



İ. A. POLAT, 2023

YÜKSEK LİSANS TEZİ

T.C.

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ASENKRON MOTORLARIN ELEKTRİKSEL VE MEKANİK
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDE GENETİK VE DİFERANSİYEL
EVRİM ALGORİTMALARININ BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ VE
KARŞILAŞTIRMASI

İmran Aybüke POLAT

Ağustos 2023

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ASENKRON MOTORLARIN ELEKTRİKSEL VE MEKANİK
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDE GENETİK VE DİFERANSİYEL
EVRİM ALGORİTMALARININ BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ VE
KARŞILAŞTIRMASI

İmran Aybüke POLAT

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Prof. Dr. Murat BARUT

Ağustos 2023

İmran Aybüke POLAT tarafından **Prof. Dr. Murat BARUT** danışmanlığında hazırlanan “Asenkron Motorların Elektriksel Ve Mekanik Parametrelerinin Belirlenmesinde Genetik Ve Diferansiyel Evrim Algoritmalarının Başarım Değerlendirmesi Ve Karşılaştırması” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Bařkan : Prof. Dr. Aytekin BAęIř, Erciyes  niversitesi

 ye : Prof. Dr. Murat BARUT, Niğde Ömer Halisdemir  niversitesi

 ye : Dr. Öğr. Üyesi Recep YILDIZ, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri  yeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Prof. Dr. Mustafa KARATEPE

MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İmran Aybüke POLAT

ÖZET

ASENKRON MOTORLARIN ELEKTRİKSEL VE MEKANİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDE GENETİK VE DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMALARININ BAŞARIM DEĞERLENDİRMESİ VE KARŞILAŞTIRMASI

POLAT, İmran Aybüke

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman

: Prof. Dr. Murat BARUT

Ağustos 2023, 103

Bu tez çalışmasında, asenkron motorun (ASM'nin) yüksek başarılı kontrolünün gerçekleştirilmesi amacıyla, ASM'nin dinamik modeline ait elektrik ve mekanik parametreleri tek-amaçlı akım, tek-amaçlı hız ve çok-amaçlı akım ve hız hatalarına göre genetik algoritma (GA) ve diferansiyel evrim algoritması (DEA) ile belirlenerek, algoritmaların başarımları hem benzetim ortamında hem de gerçek zamanlı deney çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Eniyileme işlemlerinde, sadece elektriksel parametrelerin belirlenmesi için ASM'nin dinamik modelinde elektriksel yana ilişkin dört eşitlik kullanılırken, elektriksel ve mekanik parametrelerin belirlenmesi durumunda dinamik modele ait beş eşitlik kullanılmıştır. Bu eniyileme çalışmalarında GA ve DEA'dan elde edilen parametre değerleri, geniş bir hız aralığında yük değişimlerini içeren senaryolar altında test edilmiş, GA ve DEA'nın başarımları kendi içlerinde ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak çok-amaçlı GA ve DEA'nın ASM dinamik model parametrelerinin belirlenmesindeki başarımları hem benzetim hem de gerçek zamanlı deneyler ile bu tez kapsamında ilk kez test edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Asenkron motor, Metaezgisel Algoritma, Parametre Kestirimi, Genetik Algoritma, Diferansiyel Evrim Algoritması



SUMMARY

PERFORMANCE EVALUATION AND COMPARISON OF GENETIC AND DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHMS IN DETERMINATION OF ELECTRICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF INDUCTION MOTORS

POLAT, İmran Aybüke

Niğde  mer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor : Professor Dr. Murat BARUT

August 2023, 103

In this thesis, the electrical and mechanical parameters of the dynamic model of the IM are determined by a genetic algorithm (GA) and differential evolution algorithm (DEA) in terms of single-objective current, single-objective speed, and multi-objective current and speed errors in order to realize high performance control of an induction motor (IM). The performances of the algorithms are compared with the experiments in both simulations and real-time. In the optimization processes, while four equations related to the electrical side of the dynamic IM model are used for determination of only the electrical parameters, five equations of the dynamic IM model are utilized for identification of the electrical and mechanical parameters together. The parameter values obtained by GA and DEA in these optimization processes are tested under the scenarios involving load torque variations in a wide speed range and the obtained performances of GA and DEA are compared within themselves and with each other. Moreover, unlike other studies in the literature, the performances of multi-objective DEA and GA in the determination of the dynamic IM model parameters are tested by both simulation and real-time experiments for the first time in the scope of this thesis.

Keywords: Induction motor, Meta-Heuristic Algorithm, Parameter Estimation, Genetic Algorithm, Differential Evolution Algorithm

ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmam esnasında, çalışmalarına ve araştırmalarına rehberlik eden, bilgi ve tecrübeleriyle her türlü yönlendirmede bulunan, yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Murat BARUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışmalarım sırasında bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sırasında yardımlarda bulunan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Recep YILDIZ'a, Metasezgisel Algoritmalar konusunda bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim değerli hocam Doç. Dr. Emrah ZERDALI'ye teşekkürlerimi sunuyorum.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	vi
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xvii
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xviii
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Literatür İncelemesi.....	3
1.2.1. Literatürde ASM'nin Sürekli Sinüzoidal Hal Eşdeğer Devre Modelini Kullanan Çalışmalar	3
1.2.2. Literatürde ASM'nin Dinamik Modelini Kullanan Çalışmalar	5
BÖLÜM II	8
META SEZGİSEL ALGORİTMALAR	8
2.1. Genetik Algoritma	8
2.1.1. Genetik Algoritma Temel Kavramları	10
2.1.2. GA'nın Başarımını Etkileyen Faktörler	14
2.2. Diferansiyel Evrim Algoritması	15
2.2.1. Kodlama.....	15
2.2.2. Popülasyon Yapısı ve Parametre Sınırları.....	15
2.2.3. Mutasyon	16
2.2.4. Çaprazlama	17

2.2.5. Seçilim	17
BÖLÜM III	19
ASM'NİN DİNAMİK MODEL PARAMETREERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BENZETİM TEMELLİ ENİYİLEME ÇALIŞMALARI	19
3.1. ASM Dinamik Model Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Eniyileme Çalışmalarına Giriş	22
3.2. GA Temelli Benzetim Sonuçları	27
3.2.1. Yöntem-I: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin birlikte belirlenmesi	27
3.2.2. Yöntem-II: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi	29
3.2.3. Yöntem-III: MF2'ye göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi	30
3.2.4. Yöntem-IV: MF3'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi	32
3.3. DEA Temelli Benzetim Sonuçları	34
3.3.1. Yöntem-I: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin birlikte belirlenmesi	35
3.3.2. Yöntem-II: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi	36
3.3.3. Yöntem-III: MF2'ye göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi	38
3.3.4. Yöntem-IV: MF3'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi	39
3.4. Parametre Testi İçin Benzetim Çalışmaları	41
3.4.1. GA kullanılarak benzetim ortamında belirlenen parametrelere ilişkin test sonuçları	43
3.4.2. DEA kullanılarak benzetim ortamında belirlenen parametrelere ilişkin test sonuçları	49

3.4.3. GA ve DEA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin test edilmesine ilişkin karşılaştırma ve gözlemler	55
BÖLÜM IV	56
ASM’NİN DİNAMİK MODEL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN GERÇEK ZAMANLI ENİYİLEME ÇALIŞMALARI	56
4.1. GA Temelli Gerçek Zamanlı Eniyileme Sonuçları.....	59
4.1.1. Yöntem-I: MF1’e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin birlikte belirlenmesi.....	60
4.1.2. Yöntem-II: MF1’e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi.....	60
4.1.3. Yöntem-III: MF2’ye göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi.....	61
4.1.4. Yöntem-IV: MF3’e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi.....	61
4.2. DEA Temelli Gerçek Zamanlı Eniyileme Sonuçları	62
4.2.1. Yöntem-I: MF1’e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin birlikte belirlenmesi.....	62
4.2.2. Yöntem-II: MF1’e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi.....	63
4.2.3. Yöntem-III: MF2’ye göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi.....	63
4.2.4. Yöntem-IV: MF3’e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi	64
4.3. Parametre Testi İçin Gerçek Zamanlı Çalışmalar.....	64
4.3.1. GA ile gerçek zamanlı olarak belirlenen parametrelere yönelik test çalışmaları	68
4.3.2. DEA ile gerçek zamanlı olarak belirlenen parametrelere yönelik test çalışmaları	77
4.3.3. GA ve DEA ile gerçek zamanlı olarak belirlenen parametrelere yönelik karşılaştırmalar	86

BÖLÜM V	95
SONUÇLAR	95
KAYNAKLAR.....	98
ÖZGEÇMİŞ	103



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Tek noktalı çaprazlama örneği.....	11
Çizelge 2.2. Çift noktalı çaprazlama örneği	12
Çizelge 2.3. Sıralı çaprazlama örneği.....	12
Çizelge 2.4. Mutasyon operasyonu	13
Çizelge 2.5. GA sözde kodu.....	14
Çizelge 2.6. DEA sözde kodu	18
Çizelge 3.1. Benzetim ortamında kullanılan ASM'ye ait parametreler	21
Çizelge 3.2. Tez kapsamında bütün eniyileme işlemlerinde kullanılan parametre sınırları	26
Çizelge 3.3. Optimizasyonlarda kullanılan GA Parametreleri.....	27
Çizelge 3.4. Yöntem-I ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları	28
Çizelge 3.5. Yöntem-I ile GA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri	28
Çizelge 3.6. Yöntem-II ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları	29
Çizelge 3.7. Yöntem-II ile GA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri	30
Çizelge 3.8. Yöntem-III ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları.....	31
Çizelge 3.9. Yöntem-III ile GA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri	31
Çizelge 3.10. Yöntem-IV ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları.....	33
Çizelge 3.11. Yöntem-IV ile GA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri	33
Çizelge 3.12. Optimizasyonlarda kullanılan DEA parametreleri.....	35
Çizelge 3.13. Yöntem-I ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları	35
Çizelge 3.14. Yöntem-I ile DEA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri	36
Çizelge 3.15. Yöntem-II ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları.....	37
Çizelge 3.16. Yöntem-II ile DEA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri	37

Çizelge 3.17. Yöntem-III ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları	38
Çizelge 3.18.Yöntem-III ile DEA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri	38
Çizelge 3.19.Yöntem-IV ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları eniyileme sonucu	39
Çizelge 3.20.Yöntem-IV ile DEA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri	40
Çizelge 3.21.Benzetim ortamında kullanılan Yöntem-IV'ün algoritma bazında 3 iterasyondaki ortalama yakınsama süresi.....	41
Çizelge 3.22. GA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin yüksüz durumda test edilmesine ilişkin MSE değerleri.....	47
Çizelge 3.23. GA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin yüklü durumda test edilmesine ilişkin MSE değerleri.....	48
Çizelge 3.24. DEA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin yüksüz durumda test edilmesine ilişkin MSE değerleri.....	53
Çizelge 3.25. DEA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin yüklü durumda test edilmesine ilişkin MSE değerleri.....	54
Çizelge 4.1. IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin MSE değeri	59
Çizelge 4.2. Yöntem-I ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları	60
Çizelge 4.3. Yöntem-II ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları	61
Çizelge 4.4. Yöntem-III ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları.....	61
Çizelge 4.5. Yöntem-IV ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları	62
Çizelge 4.6. Yöntem-I ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları.....	62
Çizelge 4.7. Yöntem-II ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları.....	63
Çizelge 4.8. Yöntem-III ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları	63
Çizelge 4.9. Yöntem-IV ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları	64
Çizelge 4.10.GA temelli gerçek zamanlı deneysel çalışmalar için parametreler test sonuçları	75
Çizelge 4.11.GA temelli gerçek zamanlı deneysel çalışmalar için parametreler test sonuçları devamı.....	76
Çizelge 4.12.DEA temelli gerçek zamanlı deneysel çalışmalar için parametreler test sonuçları	84
Çizelge 4.13.DEA temelli gerçek zamanlı deneysel çalışmalar için parametreler test sonuçları devamı.....	85

Çizelge 4.14.GA ve DEA temelli gerçek zamanlı + eş zamanlı deneyler için çok-amaçlı test sonuçları.....	93
--	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. ASM parametre belirleme işlemlerinde kullanılan model	21
Şekil 3.2. Eniyileme akış süreci	24
Şekil 3.3. Doğrudan vektör kontrol sistemi (Yıldız, 2020)	25
Şekil 3.4. Benzetim çalışmaları eniyileme işlemlerinde kullanılan eğitim verisine ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi	26
Şekil 3.5. GA ileYöntem-I için her iterasyonda MSE'nin değişimi	29
Şekil 3.6. GA ile Yöntem-II için her iterasyonda MSE'nin değişimi	30
Şekil 3.7. GA ile Yöntem-III için her iterasyonda MSE'nin değişimi	31
Şekil 3.8. DEA ile Yöntem-I için her iterasyonda MSE'nin değişimi	36
Şekil 3. 9. DEA ile Yöntem-II için her iterasyonda MSE'nin değişimi	37
Şekil 3.10. DEA ile Yöntem-III için her iterasyonda MSE'nin değişimi	39
Şekil 3.11. Yüksek hız senaryosu.....	41
Şekil 3.12. Orta hız senaryosu	42
Şekil 3.13. Düşük hız senaryosu	42
Şekil 3.14. Yüksüz (a) ve yüklü durumda (b) kullanılan t_L değişimleri	43
Şekil 3.15. Yüksek hız yüksüz durumda GA için parametre test sonuçları.....	44
Şekil 3.16. Yüksek hız yüklü durumda GA için parametre test sonuçları.....	44
Şekil 3.17. Orta hız yüksüz durumda GA için parametre test sonuçları.....	45
Şekil 3.18. Orta hız yüklü durumda GA için parametre test sonuçları.....	45
Şekil 3.19. Düşük hız yüksüz durumda GA için parametre test sonuçları	46
Şekil 3.20. Düşük hız yüklü durumda GA için parametre test sonuçları	46
Şekil 3.21. Yüksek hız yüksüz durumda DEA için parametre test sonuçları	50
Şekil 3.22. Yüksek hız yüklü durumda DEA için parametre test sonuçları.....	50
Şekil 3.23. Orta hız yüksüz durumda DEA için parametre test sonuçları	51
Şekil 3.24. Orta hız yüklü durumda DEA için parametre test sonuçları	51
Şekil 3.25. Düşük hız yüksüz durumda DEA için parametre test sonuçları	52
Şekil 3.26. Düşük hız yüklü durumda DEA için parametre test sonuçları	52
Şekil 4.1. Kullanılan deney düzeneğine ait elektriksel bağlantı şeması (Yıldız,2016) ...	57

Şekil 4.2. Gerçek zamanlı deneysel çalışmalarının eniyilenmesinde kullanılan eğitim verisine ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve T_L bilgisi	59
Şekil 4.3. Senaryo 1'e ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi	65
Şekil 4.4. Senaryo 2'ye ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi	65
Şekil 4.5. Senaryo 3'e ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi	66
Şekil 4.6. Senaryo 4'e ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi	66
Şekil 4.7. Senaryo 5'e ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi	67
Şekil 4.8. Senaryo 6'ya ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi	67
Şekil 4.9. Belirlenen parametrelerin test işlemine yönelik oluşturulan simulink modeli	68
Şekil 4.10. Senaryo 1 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları	69
Şekil 4.11. Senaryo 2 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları	70
Şekil 4.12. Senaryo 3 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları	71
Şekil 4.13. Senaryo 4 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları	72
Şekil 4.14. Senaryo 5 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları	73
Şekil 4.15. Senaryo 6 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları	74
Şekil 4.16. Senaryo 1 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları	78
Şekil 4.17. Senaryo 2 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları	79
Şekil 4.18. Senaryo 3 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları	80
Şekil 4.19. Senaryo 4 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları	81
Şekil 4.20. Senaryo 5 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları	82
Şekil 4.21. Senaryo 6 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları	83
Şekil 4.22. Senaryo 1 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları	87
Şekil 4.23. Senaryo 2 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları	88
Şekil 4.24. Senaryo 3 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları	89
Şekil 4.25. Senaryo 4 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları	90
Şekil 4.26. Senaryo 5 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları	91
Şekil 4.27. Senaryo 6 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları	92

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 4.1. Tez çalışmalarında kullanılan gerçek zamanlı deney düzeneği (Yıldız,2016)	57
---	----



SİMGE VE KISALTMALAR

SİMGELER

AÇIKLAMALAR

P_p	Kutup çifti sayısı
L_m	Mıknatıslanma endüktansı
L_s	Stator sargısı öz endüktansı
L_r	Statora indirgenmiş rotor sargısı öz endüktansı
L_{ls}	Stator kaçak endüktansı
L_{lr}	Rotor kaçak endüktansı
L_σ	Stator geçici endüktansı
R_s	Stator faz sargı direnci
R_r	Statora indirgenmiş rotor direnci
ω_m	Mekanik açısal hızı
t_l	Yük momenti
J_l	Eylemsizlik sabiti
B_l	Sürtünme katsayısı
R_c	Bakır kayıpları direnci
$\alpha\beta$	Stator a-fazı referanslı duran eksen takımı

KISALTMALAR

AÇIKLAMALAR

VK	Vektör Kontrolü
AA	Alternatif Akım
DA	Doğru Akım
GA	Genetik Algoritma
MSE	Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error)
HGA	Hibrit Genetik Algoritma
ASM	Asenkron Motor
SKASM	Sincap Kafesli Asenkron Motor
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
HGAPSO	Hibrit Genetik Algoritma Parçacık Sürü Optimizasyonu
BBO	Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon /Biogeography Based Optimization
DEA	Diferansiyel Evrim Algoritması
CSS	Yüklü Sistem Araması /Charged System Search
DEAS	Dinamik Kodlama Optimizasyon Algoritması
GSO	Grup Arama Optimizasyonu
BFO	Bakteriyel Toplayıcı Optimizasyon Algoritması/Bacterial Foraging Optimization Algorithm
PSOBECE	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı Eşdeğer Devre Tahmini/ PSO Based Equivalent Circuit Estimation
WCA	Su Döngüsü Algoritması/ Water Cycle Algorithm
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu

BÖLÜM I

GİRİŞ

Bu bölümde, tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmanın amaç ve kapsamı, tez çalışması ile ilgili ayrıntılı literatür incelmesi ve tez çalışmasının literatüre katkısı takip eden alt bölümlerde sırası ile sunulmuştur.

1.1.Amaç ve Kapsam

Asenkron motorlar (ASM'ler) endüstriyel uygulamalarda doğrusal ve dairesel harekete olan ihtiyacın karşılanması için yaygın olarak kullanılmaktadır. ASM'lerin üretimlerinin kolay olması, ekonomik olmaları, düşük bakım gereksinimleri ve yük değişimlerine karşı rotor hızlarındaki değişimin az olması gibi özellikleri nedenleriyle endüstriyel uygulamalarda geniş kullanım alanlarına sahiptirler (Kılıç, 2010). Belirtilen üstün özelliklerine rağmen yüksek başarımlı ASM kontrolünün gerçekleştirilmesi, doğru akım (DA) motorlarına kıyasla daha zordur (Barut, 2005). Bu durum ASM'lerin parametreleri frekans ve sıcaklığa bağlı olarak değişen 5. dereceden doğrusal olmayan bir model ile tanımlamasından kaynaklanmaktadır.

Alternatif akım (AA) sürücüler için 1960'lı yıllardaki teknolojik gelişmeler ışığında değişken frekanslı eviricilerin ortaya çıkması ile yeni bir dönem başlamıştır. Böylece ASM'ye uygulanan gerilimin frekansının değiştirildiği veya sabit Volt/Hz oranının sağlandığı skalar kontrol yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır (El-Hawary, 1997). Yapılan bu çalışmalar ortaya atılan yöntemlerin temelinde ASM'nin kontrol değişkenlerinin genlikleri değiştirilmektedir. Skalar kontrol yöntemlerinde ASM'nin sürekli sinüzoidal modeli kullanıldığı için bu yöntemler sürekli halde başarılı olabilirken geçici haldeki başarımları tatmin edici değildir. Bu yüzden skalar kontrollü sürücülerin orta dereceli başarıma sahip olduğu ifade edilmektedir (Barut, 2005). Buna rağmen düşük maliyetleri ve uygulama kolaylığı gibi nedenlerden dolayı yüksek başarımlı gerektirmeyen uygulamalarda kullanılmaktadırlar (Yıldız, 2016).

ASM'lerin yüksek başarımlı kontrol gerektiren uygulamalarda kullanılmasına yönelik olarak, K. Hasse tarafından 1969'da ve F. Blaschke tarafından 1971'de vektör kontrol

(VK) olarak isimlendirilen yöntemler önerilmiştir. Önerilen yöntemler sayesinde serbest uyarmalı DA motorlarına benzer şekilde ASM kontrolünün gerçekleştirilebileceğinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Hasse tarafından 1969'da önerilen yöntem "dolaylı" VK yöntemi ve F. Blaschke tarafından 1971'de önerilen yöntem ise "doğrudan" VK yöntemi olarak adlandırılmıştır (Bose, 1997). "VK yöntemlerinin temelini doğrusal olmayan kontrol yapısının sadeleştirilmesi oluşturmaktadır. Bu yapının sadeleştirilmesi için gerilim ve akım vektörlerinin aynı anda hem faz hem de genlik kontrolleri gerçekleştirilmektedir. Akı vektörünün genlik ve konum bilgilerinin ölçülerek elde edilmesinden dolayı F. Blaschke tarafından önerilen yönteme doğrudan VK yöntemi denilmiştir. Akı vektörüne ait genlik ve konum bilgileri doğrudan ölçülmeden ASM parametrelerini içeren matematiksel ifadeler ile dolaylı olarak hesaplandığı için K. Hasse tarafından tanıtılan yöntem dolaylı VK olarak isimlendirilmiştir (Vas vd., 1995).

ASM'lerin çok yaygın kullanılmalarının yanı sıra bu motorların yüksek başarılı kontrollerinde güçlüklerle karşılaşmaktadır. Yüksek başarılı kontrolünün gerçekleştirilebilmesi için çalışma koşulları ile değişen dinamik model parametrelerinin doğru bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Çalışma koşullarına bağlı olarak meydana gelen bu değişimler, sıcaklık ve frekansa bağlı direnç değeri değişimleri, akı seviyesine bağlı endüktans değeri değişimleri ve viskoz sürtünme katsayısı, eylemsizlik ve yük momentinde meydana gelen mekanik belirsizlikler olarak özetlenebilmektedir. Belirtilen çalışma koşulları değişimlerinden dolayı ASM parametrelerinin düşük hatalarla belirlenmesi oldukça zor bir problemdir.

ASM parametrelerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen geleneksel yaklaşımlarda, motor sistemden ayrılarak test işlemleri gerçekleştirilmektedir. Yapılan testler sonucunda motor parametreleri elde edildikten sonra ASM sisteme tekrar dahil edilmektedir. Dolayısıyla, bu yaklaşımlar işgücü ve zaman kaybı gibi sıkıntıları beraberinde getirmektedir. Buna ek olarak özellikle büyük güçteki motorlar için rotor kilitleme deneyinde karşılaşılan zorluklar ve ek donanımlara ihtiyaç duyulması geleneksel yöntemlerin sakıncası olarak ifade edilebilir.

Son yıllarda ASM parametrelerinin geleneksel yöntemlerle belirlenmesi sürecinde karşılaşılan zorlukların giderilmesi amacıyla metasezgisel yöntemlerle eniyileme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu durum, ASM parametrelerinin doğrusal olmayan

ve çok değişkenli bir eniyileme problemi ile belirlenmesinin metasezgisel yöntemlerin doğrusal olmayan doğasına uyumluluk sağlanmasından kaynaklanmaktadır. Metasezgisel algoritmalarından genetik algoritmanın (GA'nın), türevsel ifadeler gerektirmemesi ve optimum çözümü geniş bir arama uzayında taraması, literatürde ASM parametrelerinin belirlenmesinde GA'nın yaygın olarak kullanılmasına neden olmaktadır. Ancak, metasezgisel algoritmaların birbirlerine göre üstünlükleri göz önüne alınarak, literatürde ASM parametrelerinin belirlenmesinde farklı yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır (Kayalı 2019, Gülbahçe ve Karaaslan 2021, Ursem ve Vadstrup 2003).

1.2. Literatür İncelemesi

Literatürde ASM parametrelerinin elde edilmesine yönelik olarak GA, diferansiyel evrim algoritması (DEA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO), yüklü sistem araması (Charged System Search, CSS), dinamik kodlama optimizasyon algoritması (Dynamic Encoding Algorithm for Searches, DEAS) vb. metasezgisel algoritmalar kullanılarak pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaları parametre belirleme işleminde ASM'nin sürekli sinüzoidal hal eşdeğer devre modelini ve dinamik modelini kullanan çalışmalar olarak iki ana grupta incelemek mümkündür. Belirtilen literatür incelemesine ait ayrıntılar takip eden alt bölümlerde sunulmuştur.

