw'lık bir SMSG için oldukça yüksektir. Verimle birlikte ağırlık da artış göstermiştir fakat sınır değer olan 55 kg'dan düşük olması nedeniyle kabul edilebilir aralıkta kalmıştır.

Tablo 7.35: Problem 32 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	93.46	96.25
Tutma Torku (Nm)	0.62	0
Güç (Watt)	4670.8	3978.69
Hat Voltajı (Volt)	412.8	382
Oluk Doluluk Oranı (%)	48.15	68.19
Ağırlık (kg)	38.6	52.7
Değişim	CS=44,NS=2,Di=291.3,Do=380.5,lm=3.87,Bs0=1.25,S=0.87	CS=32,NS=4,Di=315,Do=420,lm=6,Bs0=2.5,S=1

Tablo 7.36'daki çalışmada da oluk doluluk oranı düşüktür. Bu değeri arttırmak için iletken katsayısı ve kesiti revize edilmiştir. Diğer parametrelerin dengelenebilmesi için de stator dış çapı ve mıknatıs kalınlığı değiştirilmiştir. Yapılan değişikliklerden sonra ağırlık düşmüş ve verim artmıştır. Ağırlık ve çıkış gücü dikkate alındığında böyle bir SMSG için %94.2'de yüksek bir verim değeridir.

Tablo 7.36: Problem 33 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	86.4	94.2
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	4152.2	4177.1
Hat Voltajı (Volt)	389	387.1
Oluk Doluluk Oranı (%)	23.35	67.46

Tablo 7.36 (devam): Problem 33 sonuçlarının revizyonu

Ağırlık (kg)	57.2	46.39
Değişim	NS=1,d0=1.07,Do=409.2,lm=8.44	NS=3,d0=1.05,Do=360,lm=5

Tablo 7.37'deki çalışmada da oluk doluluk oranı çok yüksektir. Bu nedenle yararlı oluk yüksekliği artırılmış ve iletken kesiti azaltılmıştır. Ayrıca iletken katsayısı da biraz artırılmıştır. Diğer parametrelerin dengelenmesi ve sarımın rahat yapılabilmesi için stator iç çapı ve oluk açıklığı değişkenleri de revize edilmiştir. Yapılan değişikliklerden sonra verim değerinde çok az düşme görülmüştür.

Tablo 7.37: Problem 34 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	96.77	95.1
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	1136.4	4053.2
Hat Voltajı (Volt)	204.3	384.5
Oluk Doluluk Oranı (%)	295.1	67.65
Ağırlık (kg)	115.3	53
Değişim	Hs2=9.77,d0=2.2,NS=2,Di=293.94, Bs0=1.02	Hs2=20,d0=1,NS=4,Di=390, Bs0=2

Tablo 7.38'de oluk açıklığı dikkate alınarak iletken kesiti azaltılmıştır. Çıkış gücü ve hat voltajı parametrelerini arttırmak için mıknatıs açıklığı değeri artırılmıştır. Bu değişikliklerden sonra verimde az da olsa düşme gerçekleşmiştir. Fakat buna rağmen ağırlık ve çıkış gücü dikkate alındığında yüksek verimli bir model ortaya çıkarılmıştır.

Tablo 7.38: Problem 35 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	96.5	95.93
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	3015.4	4188.7
Hat Voltajı (Volt)	333	391.8
Oluk Doluluk Oranı (%)	114.5	68.5
Ağırlık (kg)	57.6	49.5
Değişim	d0=1.9,E=0.55	d0=1.47,E=0.75

Tablo 7.39' da oluk doluluk oranı ve diğer parametreleri dengelemek için iletken katsayısı, iletken kesiti ve uzunluk değişkenlerinde revizeler yapılmıştır. Bu revizelerden sonra verim değeri artmıştır fakat ağırlık değeri çok yüksektir.

Tablo 7.39: Problem 36 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	93.84	94.74
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	4529.8	4067.6
Hat Voltajı (Volt)	407.3	386
Oluk Doluluk Oranı (%)	54.8	68.7
Ağırlık (kg)	75.7	79.3
Değişim	NS=3,d0=1.3,L=91.9	NS=4,d0=1.26,L=85

Tablo 7.40' da ilk sonuçlarda oluk doluluk oranı istenen değerin çok az üstündedir bu nedenle iletken kesiti biraz azaltılmıştır. Ayrıca tutma torkunu minimize etmek için kaykı değeri 1 olarak alınmıştır. Çıkış gücü ve hat voltajı gibi diğer parametrelerin istenen aralıkta olması için stator iç çapı ve rotor kalınlığı değerleri revize edilmiştir. Bu değişikliklerden sonra verimde çok az düşme görülmüştür.

Tablo 7.40: Problem 37 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	95.6	95.56
Tutma Torku (Nm)	0.33	0
Güç (Watt)	2966.5	4007.09
Hat Voltajı (Volt)	329.8	383.24
Oluk Doluluk Oranı (%)	71.7	67.9
Ağırlık (kg)	48	42.2
Değişim	$d_0=1.49, S=1.21, D_i=294.5, RT=8$	$d_0=1.45, S=1, D_i=320, RT=12$

38 ve 39 numaralı problemlere ait yapılan değişiklikler **Tablo 7.41** ve **Tablo 7.42**'de gösterilmektedir.

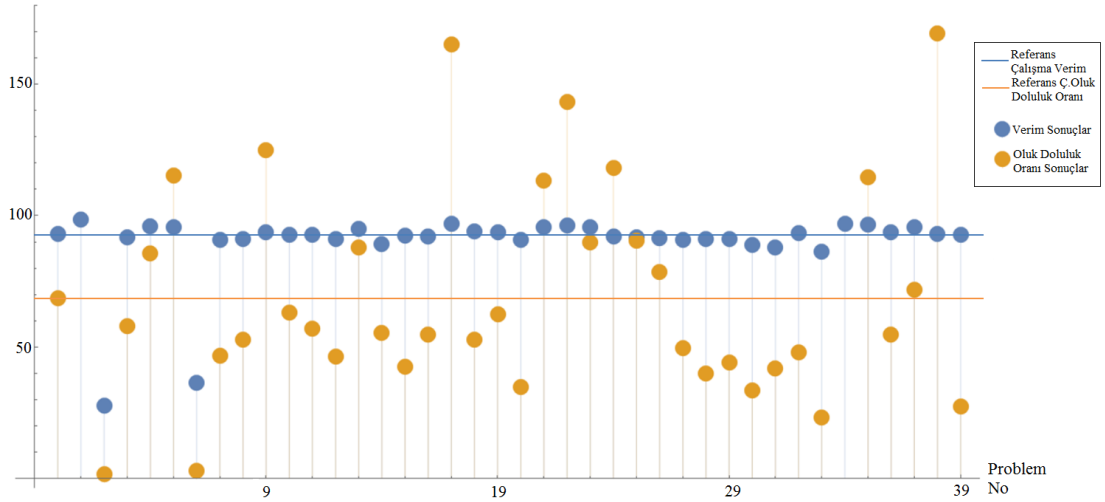
Tablo 7.41: Problem 38 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	93.17	90.3
Tutma Torku (Nm)	0.01	0
Güç (Watt)	673.2	3937.3
Hat Voltajı (Volt)	158.3	378.4
Oluk Doluluk Oranı (%)	169.4	67.5
Ağırlık (kg)	34.54	25.8
Değişim	$NS=8, d_0=0.65, S=1.6, E_m=0.34, D_i=185.73$	$NS=3, d_0=0.67, S=1, E_m=0.95, D_i=215$

Tablo 7.42: Problem 39 sonuçlarının revizyonu

Parametreler	Sonuç I	Sonuç II
Verim (%)	92.8	96.12
Tutma Torku (Nm)	1.38	0
Güç (Watt)	2375.45	4034.2
Hat Voltajı (Volt)	296	384.7
Oluk Doluluk Oranı (%)	27.4	68.7
Ağırlık (kg)	58.7	55.9
Değişim	NS=2,Di=285.8,S=0.87,Em=0.72	NS=5,Di=328,S=1,Em=0.88

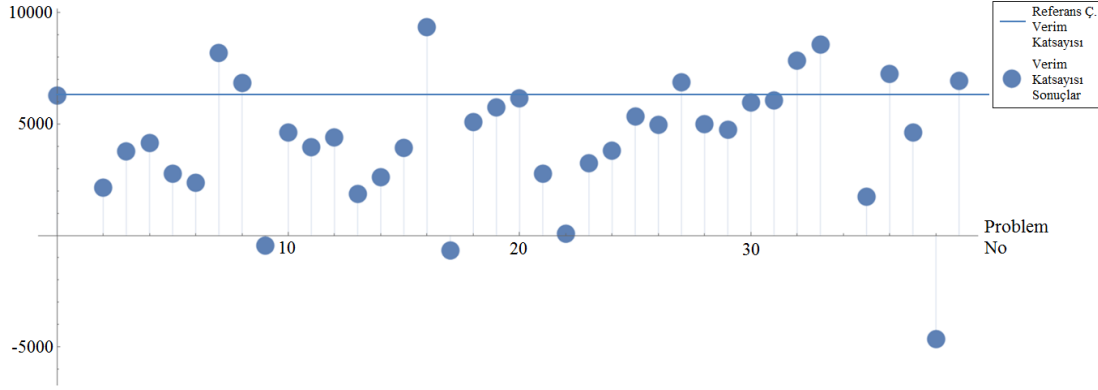
Sonuç I de elde edilen verim ve oluk doluluk oranı sonuçları **Şekil 7.1**'de gösterilmiştir. ;



Şekil 7.1: Problemlere ait verim ve oluk doluluk oranı sonuçları

Şekilde mavi çizgi referans çalışmanın verim değerini, turuncu çizgi ise oluk doluluk oranı değerini göstermektedir. Problemlerde oluk doluluk oranının artmasıyla verimde de artış görülmüştür. Bu sebeple öncelikle Oluk Doluluk Oranı değeri referans çalışmaya yaklaştırılmış ve verim sonuçları tekrar incelenmiştir. Oluk Doluluk Oranı değerini değiştirirken, güç ve ağırlık değerlerinin de belirlenen sınırlar içerisinde kalmasına dikkat edilmiştir. Sonuç I'den elde edilen sonuçlarda hangi problemlerin daha iyi sonuç verebileceğini tahmin etmek amacıyla Verim, Çıkış Gücü ve Oluk Doluluk Oranı değerleri incelenmiştir. Oluk doluluk oranının artmasıyla verimin de arttığı görülmüş, böylece düşük oluk doluluk oranlarında da yüksek verim veren modeller belirlenmeye çalışılmıştır. Verim ve oluk doluluk oranı ile birlikte çıkış gücünün de etkisi incelenmiş ve modellerin kendi

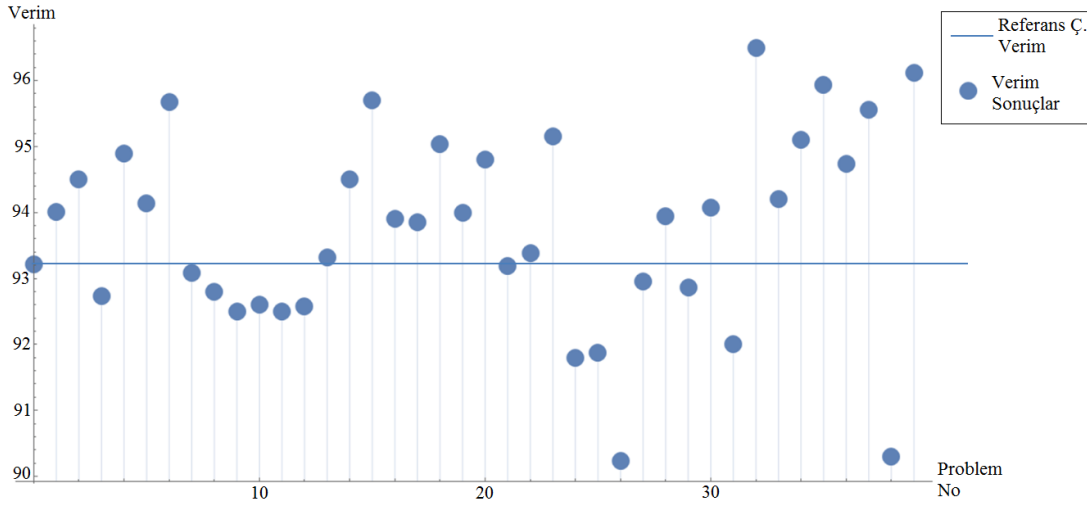
aralarında karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma değerlerine verim katsayısı adı verilmiştir ve **Şekil 7.2**'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2: Problemlere ait verim katsayıları

Şekildeki mavi çizgi referans çalışmanın verim katsayısını göstermektedir. 7,8,16,27,32,33 ve 39 numaralı problemlerin katsayılarının referans çalışmanın üzerinde oldukları görülmektedir.

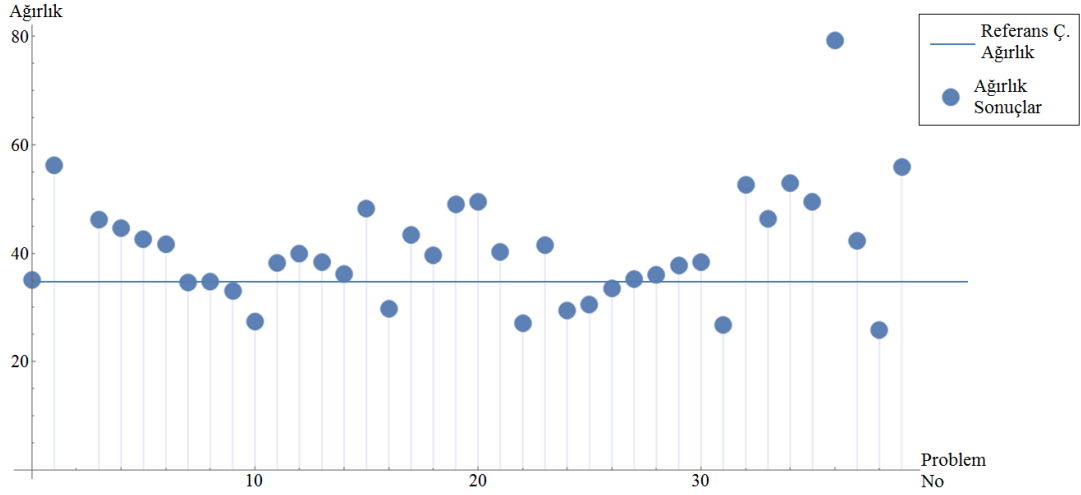
Problem sonuçlarının istenen aralıklara gelebilmesi için tasarım değişkenlerinde bazı revizeler yapılmıştır. Bu revizelerden sonra problemler için **Sonuç-II** değerleri elde edilmiştir. **Sonuç-II** değerlerinin problem sırasına göre verim sonuçları **Şekil 7.3**'te gösterilmiştir.



Şekil 7.3: Problemlerin revizyon sonrası verim sonuçları

Bu grafikte mavi çizgi referans çalışmanın verim sonucunu göstermektedir. **Sonuç-II** de elde edilen verim sonuçlarının 24 tanesinin referans çalışmanın üzerinde olduğu **Şekil**'de görülmektedir. En yüksek verim değeri ise %96.25'dir ve 32 numaralı optimizasyon probleminde elde edilmiştir. Bu problemde ağırlık sonucu 52.7 kg çıkmıştır ve belirlenen sınırlar içerisindedir.

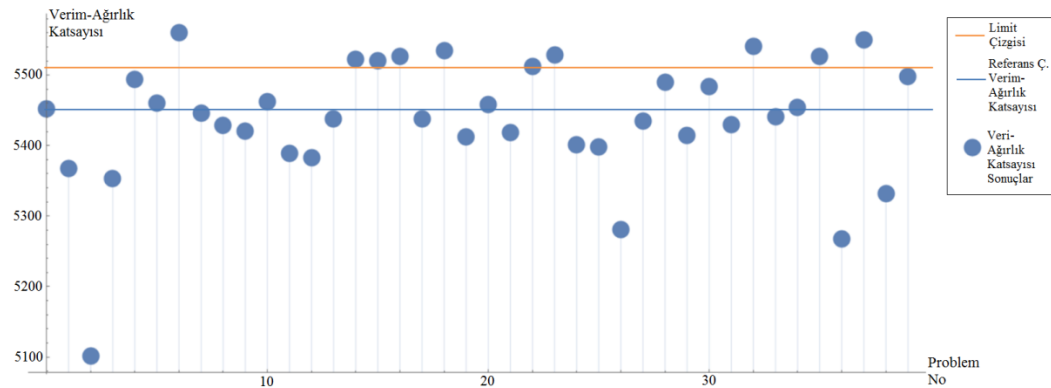
Sonuç-II de elde edilen ağırlık sonuçları **Şekil 7.4**'te gösterilmiştir.



Şekil 7.4: Problemlerin revizyon sonrası ağırlık sonuçları

Bu grafikte mavi çizgi referans çalışmanın ağırlık değerini göstermektedir. Sonuç-II'de elde edilen ağırlık sonuçlarının 9 tanesinin referans çalışmanın altında olduğu Şekil 'de görülmektedir. Bu tez çalışmasında verim artırılırken ağırlığın da azaltılması amaçlanmıştır. Referans çalışmadan verimin daha yüksek, ağırlığın da daha az olduğu sonuçlara ulaşılmıştır. 16 ve 22 numaralı problemler buna örnek gösterilebilir.

Yapılan tez çalışmasında öncelikli olarak verim maksimizasyonu amaçlandığından ağırlığın etkisi biraz azaltılabilir. Sonuç olarak ağırlık değerleri belirlenen sınırlar içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle verimi yüksek, aynı zamanda hafif olan generatör sonuçlarının sıralanabilmesi için modellerin verim ve ağırlık değerleri incelenmiştir. Yapılan bu inceleme sonrasında verimi yüksek ve hafif generatör modellerini saptayabilmek için karşılaştırmalar yapılmıştır ve karşılaştırma değerlerine verim-ağırlık katsayısı adı verilmiştir. Yapılan bu karşılaştırmadan sonra modellerin verim ve ağırlık açısından değerlendirilmesi Şekil 7.5'de gösterilmiştir.



Şekil 7.5: Problemlerin verim-ağırlık katsayıları

Gösterilen şekilde mavi çizgi referans çalışmanın verim-ağırlık katsayısını göstermektedir. **Sonuç-II** verilene göre 18 adet optimizasyon sonucunun verim-ağırlık katsayısı referans çalışmanın üzerindedir. Turuncu çizginin üzerinde kalan optimizasyon problemleri (6,14,15,16,18,22,23,32,35,37) verim ve ağırlık birlikte dikkate alındığında bu tez çalışmasının en iyi sonuçları olarak kabul edilmiştir. Kullanım alanına göre verim ve ağırlık arasında seçim yapılmalıdır.

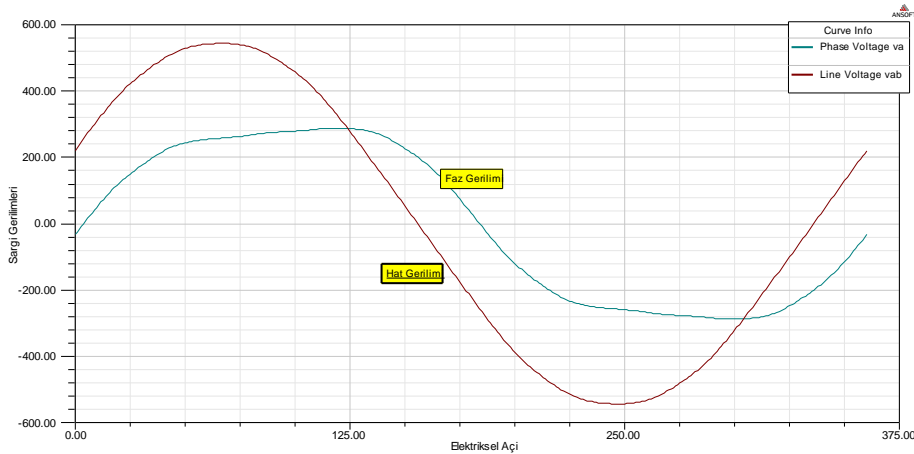
7.3 Nihai Sonucun Belirlenmesi ve Elektriksel Parametreler Açından Karşılaştırılması

Belirlenen sınırlar dikkate alındığında 32 numaralı optimizasyon problemi en verimli sonucu vermiştir. Bu nedenle bu probleme ait tasarım değişkenleri üzerinde de bazı değişiklikler uygulanıp verim artırılmaya, ağırlık azaltılmaya çalışılmıştır. Yapılan değişiklikler **Tablo 7.43**'de gösterilmektedir. Değişiklerden sonra verim çok az artmış ve ağırlık 3.4 kg azaltılmıştır. Ayrıca çıkış gücü ve hat voltajı değerleri daha iyi sonuçlar vermiştir. Çalışmanın sonucunda, Problem 32'ye ait, Sonuç-III değerleri nihai sonuç olarak kabul edilmiştir.