1.2.1. Literatürde ASM'nin Sürekli Sinüzoidal Hal Eşdeğer Devre Modelini Kullanan Çalışmalar

Pillay vd. (1997)'de, GA ile 3 farklı ASM'nin (5 Hp 1750 rpm 230 V, 50Hp 1705 rpm 460 V ve 500Hp 1773 rpm 2300 V) stator direnci (R_s), rotor direnci (R_r) ve mıknatıslanma endüktansı (L_m) ile birlikte stator ve rotor kaçak endüktansının ($L_{ls} + L_{lr}$) toplamı olarak tanımlanan kaçak reaktans parametrelerini belirlemiştir. Elde edilen parametre değerleri gerçek zamanlı deneyler ile doğrulanmış ve hata değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca ASM parametrelerinin belirlenmesi probleminde GA ve Newton–Raphson yöntemi karşılaştırılmış olup, Newton–Raphson yönteminin ilk başlangıç değerlerine duyarlılığı vurgulanmıştır. Mutluer (2007)'de R_s , R_r , L_m , L_s , anma momenti, başlangıç momenti, yük momenti değerlerinin belirlenmesi işlemi hem GA hem de hibrit GA (HGA) ile gerçekleştirmiştir. Elde edilen parametre değerleri gerçek zamanlı deneyler ile test edilmiştir. Gerçekleştirilen test çalışmalarında HGA ile elde edilen parametre değerlerinin

GA ile elde edilen parametre değerlerine göre başarımlarının daha iyi olduğu sonucu gösterilmiştir. Kostov vd. (2009)'da R_s , R_r , L_m , stator sargısı öz endüktansı (L_s) ve rotor sargısı öz endüktansı (L_r) parametrelerinin belirlenmesi için GA kullanmış ve gerçekleştirilen çalışmada demir kayıpları dikkate alınmamıştır. Benzetim ortamında gerçekleştirilen çalışmalarda GA ile elde edilen parametre değerleri için hata değeri hesaplanmış ve sunulmuştur. Akhavan ve Mohammadi (2014)'te R_s , R_r , L_m , L_s ve L_r parametreleri PSO, HGA ve hibrit genetik parçacık sürü optimizasyonu (HGAPSO) kullanarak belirlemiştir. Belirtilen bu üç yöntemin başarımları benzetim ortamında test edilmiş olup, önerilen HGAPSO yönteminin HGA ve PSO'ya oranla başarılı sonuçlar verildiği belirtilmiştir. Mossad vd. (2016)'da R_s , R_r , L_s , L_r , L_m ve nüve kayıpları direnci (R_c) parametrelerinin belirlenmesinde bakteriyel toplayıcı optimizasyon algoritması (Bacterial Foraging Optimization Algorithm, BFO) ve GA kullanılmıştır. Gerçek zamanlı deneyler ile gerçekleştirilen karşılaştırmalarda BFO'nun GA'ya oranla daha başarılı olduğu gösterilmiştir. Silva vd. (2020)'de R_s , R_r , L_m , L_s ve L_r parametrelerinin belirlenmesine yönelik DEA tabanlı bir yöntem önermiştir. Elde edilen parametreler gerçek zamanlı deney çalışmaları ile test edilmiştir. Guedes vd. (2019)'da R_s , R_r , L_m , L_s ve L_r parametre değerlerinin tespiti için DEA kullanılmıştır. Önerilen yöntem, yük momenti değişimi ve dengelenmemiş gerilim koşulları altında 1 HP ve 2 HP güçlerine sahip ASM'ler için gerçek zamanlı testler ile doğrulanmıştır. Arslan vd. (2012)'de R_s , R_r , L_s ve L_{lr} parametrelerinin belirlenmesi 3 farklı ASM (2.2 kW, 5.5 kW ve 37 kW) için DEA ve GA ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında aynı popülasyon büyüklüğü, yinleme sayısı ve çaprazlama oranı kullanılarak DEA'nın başarımları GA ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda GA yerine DEA kullanımının yakınsama duyarlılığını artırdığını ve eniyileme süresini azalttığı vurgulanmıştır. Gülbahçe ve Karaaslan (2021)'de 20 farklı ASM için R_s , R_r , L_m , L_s ve L_r parametreleri PSO ile belirlenmiş ve belirlenen parametre değerleri gerçek zamanlı deneyler ile doğrulanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada PSO ile belirlenen parametrelerde ortalama %99,5'in üzerinde bir başarı sağlandığı belirtilmiştir. Sakthivel vd. (2010)'da R_s , R_r , L_m , L_s ve L_r parametreleri PSO ile belirlenmiş ve belirlenen parametre değerleri aynı şartlar altında GA ile belirlenen değerler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen karşılaştırma sonuçlarında, PSO ile elde edilen parametre değerlerinin GA ile elde edilen değerlere göre daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Chayakulkheeree vd. (2017)'de, ASM verimliliğinin analiz edilmesine yönelik olarak R_s , R_r , L_m , L_s , L_r ve R_c parametreleri PSO tabanlı

eşdeğer devre tahmini yöntemi (particle swarm optimization based equivalent circuit estimation, PSOBCE) ile belirlenmiştir. Önerilen yöntem ile ölçülebilen motor akımı, gerçek güç, gerilim ve hız bilgileri kullanılarak parametre tahmini gerçekleştirilmektedir. Önerilen yöntem 3 farklı ASM (1.5 kW, 11 kW ve 30 kW) kullanılarak doğrulanmıştır. Çanakoğlu vd. (2014)'te R_s , R_r , L_m , L_s , L_r , kaçak reaktans, anma momenti, başlangıç momenti ve yük momenti değerlerini CSS, DEA, PSO ve GA ile belirlemiştir. Elde edilen parametre değerleri gerçek zamanlı deneyler ile test edilmiş ve hata değerleri sunulmuştur. Gerçekleştirilen çalışma ile CSS algoritmasının DEA, GA ve PSO algoritmalarında olduğu gibi parametre belirleme çalışmalarında kullanılabileceği gösterilmiştir. Saraçoğlu vd. (2013)'te, biyocoğrafya tabanlı optimizasyon (Biogeography Based Optimization, BBO) yöntemi ile 2 farklı ASM'nin (1.1 kW ve 0.37 kW) R_s , R_r , L_m , L_s ve L_r parametrelerini belirlemiştir. Eniyileme işlemleri maliyet fonksiyonu olarak ASM'nin, anma momenti, kalkınma momenti ve devrilme momenti eşitliklerinin toplamı olarak gerçekleştirilmiştir. BBO algoritmasının başarımı GA ile benzetim ortamında karşılaştırılmış olup, BBO'nun GA'ya kıyasla 2 farklı ASM'nin parametreleri tahmininde daha başarılı olduğu gösterilmiştir. Elkholy vd. (2022)'de R_s , R_r , L_m , L_s , L_r ve R_c parametreleri GA ve su döngüsü algoritması (Water Cycle Algorithm, WCA) ile belirlenmiştir. Elde edilen parametre değerleri 3 farklı motor parametre değerleri ile benzetim ortamında karşılaştırılarak hata oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlarda WCA'nın GA'ya göre daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

1.2.2. Literatürde ASM'nin Dinamik Modelini Kullanan Çalışmalar

Emara vd. (2008)'de R_s , R_r , L_m , stator kaçak endüktansı ve rotor kaçak endüktansının toplamı ($L_{ls}+L_{lr}$) ve J_L parametrelerinin belirlenmesi için yeni geliştirilmiş PSO (Modified PSO) kullanılmıştır. Önerilen yöntem standart bir V/F eviricisi kullanan basit bir başlatma testine dayanmaktadır. Gerçekleştirilen gerçek zamanlı çalışmalarda, geliştirilmiş PSO'nun maliyet fonksiyonu olarak akım hata değeri kullanılmıştır. Geliştirilmiş PSO'nun başarımı, geleneksel PSO ve GA ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin ASM parametrelerinin gerçek değerlerini yakalama yeteneği ve geliştirilmiş PSO kullanılarak elde edilen sonuçların diğer eniyileme tekniklerine göre üstünlüğü gösterilmektedir. Sadasivan ve Mammen. (2011)'de ASM'nin $\alpha\beta$ – eksenindeki dinamik modelini Matlab-Simulink ile gerçekleştirilmiş ve R_s , R_r , L_m , L_s , L_r , eylemsizlik sabiti

(J_L) ve sürtünme katsayısı (B_L) parametreleri farklı hataları kullanan tek-amaçlı GA ile gerçek zamanlı çalışmalarla belirlenmiştir. Maitre vd. (2015)'te ASM'nin abc – eksenindeki dinamik modeli kullanılarak R_s , R_r , L_m , L_s ve L_r parametrelerin belirlenmesi tek-amaçlı ve çok-amaçlı GA yöntemleri (GA, NSGAI ve Q-NSGAI) ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda Q-NSGAI yönteminin NSGA II yöntemine ve tek-amaçlı GA'ya göre daha başarılı sonuç verdiği belirtilmiştir. Ursem ve Vadstrup (2003)'te R_s , R_r , L_m , ($L_s + L_r$) ve J_L parametreleri tek-amaçlı DEA ile akım hataları kullanılarak belirlenmiştir. DEA ile elde edilen parametre değerleri gerçek zamanlı deney çalışmaları ile doğrulanmıştır. Huynh ve Dunnigan (2010)'da dinamik PSO yöntemi ile R_s , R_r , L_m , L_s ve L_r parametrelerinin değerleri belirlenmiştir. Dinamik PSO'nun başarımı GA ve standart PSO ile gerçek zamanlı deneyler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda dinamik PSO'nun diğer yöntemlere kıyasla daha başarılı olduğu vurgulanmıştır. Kim vd. (2005)'te ASM'nin VK ve arıza tespitine yönelik olarak R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} ve J_L parametreleri DEAS ile belirlenmiştir. Bu çalışmada, DEAS'ın başarımı GA ile karşılaştırılmış ve DEAS algoritmasının GA'dan daha hızlı yakınsadığı gösterilmiştir. Ayrıca, ASM'nin dinamik modelindeki tüm parametrelerin eş zamanlı olarak belirlenmesinden dolayı, DEAS algoritmasının ASM vektör kontrolünde olduğu gibi arıza tespitinde de kullanılabileceği ifade edilmiştir Guedes vd. (2018)'de, ASM'nin elektriksel ve mekanik parametrelerinin belirlenmesine yönelik olarak, DEA tabanlı bir yöntem kullanmaktadır. Önerilen yöntem ile R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametreleri belirlenmiştir. Önerilen parametre belirleme yönteminin başarımı, tek-amaçlı akım hataları, tek-amaçlı akım ve hız hatalarının toplamı olarak belirlenen maliyet fonksiyonları kullanılarak test edilmiştir. Önerilen parametre belirleme yöntemi benzetim ortamında ve gerçek zamanlı deney çalışmaları ile test edilmiş olup, başarımının yüksek olduğu vurgulanmıştır. Kayalı (2019)'da R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametreleri tek-amaçlı akım hatası, tek-amaçlı hız hatası, çok-amaçlı akım ve hız hatasını kullanan GA ile hem benzetim ortamında hem de gerçek zamanlı deneyler ile belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, çok-amaçlı GA'dan elde edilen parametre setinde Öklid (Euclid) mesafesine göre gerçekleştirilen parametre seçiminin en başarılı yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Bu tez kapsamında;

- Yöntem-I'de $R_s, R_r, L_m, L_{ls}, L_{lr}$ parametreleri tek-amaçlı akım hatası kullanılarak GA ve DEA ile,
- Yöntem-II'de $R_s, R_r, L_m, L_{ls}, L_{lr}, J_L$ ve B_L parametreleri tek-amaçlı akım hatası kullanılarak DEA ile,
- Yöntem-III'te $R_s, R_r, L_m, L_{ls}, L_{lr}, J_L$ ve B_L parametreleri tek-amaçlı hız hatası kullanılarak DEA ile,
- Yöntem-IV'te $R_s, R_r, L_m, L_{ls}, L_{lr}, J_L$ ve B_L parametreleri çok-amaçlı akım ve hız hatası kullanılarak DEA ile,

belirlenmiştir.

Son olarak, Kayalı (2019)'da GA ile Yöntem-II, III ve IV için popülasyon sayısı 50 ve iterasyon sayısı 200 seçilerek gerçekleştirilen çalışma, DEA ile eşit şartlarda adil bir karşılaştırma yapılabilmesi için popülasyon sayısı 200 ve iterasyon sayısı 100 seçilerek tekrarlanmıştır. Bu tez kapsamında, GA ile gerçekleştirilen tekrarlamalı çalışmalarda, benzetim çalışmaları ve gerçek zamanlı çalışmaların uyumlu olması amacıyla, benzetim çalışmalarında da gerçek zamanlı deneylerde kullanılan ASM parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca, Kayalı (2019)'da benzetim ortamında gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında kullanılan veride L_{ls} ve L_{lr} parametreleri eşit olmalarına rağmen, eniyileme çalışmalarında eşit kabul edilmek yerine, iki farklı değere sahip parametre olarak optimize edildikleri gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu tez kapsamında GA ile gerçekleştirilen çalışmalarda hem benzetim ortamında hem de deneysel çalışmalarda L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin birbirinden farklı olduğu durum için eniyileme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu durum, bu tez kapsamında GA ile Yöntem-II, III ve IV için benzetim ortamında gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarının Kayalı (2019)'da benzetim ortamında gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarından diğer bir farkını oluşturmaktadır.

Elde edilen sonuçlar,

- Benzetim çalışmalarında DEA'nın hem tek-amaçlı hem de çok-amaçlı durumlarda GA'ya oranla daha başarılı olduğu,
- Gerçek zamanlı deneysel çalışmalarda hem tek-amaçlı hem de çok-amaçlı eniyileme yöntemlerinin kullanıldığı durumlarda, Ga'nın DEA'ya kıyasla daha başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

BÖLÜM II

META SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Eniyileme problemleri, bilinmeyen parametrelerin belirli sınırları sağlayacak şekilde elde edildiği problemler olarak tanımlanabilirler (Karaboğa, 2020). Günümüzde pek çok farklı problemin çözümü için farklı eniyileme algoritmaları kullanılmaktadır. Bu tip problemlerde çözüm uzayını sezgisel olarak tarayarak daha kısa sürede çözüme ulaşan sezgisel algoritmaların kullanılması üstünlük sağlamaktadır (Çelik, 2013). Günümüzde temel sezgisel yöntemlerin birleşerek etkili kullanımı sonucunda metasezgisel algoritmalar geliştirilmiştir.

Metasezgisel algoritmalar, geleneksel yöntemlerin yeterli çözüm üretemediği karmaşık eniyileme problemlerine etkili çözümler üretebilen yaklaşık algoritmalarlardır. Metasezgisel algoritmalar, farklı problemlere kolayca uyarlanabilmektedir. Günümüzde mühendislik, endüstri gibi pek çok alanda karmaşık problemleri çözümlemek amacıyla kullanılan Metasezgisel algoritmalar oldukça başarılı sonuçlar vermektedir.

Metasezgisel algoritmalar en uygun ya da en uyguna yakın çözümlerin elde edilmesi amacıyla arama uzayını etkin bir biçimde inceler. Bu algoritmalar basit yerel arama yöntemlerine ek olarak karmaşık öğrenme süreçleri gibi birçok teknikten oluşmaktadır. Bu teknikler arama uzayının belirli bir alana takılı kalmasını önlemektedir. Bu tez kapsamında kullanılan GA ve DEA yaygın olarak kullanılan Metasezgisel algoritmalarındandır.

2.1.Genetik Algoritma

GA yaklaşımı, 1970'lerin başında John Holland'ın makine öğrenmesi üzerine yaptığı çalışmalarda canlıların evrimden ve değişimden etkilendiklerini keşfetmesi ve bu durumların sonucu olarak genetik evrim sürecinde meydana gelen değişikliklerin bilgisayar ortamına aktarmasıyla başlamıştır. Holland'ın geliştirdiği bu mekanik yapı, öğrenme yerine çok sayıda “çiftleşme, çoğalma, değişim” gibi genetik süreçler sonucunda yeni bireylerin elde edileceğini göstermiştir.

GA problemlere çözüm üretirken tek bir çözüm üretmek yerine farklı birçok çözüm üreterek arama uzayında aynı anda birden fazla noktayı değerlendirebilmektedir. Bu sayede GA ile problemin bütünsel çözümüne ulaşma olasılığı yükselmektedir.

GA, karmaşık ve çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre global-optimum çözümü arar. Çözüm sonucunda elde edilen sonuçlar birbirinden farklı, her biri çok boyutlu bir uzayda vektördür. GA, bu çözüm uzayında arama yaparken uzayın tamamını değil yalnızca bir kısmını tarar. Bu sayede daha etkin bir arama yapılarak çözüme kısa sürede ulaşılmasını sağlar. Çözümlerden oluşan popülasyonları eş zamanlı inceleyerek yerel en iyi çözümlere takılmamaları bu algoritmanın en önemli üstünlüğü olarak ifade edilebilir. GA, çözüm uzayını oluştururken olasılık kurallarına göre çalıştığı için ne kadar iyi bir sonuç alınacağını önceden bilinmesi mümkün değildir.

GA'nın uygulandığı problem üzerindeki başarısını ölçmede kullanılan en temel faktör çözümü temsil eden bireylerdir. GA, literatürde kullanılan diğer Metasezgisel yöntemlerde olduğu gibi çözüm için tek bir yapı geliştirmek yerine bir küme oluşturur. Oluşturulan bu küme eniyilemesi gerçekleştirilen problemin olası çözümlerini içerir. Bu kümeye 'popülasyon' denilmektedir. Popülasyonda her bir bireyin, problem çözümünde en iyi sonuç olduğunu belirleyen bir maliyet fonksiyonu bulunmaktadır. Bu maliyet fonksiyonuna göre en yüksek değere sahip birey ile popülasyondaki diğer bireylerin çaprazlanması gerçekleştirilir. Bu çaprazlamalar sonucunda popülasyonda yeni bireyler meydana gelmektedir ve bu bireyler çaprazlama esnasında kendilerini meydana getiren ebeveynlerinin özelliklerini taşımaktadır. Popülasyonda başarısız maliyet değerine sahip olan bireyler çaprazlamalar esnasında daha az seçilmekte ve bu sayede de bir süre sonra nüfus dışında bırakılmaktadır. Yapılan çaprazlamalar ile her bir çaprazlamada popülasyondaki başarılı maliyet değerine sahip bireylerin oluşturulan her bir nesilde bu özellikleri yeni nesile aktarması sağlanır. Maliyet değeri yüksek olan ne kadar çok birey çaprazlamalar ile yeni bireyler oluşturursa, çözüm uzayı içerisinde o kadar iyi bir çalışma alanı oluşturulur ve yapılan çalışmanın başarısı artar.

Eniyileme işlemi yapılan problemde en iyi sonucun bulunabilmesi için,

- Bireyler doğru gösterilmelidir.
- Maliyet fonksiyonu etkin bir şekilde oluşturulmalıdır.
- Genetik operatörlerden probleme en uygun olanı seçilmelidir.

Bu işlem adımları sayesinde problemin çözüm kümesi bir noktada birleşecektir.

GA, geniş arama uzayına sahip problemleri başarılı bir şekilde çözmektedir. GA'nın asıl amacı çözüm tekniği bulunamayan problemlere çözüm aramaktır (Mutluer,2007). GA, aramaya noktalar kümesinde başladığı için genellikle yerel en iyi çözümde takılmaz. Bu algorithmada eniyileme işlemlerini gerçekleştirirken türev işlemi yerine maliyet fonksiyonu kullanılır.

2.1.1. Genetik Algoritma Temel Kavramları

Takip eden alt bölümlerde GA'ya ait temel kavramlar ve bu kavramlara ait bilgiler sunulmuştur.

2.1.1.1.Gen

Kendi başına anlamı olan ve yapısında probleme ait genetik bilgiyi taşıyan en küçük birime gen denilmektedir. Genler 0 veya 1 ile ifade edilen bir bit veya bit dizisinden oluşabilir. Aynı zamanda genler A, B gibi karakterler şeklinde de ifade edilebilirler.

2.1.1.2.Kromozom

Bir ya da birden fazla genin bir araya gelmesiyle kromozomlar meydana gelir. Optimize edilen probleme ait tüm bilgiler kromozomlarda yer alır. Popülasyondaki bireyler kromozoma karşılık gelir. Kromozomlar, GA yaklaşımındaki en önemli birimdir. Bu nedenle bu birimin iyi ifade edilmesi gerekir.

2.1.1.3.Popülasyon

Probleme yönelik çözümleri içeren bireylerin oluşturduğu topluluktur. Popülasyondaki birey sayısı kullanılan probleme ve problemi tasarlayan kişiye bağlıdır. Problemin çözüm süresi popülasyondaki birey sayısına bağlıdır. Popülasyondaki birey sayısının aşırı küçük olması çözüm uzayının yetersiz örneklemesine sebep olacaktır ve kontrollü ıraksama zorlaşacaktır. Bu durumda çözüm belirli bir alt optimal noktaya doğru sürüklenecektir. Popülasyondaki birey sayısının aşırı büyük olması durumunda da bir neslin oluşma süresi

uzun sürecektir. Özellikle gerçek zamanlı çalışmalarda çalışma süresinin uzaması istenmeyen bir durumdur.

Bireyler üzerinde işlem yapılmasına olanak sağlamak amacıyla genetik operatörler kullanılmaktadır. Bu operatörlerin probleme göre uygun olarak kullanılmasıyla GA'nın başarımında iyileşmeler meydana gelmektedir. Diğer bir ifadeyle, karmaşık problemlerin çözümünde GA gelişmiş ve probleme göre tasarlanmış operatörlere ihtiyaç duymaktadır. Bu operatörler devam eden alt başlıklarda detaylı olarak açıklanmaktadır.

2.1.1.4.Çaprazlama Operatörü

Çaprazlama operatörü, genetik çaprazlama olayıyla ortaya çıkan melez yapıların üretilmesini sağlar. Çözüm havuzunda bulunan 2 birey rastgele seçilir ve çaprazlama operatörü bu iki bireyden yeni iki birey oluşturmak için kullanılır. Çaprazlamada kullanılan ilk bireyler (ebeveynler) çaprazlama operatörünün kullanılmasından sonra ortaya çıkan yeni bireyler (çocuklar) ile mevcut nesilde tutulabilir ya da ebeveynler ile çocuklar yer değiştirir. Bu sayede maliyet fonksiyonu kötü olan bireyler popülasyondan atılır. Yeni bireyler popülasyonda tutulup eski bireyler atıldığı için popülasyon büyüklüğünde herhangi bir değişim meydana gelmez. Popülasyon büyüklüğü korunur.

Çaprazlama operatörünü eski bireyler üzerinde rastgele seçilen bir noktadan kesilmesiyle gerçekleştirilir. Kesilen yapılar iki yeni birey üretilmesi amacıyla yer değiştirilerek birleştirilir. Bu sayede iki yeni birey oluşur. Çaprazlama operatörünün amacı, iyi çözümlerden daha iyi çözümler üretmek için yapıların elemanlarını birleştirmektir (Karaboğa, 2020).

Çizelge 2.1. Tek noktalı çaprazlama örneği

Birinci Birey	111 001101
İkinci Birey	100 001011
Birinci Yeni Birey	111001011
İkinci Yeni Birey	100001101

Çizelge 2.1.'de 2 birey tek bir noktadan çaprazlama yaparak iki yeni birey meydana getirmektedir.

Çizelge 2.2. Çift noktalı çaprazlama örneği

Birinci Birey	111 001 101
İkinci Birey	100 001 011
Birinci Yeni Birey	111001101
İkinci Yeni Birey	100001011

Çizelge 2.2.'de iki bireyin belirli iki farklı noktadan gen değişimleri yaparak çaprazlama yoluyla iki yeni birey oluşturmaktadır.

Çizelge 2.3. Sıralı çaprazlama örneği

Birinci Birey	123 456 78
İkinci Birey	481 762 35
Birinci Yeni Birey	143 762 58
İkinci Yeni Birey	281 456 37

Diğer bir çaprazlama yöntemi olan sıralı çaprazlamada genler arasında rastgele bir aralık belirlenir. Eski 2 bireyde rastgele belirlenen aralıkta bulunan genler karşılıklı olarak yer değiştirir. Aralık dışında kalan genler tekrarlı genlerden oluşursa, bu genler yanlarında yer alan gen ile yer değiştirir. Sıralı çaprazlama yöntemi kullanılarak yeni bireylerin oluşturulması örneği Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

2.1.1.5. Mutasyon Operatörü

Mutasyon operatörü doğal mutasyon olayının benzeri olarak çalışmakta ve GA'nın başarımında temel rol oynamaktadır. Mutasyon genlerde değişiklik yapılmasını sağlamaktadır.

Mutasyon operatörü olmayan bir GA, optimal çözümü ancak çözüm elemanlarının başlangıç popülasyonunda bulunması durumunda bulabilir. Mutasyon sayesinde

görülmemiş ve araştırılmamış bireylerin bulunması sağlanır. Mutasyon operatörü kullanılarak problemin çözüm uzayında yön değişiklikleri yaparak çözümün kısır döngüye girmesi önlenir. Mutasyon operatörü kullanılmayan GA için iyi bir başarımla, ancak popülasyonun oldukça büyük tutulmasıyla garanti edilebilir (Karaboğa, 2020). Aynı zamanda mutasyon işlemiyle GA'nın alt optimal çözümlere takılması engellenir. Çünkü mutasyon daha önceden atılmış iyi çözüm elemanlarının tekrar üretilmesini sağlar (De Jong,1975).