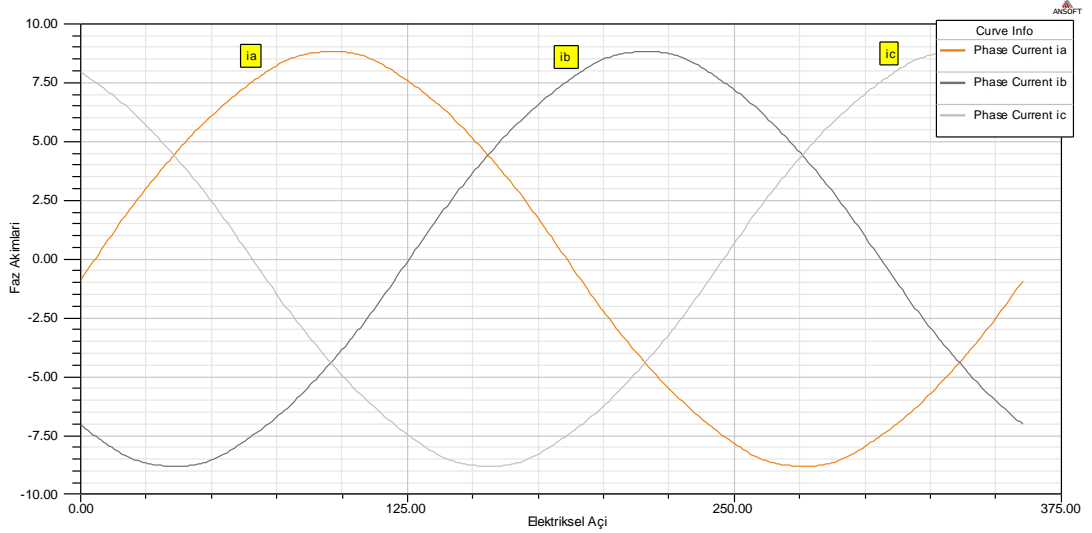
Tablo 7.43: Problem 32 sonuçlarının tekrar revize edilmesi

Parametreler	Sonuç II	Sonuç III
Verim (%)	96.25	96.29
Tutma Torku (Nm)	0	0
Güç (Watt)	3978.69	4083.66
Hat Voltajı (Volt)	382	387.4
Oluk Doluluk Oranı (%)	68.19	68.19
Ağırlık (kg)	52.7	49.3
Değişim	Di=315,Do=420,E=0.81, O=79.5,lm=6,L=96	Di=395,Do=500,E=0.85,O=75,lm=7. 2,L=70

Nihai model sonuçları Maxwell programında incelenmiş ve grafikleri çıkartılmıştır. Grafik sonuçları incelendiğinde modelin elektriksel ve manyetik açıdan oldukça iyi olduğu görülmektedir. Öncelikle generatörün elektriksel açıya bağlı olarak sargı gerilimleri ve akımları incelenmiştir. Grafik sonuçları **Şekil 7.6**'de ve **Şekil 7.7**'de gösterilmiştir.

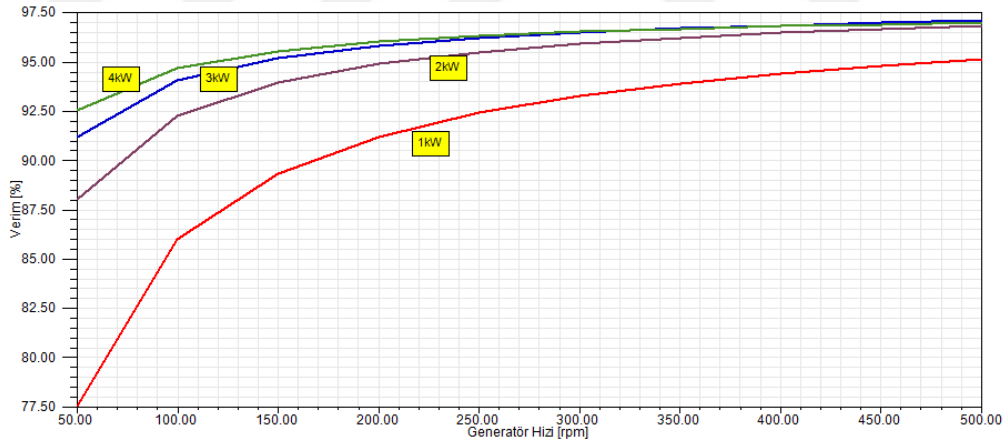


Şekil 7.6: Elektriksel Açıya Bağlı Sargı Gerilimleri



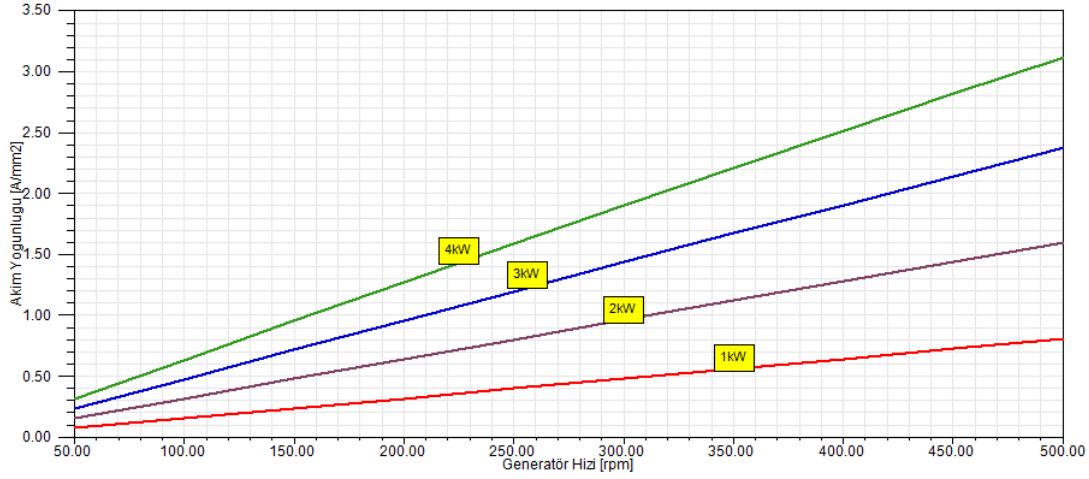
Şekil 7.7: Elektriksel Açıya Bağlı Sargı Akımları

Çalışmanın öncelikli amacı generatörün verimini arttırmak olmuştur. Bu nedenle nihai generatöre ait verim grafiği incelenmiştir. Verim incelenirken 100-400 rpm aralığındaki hız değerlerindeki sonuçlarına bakılmıştır. Generatöre ait Hız-Verim sonuçları **Şekil 7.8**'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde hıza bağlı olarak verim sonucunun azalarak artan bir eğri olduğu görülmektedir. Referans hız olan 250 rpm'de generatörün %96.3 seviyelerinde olduğu grafikte de görülmektedir. Daha yüksek hızlarda generatörün veriminin arttığı, 400 rpm'e yaklaşıldığında verim de %97'lere yaklaşmaktadır. Ayrıca 1 kW'dan 4 kW çıkış gücü mertebesine çıkıldıkça verim grafiği artış göstermektedir.



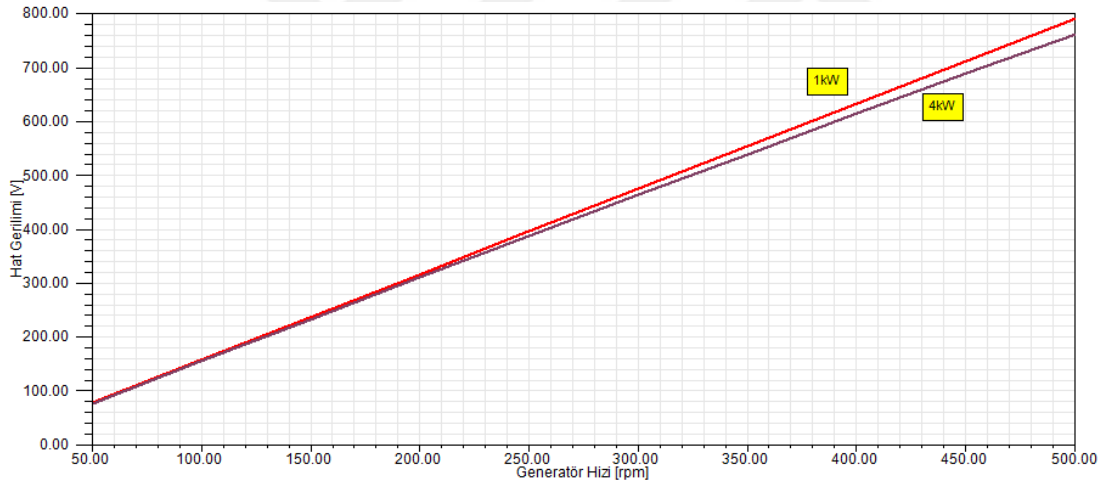
Şekil 7.8: Farklı Güçlerde Hıza Bağlı Verim

Fakat hız arttıkça sargı gerilimleri ve akımları da artacağı için yüksek hızlarda generatörün çalışma durumunda akım yoğunluğu incelenmelidir. Akım yoğunluğunun 6'dan büyük olması, sargılarda meydana gelen bakır kayıplarının artması ve buna bağlı generatörde yüksek yoğunluklu ısınmaların ortaya çıkması anlamına gelmektedir. Optimize edilen generatörün, hıza bağlı farklı güçlerdeki akım yoğunluğu eğrisi **Şekil 7.9**'de gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde generatörün akım yoğunluğu açısından yüksek devirlerde dahi sorunsuz çalışabileceği görülmektedir. Hızla birlikte çıkış gücü de arttırıldığında akım yoğunluğunun arttığı izlenmektedir.