Çizelge 2.4. Mutasyon operasyonu

	Değişime uğrayan bitler
	↓ ↓
Eski Birey	1 1 1 0 0 1 1 0 1
Yeni Birey	1 1 0 0 0 1 1 1 1

Çizelge 2.4' te eski bireyde meydana gelen mutasyon sonucunda oluşan yeni birey gösterilmektedir.

2.1.1.6. Seçim Operatörü

Seçme amacıyla GA'da yaygın olarak Rulet Tekerleği (Roulette), Sıralama (Ranking-Based, Uniform) ve Turnuva (Tournament) yöntemleri kullanılmaktadır. Rulet tekerleği yönteminde, popülasyonda yer alan tüm bireylerin uygunluk değerleri toplandıktan sonra her bir bireyin bu popülasyondaki seçilme olasılıkları bireylerin uygunluk değerlerinin toplam değere olan oranı olarak belirlenir. Rulet tekerleği yönteminde her bir bireyin seçilme şansı o andaki uygunluk değeri ile orantılı olmasından dolayı rulet tekerleği yöntemi orantısal yöntem olarak tarif edilir. Bir diğer seçim yöntemi olan sıralama yönteminde popülasyondaki tüm bireyler kalite değerlerine göre en iyiden en kötüye doğru sıralanır ve bunların içerisinde belirli bir kalite seviyesini aşanlar eşleştirme havuzuna kopyalanır (Karaboğa,2020). Turnuva yönteminde popülasyondaki her bir bireyin yarışması için belirli sayıda rastgele bireylerin seçilmesiyle alt popülasyon oluşturulur. Bireyler, oluşturulan alt popülasyondaki bireylerle kalite değerlerine göre yarışarak kazanan havuza seçilir. Bu yarışma ve seçme işlemi popülasyon büyüklüğüne göre tekrarlanmaktadır. Çizelge 2.5'te GA sözde kodu verilmiştir. Burada x_k nüfusu, np

nüfus büyüklüğünü, c_r ve m_r sırasıyla çaprazlama ve mutasyon olasılıklarını, $f(\cdot)$ maliyet fonksiyonunu ifade etmektedir.

Çizelge 2.5. GA sözde kodu

```

Algoritma: GA (np,  $c_r$ ,  $m_r$ )
//başlangıç neslini oluştur:
 $k = 0$ ;
 $x_k$ =np adet rastgele birey oluştur;
// $x_k$ 'yi değerlendir:
 $\forall x \in x_k$  için  $f(x)$ 'yi hesapla;
do
{   // k+1 nesli oluştur:
    // 1. Seçme:
     $x_k$ 'dan  $(1-c_r) \times np$  adet birey seç ve  $x_{k+1}$ 'e yerleştir;
    // 2. Çaprazlama:
     $x_k$ 'dan  $c_r \times np$  adet bireyi seç ve çift oluştur; yavru bireyleri oluştur;  $x_{k+1}$ 'e yerleştir;
    // 3. Mutasyon:
     $x_{k+1}$ 'den  $m_r \times np$  adet bireyi seç ve mutasyon işlemini uygula;
    //  $x_{k+1}$  'i değerlendir:
     $\forall x \in x_{k+1}$  için  $f(x)$ 'yi hesapla;
    // Arttırma:
     $k = k + 1$ ;
}
while  $k \leq \text{Maksimum Nesil}$ 

```

2.1.2. GA'nın Başarımını Etkileyen Faktörler

GA'nın başarımını etkileyen faktörler;

- *Popülasyon büyüklüğü*, GA'nın çalışma zamanının belirlenmesi ve araştırmanın alt optimuma sürüklenmesinin önlenmesinde aktif rol oynamaktadır. Bu yüzden çalışma gerçekleştirilirken popülasyon büyüklüğü probleme uygun olarak belirlenmelidir.
- *Çaprazlama oranı*, yeni bireylerin oluşturulmasında popülasyondaki bireylere uygulanacak olan çaprazlama operatörünün frekansını belirleyen parametredir. Çaprazlama oranı düşük seçilirse yeni nesillere çok az sayıda yeni birey eklenir. Çaprazlama oranının çok yüksek seçilmesi durumunda ise çözüm uzayı çok hızlı

bir şekilde araştırılır. Ancak çaprazlama operatörünün çok yüksek olduğu durumda benzer veya daha iyi bireyler üretilmeden kaliteli bireyler çok hızlı bozulacağı için algoritmanın başarımında düşüşler meydana gelmektedir.

- *Mutasyon oranı*, çözüm uzayının yeni bölgelere girmesini sağlar. Mutasyon oranının çok yüksek seçilmesi ile çözüm uzayında rastgelelik artacak ve çözüm çok hızlı olarak ıraksanacaktır. Bu durum mutasyonun kullanım amacı olan popülasyonda gelişmelere değil aksine tahribatına sebep olacaktır. Mutasyon oranının çok düşük seçilmesi durumunda ise ıraksama oranını aşırı düşürecek ve çözüm uzayının tam olarak araştırılamamasına neden olacaktır. Bu durum da algoritmanın alt optimal çözümde takılı kalmasına neden olacaktır.

2.2.Diferansiyel Evrim Algoritması

Storn ve Price tarafından 1995 yılında evrim tabanlı DEA tanıtılmıştır. Bu yöntem yapısının basit olmasına rağmen, mühendislik ve benzer bilim alanlarında gerçek-değerli eniyileme problemlerine çözüm üretilmesine yönelik olarak geliştirilmiş, etkili bir algoritmadır (Storn ve Price, 1995; Karaboğa, 2020). DEA, GA temellidir. GA ile benzer operatörler kullanmaktadır. Ancak bu operatörlerin yapısı ve kullanım şekilleri yönünden GA'dan ayrılmaktadır.

2.2.1. Kodlama

Nümerik eniyilemenin gerçekleştirildiği algoritmalarda parametreler bit dizileri veya gray kodlama şeklinde kodlanmaktadır. Ancak bu yöntemler ile parametrelerin geniş dinamik sahasının verimli bir şekilde temsil edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenden dolayı DEA'da geniş dinamik sahalarının daha iyi anlaşılması adına kayan noktalı sayılar kullanımı ile kodlama gerçekleştirilmektedir (Karaboğa, 2020).

2.2.2. Popülasyon Yapısı ve Parametre Sınırları

DEA'da popülasyon algoritmanın çalışma süresince sabit tutulmaktadır. DEA'da kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir;

- *Değişken sayısı (D)*, minimum 1 değerini alabilir. D amaç vektöründeki parametre sayısına karşılık gelmektedir.

- *Jenerasyon sayısı (G)*, oluşturulacak olan popülasyonun kaç jenerasyon boyunca tutulacağını belirtir.
- *Popülasyon büyüklüğü (NP)*, popülasyon büyüklüğünü belirtir.
- *Ölçekleme faktörü (F)*, kullanıcı tarafından belirlenir.
- *Çaprazlama oranı (CR)*, olasılığı temsil etmesinden dolayı 0 ile 1 arasında değer alır.
- x^{min}, x^{max} , parametre sınırlarıdır.

Parametreler için belirlenen maksimum ve minimum sınırlar algoritmanın araştırma yapacağı bölgeyi belirlemektedir. DEA parametrelerinden NP üçten büyük bir değer almalıdır. Çünkü DEA’da yeni kromozomların üretilmesi için üç kromozoma ihtiyaç duyulmaktadır.

$$D, G_{max} \text{ NP} \geq 4, F \in (0,1 +), CR \in [0,1] \quad (2.1)$$

Başlangıç nüfusu ise;

$$\forall i \leq NP \wedge \forall j \leq D: x_{j,i,G=0} = x_j^{min} + rand_j[0,1] (x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (2.2)$$

$$i = (1,2, \dots, NP), j = (1,2, \dots, D), G = 0, rand_j [0,1] \in [0,1] \quad (2.3)$$

ifadesi ile oluşturulur.

2.2.3. Mutasyon

Mutasyon genler üzerinde yapılan rastgele değişikliklerdir. Mutasyon işlemindeki temel amaç çözüm uzayı vektörlerinin istenilen yönde ve istenilen miktar kadar hareketini sağlamaktır. Bu sayede mutasyon çözüm uzayında genişlemelere sebep olmaktadır. Böylelikle daha çok bölge araştırılıp farklı çözümlere ulaşılmış olur. DEA’da mutasyon işlemi gerçekleştirilirken mutasyona tabii tutulan kromozom dışında 3 farklı kromozom seçilerek gerçekleştirilir. İlk iki kromozomun farkları alınarak F parametresiyle çarpılır ve ağırlıklandırılmış fark üçüncü kromozom ile toplanır:

$$M_k^i = x_{r1}^i + F \times (x_{r2}^i - x_{r3}^i), i = (1, 2, \dots, n); \quad (2.4)$$

$$r_1, r_2, r_3 \in \{1, 2, \dots, NP\}, r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i \text{ (rastgele seçilmiş)} \quad (2.5)$$

2.2.4. Çaprazlama

Çaprazlama işleminde, deneme vektörü (C_k^i) mutasyon işlemi sonrasında elde edilen amaç vektörünün kullanılması ile oluşturulur. Çaprazlama işleminde CR , 0 ile 1 değer aralığında olan çaprazlama oranını ifade eder. Aynı zamanda CR değeri deneme vektörünün mevcut kromozomdan seçilme ihtimalini ifade ederken, $1 - CR$ deneme vektörünün ağırlıklandırılmış fark kromozomundan seçilmesi ihtimalidir (Yıldız, 2016). Çaprazlama fonksiyonu;

$$C_k^i = \begin{cases} M_k^i, & \text{eğer } rand^i [0,1] \leq CR \\ P_k^i, & \text{diğer} \end{cases}, i = (1, 2, \dots, n); \quad (2.6)$$

şeklinde tanımlanır.

2.2.5. Seçim

Çaprazlama sonucunda yeni üretilen bireylerin popülasyona girme şartları tanımlanmaktadır. DEA’da yeni üretilen bireyler ile ebeveynleri karşılaştırılarak daha iyi olan bireylerin popülasyonda kalması sağlanır. Seleksiyon fonksiyonu;

$$P_{k+1}^i = \begin{cases} C_k^i, & \text{eğer } f(C_k^i) \leq f(P_k^i) \\ P_k^i, & \text{diğer} \end{cases}, i = (1, 2, \dots, n); \quad (2.7)$$

ile ifade edilir.

Çizelge 2.6’da DEA algoritmasının gerçekleştirilmesine yönelik sözde kod verilmiştir. Nüfus ifadesi P_k ile, nüfusun mutasyondan sonraki hali ise M_k ile gösterilmektedir. Kodda yer alan C^k ifadesi çaprazlama sonrası nüfusu, NP nüfus büyüklüğünü ve F parametresi de diferansiyel değişimi kontrol eden sabiti temsil etmektedir. CR çaprazlama oranı, $f(.)$ kodda maliyet fonksiyonunu temsil eden parametrelerdir.

Çizelge 2.6. DEA sözde kodu

Algoritma: DGA (NP, F, CR)

//Karşıt-tabanlı başlangıç nüfusu:

$k = 0;$

Po için rastgele n adet rastgele birey oluştur;

// Po 'a ait maliyet değerlerini hesapla:

Po 'daki her birey için $f(x)$ 'i hesapla;

do {

//Sonraki Nesil:

//1. Mutasyon:

Po 'dan, Po 'daki her birey için rastgele üç adet birey seç;

$(x_{r1}, x_{r2}, x_{r3}; r1 \neq r2 \neq r3);$

$M_k^i = x_{r1}^i + F \times (x_{r2}^i - x_{r3}^i), i = (1, 2, \dots, n);$

//2. Çaprazlama:

$$C_k^i = \begin{cases} M_k^i, & \text{eğer } \text{rand}^i[0,1] \leq CR \\ P_k^i, & \text{diğer} \end{cases}, i = (1, 2, \dots, n);$$

// Ck 'ya ait maliyet değerlerini hesapla:

Ck 'daki her birey için $f(x)$ 'i hesapla;

//3. Seçme:

$$P_{k+1}^i = \begin{cases} C_k^i, & \text{eğer } f(C_k^i) \leq f(P_k^i) \\ P_k^i, & \text{diğer} \end{cases}, i = (1, 2, \dots, n);$$

// En iyi bireyi güncelle:

// Arttırma:

$k = k + 1;$

while $k \leq \text{Maksimum Nesil}$

BÖLÜM III

ASM'NİN DİNAMİK MODEL PARAMETREERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BENZETİM TEMELLİ ENİYİLEME ÇALIŞMALARI

Bu bölümde ASM'nin duran eksen takımındaki ($\alpha\beta$ – eksenindeki) dinamik modeli Matlab-Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. GA ve DEA algoritmaları kullanılarak ASM'nin elektriksel ve mekanik parametrelerinin tek-amaçlı akım hatası, tek-amaçlı hız hatası, çok-amaçlı akım ve hız hatalarına göre belirlenmesi benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir. Tek-amaçlı akım hataları kullanılarak yapılan eniyileme çalışmalarında iki farklı yöntem kullanılmış olup, birinci yöntem ile sadece elektriksel parametrelerin belirlenmesi ikinci yöntem ile ise elektriksel ve mekanik parametrelerin birlikte belirlenmesi işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Sadece elektriksel parametrelerin belirlenmesi işleminde, hız bilgisi dışarıdan giriş olarak uygulanmış olup, ASM modelinin elektriksel yanına ilişkin Eşitlik (3.1)-(3.4) (dört eşitlik) kullanılarak motor parametrelerinin metasezgisel algoritmalar ile belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Elektriksel ve mekanik parametrelerin birlikte tek-amaçlı akım hatası, tek-amaçlı hız hatası, çok-amaçlı akım ve hız hatalarına göre belirlendiği yöntemlerde ise, ASM'nin dinamik modelinde bulunan elektriksel ve mekanik yanlarına ilişkin Eşitlik (3.1) -(3.5) (beş eşitlik) kullanılmıştır. Benzetim çalışmalarında ASM'nin duran eksen takımındaki ($\alpha\beta$ – eksenindeki) dinamik modeli (Eşitlik (3.1) -(3.5)) Matlab-Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu modelde, Eşitlik (3.1) -(3.4) elektriksel ve Eşitlik (3.5) mekanik yana ilişkin matematiksel ifadeleri temsil etmektedir (Barut,2005).

$$\frac{di_{sa}}{dt} = -\left(\frac{R_s}{L_\sigma} + \frac{L_m^2 R_r}{L_\sigma L_r^2}\right) i_{sa} + \left(\frac{L_m R_r}{L_\sigma L_r^2}\right) \varphi_{ra} + \left(\frac{L_m}{L_\sigma L_r} p_p \omega_m\right) \varphi_{r\beta} + \frac{1}{L_\sigma} V_{s\alpha} \quad (3.1)$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = -\left(\frac{R_s}{L_\sigma} + \frac{L_m^2 R_r}{L_\sigma L_r^2}\right) i_{s\beta} + \left(\frac{L_m R_r}{L_\sigma L_r^2}\right) \varphi_{r\beta} + \left(\frac{L_m}{L_\sigma L_r} p_p \omega_m\right) \varphi_{ra} + \frac{1}{L_\sigma} V_{s\beta} \quad (3.2)$$

$$\frac{d\varphi_{ra}}{dt} = \left(\frac{R_r}{L_r} L_m\right) i_{sa} + \left(-\frac{R_r}{L_r}\right) \varphi_{ra} - (p_p \omega_m) \varphi_{r\beta} \quad (3.3)$$

$$\frac{d\varphi_{r\beta}}{dt} = \left(\frac{R_r}{L_r} L_m\right) i_{s\beta} + \left(-\frac{R_r}{L_r}\right) \varphi_{r\beta} + (p_p \omega_m) \varphi_{ra} \quad (3.4)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \left(-\frac{3}{2} \frac{P_p L_m}{J_l L_r} \varphi_{r\beta}\right) i_{sa} + \left(\frac{3}{2} \frac{P_p L_m}{J_l L_r} \varphi_{ra}\right) i_{s\beta} + \left(-\frac{B_l}{J_l}\right) \omega_m - \frac{1}{J_l} t_l \quad (3.5)$$

Eşitlik (3.1)-(3.5)'te sürekli zamanda sunulan ASM'nin dinamik modeli ifadeleri Eşitlik (3.6)'daki Euler yaklaşımı kullanılarak ayrıklaştırılabilir (Eşitlik (3.7)-(3.11)):

$$\frac{dx(t)}{dt} \approx \frac{x(k+1)-x(k)}{T} \quad (3.6)$$

$$\frac{i_{sa}(k+1)-i_{sa}(k)}{T} = -\left(\frac{R_s}{L_\sigma} + \frac{L_m^2 R_r}{L_\sigma L_r^2}\right) i_{sa}(k) + \frac{L_m R_r}{L_\sigma L_r^2} \varphi_{ra}(k) + \frac{L_m}{L_\sigma L_r} p_p \omega_m \varphi_{r\beta}(k) + \frac{1}{L_\sigma} V_{sa}(k) \quad (3.7)$$

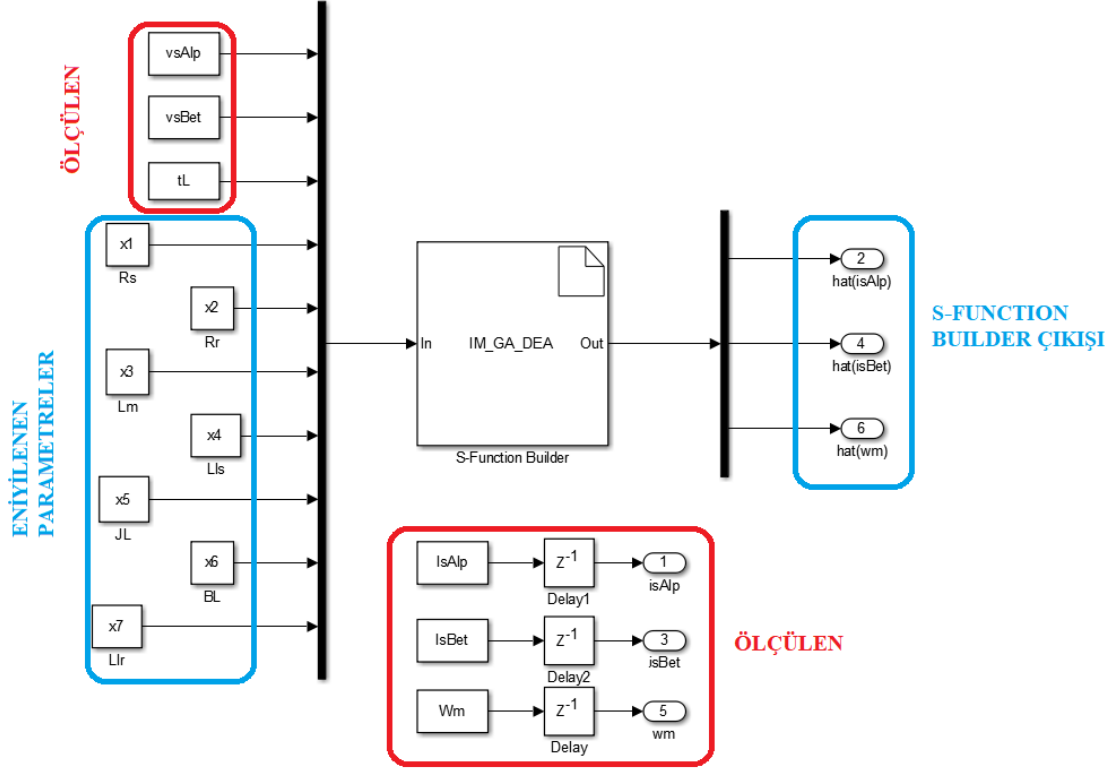
$$\frac{i_{s\beta}(k+1)-i_{s\beta}(k)}{T} = -\left(\frac{R_s}{L_\sigma} + \frac{L_m^2 R_r}{L_\sigma L_r^2}\right) i_{s\beta}(k) + \frac{L_m R_r}{L_\sigma L_r^2} \varphi_{r\beta}(k) + \frac{L_m}{L_\sigma L_r} p_p \omega_m \varphi_{ra}(k) + \frac{1}{L_\sigma} V_{s\beta}(k) \quad (3.8)$$

$$\frac{\varphi_{ra}(k+1)-\varphi_{ra}(k)}{T} = \left(\frac{R_r}{L_r} L_m\right) i_{sa}(k) - \frac{R_r}{L_r} \varphi_{ra}(k) - p_p \omega_m \varphi_{r\beta}(k) \quad (3.9)$$

$$\frac{\varphi_{r\beta}(k+1)-\varphi_{r\beta}(k)}{T} = \left(\frac{R_r}{L_r} L_m\right) i_{s\beta}(k) - \frac{R_r}{L_r} \varphi_{r\beta}(k) + p_p \omega_m \varphi_{ra}(k) \quad (3.10)$$

$$\frac{\omega_m(k+1)-\omega_m(k)}{T} = -\frac{3}{2} \frac{P_p L_m}{J_l L_r} \varphi_{r\beta} i_{sa}(k) + \left(\frac{3}{2} \frac{P_p L_m}{J_l L_r} \varphi_{ra}\right) i_{s\beta}(k) + \left(-\frac{B_l}{J_l}\right) \omega_m(k) - \frac{1}{J_l} t_l(k) \quad (3.11)$$

ASM elektriksel ve mekanik parametrelerinin meta sezgisel algoritmalar kullanılarak belirlenmesi işlemlerinde Eşitlik (3.7)-(3.11)'de sunulan ayrıklaştırılmış dinamik ASM modeli Matlab-Simulink ortamında S-Function Builder bloklarından yararlanılarak Şekil 3.1'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.1. ASM parametre belirleme işlemlerinde kullanılan model

Şekil 3.1’de $v_{s\alpha}$, $v_{s\beta}$, $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L Şekil 3.1 dışında gerçek ASM’yi temsil etmek üzere oluşturulan modele uygulanan yük momenti ve gerilim sonucunda elde edilen ve eniyilemede kullanılan gerçek/ölçülen değerleri göstermekte olup, metasezgisel algoritmalar kullanılarak belirlenen parametre değerleri ile birlikte S-Function Builder ile gerçekleştirilen ASM modeline uygulanmaktadır. $\hat{i}_{s\alpha}$, $\hat{i}_{s\beta}$ ve $\hat{\omega}_m$ ise ASM modeline ait S-Function Builder çıkışındaki akım ve hız bilgilerini göstermektedir. Ayrıca, benzetim çalışmalarında gerçek zamanlı deney çalışmaları ile uyumlu olması için gerçek zamanlı deneylerde kullanılan ve Çizelge 3.1’de sunulan ASM’ye ait anma parametreleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Benzetim ortamında kullanılan ASM’ye ait parametreler

P [KW]	f [Hz]	J_L [Kg. m ²]	B_L [Nm/(rad/s)]	p_p	V [V]	I [A]
2.2	50	0.055	0.001	3	380	5.5
R_s [Ω]	R_r [Ω]	L_m [H]	L_{ls} [H]	L_{lr} [H]	N_m [rpm]	t_L [Nm]
3.03	2.53	0.135	0.0116	0.0174	950	20

Benzetim temelli ASM'nin elektriksel ve mekanik parametrelerinin belirlenmesine yönelik eniyileme çalışmaları,

- tek-amaçlı akım hatasına,
- tek-amaçlı hız hatasına,
- çok-amaçlı akım ve hız hatalarına

göre GA ve DEA algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tek-amaçlı akım hataları kullanılarak yapılan eniyileme çalışmalarında iki farklı yöntem kullanılmış olup, birinci yöntem ile sadece elektriksel parametrelerin belirlenmesi ikinci yöntem ile ise elektriksel ve mekanik parametrelerin birlikte belirlenmesi işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Sadece elektriksel parametrelerin belirlenmesi işleminde, hız bilgisi dışarıdan giriş olarak uygulanmış olup, ASM modelinin elektriksel yanına ilişkin Eşitlik (3.1)-(3.4) (dört eşitlik) kullanılarak motor parametrelerinin meta sezgisel algoritmalar ile belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Elektriksel ve mekanik parametrelerin birlikte tek-amaçlı akım hatası, tek-amaçlı hız hatası, çok-amaçlı akım ve hız hatalarına göre belirlendiği yöntemlerde ise, ASM'nin dinamik modelinde bulunan elektriksel ve mekanik yanlarına ilişkin Eşitlik (3.1) -(3.5) (beş eşitlik) kullanılmıştır.

3.1.ASM Dinamik Model Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Eniyileme Çalışmalarına Giriş

Bu kısımda, ASM'nin dinamik modeline ilişkin parametre değerlerinin metasezgisel algoritmalar ile belirlenerek önerilen yöntemlerin doğruluklarının test edilmesi amacıyla aşağıda verilen adımlar takip edilmektedir. Bu sayede en düşük hata değerine sahip motor parametreleri elde edilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışması kapsamında, ASM'nin dinamik modeline ilişkin parametrelerin belirlenmesi amacıyla kullanılan metasezgisel algoritmalar ile tek-amaçlı akım, tek-amaçlı hız, çok-amaçlı akım ve hız hatalarına bağlı olarak motor parametrelerinin belirlenmesi işlemlerinde 4 farklı yöntem kullanılmıştır. Belirtilen bu yöntemlere ait ayrıntılı bilgiler Bölüm 3.2'de sunulmuştur.