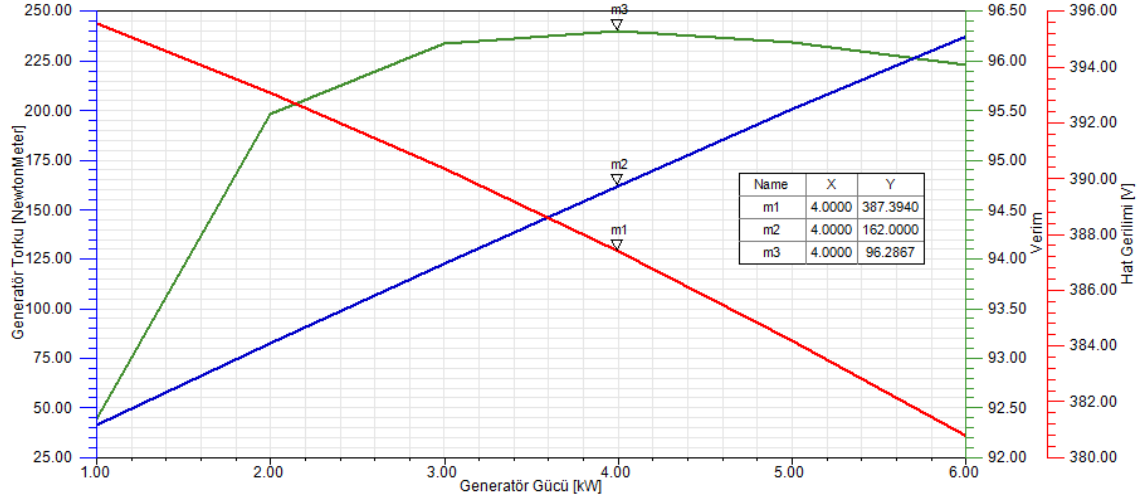
Şekil 7.9:Farklı Güçlerde Hıza Bağlı Akım Yoğunluğu

Farklı hız ve güç değerleri için hat voltajı sonuçları Şekil 7.10'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde referans hız olan 250 rpm'de 380 V her iki güç değeri için elde edilmektedir. Çıkış gerilimi hıza bağlı doğrusal bir artış göstermektedir ve farklı güçlerde yakın değerler vermektedir. Elde edilen generatör modeli, referans hız seviyesinde istenen gerilimi verebilmektedir. Bununla birlikte generatörün ısınmasına doğrudan etki eden akım yoğunluğu istenen aralıkta kalmaktadır.



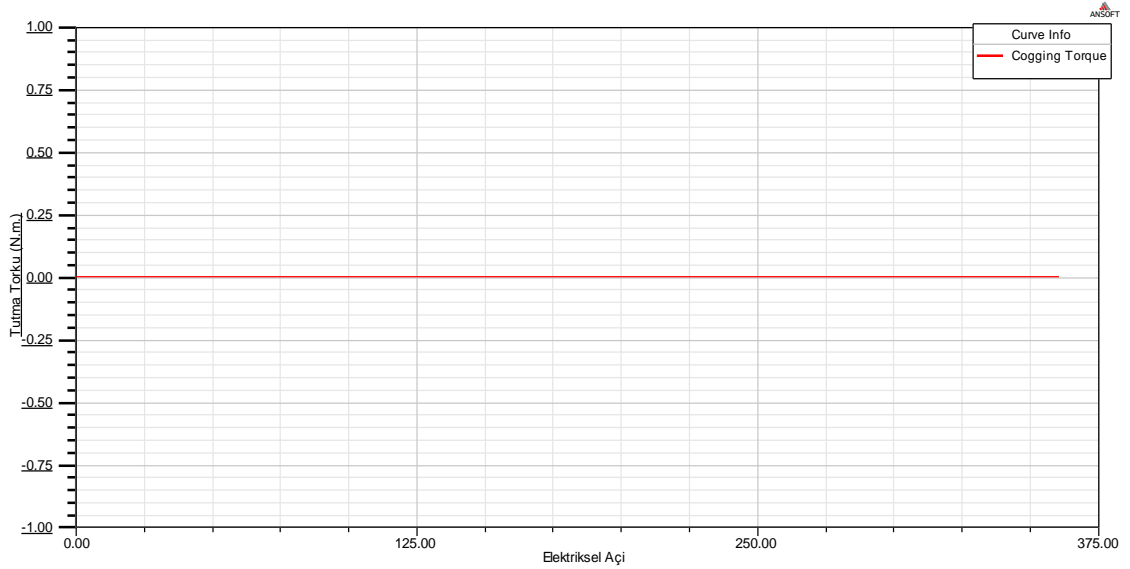
Şekil 7.10:Farklı Güçlerde Hıza Bağlı Hat Voltajı

Şekil 7.11, optimizasyonu yapılan generatörün genel diyagramını ifade etmektedir. Grafikte 250 rpm'de çıkış gücüne bağlı olarak, generatör torku, verim ve hat gerilimi parametreleri incelenmiştir. Generatör Torku çıkış gücüne bağlı lineer bir artış göstermektedir ve referans hız ve güç değerinde 162 N.m.'dir. Farklı güçlerde verim eğrisi incelendiğinde, en yüksek verimin % 96.28 ile 4kW düzeyinde olduğu görülmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında, 4 kW çıkış gücündeki bir SMSG'nin verim optimizasyonu amaçlandığından, verim grafiğinin bu hedefi yansıtması sonuçların istenen aralıkta olduğunun göstergesidir. Ayrıca generatör gücünün artmasına bağlı olarak hat geriliminde düşüş izlenmektedir. 250 rpm ve 4 kW düzeyinde çıkış geriliminin 387.39 V olduğu görülmektedir.



Şekil 7.11: Genel Generatör Diyagramı

Bu tez çalışmasında verim arttırılırken tutma torkunun da minimize edilmesi amaçlanmıştır. Optimize edilen generatör modeline ait elektriksel açıya bağlı tutma torku grafiği **Şekil 7.12**'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde tutma torkunun her açıda sıfır olduğu görülmektedir. Bu ölçekte bir generatör için tutma torkunun sıfır veya sıfıra yakın bir değerde olması, çok düşük rüzgâr hızlarında da enerji üretimi yapabilmesi demektir. Düşük rüzgâr hızlarında enerji üretimi için tutma torku çok önemli bir parametredir.



Şekil 7.12: Elektriksel Açıya Bağlı Tutma Torku



BÖLÜM 8

GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

Bilindiği gibi, sabit mıknatıs teknolojisindeki ilerleme, rüzgar ve nehir santralleri gibi farklı yenilenebilir enerji kaynaklarından daha yüksek enerji çıktılarını sağlamak için 20. yüzyılda hızlandırılmıştır. Bu yüzden, bu alanda birçok yeni tasarlanmış generatör görmek mümkündür. Sabit mıknatıslardaki teknoloji, farklı SM malzeme aileleri tarafından üretilen daha yüksek miktarda enerji ile daha yüksek manyetik akış yoğunlukları sağlayarak gelişmeye devam ederse, SM malzemelerin ve SMSG'nin geleceği, farklı doğal enerji kaynaklarından etkili enerji çözümleri üretecektir.

Bu çalışmada 4 kW gücündeki SMSG ele alınmış ve optimize edilmiştir. Gelecek çalışmalardan birisi optimize edilen bu generatörün üretimi ve test sonuçlarının incelenmesi olacaktır. Test sonuçları ve optimizasyon sonuçları karşılaştırılıp, metodların doğrulukları incelenecektir. Test sonuçlarının başarılı olması durumunda, piyasanın ihtiyacına göre yeni bir generatör modeli belirlenip, daha fazla tasarım değişkeni ele alınarak yeni bir optimizasyon yapılması amaçlanmaktadır.



KAYNAKLAR

Andrews,(2005). “A Short History of Electric Light”.

Angle, (2016). “Modeling, design, and optimization of permanent magnet synchronous machines”. Massachusetts Institute of Technology.

Anvari, B., Li & Toliyat, H. A., (2015). Comparison of outer rotor permanent magnet and magnet-less generators for direct-drive wind turbine applications. In Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), IEEE International (pp. 181-186).

Arnot, (1908). The Industries of Niagara Falls, Popular Science, Volume 73.

Arslan, (2014). “Yüksek hızlı kalıcı mıknatıslı generator tasarımı ve analizi”. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü-Gazi Üniversitesi.

Aydin, Ocak, CirpanliAlbas, (2012) Permanent Magnet Synchronous Motors Used in Direct-Drive Home Appliance Applications, EMO Bilimsel Dergi, Volume 2, No 3, pp. 7-11.

Baki, (1998). “New Techniques For The Determination Of Synchronous Machine Parameters”, (Master Thesis), Loughborough University, U.K.

Barati, R. (2011). Parameter estimation of nonlinear Muskingum models using Nelder-Mead simplex algorithm. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19, 1-8.

Barker, B.E. & Fox, M.E. (1980). Computer resolution of overlapping electronic absorption bands. *Chem. Soc. Rev.*, (9), 143-184.

Bazzo, Kölzer, Carlson, Wurtz, and Gerbaund, (2017). “Multiphysics Design Optimization of a Permanent Magnet Synchronous Generator”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, DOI 10.1109/TIE.2017.2726983.

Bobon, A.Nocon, S.Paszek, P.Pruski, (2017). “Determination of synchronous generator nonlinear model parameters based on power rejection tests using a gradient optimization algorithm”. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences*.

Boules, (1987). “Prediction of no-load flux density distribution of permanent magnet machines”, *IEEE Tran. on IndustryApp.*, Vol.21, No.3, pp.633-643.

Bowers, (1975). “The early history of the electric motor”. *Philips Technical Review*, Volume 35, No.4.