Eniyileme işlemleri gerçekleştirilirken her bir durum için maliyet fonksiyonu belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda, yalnız akım veya yalnız hız hatasının maliyet fonksiyonu olarak belirlendiği durumda tek-amaçlı (single-objective)

eniyileme işlemi gerçekleştirilirken hem akım hem de hız hatasının maliyet fonksiyonu içerisinde bulunduğu durumda ise çok-amaçlı (multi-objective) eniyileme işlemi gerçekleştirilmiştir. Eniyileme işlemlerinde kullanılan maliyet fonksiyonlarının ortalama karesel hata (mean square error, MSE) değerine ilişkin matematiksel ifadeler Eşitlik 3.12-3.14'te verilmiştir.

- *Tek-amaçlı akım hataları (single-objective, MF1)*

$$e = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left((i_{sa} - \hat{i}_{sa})^2 + (i_{s\beta} - \hat{i}_{s\beta})^2 \right) \quad (3.12)$$

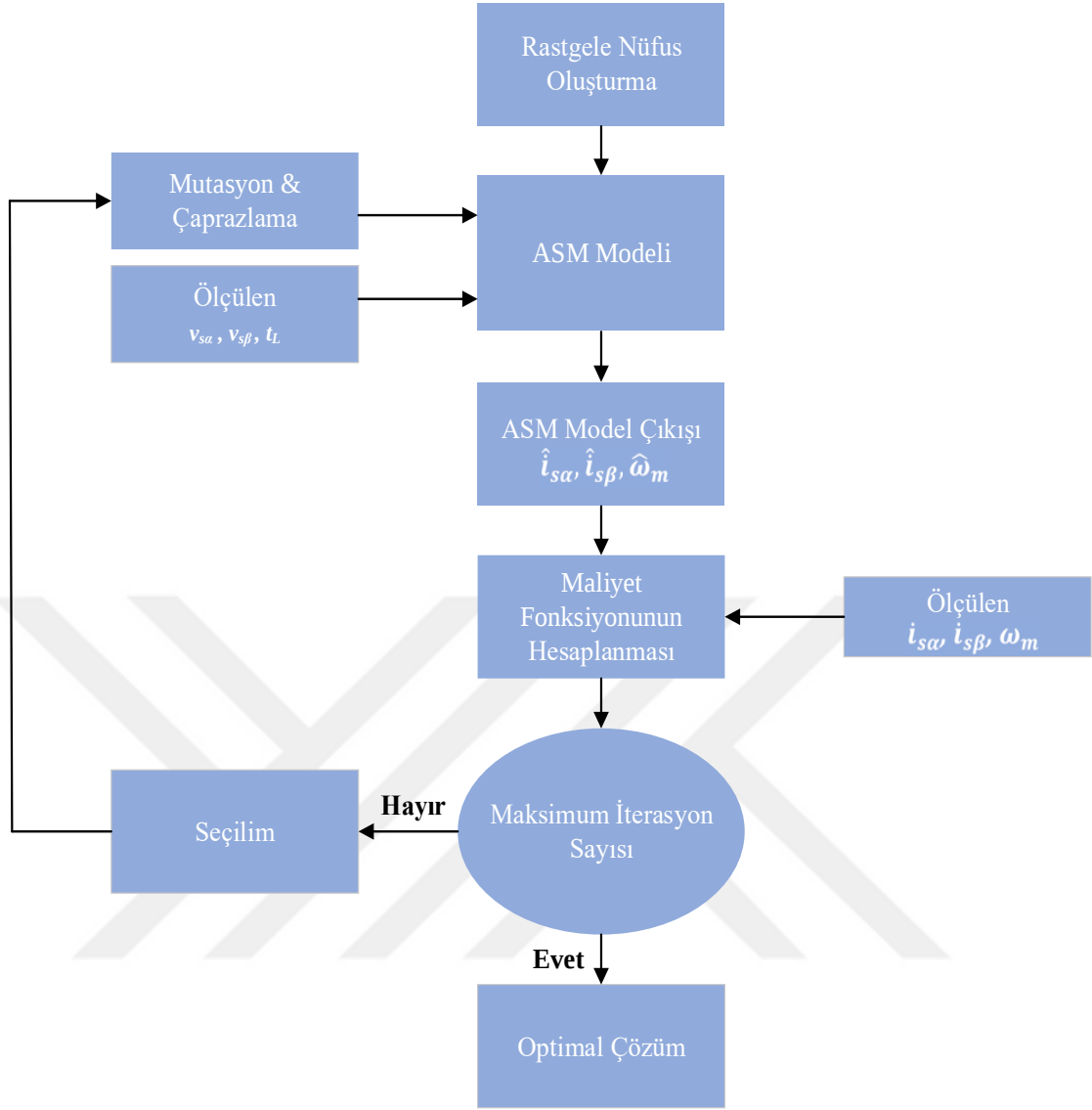
- *Tek-amaçlı hız hataları (single-objective, MF2)*

$$e = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N ((\omega_m - \hat{\omega}_m)^2) \quad (3.13)$$

- *Çok-amaçlı akım ve hız hataları (multi-objective, MF3)*

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left((i_{sa} - \hat{i}_{sa})^2 + (i_{s\beta} - \hat{i}_{s\beta})^2 \right) \\ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N ((\omega_m - \hat{\omega}_m)^2) \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

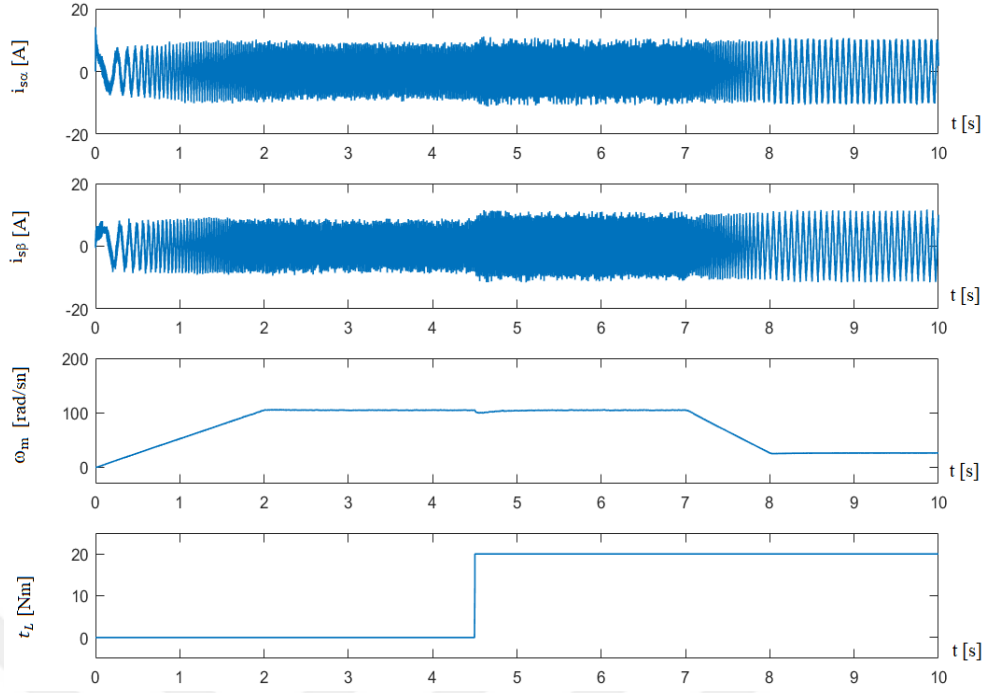
MF1, MF2 ve MF3'ün kullanıldığı eniyileme çalışmalarında N=10000 örnek kullanılarak benzetim ortamında eniyileme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Eniyileme akış süreci

Eşitlik (3.12)-(3.14)'te verilen maliyet fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarının daha anlaşılır olması amacıyla ASM modeline ait;

- sadece elektriksel parametrelerin MF1 ile belirlenmesi işlemi Yöntem-I,
- elektriksel ve mekanik parametrelerin birlikte MF1 ile belirlenmesi işlemi Yöntem-II,
- elektriksel ve mekanik parametrelerin birlikte MF2 ile belirlenmesi işlemi Yöntem-III,
- elektriksel ve mekanik parametrelerin birlikte MF3 ile belirlenmesi işlemi ise Yöntem-IV



Şekil 3.4. Benzetim çalışmaları eniyileme işlemlerinde kullanılan eğitim verisine ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi

Benzetim çalışmalarında hem GA hem de DEA ile gerçekleştirilen eniyileme işlemlerinde Şekil 3.3'te blok diyagramı sunulan doğrudan VK yönteminin Matlab-Simulink ortamında gerçekleştirilmesi ile eniyileme işlemlerinde kullanılmak üzere bir senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryoda belirlenen referans akı ve hız bilgileri ile birlikte ASM'ye uygulanan yük momenti bilgileri için ölçülen $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgileri Şekil 3.4'te sunulmuştur. Tez kapsamında gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında her bir motor parametresi için arama uzayını sınırlamak amacıyla geniş aralıklar seçilmiş olup, bütün eniyileme çalışmalarında aynı aralıklar kullanılmıştır. Parametre aralıkları seçilen minimum ve maksimum değerler ile belirlenmiş olup, belirtilen parametre aralıkları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Tez kapsamında bütün eniyileme işlemlerinde kullanılan parametre sınırları

	R_s	R_r	L_m	L_{ls}	L_{lr}	J_L	B_L
Min. Değer	0	0	0	0	0	1e-4	1e-4
Maks. Değer	5	5	0.5	0.5	0.5	1	1e-2

3.2.GA Temelli Benzetim Sonuçları

Bu bölümde ASM'nin dinamik modeline ait parametreler GA ile Bölüm 3.1'de ayrıntıları verilen yöntemler için benzetim ortamında belirlenmiştir. Böylece GA ile 4 farklı yöntem için ASM parametreleri belirlenmiş, parametrelere ait yüzde hata değerleri sunulmuş ve belirlenen parametre değerlerinin başarımı farklı hız ve yük momenti koşulları altında test edilmiştir. Çizelge 3.3'te GA'nın Matlab Toolbox üzerinden eniyileme çalışmalarında kullanılması amacıyla belirlenen parametreleri verilmiştir. Eniyileme çalışmalarında mutasyon fonksiyonu 'adaptive feasible', crossover fonksiyonu 'two point' ve seçim fonksiyonu olarak 'roulette' seçilmiştir. Bu fonksiyonlara ait parametre değerleri Çizelge 3.3'te verildiği gibidir.

Çizelge3.3. Optimizasyonlarda kullanılan GA Parametreleri

Popülasyon Sayısı (np)	200
Maksimum İterasyon Sayısı (g)	100
Mutasyon Olasılığı (m_r)	0.05
Çaprazlama Olasılığı (c_r)	0.8

3.2.1. Yöntem-I: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Yöntem-I'de Eşitlik (3.1)-(3.4)'te verilen ASM'nin elektriksel yanına ilişkin modeli kullanılarak, sadece elektriksel parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Burada ASM modeli Eşitlik (3.5) ile verilen mekanik hıza ait matematiksel ifadeyi içermediğinden, ölçülen hız bilgisi doğrudan eniyileme işlemlerinde kullanılmıştır. Böylece eniyileme algoritmasının ASM'nin elektriksel parametrelerini belirleme başarısı maliyet fonksiyonunda sadece akım hatasının olduğu durum için incelenmiştir. Yöntem-I ile GA kullanılarak Şekil 3.4'te verilen eniyileme verisi için gerçekleştirilen eniyilemeler sonucunda elde edilen parametre değerleri en iyi 3 farklı eniyileme için Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Yöntem-I ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)
1.	5.4763e-5	3.0291	2.3354	0.1297	0.0113	0.0167
2.	6.3135e-5	3.0347	2.3249	0.1292	0.0106	0.0172
3.	2.9118e-4	3.0446	2.5060	0.1310	0.0118	0.0186

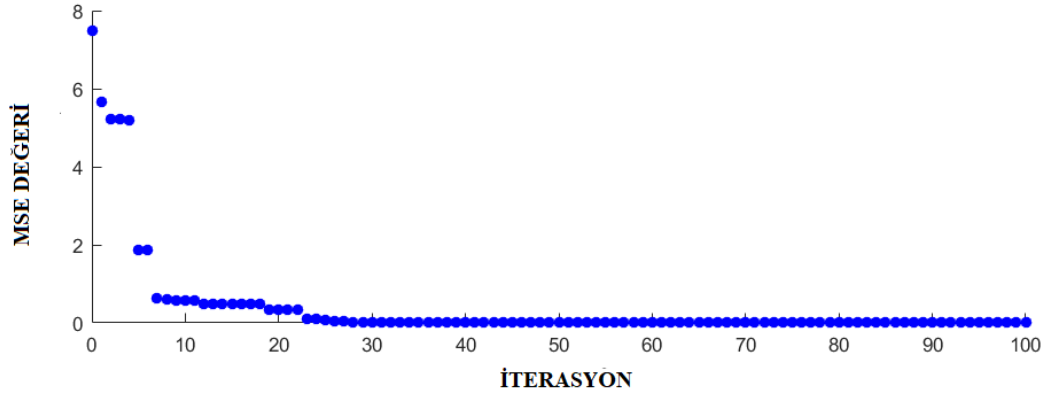
Çizelge 3.4’te sunulan Yöntem-I için GA ile elde edilen parametre değerlerinin başarımlı %hataları Eşitlik (3.15) kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 3.5’te sunulmuştur.

$$x_{\text{Yüzde hata}} = \frac{|x_{\text{Gerçek değer}} - x_{\text{Belirlenen değer}}|}{x_{\text{Gerçek değer}}} \times 100 \quad (3.15)$$

Çizelge 3.5. Yöntem-I ile GA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri

	R_s için %Hata	R_r için %Hata	L_m için %Hata	L_{ls} için %Hata	L_{lr} için %Hata
1.	%0.02	%7.69	%3.92	%2.58	%4.02
2.	%0.15	%8.10	%4.29	%8.62	%1.14
3.	%0.48	%0.94	%2.96	%1.72	%6.89

GA kullanılarak Yöntem-I ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarından (Çizelge 3.4.) en düşük maliyet değerine sahip olan eniyileme işlemi için yakınsama eğrisi (her iterasyonda MSE değişim eğrisi) Şekil 3.5’te verilmiştir. Bu eğriden de anlaşılabacağı gibi MSE değeri oldukça düşük başlayıp hızlı bir şekilde yaklaşık sıfıra ulaşmıştır.



Şekil 3.5. GA ile Yöntem-I için her iterasyonda MSE'nin değişimi

3.2.2. Yöntem-II: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Yöntem-II'de, Yöntem-I'den farklı olarak, GA ile MF1 ile ASM modeline ait hem elektriksel hem de mekanik parametreler birlikte belirlenmiştir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için Eşitlik (3.1) -(3.5) ile verilen elektriksel ve mekanik yana ilişkin ifadeler ASM modelinde birlikte kullanılmıştır. Böylece ölçülen hız bilgisi eniyileme işlemlerinde kullanılmamıştır. Şekil 3.4'te verilen eniyileme verisi için gerçekleştirilen eniyileme işlemleri sonucunda elde edilen parametre değerleri 3 farklı eniyileme için Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Yöntem-II ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

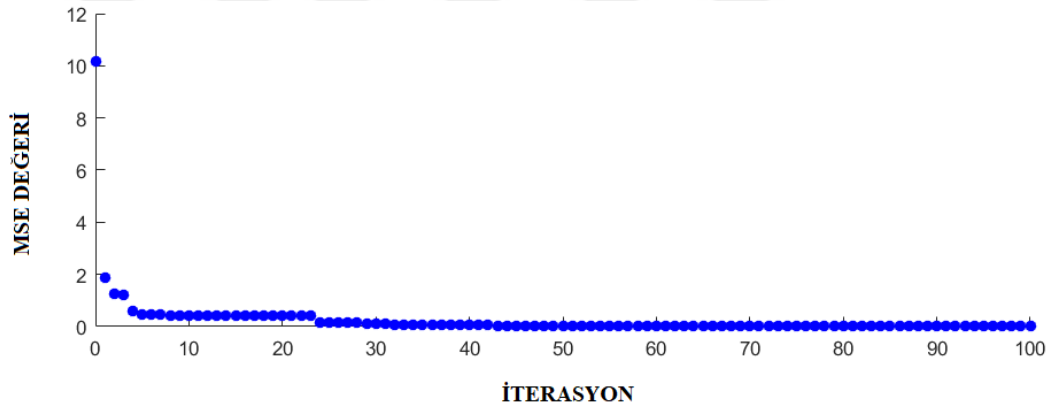
	Akım Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ rad/s))
1.	9.8609e-4	3.0285	2.3625	0.1300	0.0052	0.0234	0.0546	0.0015
2.	3.7e-3	2.9762	2.9941	0.1437	0.0049	0.0263	0.0552	0.0013
3.	4.0e-3	2.9981	2.8264	0.1405	0.0087	0.0211	0.0555	0.0013

Yöntem-II için GA ile elde edilen parametre değerlerinin başarımı Eşitlik (3.15) ile %hataları hesaplanmış ve Çizelge 3.7'de sunulmuştur.

Çizelge 3.7. Yöntem-II ile GA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri

	R_s için %Hata	R_r için %Hata	L_m için %Hata	L_{ls} için %Hata	L_{lr} için %Hata	J_L için %Hata	B_L için %Hata
1.	%0.04	%6.62	%3.70	%55.17	%34.48	%0.72	%50
2.	%1.77	%18.34	%6.44	%57.75	%51.14	%0.36	%30
3.	%1.05	%11.71	%4.07	%25	%21.26	%0.90	%30

GA kullanılarak Yöntem-II ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarından (Çizelge 3.6.) en düşük maliyet değerine sahip olan eniyileme işlemi için yakınsama eğrisi Şekil 3.6’da verilmiştir. Bu eğriden de görüleceği üzere MSE değeri Yöntem-I’e kıyasla daha yüksek bir değerde başlayıp daha geç yaklaşık sıfır değerine ulaşmıştır.



Şekil 3.6. GA ile Yöntem-II için her iterasyonda MSE’nin değişimi

3.2.3. Yöntem-III: MF2’ye göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Yöntem-III, ASM’nin elektriksel ve mekanik parametrelerinin MF2 ile belirlenmesini içermektedir. Bu kapsamda ASM modelinde Eşitlik (3.1) -(3.5) ile verilen matematiksel ifadeler kullanılmış olup, ölçülen akım bilgileri eniyileme işlemlerine dahil edilmemektedir. Yöntem-III ile GA kullanılarak Şekil 3.4’te verilen eniyileme verisi için gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarına ait 3 farklı eniyileme sonucu Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Yöntem-III ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

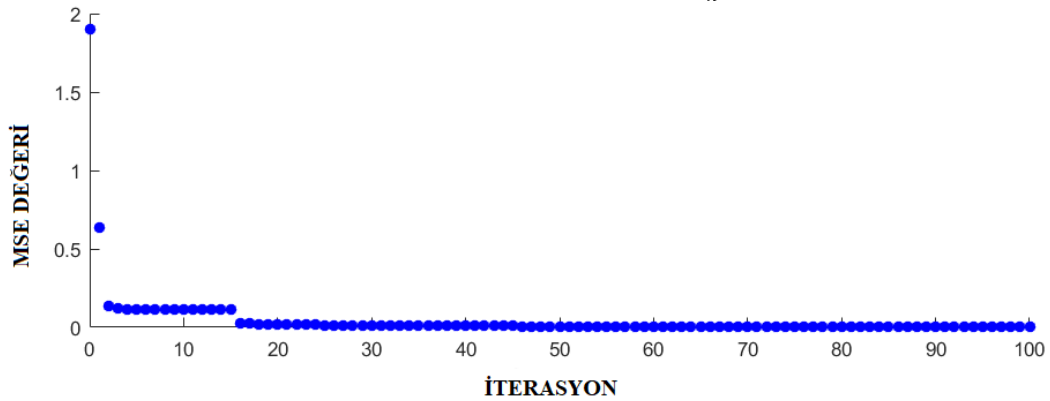
	Hız Hatası MSE Değeri	R_s (3.03 Ω)	R_r (2.53 Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ (rad/s))
1.	4.7933e-4	2.9579	2.9595	0.1437	0.0013	0.0356	0.0548	0.0008
2.	5.5953e-4	3.1101	2.9880	0.1564	0.0042	0.0271	0.0554	0.0019
3.	3.0e-3	3.4660	2.5023	0.2123	0.0153	0.0173	0.0565	0.0017

Yöntem-III için GA ile elde edilen parametre değerlerinin başarımı Eşitlik (3.15) ile %hataları hesaplanmış ve Çizelge 3.9’da sunulmuştur.

Çizelge 3.9. Yöntem-III ile GA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri

	R_s için %Hata	R_r için %Hata	L_m için %Hata	L_{ls} için %Hata	L_{lr} için %Hata	J_L için %Hata	B_L için %Hata
1.	%2.37	%16.97	%6.44	%88.79	%104.59	%0.36	%20
2.	%2.64	%18.10	%15.85	%63.79	%55.74	%0.72	%90
3.	%14.38	%1.09	%57.25	%31.89	%0.57	%2.72	%70

GA kullanılarak Yöntem-III ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarından (Çizelge 3.8.) en düşük maliyet değerine sahip olan eniyileme işlemi için yakınsama eğrisi Şekil 3.7’de verilmiştir. Yöntem-III eniyileme çalışmalarından elde edilen yakınsama eğrisi Yöntem-II’de elde edilen eğriye göre daha düşük MSE değeri ile başlayıp daha hızlı bir şekilde yaklaşık sifıra ulaşmıştır.



Şekil 3.7. GA ile Yöntem-III için her iterasyonda MSE’nin değişimi

3.2.4. Yöntem-IV: MF3'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Bu kısımda, ASM dinamik modeline ilişkin parametreleri MF1 ve MF2'ye bağlı olarak belirlendikten sonra, yine GA ile MF3 kullanılarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çok-amaçlı eniyileme işlemlerinde Eşitlik (3.1) -(3.5) ile verilen ASM modeli kullanılmış olup, maliyet fonksiyonu için ise Eşitlik (3.14) ile verilen matematiksel ifade kullanılmıştır. Bu nedenle Yöntem-I, II ve III'ten farklı olarak Yöntem-IV'te hem ölçülen akım hem de ölçülen hız bilgileri birlikte kullanılmıştır.

Yöntem-IV'te gerçekleştirilen çok-amaçlı eniyileme çalışmalarında başarımlı ölçütü birden fazla amacın sistematik ve eş zamanlı olarak optimize edilmesini içermektedir. Burada hem akım hem de hız hatalarına bağlı olarak eniyileme işlemi gerçekleştirilirken, birden fazla maliyet fonksiyonu diğer bir ifadeyle birden fazla amaç bulunduğu için (Eşitlik 3.14), çok-amaçlı eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılan pareto optimal yöntemi kullanılmıştır (Zerdali ve Barut, 2017). Pareto optimal yöntemi kullanılan çalışmalarda maliyet fonksiyonlarında genellikle istenilen sonucun farklı bir özelliği dikkate alınır. Pareto optimal yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen çok-amaçlı eniyileme çalışmalarında tüm maliyet fonksiyonlarını eş zamanlı optimize eden bir çözüm yerine optimal çözümler kümesi oluşturulur. Bu küme birinci ve ikinci maliyet fonksiyonlarının ayrı ayrı en iyi olduğu durumlardan başlayarak ortak noktalarına kadar olan tüm durumları içerisine toplar.

Bu tez kapsamında, MF3 kullanılarak ASM parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, elde edilen çözüm setinden Kayalı (2019)'da olduğu gibi en optimal çözümün belirlenmesi için Euclid mesafesi dikkate alınmıştır. Böylece çözüm seti içerisinde Euclid minimum mesafe kuralına uygun çözüm seçilerek, aynı çözümde her iki maliyet fonksiyonu için de başarılı sonuç elde edilen optimal çözümün seçilmesi amaçlanmıştır. Çözüm seti içerisindeki en iyi çözümün belirlenmesi amacıyla, Euclid uzaklığı (d_x) ve en küçük Euclid uzaklığı (d_{min}) Eşitlik 3.16-3.17' de tanımlanmıştır.

$$d_x = (P_x, 0) = \sqrt{(f_{1,1})_x^2 + (f_{1,2})_x^2}, x = 1, 2, \dots np \quad (3.16)$$

$$d_{min} = \min (d_1, d_2, \dots d_{np}) \quad (3.17)$$

Çizelge 3.10’da Yöntem-IV ile GA’nın kullanılmasıyla Şekil 3.4’te verilen eniyileme veri seti için, elde edilen çözüm seti içerisinde Euclid minimum mesafe kuralına göre seçilen parametre değerleri 3 farklı eniyileme sonucu için sunulmuştur.