Cetinceviz, Uygun, Demirel, (2015). “Multi-Criterion Design and 2D Cosimulation Model of 4 kW PM Synchronous Generator For Standalone Run-of-the-River Stations”, *ICRERA, 4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, Palermo, Italy.

Cetinceviz, (2017). “Orta Ölçekli Rüzgar Türbinleri İçin Alternatör Tasarımı”, (Doktora Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi.

Chinamalli, Naveen, Shankar, (2012). “Power Loss Minimization of Permanent Magnet Synchronous Generator Using Particle Swarm Optimization”, *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, ISSN: 2249-6645.

Chisholm, Hugh, (1911). "Faraday, Michael". Encyclopædia Britannica. 10 (11th ed.). Cambridge University Press. pp. 173–175..the 1911 Encyclopædia Britannica.

Connor, (2014). "BECKETT, MODERNISM and the Material IMAGINATION". University of Cambridge.

Elósegui, Fontán, (2007). "Analytical design of synchronous permanent magnet motor/generator", IEEE, 1165–1170.

Fathabadi, (2018). "Utilizing solar and wind energy in plug-in hybrid electric vehicles", Energy Conversion and Management, pp 317-328.

Fei, and Luk, (2010). "A New Technique of Cogging Torque Suppression in Direct-Drive Permanent Magnet Brushless Machines". IEEE Transactions on Industry Applications, 46:4, 1332-1340.

Ferreti, J.A. & Weiss, G.H. (1989). One-dimensional nuclear overhauser effects and peak intensity measurements. *Meth. Enzymol.*, 176, 3-11.

Fodorean, (2011). "Global Design and Optimization of a Permanent Magnet Synchronous Machine Used for Light Electric Vehicle". INTECH, Electric Vehicles-Modelling and Simulations, Technical University of Cluj-Napoca, Romania.

Galton, F. (1886). Regression towards mediocrity in hereditary stature, *Journal of Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, Vol. 15, 246–263

Ghita, Nedelcu, Trifu, Tudorache, (2013). "Finite Element Analysis Of The Useful Magnetic Flux Of A Low Speed PMSG", U.P.B. Sci, Bull, Series C, Col. 75, Iss. 1, ISSN 1454-234x.

Gieras J. F., (2013).” ElectricPowerSystem of Tu-154M Passenger Aircraft”, Przegląd Elektrotechniczny1.

Gonzalez, Hernandez, Escarela-Perez, Arjona, (2011). “Determination of Equivalent-circuitParameters of SynchronousGeneratorBased on theStandstill DC Decay Test and a HybridOptimizationMethod”, ElectricPower Components andSystems, 1072954.

Gucciardo,(2013). “The Powered Generation: Canadians, Electricity, andEveryday Life”. Western University, Electronic ThesisandDissertationRepository, 9. J. Cunningham, ”New York Power”.

Hestegen, (2016), “Design Optimization of HydropowerGenerators”, Department of ElectricPowerEngineering, NorwegianUniversity of ScienceandTechnology, (Master Thesis).

Ishikawa, T.Watanabe, N.Kurita, (2017). “Effect of cleaninglevel on topologyoptimization of permanentmagnetsynchronousgenerator”. IEEJ Journal of Industry Applications, Vol.6 No.6 pp.416-421.

Jang, Seo, Park, Park H., Choi, (2012). Design and Electromagnetic Field Characteristic Analysis of 1.5 kW Small Scale Wind Power Generator for Substitution of Nd-Fe-B to Ferrite Permanent Magnet, IEEE Transactions On Magnetics, 48:11, 2933-2936.

Jones, (1999). “Themoreelectricaircraft: Thepastandthefuture, IEEE Colloquium on ElectricalMachinesandSystemsfortheMoreElectric Aircraft”.

Kahourzade, Gandomkar, Mahmoudi, Rahim, Hew, Uddin, (2013). “Design optimizationandanalysis of AFPM synchronousmachineincorporatingpowerdensity,

thermal analysis, and back-emf THD". Progress in Electromagnetics Research, Vol. 136, 327-367.

Khan, Rajprasad, Rajparthiban, Aravind, (2014). "Optimization of Multi-pole Three Phase Magnet Synchronous Generator for low speed Vertical Axis Wind Turbine", Applied Mechanics and Materials Vols 446-447, pp 704-708.

Kinnunen J., (2007) Direct-On-Line Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator Static and Dynamic Performance, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, Finland.

Kurt, Önbilgin, (2009). "Design and Optimization of Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Machines Using Taguchi Approach". Electrical and Electronics Engineering, ELECO, International Conference, 11022172.

Li Y., Zhao J., Chen Z., & Liu X., (2014). Investigation of a five-phase dual-rotor permanent magnet synchronous motor used for electric vehicles. Energies, 7(6), 3955-3984.

Madani, (2011). Design of a permanent magnet synchronous generator for a vertical axis wind turbine.

Marschner, I., Erhardt, F. & Scriba, P.C. (1978). *Calculation of the immunoassay standard curve by spline function, Radioimmunoassay and related procedures in medicine*, 111-122, Int. Atomic Energy Agency, Vienna.

Meyer, (1972) "A History of Electricity and Magnetism".

Mizuno, Ishikawa, Kurita, (2016). "Rotor structure design of permanent magnet synchronous generator by topology optimization method using GA",

International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 52, 1453-1460, DOI 10.3233/JAE-162128.

Mould,(2016). “Thomas Edison (1847-1931) Biography with special reference to X-rays”. NOWOTWORY Journal of Oncology. Volume 66, number 6, 499-507.

Nagorny A. S., Dravid, N. V., Jansen R. H. and Kenny B. H., (2005). “Design Aspects of a High Speed Permanent Magnet Synchronous Motor/Generator for Flywheel Applications”, IEEE International Electric Machines and Drives Conference.

Nelder, J.A. & Mead, R. (1965). A simplex method for function minimization. *Computer Journal*, (7), 308-313.

Nikbakhsh, S. A. Gholamian, S. M. Hoseini, (2014). “Optimal Design of PM Synchronous Generator for Aerial Industries Power Supply Using Cuckoo Algorithm”.

Orhunbilge N. (2000). Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi, 2. Baskı, İstanbul, 12.

Paplicki, (2014). “ Optimization of Electrically Controlled Permanent Magnet Synchronous Machine to Improve Flux Control Range”, *Elektronika IR Elektrotehnika*, ISSN 1392-1215, Vol. 20, No. 10.

Pham, D., & Karaboga, D. (2000). Intelligent optimization techniques, genetic algorithms, tabu search, simulated annealing and neural network. Springer, New York.

Price, V. Kenneth, Storn, & M. Rainer (1997). Differential evolution - A simple evolution strategy for fast optimization, *Dr. Dobb's Journal*, (22), 18-24 and 78.

Price, V. K., Storn, M. R., & Lampinen, A. J. (2005). Differential evolution: A practical approach to global optimization. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.

Polinder, F.F.A., Pijl, Vilder, and Tavner, (2006). “ Comparison of Direct-Drive and Geared Generator Concepts for Wind Turbines”. IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 21, No.3.

Potgieter, Kamper, (2012). Torque and Voltage Quality in Design Optimization of Low-Cost Non-Overlap Single Layer Winding Permanent Magnet Wind Generator, IEEE Transactions On Industrial Electronics, 59:5, 2147-2156.

Putek, Maten, Günther, and Sykulski, (2017). “Variance-based Robust Optimization of a Permanent Magnet Synchronous Machine”, IEEE, 1709.02609v1.

Rao, S.S. (2009). Engineering optimization: theory and practice, 4th ed. New Jersey: John Wiley and Sons.

Rasilo, (2007). “Low-voltage Synchronous Generator Excitation Optimization and Design”, (Master Thesis), Helsinki University of Technology, Finland.

Rastogi, R.R. Kumar, S.K Singh, (2016). “Design, analysis and optimization of permanent magnet synchronous generator”. IIT(BHU) Varanasi, Department of Electrical Engineering.

Reinsch, C.H. (1967). Smoothing by spline function. *Numerische Mathematik*, (10), 177-183.

Savini, (2014). “Museum of Electrical Technology”. Pavia University, ISBN 9788896764954.

Sebastian, G. R. Slemon and M. A. Rahman, (1986). “Design considerations for variable speed permanent magnet motors”, Proceedings of International Conference on Electrical Machines (ICEM), pp.1099-1102.

Seshadri, K.S. & Jones, R.N. (1963). The shapes and intensities of infrared absorption bands. *Spectrochim. Acta*, (19), 1013-1085.

Siddaiah, A., Singh, B.K., & Mastanaiah,P. (2017). Prediction and optimization of weld bead geometry for electron beam welding of AISI 304 stainless steel, *Int J Adv Manuf Technol* , 89, 27–43

Sebastain, G. R. Slemon, (1987). “Operation limits of an inverter-driven permanent magnet motor drives”, IEEE Trans. on Industry App, Vol.23, No.2, pp.327-333.

Sindhya, A. Manninen, K.Miettinen, J.Pippuri, (2017) “Design of permanent magnet synchronous generator using Interactive Multiobjective Optimization”. IEEE Transactions on Industrial Electronics.

Silva, S.P., Ribeiro Filho, S.L.M., & Brandao, L.C. (2014). Particle swarm optimization for achieving the minimum profile error in honing process, *Precision Engineering*, (38), 759-768.

Sun, Gong, Han, (2013). “Design and Optimization of Control Parameters Based on Direct-Drive Permanent Magnet Synchronous Generator for Wind Power System”, IEEE, 978-4673-6322-8/13.

Taiwo, (2017). “Transition to DC distribution grids”. The Artic University of Norway, Master thesis in Electrical Engineering.

Tapia J.A., Pyrhönen J., Puranen J., Lindh P., Nyman S., (2013). Optimal Design of Large Permanent Magnet Synchronous Generators, IEEE Transactions On Magnetics, 4:1, 642 – 650.

Tsai, Demcko, (1995). “Development of a Neural Network Based Saturation Model For Synchronous Generator Analysis”. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.10, No. 4.

Turkmenoglu, Arslan, Yusufoglu, Fenercioglu, Atasorkun., (2016). “Neodyum mıknatıslı senkron generatörlerde tasarım parametre değişikliklerinin generator verimine etkisi”. Journal of Advanced Technology Sciences, ISSN:2147-3455.