Çizelge 3.10. Yöntem-IV ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	Hız Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ rad/s))
1.	0.5315	0.2121	3.0308	2.6701	0.1342	0.0118	0.0182	0.057	0.001
2.	0.7245	0.6209	3.0308	2.6217	0.1383	0.0112	0.0173	0.057	0.0012
3.	0.7234	0.1576	3.0313	2.4493	0.1364	0.0119	0.0172	0.059	0.001

Yöntem-IV için GA ile elde edilen parametre değerlerinin başarıımı Eşitlik (3.15) ile %hataları hesaplanmış ve Çizelge 3.11’de sunulmuştur.

Çizelge 3.11. Yöntem-IV ile GA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri

	R_s için %Hata	R_r için %Hata	L_m için %Hata	L_{ls} için %Hata	L_{lr} için %Hata	J_L için %Hata	B_L için %Hata
1.	%0.02	%5.53	%5.53	%1.72	%4.59	%3.63	%0
2.	%0.02	%3.62	%2.44	%3.44	%0.57	%3.63	%20
3.	%0.04	%3.18	%1.03	%2.58	%1.14	%7.27	%0

Bu tez kapsamında benzetim ortamında GA ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmaları Kayalı (2019)’da gerçekleştirilen çalışma ile karşılaştırıldığında; bu tez çalışması kapsamında,

- Kayalı (2019)’da gerçekleştirilen çalışmadan farklı olarak Yöntem-I ile GA kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada ASM’nin elektriksel parametreleri belirlenmiştir.
- Yöntem-II, III ve IV ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında Kayalı (2019)’da aynı yöntemleri kullanarak elde edilen eniyileme sonuçlarına

kıyasla belirlenen parametre değerlerinin yakınsama oranları bakımından daha başarılı olduğu görülmektedir. Ancak, burada verilen karşılaştırmada tez kapsamında GA ile gerçekleştirilen çalışma ve Kayalı (2019)'da gerçekleştirilen çalışmada farklı eniyileme verisi, popülasyon sayısı, iterasyon sayısı ve parametre aralığı kullanıldığı göz önüne alınmalıdır.

Bu tez kapsamında akım hatası temelli Yöntem-I ve Yöntem-II ile GA kullanılarak elde edilen parametre değerleri incelendiğinde, Yöntem-I ile elde edilen parametrelerin MSE değerlerinin Yöntem-II'de elde edilen MSE değerine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, Yöntem-I ve Yöntem-II'de aynı maliyet fonksiyonu kullanılmasına karşın, Yöntem-I'de ölçülen hız bilgisinin doğrudan kullanılması ve optimize edilecek parametre sayısının daha az olması ile ilişkilidir. Hız hatası temelli Yöntem-III sonuçlarında mekanik parametreler başarılı bir şekilde bulunurken elektriksel parametrelerin belirlenmesinde başarının Yöntem-II kadar yüksek olmadığı görülmektedir. Akım ve hız hatası temelli Yöntem-IV'te ise hem elektriksel hem de mekanik parametrelerin başarılı bir şekilde belirlendiği gözlemlenmektedir. Tez kapsamında GA ile benzetim ortamında gerçekleştirilen yöntemlerden Yöntem-IV ile bulunan parametrelerin gerçek parametre değerlerine daha yakın olduğu ve yüzde hata oranlarının daha düşük olduğu alınan sonuçlardan açıkça görülmektedir.

3.3. DEA Temelli Benzetim Sonuçları

Metasezgisel algoritmalar kullanılarak ASM'nin dinamik modeline ait parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, ikinci eniyileme metodu olarak DEA kullanılmıştır. DEA algoritması ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarının eşit ve adil şartlar altında GA ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmaları ile karşılaştırılabilmesi için aynı eniyileme verisi, eşit popülasyon büyüklüğü, eşit iterasyon sayısı ve eşit parametre aralıkları kullanılmıştır. Ayrıca Bölüm 3.2.1-3.2.4 ile ayrıntıları verilen yöntemler GA ile aynı işlemler gerçekleştirilerek DEA'da kullanılmış olup, GA ve DEA'nın yöntem başarısını bazında karşılaştırılması amaçlanmıştır. Eniyileme işlemlerinde kullanılan DEA kodları Mathworks® üzerinden elde edilmiştir. Bu kod kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarına ait parametre değerleri Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12.Optimizasyonlarda kullanılan DEA parametreleri

Popülasyon Sayısı (NP)	200
Maksimum İterasyon Sayısı (G)	100
Ölçekleme Faktörü (F)	0.6
Çaprazlama Olasılığı (C_r)	0.9

3.3.1. Yöntem-I: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Bu kısımda, Bölüm 3.2.1'de Yöntem-I ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme işlemleri adil bir karşılaştırma yapılabilmesi için aynı şartlar altında DEA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DEA kullanılarak elde edilen parametre değerleri ve parametrelere ilişkin MSE hata değerleri en iyi 3 farklı eniyileme için Çizelge 3.13'te verilmiştir.

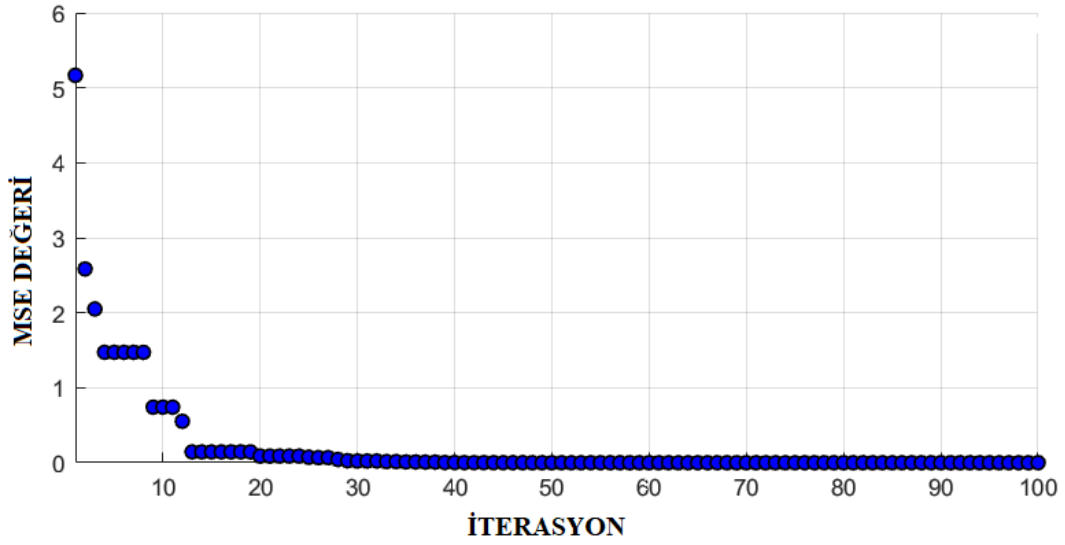
Çizelge 3.13. Yöntem-I ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)
1.	2.4337e-7	3.0311	2.6801	0.1389	0.0128	0.0225
2.	1.3222e-6	3.0303	2.4854	0.1338	0.0077	0.0159
3.	2.4178e-6	3.0292	2.7831	0.1416	0.0050	0.0260

Çizelge 3.13'te elde edilen parametre değerlerine ilişkin %hataları Çizelge 3.14'te gösterilmektedir. Şekil 3.8'de DEA kullanılarak gerçekleştirilen Yöntem-I'in yakınsama eğrisi verilmiştir.

Çizelge 3.14. Yöntem-I ile DEA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri

	R_s için %Hata	R_r için %Hata	L_m için %Hata	L_{ls} için %Hata	L_{lr} için %Hata
1.	%0.03	%5.93	%2.88	%10.34	%29.31
2.	%0.009	%1.76	%0.88	%33.62	%8.62
3.	%0.02	%10	%4.88	%56.89	%49.42



Şekil 3.8. DEA ile Yöntem-I için her iterasyonda MSE'nin değişimi

3.3.2. Yöntem-II: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Burada, Bölüm 3.2.2'de Yöntem-II ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme işlemleri aynı şartlar altında DEA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DEA kullanılarak elde edilen parametre değerleri ve parametrelere ilişkin MSE hata değerleri 3 farklı eniyileme için Çizelge 3.15'te verilmiştir.

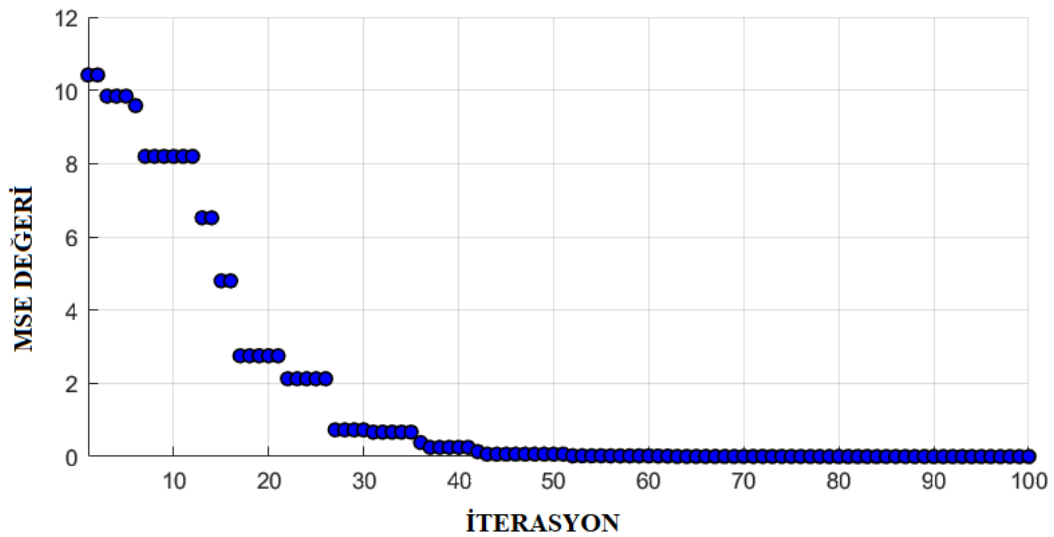
Çizelge 3.15. Yöntem-II ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	R_s (3.03 Ω)	R_r (2.53 Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ (rad/s))
1.	1.5189e-4	3.0103	2.5106	0.1342	0.0127	0.0160	0.0556	0.0012
2.	1.7479e-4	3.0201	2.8733	0.1433	0.0037	0.0280	0.0551	0.0012
3.	3.7775e-4	3.0294	2.6360	0.1374	0.0139	0.0156	0.0555	0.0013

Çizelge 3.15'te elde edilen parametre değerlerine ilişkin %hataları Çizelge 3.16'da gösterilmektedir. Şekil 3.9'da DEA kullanılarak gerçekleştirilen Yöntem-II'nin yakınsama eğrisi verilmiştir.

Çizelge 3.16. Yöntem-II ile DEA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri

	R_s için %Hata	R_r için %Hata	L_m için %Hata	L_{ls} için %Hata	L_{lr} için %Hata	J_L için %Hata	B_L için %Hata
1.	% 0.65	%0.76	%0.59	%9.48	%8.04	%1.09	%20
2.	%0.32	%13.56	%6.14	%68.10	%60.91	%0.18	%20
3.	%0.01	%4.18	%1.77	%19.82	%10.34	%0.90	%30



Şekil 3.9. DEA ile Yöntem-II için her iterasyonda MSE'nin değişimi

3.3.3. Yöntem-III: MF2'ye göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Yöntem-III'te, Bölüm 3.2.3'te Yöntem-III ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme işlemleri aynı şartlar altında DEA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DEA kullanılarak elde edilen parametre değerleri ve parametrelere ilişkin MSE hata değerleri 3 farklı eniyileme için Çizelge 3.17'de verilmiştir.

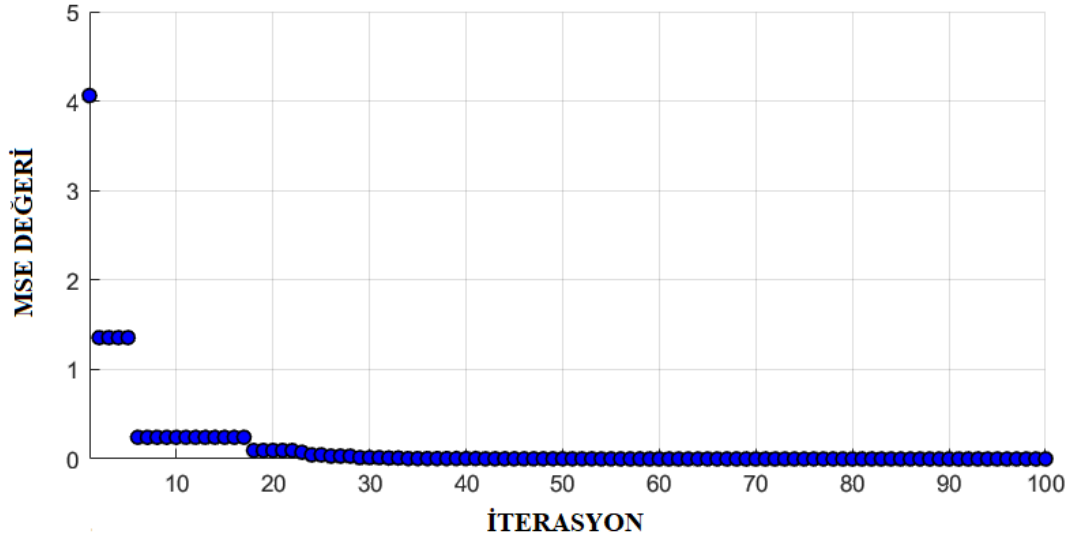
Çizelge 3.17. Yöntem-III ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Hız Hatası MSE Değeri	R_s (3.03 Ω)	R_r (2.53 Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ rad/s)
1.	1.1168e-5	2.9824	2.8542	0.1399	0.0033	0.0286	0.0550	0.0008
2.	2.1202e-5	3.0338	2.5992	0.1375	0.0136	0.0157	0.0551	0.0011
3.	2.3979e-5	2.9970	2.5415	0.1339	0.0118	0.0169	0.0553	0.0011

Çizelge 3.17'de elde edilen parametre değerlerine ilişkin %hataları Çizelge 3.18'de gösterilmektedir. Şekil 3.10'da DEA kullanılarak gerçekleştirilen Yöntem-III'ün yakınsama eğrisi verilmiştir.

Çizelge 3.18. Yöntem-III ile DEA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri

	R_s için %Hata	R_r için %Hata	L_m için %Hata	L_{ls} için %Hata	L_{lr} için %Hata	J_L için %Hata	B_L için %Hata
1.	%1.57	%12.81	%3.62	%71.55	%64.36	%0	%20
2.	%0.12	%2.73	%1.85	%17.24	%9.77	%0.18	%10
3.	%1.08	%0.45	%0.81	%1.72	%2.87	%0.54	%10



Şekil 3.10. DEA ile Yöntem-III için her iterasyonda MSE'nin değişimi

3.3.4. Yöntem-IV: MF3'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Yöntem-IV'te, Bölüm 3.2.4'te Yöntem-IV ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme işlemleri aynı şartlar altında DEA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DEA kullanılarak elde edilen parametre değerleri ve parametrelere ilişkin MSE hata değerleri 3 farklı eniyileme için Çizelge 3.19'da verilmiştir. DEA kullanılarak gerçekleştirilen çok-amaçlı eniyileme çalışmalarında algoritmanın ASM parametrelerinin belirlenmesinde yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Eniyilemeler esnasında MSE hata oranlarının *sonsuz*a gittiği bu nedenle sonuç elde edilemediği gözlemlenmiştir. Bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla seçim algoritması üzerinde değişiklik yapılarak MSE değerinde *sonsuz*a giden bireyler yerine rastgele yeni bireyler oluşturulmuştur. Böylece bu bireyler eniyileme havuzundan çıkarılmıştır.

Çizelge 3.19. Yöntem-IV ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları eniyileme sonucu

	Akım Hatası MSE Değeri	Hız Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055K g.m ²)	B_L (0.001 Nm/(rad/s))
1.	1.39e-4	1.37e-4	3.0280	2.5769	0.1361	0.0108	0.0186	0.0551	0.001
2.	1.34e-4	2.33e-4	3.0252	2.5754	0.1365	0.0104	0.0190	0.0554	0.0006
3.	7.03e-4	8.81e-4	3.0315	2.7820	0.1412	0.0056	0.0248	0.0559	0.0013

Çizelge 3.19’da elde edilen parametre değerlerine ilişkin %hataları Çizelge 3.20’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.20. Yöntem-IV ile DEA kullanılarak elde edilen parametrelere ait %hata değerleri

	R_s %Hata	R_r %Hata	L_m %Hata	L_{ls} %Hata	L_{lr} %Hata	J_L %Hata	B_L %Hata
1.	%0.06	%1.85	%0.81	%6.89	%6.89	%0.18	%0
2.	%0.15	%1.79	%1.11	%10.34	%9.19	%0.72	%40
3.	%0.04	%9.96	%4.59	%51.72	%42.52	%1.63	%30

GA ile benzetim ortamında gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarına benzer şekilde, DEA kullanılarak benzetim ortamında gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında da akım hatası temelli Yöntem-I ile belirlenen parametrelere ait MSE hatasının akım hatası temelli Yöntem-II ile belirlenen parametrelerin MSE değerlerine kıyasla daha başarılı olduğu görülmektedir. Yöntem-III’te elde edilen MSE değerleri Yöntem-II’ye kıyasla daha düşüktür. GA’da elde edilen sonuca benzer şekilde, DEA ile benzetim ortamında gerçekleştirilen yöntemlerden akım ve hız hatası temelli Yöntem-IV ile bulunan parametrelerin gerçek parametre değerlerine yakın olduğu ve yüzde hata oranlarının düşük olduğu alınan sonuçlardan açıkça görülmektedir.

Benzetim ortamında gerçekleştirilen çalışmalarda hem GA hem de DEA ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında en başarılı sonuçlar Yöntem-IV’ten alınmıştır. Yöntem-IV kullanılarak GA ve DEA ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında algoritmaların yakınsama hızları Çizelge 3.21’de verildiği gibidir. Ancak bu yakınsama hızları, kullanılan algoritma parametrelerine, belirlenen parametrelere sayısına, kullanılan eniyileme verisine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Eniyileme çalışmaları;

- Intel® Core™ i5 -2520M CPU, 2.50 GHz,
- 4 GB RAM
- 64 bit işletim sistemi

özelliklerine sahip bir bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

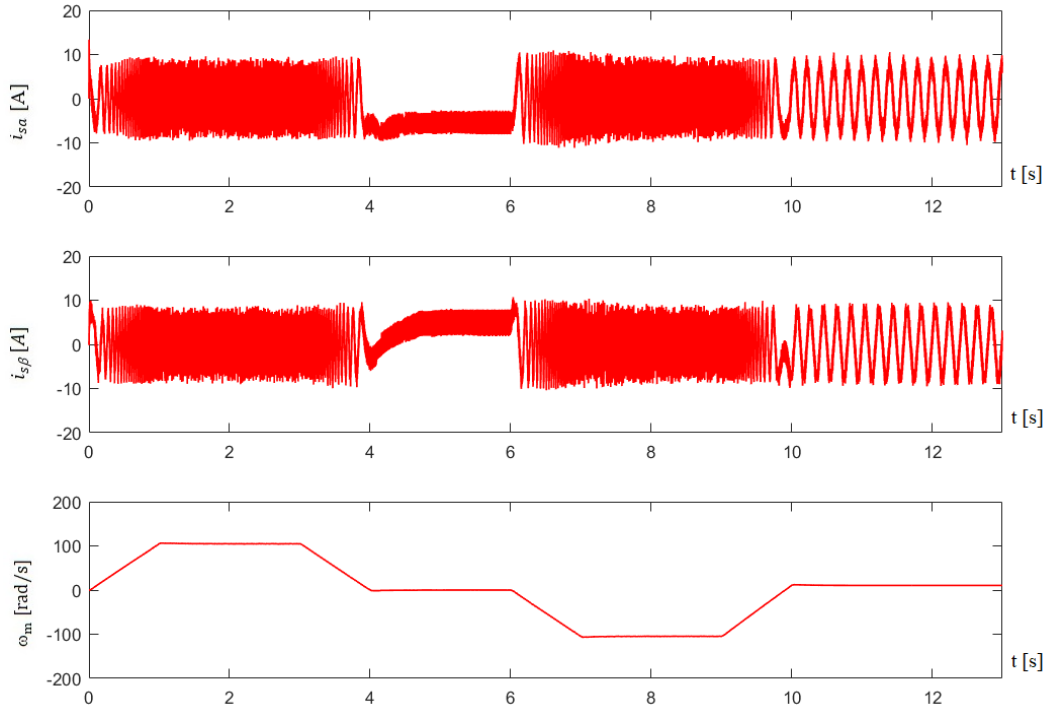
Çizelge 3.21. Benzetim ortamında kullanılan Yöntem-IV'ün algoritma bazında 3 iterasyondaki ortalama yakınsama süresi

ALGORİTMA	YAKINSAMA SÜRESİ
GA	207.2146 (~4 dakika)
DEA	180.5338 (~3 dakika)

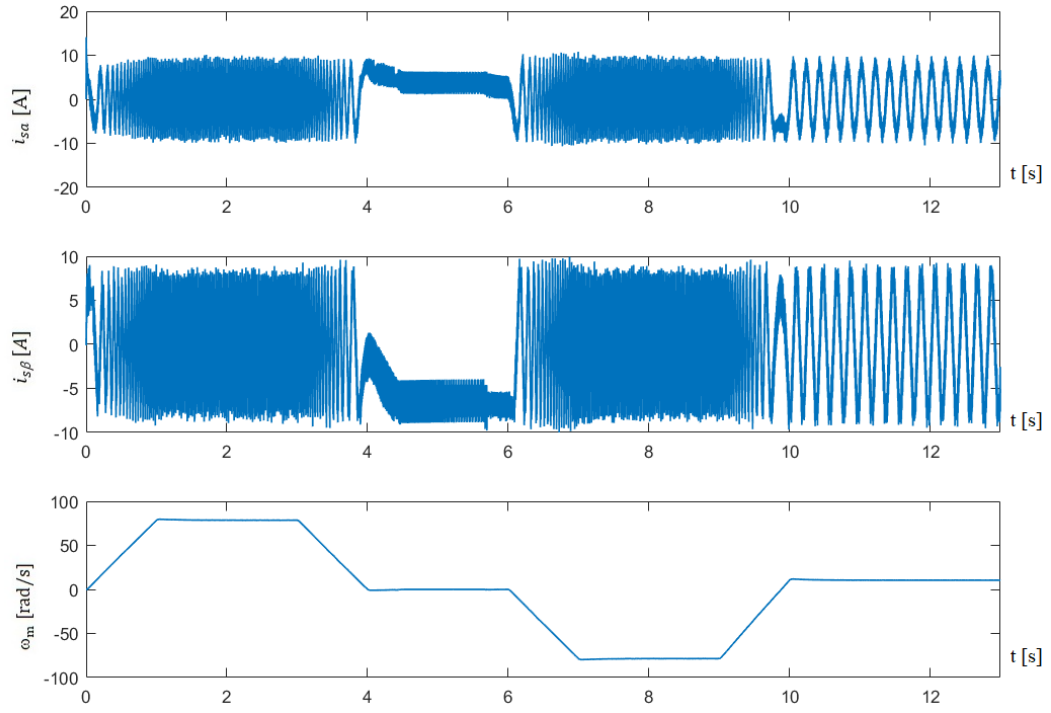
Çizelge 3.21'de verilen GA ve DEA'nın Yöntem-IV için 3 iterasyondaki ortalama yakınsama süresi incelendiğinde DEA'nın GA'ya kıyasla daha hızlı yakınsadığı görülmektedir.

3.4.Parametre Testi İçin Benzetim Çalışmaları

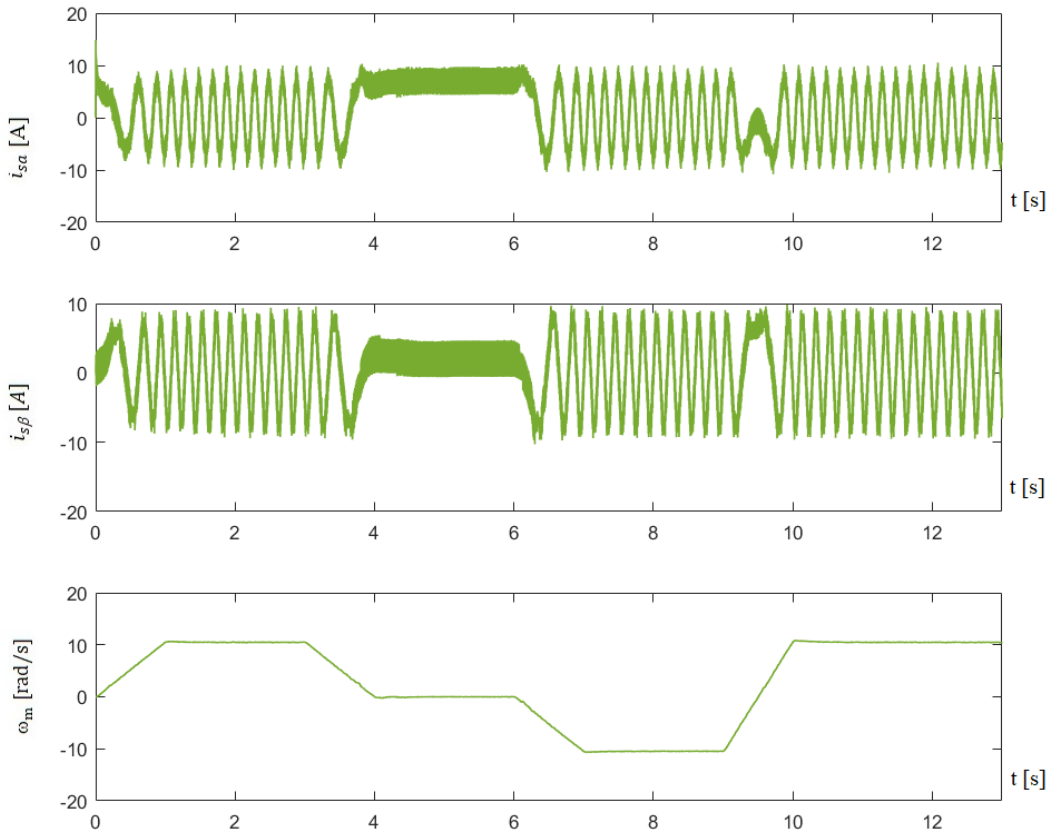
Bu kısımda hem GA hem de DEA kullanılarak ASM parametrelerinin benzetim ortamında belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen eniyileme işlemleri sonucunda elde edilen parametre değerlerinin başarımları farklı hız ve yük koşulları altında incelenmiştir. Belirlenen parametre değerlerinin başarımının test edilmesi için kullanılan yüksek, orta ve düşük hızlardaki yüklü/ yüksüz test senaryoları sırasıyla Şekil 3.11-3.14'te verilmiştir.



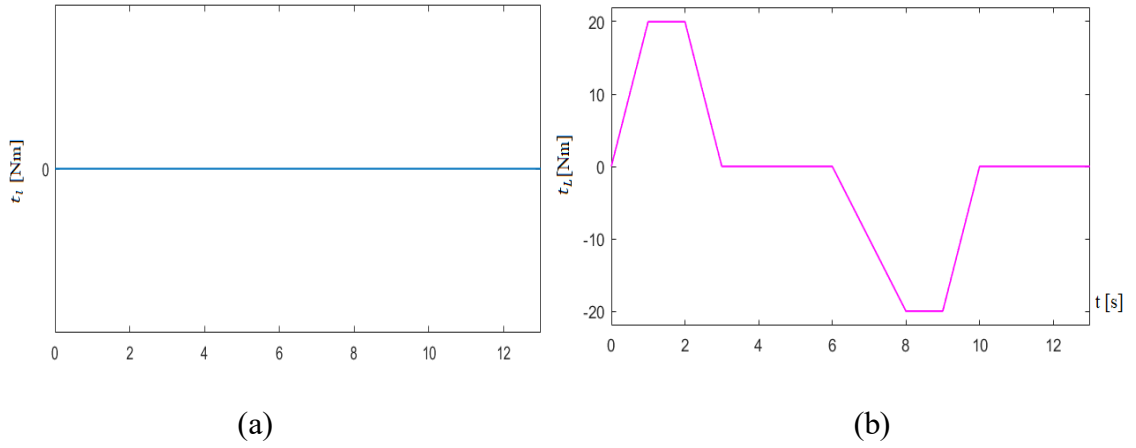
Şekil 3.11. Yüksek hız senaryosu



Şekil 3.12. Orta hız senaryosu



Şekil 3.13. Düşük hız senaryosu

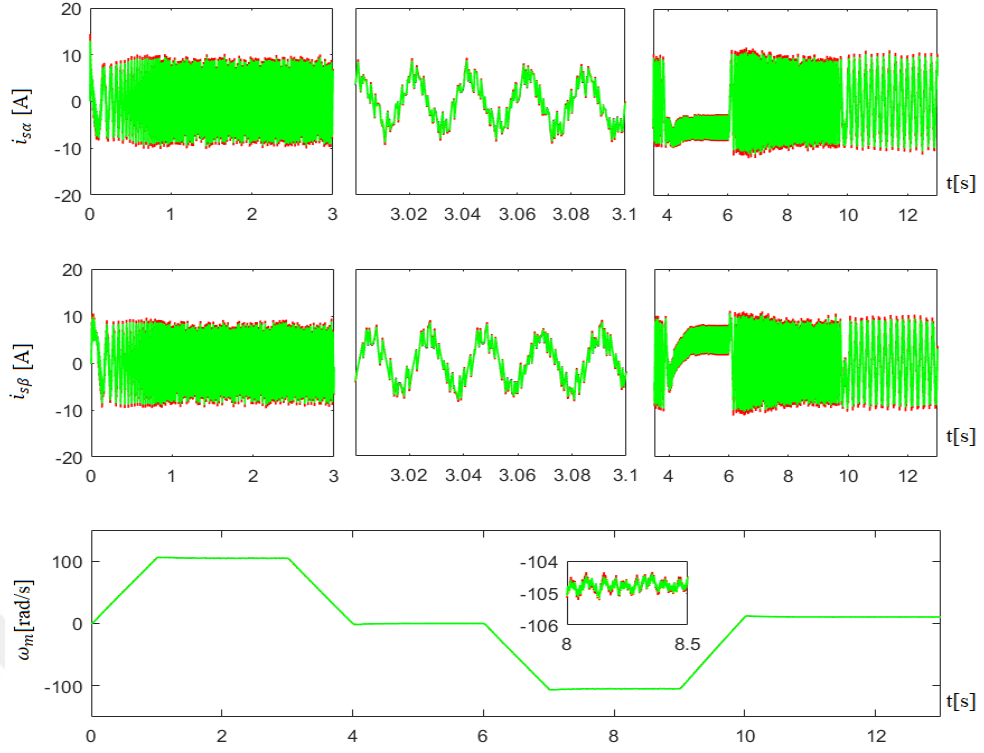


Şekil 3.14. Yüksüz (a) ve yüklü durumda (b) kullanılan t_L değişimleri

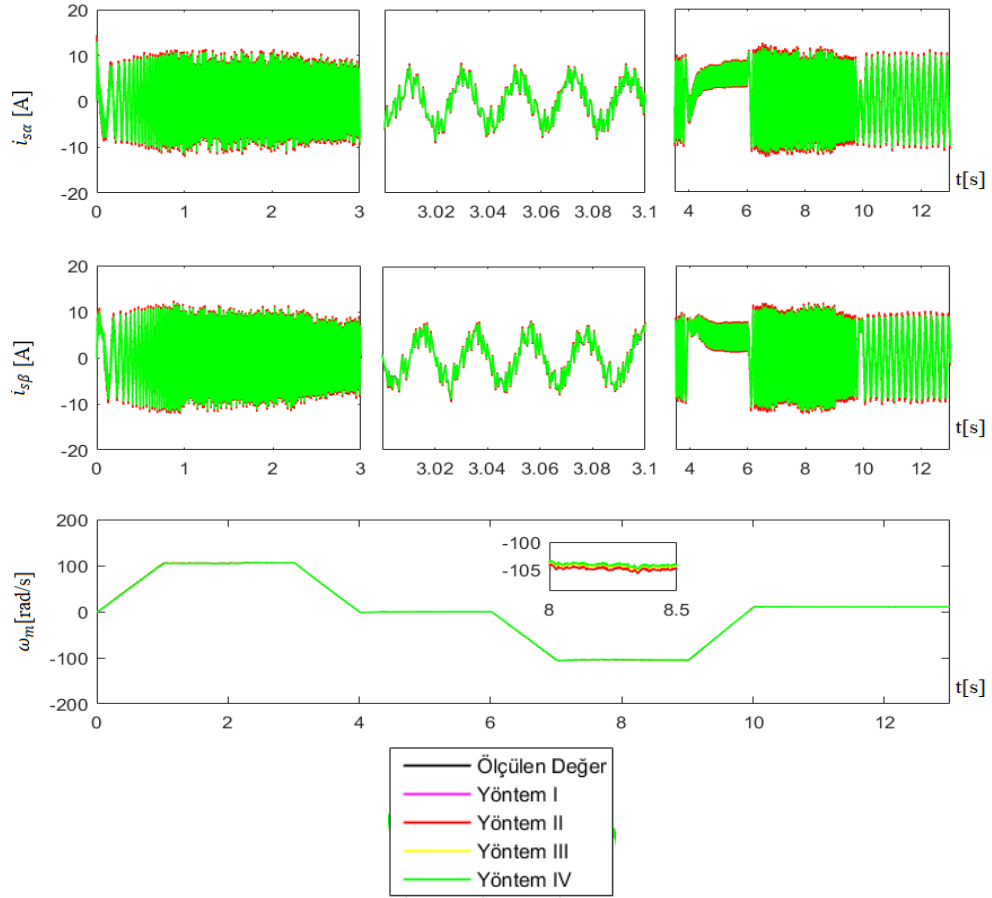
Yukarıda ayrıntıları verilen test senaryolarında hem GA hem de DEA ile belirlenen parametrelerin benzetim ortamında test edilmesi için Şekil 3.3'te blok diyagramı verilen doğrudan VK yöntemi kullanılmış ve örnekleme zamanı $T = 100\mu s$ olarak seçilmiştir.

3.4.1. GA kullanılarak benzetim ortamında belirlenen parametrelere ilişkin test sonuçları

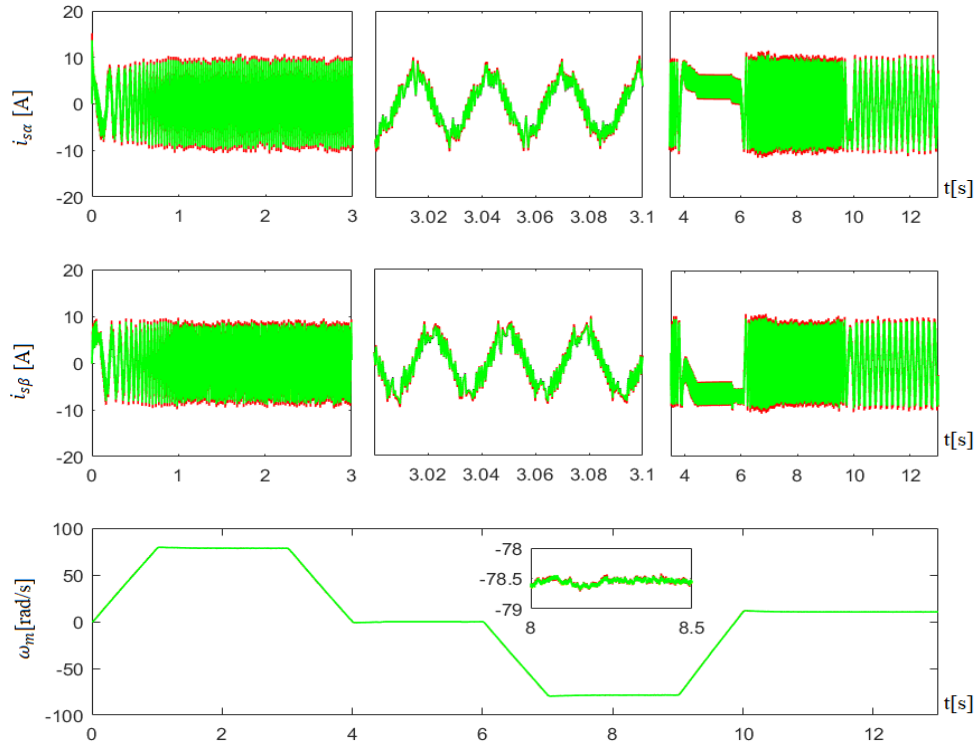
Benzetim ortamında GA kullanılarak belirlenen ASM parametrelerinin, ayrıntıları yukarıda verilen senaryolar altında blok diyagramı Şekil 3.3'te verilen doğrudan VK sistemi kullanılarak test edilmesine ilişkin sonuçlar Şekil 3.15-3.20'de verilmiştir. Böylece GA ile belirlenen ASM parametreleri yüksüz/yük değişimini içeren durumlar için geniş bir hız aralığında test edilerek doğrulanmıştır. Sunulan sonuçlarda Yöntem-I, Yöntem-II, Yöntem-III ve Yöntem-IV kullanarak belirlenen ASM parametreleri eş zamanlı olarak test edilmiş ve elde edilen sonuçlar üst üste çizdirilmiştir. Şekil 3.15-3.20'de görsel olarak sunulan sonuçlara ilişkin her bir yöntemin MSE hatası Çizelge 3.22-3.23'te verilmiştir. Şekil 3.15'te yüksek hız yüksüz durumun incelendiği senaryoda Yöntem-II, III ve IV'ten elde edilen sonuçların gerçek akım ve hız bilgisine çok yakın bir sonuç verdiği görülmektedir. Yöntem-I'den hız çıkışı alınmadığı için hız hatası yönünden karşılaştırılamamaktadır. Şekil 3.16'da yüksek hız yüklü senaryo şartlarında Yöntem-II'nin hız hatası yönünden başarısının azaldığı görülmektedir.



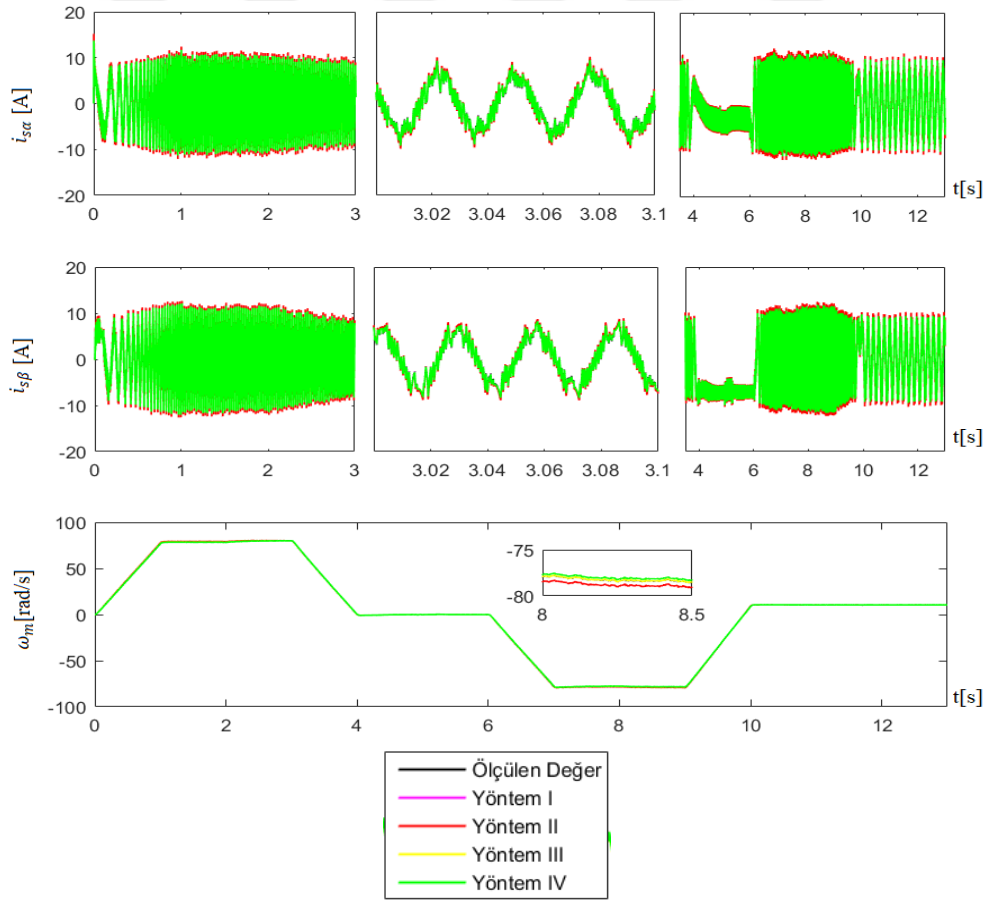
Şekil 3.15. Yüksek hız yüksüz durumda GA için parametre test sonuçları



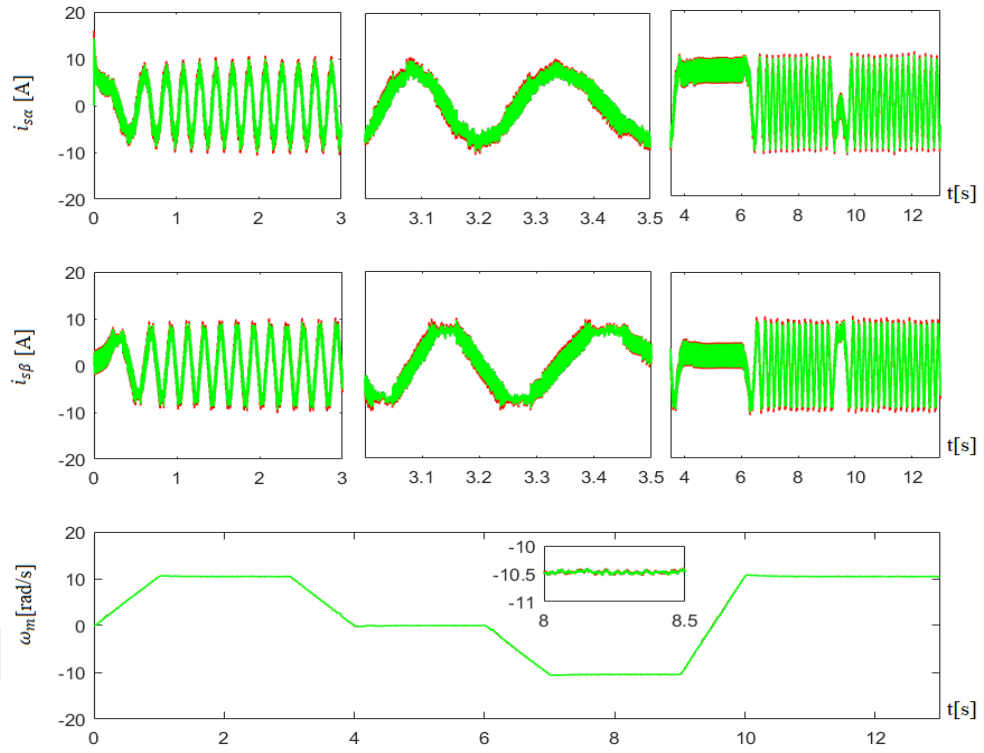
Şekil 3.16. Yüksek hız yüklü durumda GA için parametre test sonuçları



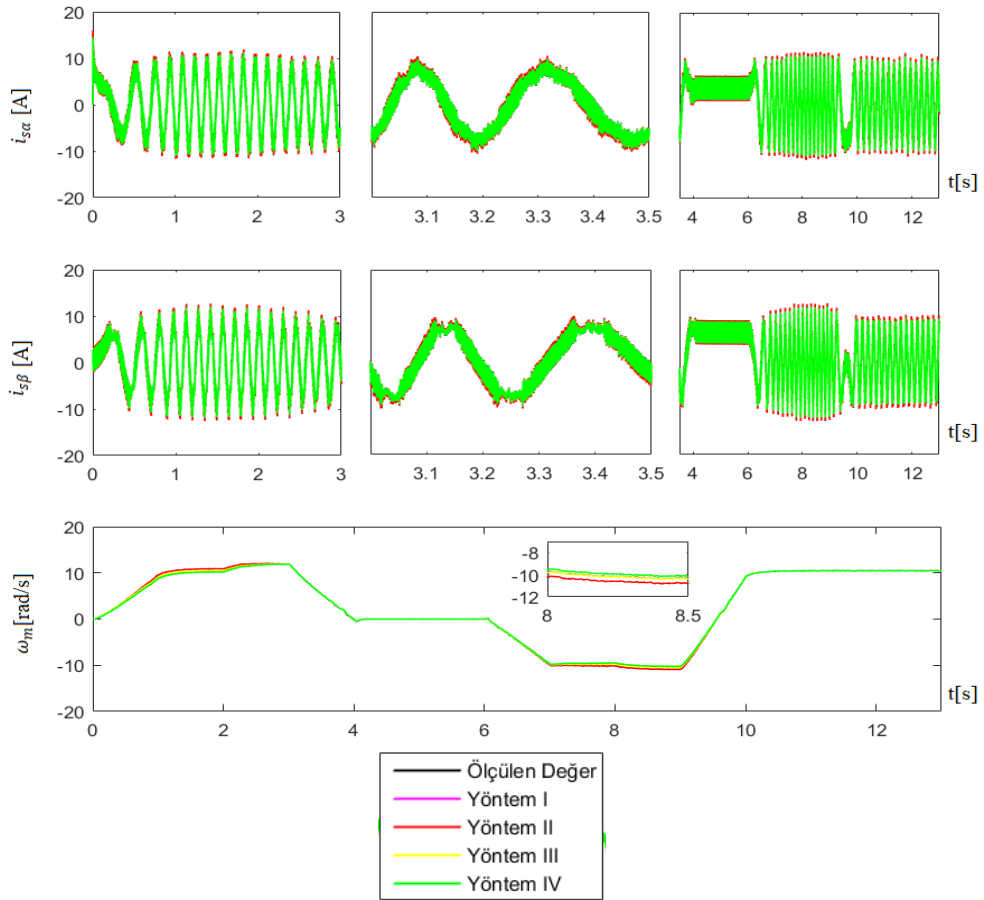
Şekil 3.17. Orta hız yüksüz durumda GA için parametre test sonuçları



Şekil 3.18. Orta hız yüklü durumda GA için parametre test sonuçları



Şekil 3.19. Düşük hız yüksüz durumda GA için parametre test sonuçları



Şekil 3.20. Düşük hız yüklü durumda GA için parametre test sonuçları

Şekil 3.17’de orta hız senaryosunda yüksüz şartlarda parametre başarımları incelenmiştir. Bu senaryo şartlarında yöntemlerden elde edilen hız bilgisi incelendiğinde Yöntem-II, III ve IV’ün gerçek hız bilgisine yakın sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 3.18’de ise Şekil 3.17’de verilen senaryodan farklı olarak yüklü durum incelenmiştir. Bu durumda yine Yöntem-II ‘nin hız bilgisine göre yapılan kıyaslamada diğer yöntemlere göre daha az başarılı olduğu görülmektedir. Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’ de verilen düşük hız yüklü/yüksüz senaryolarında, orta hız yüklü/yüksüz senaryolarında gözlemlenen durumlar aynen gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.22. GA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin yüksüz durumda test edilmesine ilişkin MSE değerleri

YÜK DURUMU	HIZ DURUMU	YÖNTEM	PARAMETRE TEST SONUCU MSE DEĞERLERİ	
			AKIM HATASI ($i_{sa} + i_{s\beta}$)	HIZ HATASI (ω_m)
Yüksüz	Yüksek hız (Şekil 3.15)	Yöntem-I	0.0362	-
		Yöntem-II	0.1659	0.0116
		Yöntem-III	0.0473	2.56e-4
		Yöntem-IV	0.0121	0.0059
	Orta hız (Şekil 3.17)	Yöntem-I	0.0455	-
		Yöntem-II	0.2069	0.0062
		Yöntem-III	0.0422	8.24e-5
		Yöntem-IV	0.0067	0.0033
	Düşük hız (Şekil 3.19)	Yöntem-I	0.0423	-
		Yöntem-II	0.1869	3.94e-4
		Yöntem-III	0.0436	9.35e-6
		Yöntem-IV	0.0028	9.11e-5

Çizelge 3.23. GA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin yüklü durumda test edilmesine ilişkin MSE değerleri

YÜK DURUMU	HIZ DURUMU	YÖNTEM	PARAMETRE TEST SONUCU MSE DEĞERLERİ	
			AKIM HATASI ($i_{s\alpha} + i_{s\beta}$)	HIZ HATASI (ω_m)
Yüklü	Yüksek hızda (Şekil 3.16)	Yöntem-I	0.0331	-
		Yöntem-II	0.1521	0.1108
		Yöntem-III	0.0549	2.56e-4
		Yöntem-IV	0.0146	0.0246
	Orta hız (Şekil 3.18)	Yöntem-I	0.0408	-
		Yöntem-II	0.1857	0.1060
		Yöntem-III	0.0503	1.40e-4
		Yöntem-IV	0.0083	0.0223
	Düşük hız (Şekil 3.20)	Yöntem-I	0.0390	-
		Yöntem-II	0.1733	0.0542
		Yöntem-III	0.0527	1.73e-4
		Yöntem-IV	0.0031	0.0206

GA kullanılarak benzetim ortamında gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarından elde edilen parametrelerin test edilmesine ilişkin Şekil 3.15-3.20’de ve Çizelge 3.22-3.23’te sunulan sonuçlar incelendiğinde aşağıdaki gözlemler yapılmıştır.