Ulu, Kömürgöz, (2012). “Rüzgar Türbini Uygulamaları İçin 500 kW Çift Beslemeli Asenkron Generatör Tasarımı”, ELECO – Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa.

Uygun, Ocak, Cetinceviz-Demir, Gungor, (2012). “CAD-based design, analysis and experimental verification of an out-runner permanent magnet synchronous generator for small scale wind turbines”. IEEE, 978-1-4577-1829-8/12.

Uygun, Cetinceviz, Bal, (2016). “Optimization study on a 0.6kW PMSG for VAWTs and determination of open and short circuit performances by using external circuit method”. ScienceDirect, International Journal of Hydrogen Energy 41-12535-12545.

Vo-Duy, T., Ho-Huu, V., Do-Thi, T.D., Dang-Trung, H., & Nguyen-Thoi, T. (2017). A global numerical approach for lightweight design optimization of laminated composite plates subjected to frequency constraints. *Composite Structures*, 159, 646-655

Wang H., Wang Y., Liu X., Coa G., Fan J., (2011). Design and performance evaluation of compound permanent magnet generator with controllable air-gap flux, IET Electric Power Applications, 5: 9, 684 – 690.

Wang, S.Tang, Z.Qu-M.Pang, (2016). “Analysis and optimization of hybrid excitation permanent magnet synchronous generator for stand-alone power system”. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, S0304-8853(16)32092-3.

Xie, Zhang, Yu, Si, Yang, Luo, (2016). “A Novel Method to Magnetic Flux Linkage Optimization of Direct-Driven Surface-Mounted Permanent Magnet Synchronous Generator Based on Nonlinear Dynamic Analysis”, *energies*, 9, 557; doi:10.3390/en9070557.

Yildiriz, Timur Aydemir, (2009). “Küçük güçlü bir rüzgar generatöründe kullanım için aksenal akılı bir sürekli mıknatıslı motorun analizi, tasarımı ve gerçekleştirilmesi”. *J.Fac.Eng.Arch.Gazi Univ. Vol 24, No 3, 525-531.*

Yousefian, H.M. Kelk, (2018). “A unique optimized double-stator permanent-magnet synchronous generator in high-power wind plants”, *Energy*, Volume 143, pp 973-979.

Zabinsky, Z.B. (2011). Random Search Algorithmns. *In Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, 1-16

EKLER

EK A: Tablolar

Tablo A.1: Tasarım değişkenlerinin maksimum ve minimum noktalarda fonksiyonlara olan etkisi

Analiz Adı/No	Sabit Girdiler					Tasarım Değişkenleri																			Parametrelere	Değerler	Ortalama	Amaç Fonksiyonu					Sınır Fonksiyonları				
	Ref.Speed	P	V	Rat.Speed	T	D0	Di	L	S	Hs0	Hs1	Hs2	Bs0	Bs1	Bs2	Rs	W.L.	CS	NS	d0	AG	RT	E	O				Im	Verim (%)	Ağırlık (kg)	Oluk Doluluk Oranı (%)	Çıkış Gücü (W)	Hat Voltajı (V)	Tutma Torku(N.m.)			
1	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	285	85	1	1	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Ortalama		90.02	31.28	58.29	3693	366	5.01e-011				
2	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	481	285	85	1	1	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Do max.	481	90.17	77	58.29	3699	366	5.01e-011				
3	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	340	285	85	1	1	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Do min.	340	88.22	20.95	58.29	1629	245	2.15e-011				
4	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	310	285	85	1	1	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Di max.	310	88.12	23.45	58.29	1677	248	5.68e-011				
5	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	196	285	85	1	1	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Di min.	196	85.65	48.51	58.29	645	155	1.33e-011				
6	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	111	285	85	1	1	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	L max.	111	89.24	39.88	58.29	5919	464	6.58e-011				
7	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	59	285	85	1	1	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	L min.	59	90.25	22.69	58.29	1880	262	3.45e-011				
10	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	2	285	85	2	1	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	S max.	2	89.48	31.28	58.29	2769	318	5.01e-011				
11	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	0.1	285	85	0.1	1	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	S min.	0.1	90.16	31.28	58.29	4054	384	12.04				
12	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	5	285	85	1	5	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Hs0 max.	5	89.91	30.88	58.29	3641	364	5.15e-011				
13	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	0.1	285	85	1	0.1	1.5	2.3	2.5	7	8.5	2.5	1	5	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Hs0 min.	0.1	90.03	31.38	58.29	3696	367	4.98e-011				

Tablo A.1 (devam): Tasarım değişkenlerinin maksimum ve minimum noktalarda fonksiyonlara olan etkisi

14	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	5	23	25	7	85	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Hs1 max.	5	1.5	89.85	30.58	58.29	3679	366	5.10e-011
15	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	285	85	1	1	0	23	25	7	85	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Hs1 min.	0.1		90.08	31.57	58.29	3696	367	4.98e-011
16	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	15	30	25	7	85	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Hs2 max.	30	23	89.4	29.15	45.35	3664	366	5.06e-011
17	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	285	85	1	1	15	10	25	7	85	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Hs2 min.	10		91.03	35.26	124	3750	368	4.94e-011
18	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	15	23	69	7	85	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Bs0 max.	6.9	2.5	89.96	31	55.27	3500	357	3.11e-011
19	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	285	85	1	1	15	23	1	7	85	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Bs0 min	1		90	31.4	58.29	3656	365	1.01e-011
20	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	15	23	25	11	85	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Bs1 max.	11	7	88.64	29.28	45.62	1864	261.5	2.46e-011
21	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	285	85	1	1	15	23	25	3	85	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Bs1 min.	3		90.59	33	91.90	3634	363	5.39e-011
22	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	15	23	25	7	12	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Bs2 max.	12	8.5	89.25	29.13	45.79	2369	294	3.16e-011
23	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	285	85	1	1	15	23	25	7	3	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Bs2 min.	3		90.86	34.2	96.67	4053.5	384	5.41e-011
24	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	15	23	25	7	85	5	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Rs max.	5	2.5	89.93	30.74	54.72	3674	366	5.00e-011
25	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	285	85	1	1	15	23	25	7	85	0.1	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	Rs min.	0.1		90.14	32.01	64.5	3716	367.5	5.02e-011
26	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	15	23	25	7	85	25	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	WL=1	1	1	90.02	31.28	58.29	3693	366	5.01e-011

Tablo A.1 (devam): Tasarım değişkenlerinin maksimum ve minimum noktalarda fonksiyonlara olan etkisi

27	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	2	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	WL = 2	2		90.02	31.28	59.02	3707	367.5	5.01e-011
28	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	92	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	CS max.	92	52	85.4	36.5	103	7234	511	5.01e-011
29	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	12	2	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	CS min.	12		72.85	26	13.5	202	93.5	5.01e-011
30	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	10	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	NS max.	10	2	96.61	58.83	291.5	4206	391	5.01e-011
31	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	1	0.9116	1	10.5	0.92	80	5	NS min.	1		82.9	27.85	29.15	3170.5	340	5.01e-011
32	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	4.115	1	10.5	0.92	80	5	d0 max.	4.11	0.9116	97.96	164.8	1043.42	4315	396	5.01e-011
33	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	0.127	1	10.5	0.92	80	5	d0 min.	0.127		12.32	24.53	2.54	106.3	72.66	5.01e-011
34	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	0.9116	2	10.5	0.92	80	5	AG max.	2	1	89.91	31.25	58.29	3255	344.5	2.40e-011
35	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	0.9116	0.1	10.5	0.92	80	5	AG min.	0.1		90.11	31.32	58.29	4190.5	390.5	9.73e-013
36	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	0.9116	1	20	0.92	80	5	RT max.	20	10.5	90.08	36.09	58.29	4176.5	390	5.73e-011
37	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	0.9116	1	6	0.92	80	5	RT Min.	6		84	28.88	58.29	340.5	111.5	4.34e-012
38	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	0.9116	1	10.5	1	80	5	E max.	1	0.92	90.02	31.5	58.29	3707	367.5	7.22e-012
39	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.4	80	5	E min.	0.4		88.09	30	58.29	1625	245	6.10e-012
40	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	0.9116	1	10.5	0.92	110	5	O max.	110	80	89.72	30.86	58.29	3196	341.5	9.79e-012

Tablo A.1 (devam): Tasarım değişkenlerinin maksimum ve minimum noktalarda fonksiyonlara olan etkisi

41	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	0.916	1	10.5	0.92	1	5	O min.	1		90.18	31.5	58.29	4228	392	7.98e-012
42	250 rpm	4 kw	380 V	250rpm	75	370	280	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.5	1	52	2	0.916	1	10.5	0.92	80	12	lm max.	12	5	90.18	34.5	58.29	4722.5	414.75	8.97e-012
43	250 rpm	4 k	380	250rpm	75	37	28	85	1	1	1.5	23	2.5	7	8.5	2.	1	52	2	0.911	1	10.	0.9	80	2	lm min.	2		89.39	29.9	58.29	2263.5	287.5	7.53e-012

Tablo A.2: Verim Maxwell Veri Sonuçları

Varyasyon	AG	Bs0	Bs1	Bs2	CS	Di	Do	E	Hs0	Hs1	Hs2	L	NS	O	RT	Rs	S	d0	Im	Verim
1	1	2.5,	3	3	12,	196	385	0.4	1	1.5	10	59	2	80	6	2.5,	1	0.3211	5	14.24
2	1	2.5,	3	3	12,	196	385	0.4	1	1.5	10	59	2	80	6	2.5,	1	0.6438	5	17.18
3	1	2.5,	3	3	12,	196	385	0.4	1	1.5	10	59	2	80	6	2.5,	1	1.15	5	17.93
4	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	2	80	6	2.5,	1	2.053	5	18.17
5	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	2	80	6	2.5,	1	3.665	5	18.25
6	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	4	80	6	2.5,	1	0.3211	5	16.13
7	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	4	80	6	2.5,	1	0.6438	5	17.72
8	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	4	80	6	2.5,	1	1.15	5	18.11
9	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	4	80	6	2.5,	1	2.053	5	18.23
10	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	4	80	6	2.5,	1	3.665	5	18.27
11	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	7	80	6	2.5,	1	0.3211	5	17.02
12	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	7	80	6	2.5,	1	0.6438	5	17.96
13	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	7	80	6	2.5,	1	1.15	5	18.18
14	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	7	80	6	2.5,	1	2.053	5	18.26
15	1	2.5,	3	3	12	196	385	0.4	1	1.5	10	59	7	80	6	2.5,	1	3.665	5	18.28