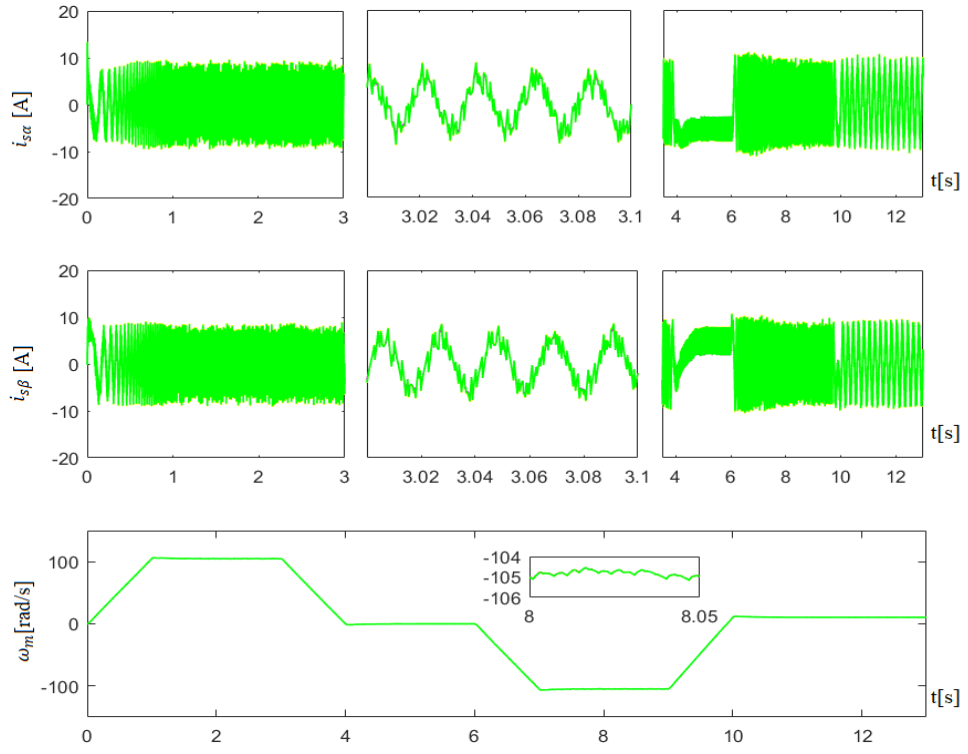
- Akım hatasına ilişkin MSE değerleri göz önüne alındığında, testlerde kullanılan tüm senaryolarda Yöntem-I için elde edilen parametrelerin Yöntem-II için elde edilen parametrelerden daha başarılı olduğu görülmektedir.
- Yöntem-II için belirlenen parametrelerin test sonuçları incelendiğinde, akım hatalarına göre eniyileme çalışmalarının gerçekleştirilmesine rağmen ayrıntıları Şekil 3.11-3.14’te verilen test senaryoları için akım hatasına ilişkin MSE değerinin diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

- Tüm test senaryoları için hız hatasına ilişkin MSE değeri en düşük Yöntem-III'te elde edildiği,
- Yöntem-IV ile belirlenen parametrelerin sonuçları incelendiğinde, Yöntem-II'nin hız hatasına ilişkin MSE değerinden ve Yöntem-III'ün akım hatasına ilişkin MSE değerinden bütün senaryolarda daha düşük MSE değerleri elde edilmiştir. Bu durum Yöntem-IV'ün Yöntem-II ve Yöntem-III'ün başarılı yönlerini birleştirdiği olarak yorumlanabilir.

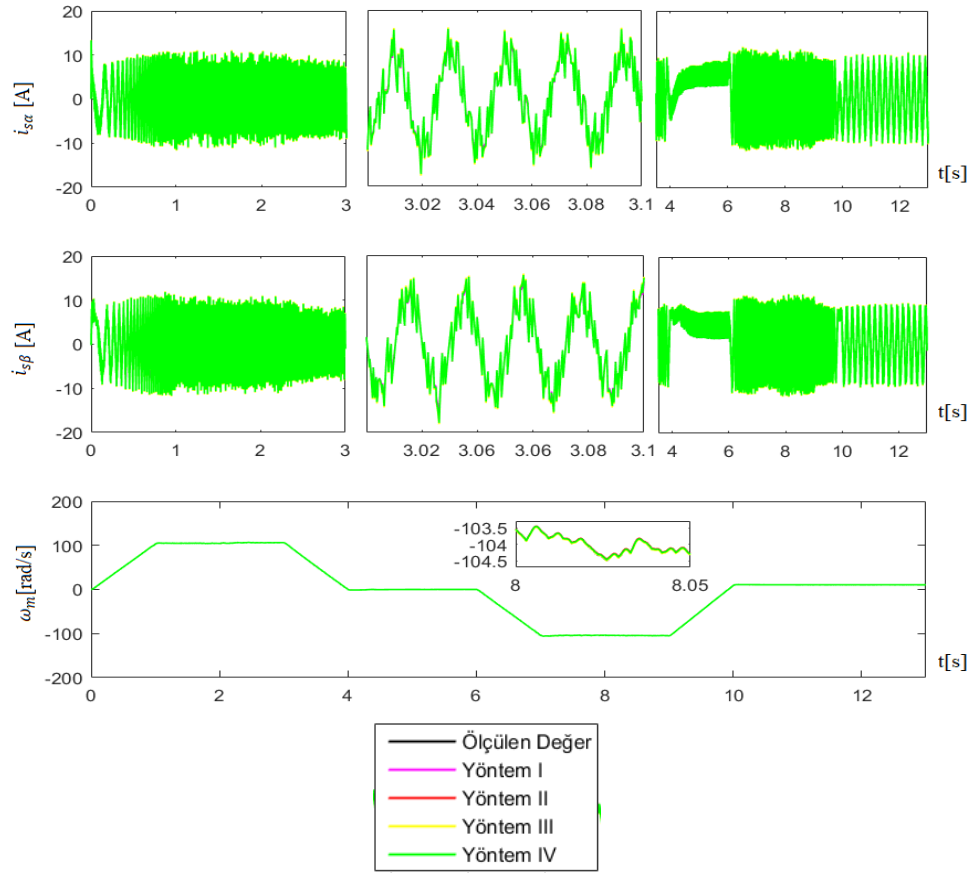
3.4.2. DEA kullanılarak benzetim ortamında belirlenen parametrelere ilişkin test sonuçları

Benzetim ortamında DEA kullanılarak belirlenen ASM parametrelerinin, ayrıntıları yukarda verilen senaryolar altında blok diyagramı Şekil 3.3'te verilen doğrudan VK sistemi kullanılarak test edilmesine ilişkin sonuçları Şekil 3.21-3.26'da verilmiştir. Böylece DEA kullanılarak belirlenen ASM parametreleri yüksüz/yük değişimini içeren durumlar için geniş bir hız aralığında test edilerek doğrulanmıştır. Sunulan sonuçlarda Yöntem-I, Yöntem-II, Yöntem-III ve Yöntem-IV kullanarak belirlenen ASM parametreleri eş zamanlı olarak test edilmiş ve elde edilen sonuçlar üst üste çizdirilmiştir. Şekil 3.21-3.26'da görsel olarak sunulan sonuçlara ilişkin her bir yöntemin MSE hatası Çizelge 3.24-3.25'te verilmiştir.

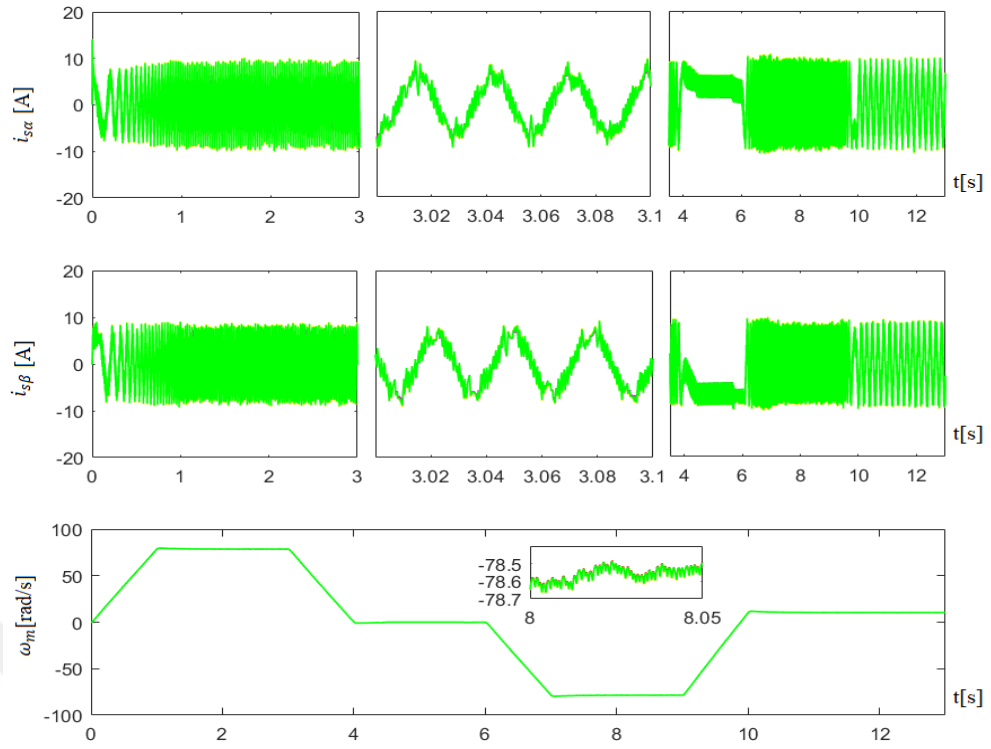
Şekil 3.21'de yüksek hız yüksüz durumun incelendiği senaryoda Yöntem-II, III ve IV'ten elde edilen sonuçların gerçek akım ve hız bilgisine GA'dan elde edilen bilgilere kıyasla çok daha yakın bir sonuç verdiği görülmektedir. Yöntem-I'den hız çıkışı alınamadığı için hız hatası yönünden GA'da olduğu gibi karşılaştırılamamaktadır. Şekil 3.22'de yüksek hız yüklü senaryo şartlarında hem Yöntem-II'nin hem de Yöntem-IV'ün akım ve hız bilgisi yönünden oldukça başarılı oldukları görülmektedir. Bu durum Yöntem-II için GA'dan elde edilen sonuçların tam tersidir.



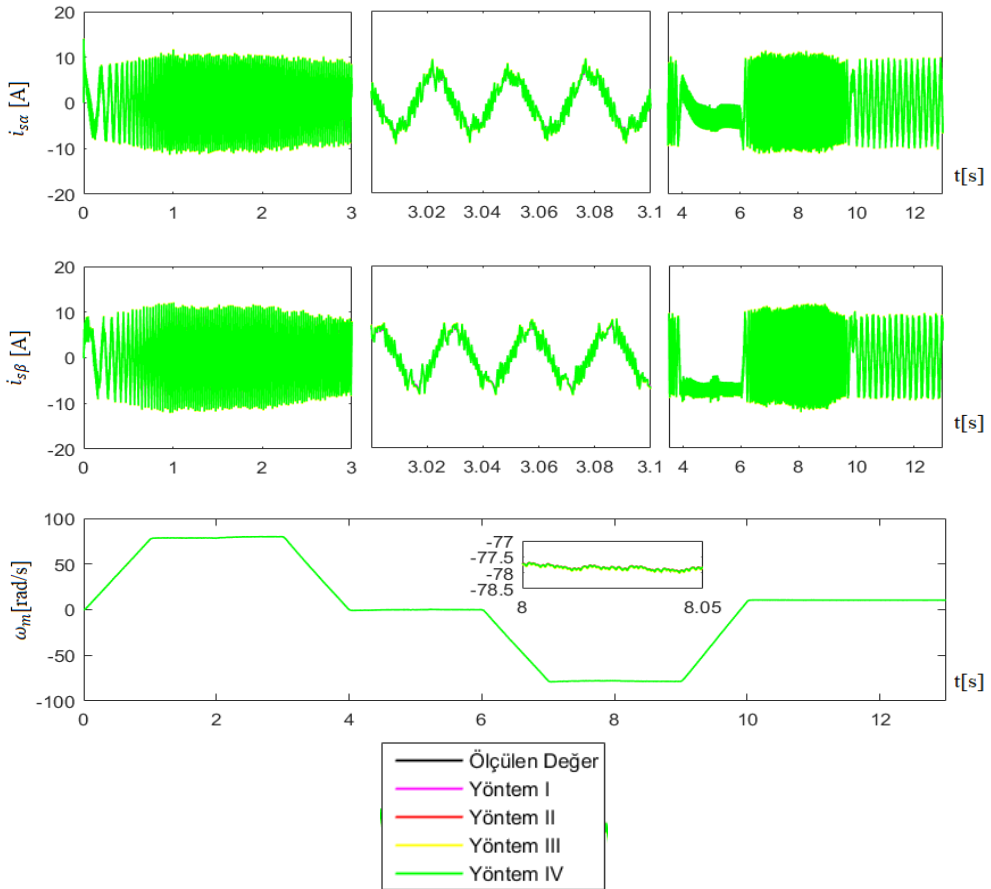
Şekil 3.21. Yüksek hız yüksüz durumda DEA için parametre test sonuçları



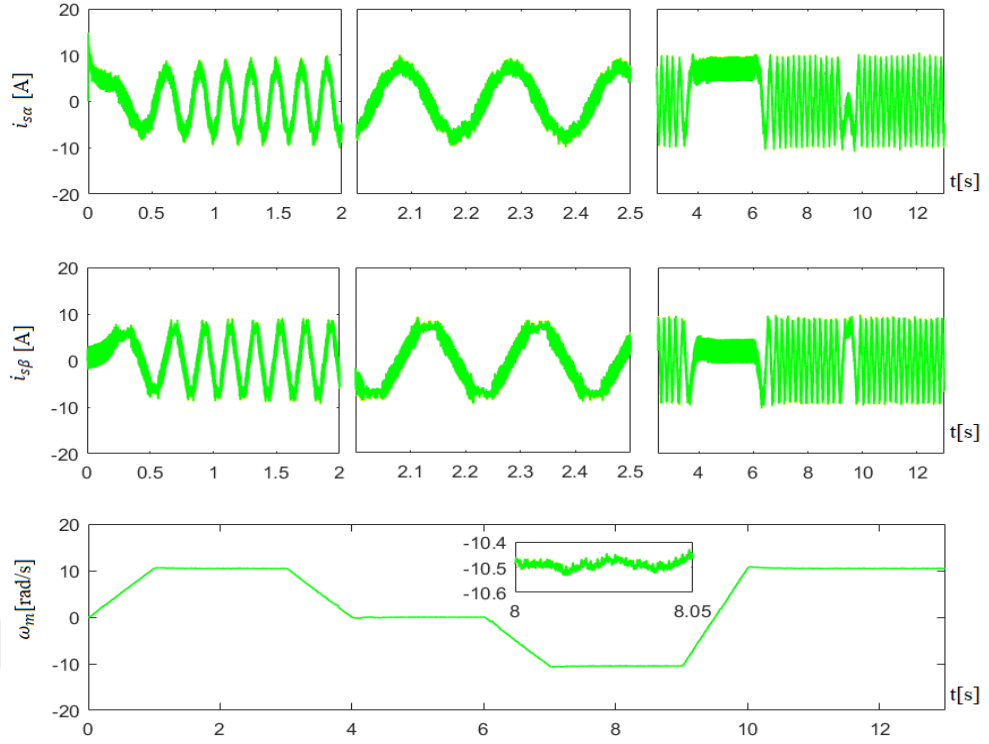
Şekil 3.22. Yüksek hız yüklü durumda DEA için parametre test sonuçları



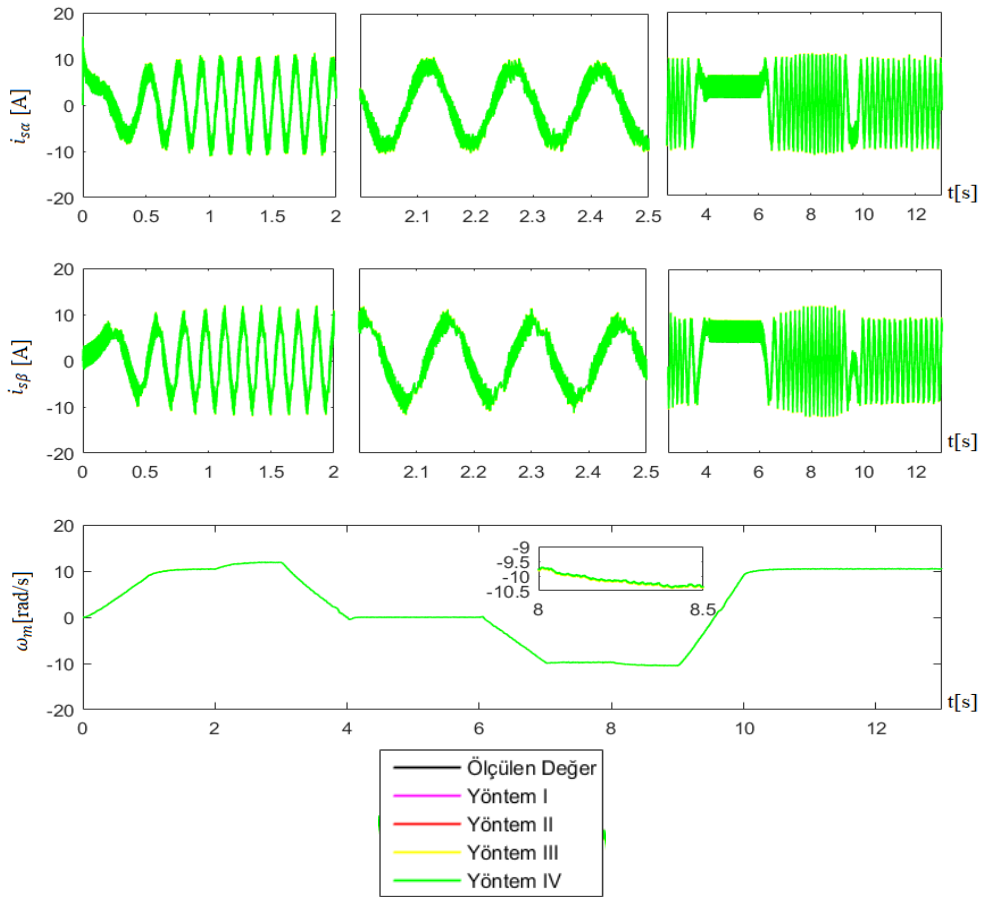
Şekil 3.23. Orta hız yüksüz durumda DEA için parametre test sonuçları



Şekil 3.24. Orta hız yüklü durumda DEA için parametre test sonuçları



Şekil 3.25. Düşük hız yüksüz durumda DEA için parametre test sonuçları



Şekil 3.26. Düşük hız yüklü durumda DEA için parametre test sonuçları

Şekil 3.23'te orta hız yüksüz şartlarda gerçekleştirilen senaryoda, yöntemlerden elde edilen hız bilgisi incelendiğinde Yöntem-II, III ve IV'ün gerçek hız bilgisine çok yakın sonuç verdiği, akım bilgisi incelendiğinde ise Yöntem-III'ün diğer yöntemlere göre başarısının daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 3.24'te orta hız yüklü şartlarda gerçekleştirilen senaryoda orta hız yüksüz şartlarda olduğu gibi Yöntem-II, III ve IV'ün hız bilgisinde oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Aynı durumlar Şekil 3.25 ve 3.26'da düşük hız yüklü/yüksüz senaryolarında da elde edilmektedir.

Çizelge 3.24. DEA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin yüksüz durumda test edilmesine ilişkin MSE değerleri

YÜK DURUMU	HIZ DURUMU	YÖNTEM	PARAMETRE TEST SONUCU MSE DEĞERLERİ	
			AKIM HATASI ($i_{s\alpha} + i_{s\beta}$)	HIZ HATASI (ω_m)
Yüksüz	Yüksek hız (Şekil 3.21)	Yöntem-I	0.1210	-
		Yöntem-II	6.70e-4	2.05e-4
		Yöntem-III	0.4343	2.74e-5
		Yöntem-IV	1.88e-4	3.45e-5
	Orta hız (Şekil 3.23)	Yöntem-I	0.1119	-
		Yöntem-II	6.97e-4	1.12e-4
		Yöntem-III	0.5312	1.65e-5
		Yöntem-IV	1.96e-4	1.86e-5
	Düşük hız (Şekil 3.25)	Yöntem-I	0.0976	-
		Yöntem-II	0.0013	5.44e-6
		Yöntem-III	0.5401	2.05e-6
		Yöntem-IV	1.99e-4	7.63e-7

Çizelge 3.25. DEA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin yüklü durumda test edilmesine ilişkin MSE değerleri

YÜK DURUMU	HIZ DURUMU	YÖNTEM	PARAMETRE TEST SONUCU MSE DEĞERLERİ	
			AKIM HATASI ($i_{sa} + i_{s\beta}$)	HIZ HATASI (ω_m)
Yüklü	Yüksek hız (Şekil 3.22)	Yöntem-I	0.1192	-
		Yöntem-II	6.58e-4	6.45e-4
		Yöntem-III	0.3936	1.94e-5
		Yöntem-IV	1.85e-4	2.17e-4
	Orta hız (Şekil 3.24)	Yöntem-I	0.1056	-
		Yöntem-II	6.69e-4	4.93e-4
		Yöntem-III	0.4640	1.30e-5
		Yöntem-IV	1.78e-4	2.08e-4
	Düşük hız (Şekil 3.26)	Yöntem-I	0.0871	-
		Yöntem-II	0.0015	3.76e-5
		Yöntem-III	0.4734	1.03e-4
		Yöntem-IV	1.75e-4	1.07e-4

DEA kullanılarak benzetim ortamında gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarından elde edilen parametrelerin test edilmesine ilişkin Şekil 3.21-3.26'da ve Çizelge 3.24-3.25'te sunulan sonuçlar incelendiğinde;

- Akım hatasına ilişkin MSE değerleri göz önüne alındığında, testlerde kullanılan tüm senaryolarda Yöntem-II için elde edilen parametrelerin Yöntem-I için elde edilen parametrelerden daha başarılı olduğu görülmektedir.
- Yöntem-III ile belirlenen parametrelerin yüksüz/yük değişimi durumlarında düşük hızda hız terslendirmesi haricinde bütün test senaryoları için hız hatasına ilişkin MSE değerinin en düşük olduğu yöntemdir.
- Yöntem-IV ile belirlenen parametrelerin sonuçları incelendiğinde, Yöntem-II'nin hız hatasına ilişkin MSE değerinden ve Yöntem-III'ün akım hatasına ilişkin MSE değerinden düşük hızda yük değişimi senaryosu hariç bütün senaryolarda daha

düşük MSE değerleri elde edilmiştir. Bu durum Yöntem-IV'ün Yöntem-II ve Yöntem-III'ün başarılı yönlerini birleştirdiği olarak yorumlanabilir.

3.4.3. GA ve DEA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin test edilmesine ilişkin karşılaştırma ve gözlemler

GA ve DEA ile benzetim ortamında belirlenen parametrelerin ayrıntıları Bölüm 3.4'te sunulan senaryolar altında test edilmesine ilişkin sonuçlar ve belirtilen sonuçlar ile ilgili gözlemler GA ve DEA için sırasıyla Bölüm 3.4.1 ve Bölüm 3.4.2'de sunulmuştur. Bu kısımda ise benzetim ortamında test edilen GA ve DEA ile belirlenen parametrelere ilişkin karşılaştırmalara yer verilmektedir. Bu kapsamda GA ve DEA ile belirlenen parametrelerin başarımları karşılaştırıldığında;

- GA ile belirlenen parametrelerin benzetim ortamında test edilmesi durumunda Yöntem-I ile belirlenen parametreler bütün senaryolarda Yöntem-II'ye kıyasla en düşük akım hatası MSE değerine sahip olmasına rağmen, bu durum DEA ile belirlenen parametrelerin test çalışmalarında tam tersi olarak gözlemlenmiştir.
- Yöntem-III ile GA kullanarak elde edilen parametreler bütün test senaryoları için en düşük hız hatasına ilişkin MSE değerine sahipken, Yöntem-III ile DEA kullanarak elde edilen parametreler ile düşük hızda diğer yöntemlere (yüksüz durum için Yöntem-IV ve yüklü Yöntem-II) kıyasla daha başarısızdır.
- Hem GA hem de DEA ile benzetim ortamında elde edilen parametrelerin test edilmesi sonucunda, Yöntem-IV ile belirlenen parametrelerin başarımlarının diğer yöntemlere kıyasla genel anlamda daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu durum Yöntem-IV'te akım ve hız hatalarının çok-amaçlı eniyileme çalışmalarının birlikte değerlendirilmesinden kaynaklandığı sonucuna varılabilir.
- Benzetim ortamında gerçekleştirilen parametre test çalışmalarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde MF3 kullanılarak DEA ile belirlenen parametrelerin MF3 kullanılarak GA ile belirlenen parametrelere kıyasla daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir

Sonuç olarak GA ve DEA kullanılarak gerçekleştirilen benzetim çalışmalarında en başarılı sonuçlar DEA kullanılarak Yöntem-IV ile belirlenen parametrelerden elde edilmiştir.