Tablo A.2 (devam): Verim Maxwell Veri Sonuçları

11000	1	2.5,	8.5	9	38	310	385	1	1	1.5	10	59	10	80	20	2.5,	1	3.665	5	96.8
11001	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	2	80	20	2.5,	1	0.3211	5	56.35
11002	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	2	80	20	2.5,	1	0.6438	5	83.38
11003	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	2	80	20	2.5,	1	1.15	5	93.41
11004	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	2	80	20	2.5,	1	2.053	5	97.05
11005	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	2	80	20	2.5,	1	3.665	5	98.25
11006	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	4	80	20	2.5,	1	0.3211	5	71.95
11007	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	4	80	20	2.5,	1	0.6438	5	90.46
11008	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	4	80	20	2.5,	1	1.15	5	96.03
11009	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	4	80	20	2.5,	1	2.053	5	97.92
11010	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	4	80	20	2.5,	1	3.665	5	98.53
11011	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	7	80	20	2.5,	1	0.3211	5	81.48
11012	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	7	80	20	2.5,	1	0.6438	5	93.86
11013	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	7	80	20	2.5,	1	1.15	5	97.2
11014	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	7	80	20	2.5,	1	2.053	5	98.3
11015	1	2.5,	8.5	9	64	310	385	1	1	1.5	10	59	7	80	20	2.5,	1	3.665	5	98.65

•
•
•

21000	1	2.5,	8.5	3	38	310	481	0.4	1	1.5	30	111	10	80	13	2.5,	1	3.665	5	96.72
21001	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	2	80	13	2.5,	1	0.3211	5	47.39
21002	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	2	80	13	2.5,	1	0.6438	5	78.13
21003	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	2	80	13	2.5,	1	1.15	5	91.13

Tablo A.2 (devam): Verim Maxwell Veri Sonuçları

21004	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	2	80	13	2.5,	1	2.053	5	96.1
21005	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	2	80	13	2.5,	1	3.665	5	97.77
21006	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	4	80	13	2.5,	1	0.3211	5	64.43
21007	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	4	80	13	2.5,	1	0.6438	5	87.2
21008	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	4	80	13	2.5,	1	1.15	5	94.7
21009	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	4	80	13	2.5,	1	2.053	5	97.31
21010	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	4	80	13	2.5,	1	3.665	5	98.16
21011	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	7	80	13	2.5,	1	0.3211	5	75.78
21012	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	7	80	13	2.5,	1	0.6438	5	91.74
21013	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	7	80	13	2.5,	1	1.15	5	96.32
21014	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	7	80	13	2.5,	1	2.053	5	97.84
21015	1	2.5,	8.5	3	64	310	481	0.4	1	1.5	30	111	7	80	13	2.5,	1	3.665	5	98.33

.
. .
. .

30705	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	2	80	20	2.5	1	3.665	5	98.13
30706	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	4	80	20	2.5	1	0.3211	5	54.78
30707	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	4	80	20	2.5	1	0.6438	5	82.7
30708	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	4	80	20	2.5	1	1.15	5	93.46
30709	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	4	80	20	2.5	1	2.053	5	97.42
30710	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	4	80	20	2.5	1	3.665	5	98.73

Tablo A.2 (devam): Verim Maxwell Veri Sonuçları

30711	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	7	80	20	2.5	1	0.3211	5	67.89
30712	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	7	80	20	2.5	1	0.6438	5	89.1
30713	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	7	80	20	2.5	1	1.15	5	95.89
30714	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	7	80	20	2.5	1	2.053	5	98.24
30715	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	7	80	20	2.5	1	3.665	5	98.99
30716	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	0.3211	5	75.04
30717	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	0.6438	5	91.95
30718	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	1.15	5	96.9
30719	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	2.053	5	98.57
30720	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	3.665	5	99.1

Tablo A.3: Tutma Torku Maxwell Veri Sonuçları

Varyasyon	AG	Bs0	Bs1	Bs2	CS	Di	Do	E	Hs0	Hs1	Hs2	L	NS	O	RT	Rs	S	d0	lm	Tutma Torku
1	0.1	1	6	3	52	212	385	0.5	1	1.5	23	59	4	1	10	2.5	0.1	1.15	3	4.28
2	0.1	3	6	3	52	212	385	0.5	1	1.5	23	59	4	1	10	2.5	0.1	1.15	3	12.67
3	0.1	5	6	3	52	212	385	0.5	1	1.5	23	59	4	1	10	2.5	0.1	1.15	3	31.21
4	0.1	5.9	6	3	52	212	385	0.5	1	1.5	23	59	4	1	10	2.5	0.1	1.15	3	56.82
5	0.1	1	8.5	3	52	212	385	0.5	1	1.5	23	59	4	1	10	2.5	0.1	1.15	3	2.053
6	0.1	3	8.5	3	52	212	385	0.5	1	1.5	23	59	4	1	10	2.5	0.1	1.15	3	6.156
7	0.1	5	8.5	3	52	212	385	0.5	1	1.5	23	59	4	1	10	2.5	0.1	1.15	3	15.65
8	0.1	5.9	8.5	3	52	212	385	0.5	1	1.5	23	59	4	1	10	2.5	0.1	1.15	3	29.69
9	0.1	1	6	3	52	310	385	0.5	1	1.5	23	59	4	1	10	2.5	0.1	1.15	3	5.356
10	0.1	3	6	3	52	310	385	0.5	1	1.5	23	59	4	1	10	2.5	0.1	1.15	3	16.36

Tablo A.3 (devam): Tutma Torku Maxwell Veri Sonuçları

3000	0.1	5.9	8.5	9	52	212	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	8	22.41
3001	0.1	1	6	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	8	5.228
3002	0.1	3	6	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	8	20.62
3003	0.1	5	6	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	8	38.65
3004	0.1	5.9	6	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	8	51.41
3005	0.1	1	8.5	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	8	4.004
3006	0.1	3	8.5	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	8	15.79
3007	0.1	5	8.5	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	8	29.6
3008	0.1	5.9	8.5	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	8	39.37
3009	2	1	6	3	52	212	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	3	0.9906
3010	2	3	6	3	52	212	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	0.1	1.15	3	8.571

6134	2	3	8.5	9	52	212	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	3.345e-012
6135	2	5	8.5	9	52	212	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	3.804e-012
6136	2	5.9	8.5	9	52	212	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	4.112e-012
6137	2	1	6	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	3.094e-011
6138	2	3	6	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	1.607e-011
6139	2	5	6	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	1.715e-011
6140	2	5.9	6	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	3.558e-011
6141	2	1	8.5	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	2.627e-011
6142	2	3	8.5	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	1.377e-011
6143	2	5	8.5	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	1.484e-011
6144	2	5.9	8.5	9	52	310	481	0.5	1	1.5	23	111	4	75	20	2.5	2	1.15	8	3.097e-011

Tablo A.4: Çıkış Gücü Maxwell Veri Sonuçları

Varyasyon	AG	Bs0	Bs1	Bs2	CS	Di	Do	E	Hs0	Hs1	Hs2	L	NS	O	RT	Rs	Ske	d0	lm	Çıkış Gücü
1	1	2.5	6	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	10	2.5	1	0.3211	3	10.84
2	1	2.5	6	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	10	2.5	1	3.665	3	14.06
3	1	2.5	6	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	0.3211	3	10.85
4	1	2.5	6	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	3.665	3	14.07
5	1	2.5	6	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	20	2.5	1	0.3211	3	10.85
6	1	2.5	6	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	20	2.5	1	3.665	3	14.07
7	1	2.5	6	3	12	310	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	10	2.5	1	0.3211	3	40.21
8	1	2.5	6	3	12	310	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	10	2.5	1	3.665	3	48.95
9	1	2.5	6	3	12	310	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	0.3211	3	40.25
10	1	2.5	6	3	12	310	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	3.665	3	49

5000	1	2.5	6	3	12	310	433	1	1	1.5	23	59	4	80	10	2.5	1	3.665	8	34.94
5001	1	2.5	6	3	12	310	433	1	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	0.3211	8	163.2
5002	1	2.5	6	3	12	310	433	1	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	3.665	8	189.7
5003	1	2.5	6	3	12	310	433	1	1	1.5	23	59	4	80	20	2.5	1	0.3211	8	204.2
5004	1	2.5	6	3	12	310	433	1	1	1.5	23	59	4	80	20	2.5	1	3.665	8	237.3
5005	1	2.5	6	3	38	212	433	1	1	1.5	23	59	4	80	10	2.5	1	0.3211	8	253.1
5006	1	2.5	6	3	38	212	433	1	1	1.5	23	59	4	80	10	2.5	1	3.665	8	362.3
5007	1	2.5	6	3	38	212	433	1	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	0.3211	8	634.6
5008	1	2.5	6	3	38	212	433	1	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	3.665	8	906.9
5009	1	2.5	6	3	38	212	433	1	1	1.5	23	59	4	80	20	2.5	1	0.3211	8	635.1
5010	1	2.5	6	3	38	212	433	1	1	1.5	23	59	4	80	20	2.5	1	3.665	8	907.6

Tablo A.4 (devam): Çıkış Gücü Maxwell Veri Sonuçları

9206	1	2.5	8.5	9	92	212	481	1	1	1.5	23	111	4	80	10	2.5	1	3.665	8	3644
9207	1	2.5	8.5	9	92	212	481	1	1	1.5	23	111	4	80	15	2.5	1	0.3211	8	1458
9208	1	2.5	8.5	9	92	212	481	1	1	1.5	23	111	4	80	15	2.5	1	3.665	8	4116
9209	1	2.5	8.5	9	92	212	481	1	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	0.3211	8	1458
9210	1	2.5	8.5	9	92	212	481	1	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	3.665	8	4116
9211	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	10	2.5	1	0.3211	8	2456
9212	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	10	2.5	1	3.665	8	6962
9213	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	15	2.5	1	0.3211	8	9085
9214	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	15	2.5	1	3.665	8	2.066e+004
9215	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	0.3211	8	9384
9216	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	3.665	8	2.127e+004

Tablo A.5: Hat Voltajı Maxwell Veri Sonuçları

Varyasyon	AG	Bs0	Bs1	Bs2	CS	Di	Do	E	Hs0	Hs1	Hs2	L	NS	O	RT	Rs	S	d0	lm	Hat Voltajı
1	1	2.5	3	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	10	2.5	1	0.3211	3	31.11
2	1	2.5	3	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	10	2.5	1	1.15	3	32.84
3	1	2.5	3	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	10	2.5	1	3.665	3	32.98
4	1	2.5	3	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	0.3211	3	31.11
5	1	2.5	3	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	1.15	3	32.84
6	1	2.5	3	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	15	2.5	1	3.665	3	32.98
7	1	2.5	3	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	20	2.5	1	0.3211	3	31.11
8	1	2.5	3	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	20	2.5	1	1.15	3	32.84
9	1	2.5	3	3	12	212	385	0.4	1	1.5	23	59	4	80	20	2.5	1	3.665	3	32.98

Tablo A.5 (devam): Hat Voltajı Maxwell Veri Sonuçları

3500	1	2.5	3	9	92	212	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	1.15	3	200.9
3501	1	2.5	3	9	92	212	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	3.665	3	203.5
3502	1	2.5	3	9	92	310	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	10	2.5	1	0.3211	3	250.4
3503	1	2.5	3	9	92	310	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	10	2.5	1	1.15	3	287
3504	1	2.5	3	9	92	310	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	10	2.5	1	3.665	3	289.6
3505	1	2.5	3	9	92	310	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	15	2.5	1	0.3211	3	250.4
3506	1	2.5	3	9	92	310	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	15	2.5	1	1.15	3	287
3507	1	2.5	3	9	92	310	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	15	2.5	1	3.665	3	289.6
3508	1	2.5	3	9	92	310	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	0.3211	3	250.4
3509	1	2.5	3	9	92	310	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	1.15	3	287
3510	1	2.5	3	9	92	310	481	0.4	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	3.665	3	289.7

7766	1	2.5	8.5	9	92	212	481	1	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	1.15	8	369.4
7767	1	2.5	8.5	9	92	212	481	1	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	3.665	8	386.4
7768	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	10	2.5	1	0.3211	8	298.1
7769	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	10	2.5	1	1.15	8	478.4
7770	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	10	2.5	1	3.665	8	501.1
7771	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	15	2.5	1	0.3211	8	572.8
7772	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	15	2.5	1	1.15	8	834.1
7773	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	15	2.5	1	3.665	8	862.4
7774	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	0.3211	8	582.1
7775	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	1.15	8	846.4
7776	1	2.5	8.5	9	92	310	481	1	1	1.5	23	111	4	80	20	2.5	1	3.665	8	874.9

Tablo A.6: Oluk Doluluk Oranı Maxwell Veri Sonuçları

Varyasyon	AG	Bs0	Bs1	Bs2	CS	Di	Do	E	Hs0	Hs1	Hs2	L	NS	O	RT	Rs	S	d0	Im	Oluk Doluluk Oranı
1	1	1	5	5	12	212	433	0.5	1	1.5	10	85	2	80	15	0.1	1	0.3211	5	9.658
2	1	1	5	5	12	212	433	0.5	1	1.5	10	85	2	80	15	0.1	1	0.6438	5	31.45
3	1	1	5	5	12	212	433	0.5	1	1.5	10	85	2	80	15	0.1	1	1.15	5	90.82
4	1	1	5	5	12	212	433	0.5	1	1.5	10	85	2	80	15	0.1	1	2.053	5	273.1
5	1	1	5	5	12	212	433	0.5	1	1.5	10	85	2	80	15	0.1	1	3.665	5	841.9
6	1	1	5	5	12	212	433	0.5	1	1.5	10	85	4	80	15	0.1	1	0.3211	5	19.32
7	1	1	5	5	12	212	433	0.5	1	1.5	10	85	4	80	15	0.1	1	0.6438	5	62.9
8	1	1	5	5	12	212	433	0.5	1	1.5	10	85	4	80	15	0.1	1	1.15	5	181.6
9	1	1	5	5	12	212	433	0.5	1	1.5	10	85	4	80	15	0.1	1	2.053	5	546.2
10	1	1	5	5	12	212	433	0.5	1	1.5	10	85	4	80	15	0.1	1	3.665	5	1684

3000	1	1	6.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	20	85	10	80	15	2	1	3.665	5	8490
3001	1	1	8.5	9	12	212	433	0.5	1	1.5	20	85	2	80	15	2	1	0.3211	5	2.261
3002	1	1	8.5	9	12	212	433	0.5	1	1.5	20	85	2	80	15	2	1	0.6438	5	7.362
3003	1	1	8.5	9	12	212	433	0.5	1	1.5	20	85	2	80	15	2	1	1.15	5	21.26
3004	1	1	8.5	9	12	212	433	0.5	1	1.5	20	85	2	80	15	2	1	2.053	5	63.93
3005	1	1	8.5	9	12	212	433	0.5	1	1.5	20	85	2	80	15	2	1	3.665	5	197.1
3006	1	1	8.5	9	12	212	433	0.5	1	1.5	20	85	4	80	15	2	1	0.3211	5	4.521
3007	1	1	8.5	9	12	212	433	0.5	1	1.5	20	85	4	80	15	2	1	0.6438	5	14.72
3008	1	1	8.5	9	12	212	433	0.5	1	1.5	20	85	4	80	15	2	1	1.15	5	42.52
3009	1	1	8.5	9	12	212	433	0.5	1	1.5	20	85	4	80	15	2	1	2.053	5	127.9
3010	1	1	8.5	9	12	212	433	0.5	1	1.5	20	85	4	80	15	2	1	3.665	5	394.2

Tablo A.6 (devam): Oluk Doluluk Oranı Maxwell Veri Sonuçları

6470	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	4	80	15	2	1	3.665	5	2046
6471	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	7	80	15	2	1	0.3211	5	41.07
6472	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	7	80	15	2	1	0.6438	5	133.7
6473	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	7	80	15	2	1	1.15	5	386.2
6474	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	7	80	15	2	1	2.053	5	1161
6475	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	7	80	15	2	1	3.665	5	3580
6476	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	10	80	15	2	1	0.3211	5	58.67
6477	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	10	80	15	2	1	0.6438	5	191
6478	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	10	80	15	2	1	1.15	5	551.7
6479	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	10	80	15	2	1	2.053	5	1659
6480	1	4.9	8.5	9	92	212	433	0.5	1	1.5	30	85	10	80	15	2	1	3.665	5	5114

Tablo A.7: Ağırlık Maxwell Veri Sonuçları

Varyasyon	AG	Bs0	Bs1	Bs2	CS	Di	Do	E	Hs0	Hs1	Hs2	L	NS	O	RT	Rs	S	d0	lm	Ağırlık
1	1	2.5	7	8.5	12	212	385	0.5	1	1.5	10	59	2	80	10	2.5	1	0.3211	5	33.71
2	1	2.5	7	8.5	12	212	385	0.5	1	1.5	10	59	2	80	10	2.5	1	1.15	5	35.41
3	1	2.5	7	8.5	12	212	385	0.5	1	1.5	10	59	2	80	10	2.5	1	3.665	5	52.31
4	1	2.5	7	8.5	12	212	385	0.5	1	1.5	10	59	2	80	20	2.5	1	0.3211	5	36.27
5	1	2.5	7	8.5	12	212	385	0.5	1	1.5	10	59	2	80	20	2.5	1	1.15	5	37.97
6	1	2.5	7	8.5	12	212	385	0.5	1	1.5	10	59	2	80	20	2.5	1	3.665	5	54.86
7	1	2.5	7	8.5	12	253	385	0.5	1	1.5	10	59	2	80	10	2.5	1	0.3211	5	27.73
8	1	2.5	7	8.5	12	253	385	0.5	1	1.5	10	59	2	80	10	2.5	1	1.15	5	29.48
9	1	2.5	7	8.5	12	253	385	0.5	1	1.5	10	59	2	80	10	2.5	1	3.665	5	46.76
10	1	2.5	7	8.5	12	253	385	0.5	1	1.5	10	59	2	80	20	2.5	1	0.3211	5	30.87

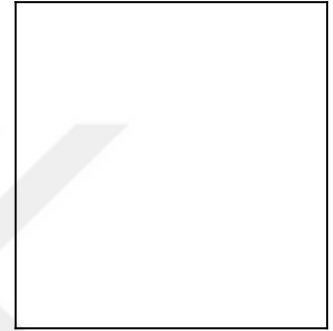
Tablo A.7 (devam): Ağırlık Maxwell Veri Sonuçları

2582	1	2.5	7	8.5	96	253	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	10	2.5	1	1.15	5	215.6
2583	1	2.5	7	8.5	96	253	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	10	2.5	1	3.665	5	1314
2584	1	2.5	7	8.5	96	253	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	0.3211	5	110.8
2585	1	2.5	7	8.5	96	253	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	1.15	5	221.5
2586	1	2.5	7	8.5	96	253	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	3.665	5	1320
2587	1	2.5	7	8.5	96	310	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	10	2.5	1	0.3211	5	86.03
2588	1	2.5	7	8.5	96	310	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	10	2.5	1	1.15	5	200.3
2589	1	2.5	7	8.5	96	310	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	10	2.5	1	3.665	5	1335
2590	1	2.5	7	8.5	96	310	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	0.3211	5	93.45
2591	1	2.5	7	8.5	96	310	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	1.15	5	207.7
2592	1	2.5	7	8.5	96	310	481	0.5	1	1.5	30	111	10	80	20	2.5	1	3.665	5	1342



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Erhan NERGİZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.07.1991-MUĞLA
E-posta : erhannergizster@gmail.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Gediz Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- 2014-2016 Proje Asistanı, Gediz Üniversitesi, İZMİR
- 2016-..... Ar-Ge Müdürü, EGS Mutfak Ekipmanları, İZMİR