BÖLÜM IV

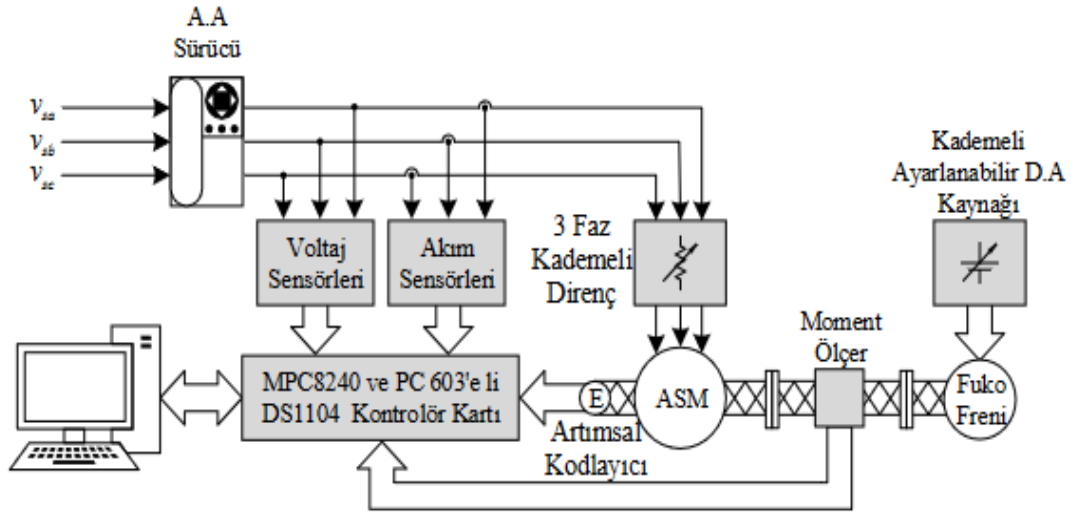
ASM’NİN DİNAMİK MODEL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN GERÇEK ZAMANLI ENİYİLEME ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, Bölüm III’te ayrıntılıları verilen ve benzetim ortamında gerçekleştirilen çalışmalar aynı eniyileme parametreleri için gerçek zamanlı deney çalışmalarından elde edilen ASM verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Bölüm III’te gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında olduğu gibi hem GA hem de DEA ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında popülasyon sayısı 200 ve iterasyon sayısı 100 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, tez kapsamında hem GA hem de DEA ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmaları birden fazla kez yinelenmiş olup (her bir yöntem için en az 10 tekrar) gerçek zamanlı deney çalışmalarında yinelenen eniyileme çalışmalarından en düşük maliyet fonksiyonu değerine sahip üçer sonuç sunulmuştur. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların uyumlu olması amacı ile gerçek zamanlı çalışmalarda Çizelge 3.1’deki gerçek zamanlı deneylerde kullanılan ASM’ye ait parametreler kullanılmıştır. Ayrıca gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında her bir motor parametresi için arama uzayını sınırlamak amacıyla geniş aralıklar seçilmiş olup, bütün eniyileme çalışmalarında aynı aralıklar kullanılmıştır. Parametre aralıkları seçilen minimum ve maksimum değerler ile belirlenmiş olup, belirtilen parametre aralıkları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Tez kapsamında gerçekleştirilen gerçek zamanlı çalışmalarda hem GA hem de DEA kullanılarak yapılan eniyileme işlemleri sonucunda elde edilen parametrelerin başarımı IEEE standart 112 ile uyumlu DA, boşa çalışma ve kilitli rotor deneylerinden hesaplanan Çizelge 3.1’deki parametrelerin başarımları ile karşılaştırılmıştır (IEEE Standart-112, 1996).

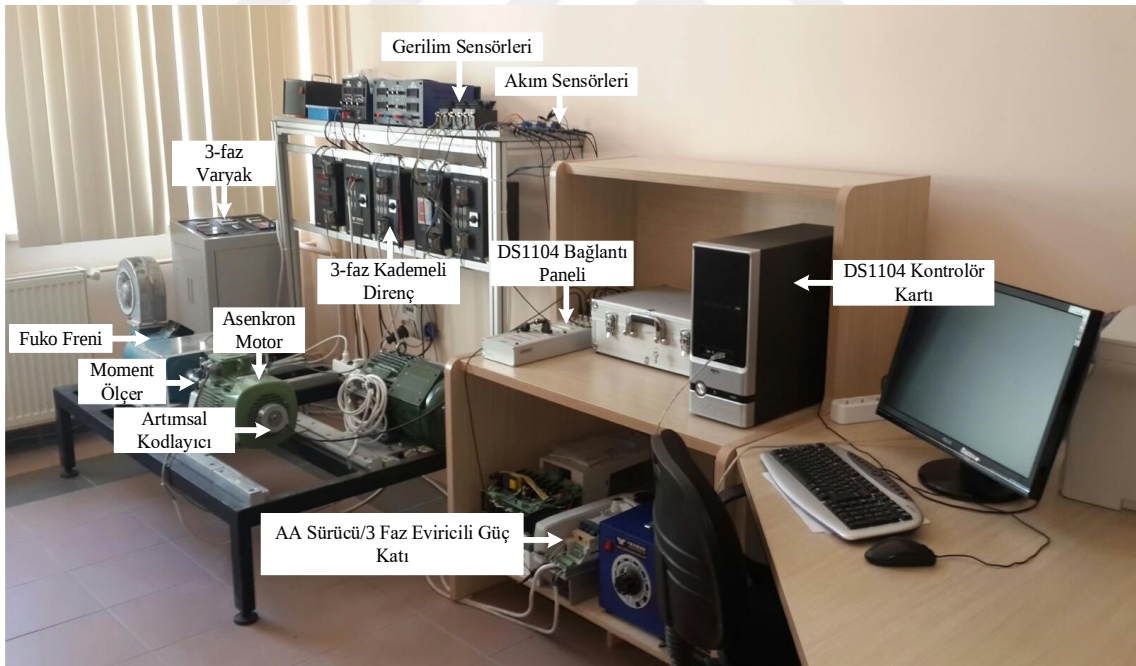
Gerçek zamanlı deneylerde kullanılan sincap kafesli ASM’nin (SKASM’nin) elektriksel parametrelerinin belirlenmesinde IEEE standart 112 referans alınmış olup, Çizelge 3.1’deki mekanik parametrelerin belirlenmesi ise gerçek zamanlı deneylerle doğrulama işlemi sonucunda elde edilmiştir.

Bu tez kapsamında GA ve DEA ile tek-amaçlı ve çok-amaçlı olarak gerçekleştirilen gerçek zamanlı eniyileme çalışmaları için eniyileme verilerinin elde edildiği ve belirlenen

parametrelerin başarımının gerçek zamanlı olarak test edildiği deney düzeneğine ait elektriksel bağlantı şeması Şekil 4.1’de ve görsel Fotoğraf 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan deney düzeneğine ait elektriksel bağlantı şeması (Yıldız,2016)



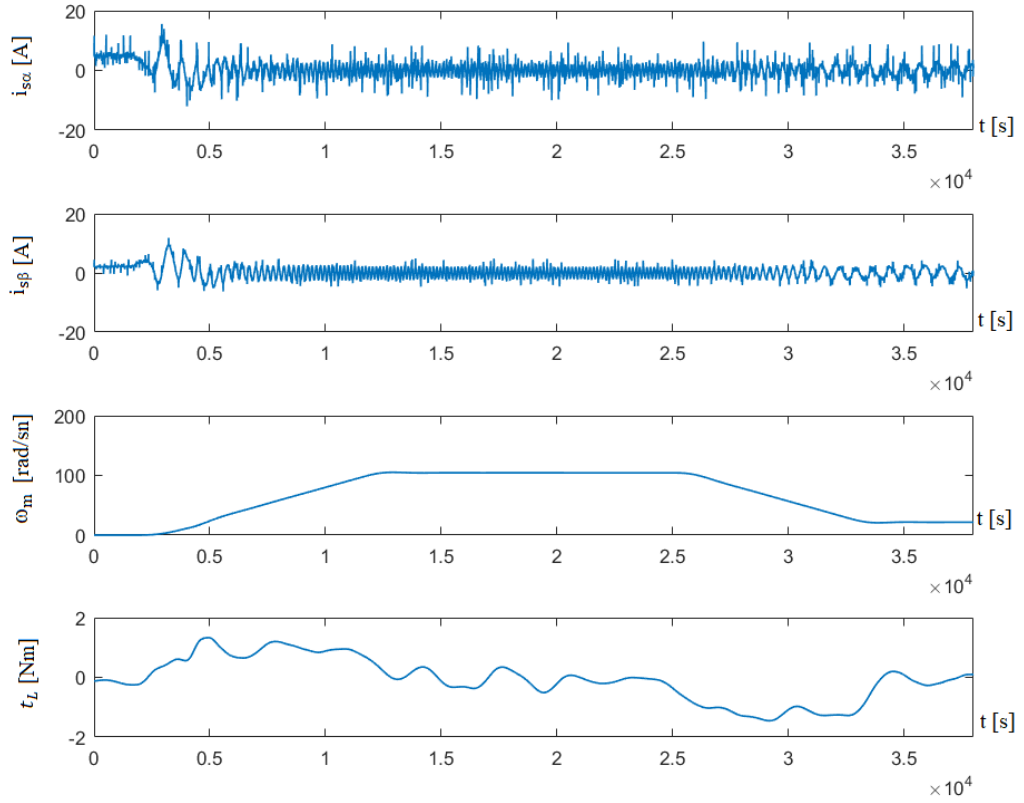
Fotoğraf 4.1. Tez çalışmalarında kullanılan gerçek zamanlı deney düzeneği (Yıldız,2016)

Şekil 4.1’de verilen elektriksel bağlantı şemasına ve Fotoğraf 4.1’de verilen gerçek zamanlı deney düzeneğine ait makine ve teçhizatların ayrıntıları aşağıdaki gibidir;

- Üç faz akım ve gerilim ölçümleri LA55-P/SP1 ve LV100-400 algılayıcıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.
- ASM'ye darbe genişlik modülasyonu (DGM) ile elde edilmiş gerilimlerin uygulanması için Control Techniques firması tarafından üretilen 7.5 [kW]'lık bir sürücü kullanılmaktadır.
- 2.2 [kW] gücüne sahip, 3 kutuplu ve anma hızı 950 [rpm] olan SKASM kullanılmıştır.
- 30 [N.m] değerine kadar yük momentinin üretilmesi için fuko freni kullanılmıştır.
- Rotor açisal hızı ve fuko freni tarafından oluşturulan yük momenti bilgilerinin ölçülmesi için sırasıyla 5000 dilimlik ERN120 artımsal kodlayıcı ve DBRK-50 serisi moment ölçer kullanılmıştır.
- Matlab-Simulink ortamında oluşturulan algoritmaların gerçekleştirilmesi ve sonuçların anlık olarak izlenmesi için kişisel bilgisayar, DS1104 kontrolör kartı ve ControlDesk arayüzü kullanılmıştır (Yıldız,2016).

Belirtilen deney düzeneğinden eniyileme işlemlerinin gerçekleştirilmesi için elde edilen eğitim verisine ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgileri Şekil 4.2'de yer almaktadır. Ayrıntıları Bölüm 3.2.1-3.2.4 ile verilen yöntemlerin kullanıldığı GA ve DEA ile gerçekleştirilen eniyileme işlemlerinin tamamında Şekil 4.2 ile verilen yüksüz durumdaki eniyileme verisi kullanılmıştır.

Bu durum, tez kapsamında metasezgisel algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilen ASM parametrelerinin belirleme işleminin, mümkün olduğunca daha az ASM durum ve/veya parametresinin ölçülerek gerçekleştirilmesinin amaçlanmasından kaynaklanmaktadır. Bu kapsamda eniyileme verisinde ASM yüksüz çalıştırılarak, ölçüm sisteminde maliyet açısından büyük bir paya sahip olan moment ölçer kullanılmadan da metasezgisel algoritmalar ile ASM parametrelerinin belirlenebildiğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Ancak, bu tez çalışmasında deney düzeneğinde moment ölçer bulunduğundan dolayı ASM boşa çalışırken ölçülen yaklaşık sıfır ortalamalı yük momenti bilgisi eniyileme çalışmalarına dahil edilmiştir. Tez kapsamında ASM'nin boşa çalışması için elde edilen eniyileme verileri kullanılarak belirlenen ASM parametreleri doğrulanırken yüklü ve yüksüz durumlarda test edilmiştir.



Şekil 4.2. Gerçek zamanlı deneysel çalışmalarının eniyilenmesinde kullanılan eğitim verisine ait i_{sa} , i_{sb} , ω_m ve t_L bilgisi

4.1. GA Temelli Gerçek Zamanlı Eniyileme Sonuçları

GA kullanılarak yapılan gerçek zamanlı eniyileme işlemleri, benzetim çalışmalarına benzer şekilde ayrıntıları Bölüm 3.2.1-3.2.4 ile verilen 4 farklı yöntem ve Eşitlik (3.12)-(3.14)'te verilen 3 farklı maliyet fonksiyonu için gerçekleştirilmiştir. Her bir yöntem ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarına ait ayrıntılar ve eniyileme sonuçları takip eden alt bölümlerde sunulmuştur. Çizelge 4.1'de IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerine ait MSE değeri verilmiştir. Eniyileme çalışmaları sonucunda elde edilen MSE değerleri Çizelge 4.1'de verilen MSE değerleri ile karşılaştırılarak parametrelerin başarımları incelenmiştir.

Çizelge 4.1. IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin MSE değeri

IEEE Standart 112 Akım Hatası MSE Değeri	IEEE Standart 112 Akım Hatası MSE Değeri
2.8355	3.5977

4.1.1. Yöntem-I: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Bu kısımda, Eşitlik (3.12)'de verilen maliyet fonksiyonu ve Şekil 4.2'de verilen gerçek zamanlı eniyileme verileri kullanılarak GA ile ASM'nin elektriksel parametreleri belirlenmiştir. Benzetim çalışmalarına benzer şekilde, gerçek zamanlı verilerle gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarında da ölçülen hız bilgisi doğrudan eniyileme işlemlerinde kullanılmıştır. GA ile belirlenen parametre değerleri ve akım hatasına ilişkin MSE değerleri en iyi 3 farklı eniyileme için Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yöntem-I ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	R_s (3.03 Ω)	R_r (2.53 Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)
1.	1.4829	3.3142	4.9500	0.1561	0.0854	0.1267
2.	1.4853	3.3311	4.9426	0.1754	0.0986	0.1202
3.	1.4857	3.3064	4.9364	0.1725	0.1098	0.1149

4.1.2. Yöntem-II: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Yöntem-I'den farklı olarak Yöntem-II'de ASM'nin hem elektriksel hem de mekanik parametreleri, Eşitlik (3.12)'de verilen maliyet fonksiyonu ve Şekil 4.2'de verilen gerçek zamanlı eniyileme verileri kullanılarak GA ile belirlenmiştir. Benzetim çalışmalarına benzer şekilde, Yöntem-II'de ölçülen hız bilgisi eniyileme işleminde kullanılmamıştır. GA ile belirlenen ASM'nin elektriksel ve mekanik parametrelerine ait değerleri ve akım hatasına ilişkin MSE değerleri 3 farklı eniyileme için Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Yöntem-II ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	Hız Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ (rad/s))
1.	0.8723	0.7964	2.9000	2.2012	0.1704	0.0467	0.0031	0.0181	0.0009
2.	1.5886	13.4176	3.0099	3.7137	0.1324	0.1114	0.0360	0.0003	0.0080
3.	1.7844	5.9330	3.5045	4.8213	0.2169	0.0757	0.0333	0.0005	0.0095

4.1.3. Yöntem-III: MF2'ye göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Eşitlik (3.13)'te verilen maliyet fonksiyonu ve Şekil 4.2'de verilen gerçek zamanlı eniyileme verileri kullanılarak GA ile ASM'nin hem elektriksel hem de mekanik parametreleri belirlenmiştir. Yöntem-III'te ölçülen akım bilgisi eniyileme işleminde kullanılmamıştır. GA ile belirlenen parametre değerleri 3 farklı eniyileme için Çizelge 4.4'te verilmiştir

Çizelge 4.4. Yöntem-III ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	Hız Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ (rad/s))
1.	4.6441	0.1321	4.1478	2.9209	0.3793	0.0046	0.0032	0.0009	0.0040
2.	2.6507	0.1543	3.0890	3.7631	0.2813	0.0109	0.0231	0.0009	0.0033
3.	9.6908	0.1661	4.2335	3.0378	0.4214	0.0088	0.0464	0.0007	0.0042

4.1.4. Yöntem-IV: MF3'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Yöntem-IV'te ASM'nin hem elektriksel hem de mekanik parametrelerinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen eniyileme işlemlerinde Eşitlik (3.14)'te verilen maliyet fonksiyonları ve Şekil 4.2'de verilen gerçek zamanlı eniyileme verileri kullanılmıştır. Yöntem-IV'te ölçülen akım ve hız bilgileri eniyileme işleminde maliyet fonksiyonu içerisinde kullanılmıştır. GA ile belirlenen parametre değerleri ve hem akım hem de hız bilgilerine ilişkin MSE değerleri en iyi 3 farklı eniyileme için Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Yöntem-IV ile GA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	Hız Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ (rad/s))
1.	0.9574	0.5645	2.7564	1.8694	0.1608	0.0499	0.0043	0.0191	0.0006
2.	0.6152	1.3533	3.9766	1.9519	0.2209	0.0143	0.0414	0.0003	0.0051
3.	1.8093	1.3476	4.2511	4.8403	0.1796	0.0213	0.0237	0.0001	0.0056

4.2.DEA Temelli Gerçek Zamanlı Eniyileme Sonuçları

DEA ile gerçekleştirilen gerçek zamanlı eniyileme çalışmalarında, GA ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmaları ile adil bir karşılaştırma yapılabilmesi için eşit şartlar altında Şekil 4.2’de verilen eniyileme verisi kullanılarak, ayrıntıları Bölüm 3.2.1-3.2.4 ile verilen 4 farklı yöntem ve Eşitlik (3.12)-(3.14)’te verilen 3 farklı maliyet fonksiyonu için eniyileme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Her bir yöntem ile gerçekleştirilen eniyileme çalışmalarına ait ayrıntılar ve eniyileme sonuçları takip eden alt bölümlerde sunulmuştur.

4.2.1. Yöntem-I: MF1’e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Yöntem-I’de Bölüm 4.1.1’de GA ile gerçekleştirilen eniyileme işlemleri DEA kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, belirlenen ASM’nin elektriksel parametrelerine ait değerler ve akım hatasına ilişkin MSE değeri 3 farklı eniyileme için Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Yöntem-I ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)
1.	1.4815	3.3036	4.3096	0.1477	0.0456	0.1260
2.	1.4817	3.3039	3.8370	0.1548	0.0339	0.1189
3.	1.4912	3.3037	4.7232	0.1417	0.0562	0.1320

4.2.2. Yöntem-II: MF1'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Yöntem-II'de Bölüm 4.1.2'de GA ile gerçekleştirilen eniyileme işlemleri DEA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DEA kullanılarak belirlenen ASM'nin elektriksel ve mekanik parametrelerine ait değerler ve akım hatasına ilişkin MSE değeri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Yöntem-II ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	Hız Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ (rad/s))
1.	0.7678	1.6946	4.3683	5.0	0.1653	0.0366	0.0156	0.001	0.0001
2.	1.3938	11.3478	2.6331	4.2001	0.1696	0.0907	0.0813	0.0009	0.01
3.	1.4005	12.1526	2.5816	2.6460	0.1393	0.1172	0.0409	0.001	0.0099

4.2.3. Yöntem-III: MF2'ye göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

Yöntem-III'te Bölüm 4.1.3'te GA ile gerçekleştirilen eniyileme işlemleri DEA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DEA kullanılarak belirlenen ASM'nin elektriksel ve mekanik parametrelerine ait değerler ve hız hatasına ilişkin MSE değeri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Yöntem-III ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

	Akım Hatası MSE Değeri	Hız Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ (rad/s))
1.	5.2981	0.1057	4.9775	3.0504	0.47	0.0009	0.0074	0.001	0.0037
2.	4.8342	0.1067	4.9879	2.9267	0.4665	0.0107	0.0016	0.0009	0.0040
3.	6.7339	0.1115	4.9076	3.0623	0.4574	0.0014	0.0037	0.0008	0.0041

4.2.4. Yöntem-IV: MF3'e göre R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin birlikte belirlenmesi

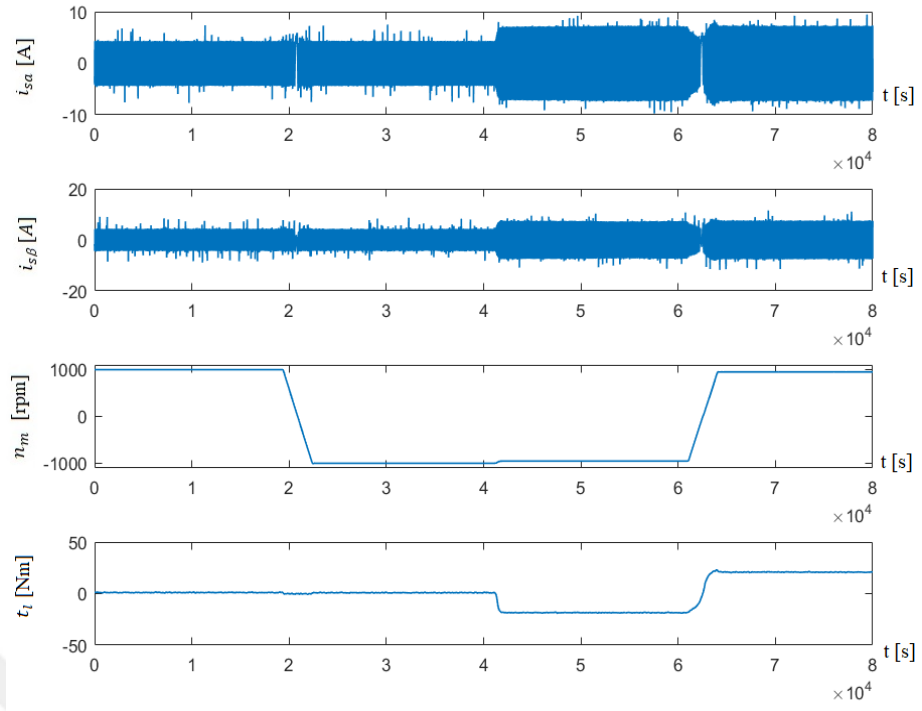
Yöntem-IV'te Bölüm 4.1.4'te GA ile ASM'nin hem elektriksel hem de mekanik parametrelerinin belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilen eniyileme işlemleri DEA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DEA kullanılarak belirlenen ASM parametrelerine ait değerler ile akım ve hız hatalarına ilişkin MSE değeri Çizelge 4.9'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. Yöntem-IV ile DEA kullanılarak gerçekleştirilen eniyileme sonuçları

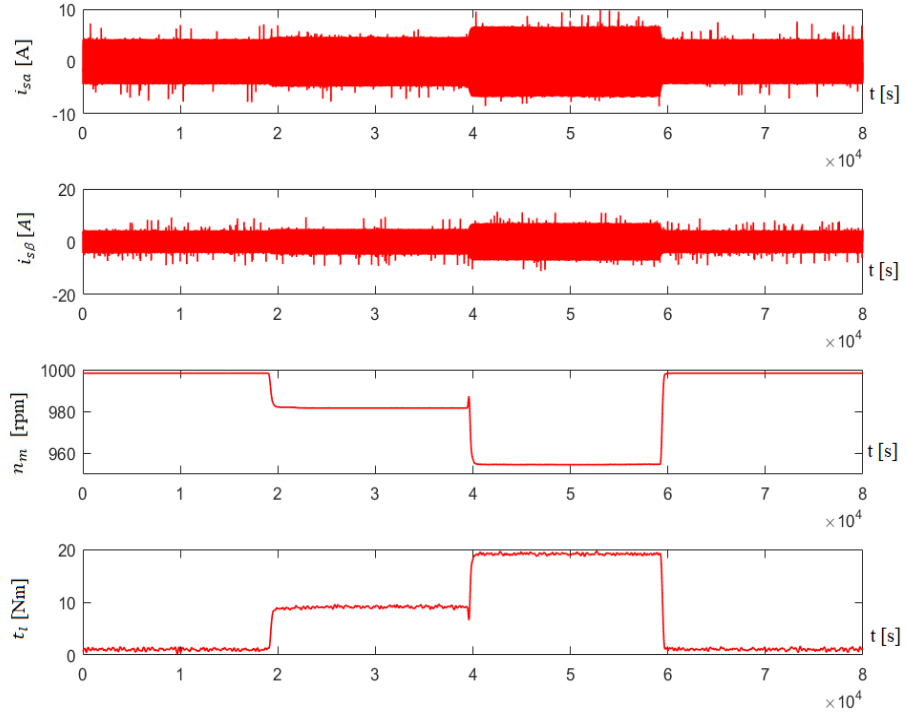
	Akım Hatası MSE Değeri	Hız Hatası MSE Değeri	R_s (3.03Ω)	R_r (2.53Ω)	L_m (0.135H)	L_{ls} (0.0116H)	L_{lr} (0.0174H)	J_L (0.055Kg.m ²)	B_L (0.001 Nm/ rad/s))
1.	0.8386	0.5815	2.8281	2.4877	0.1866	0.0283	0.0210	0.0182	0.0074
2.	0.8387	0.5793	2.8223	2.7025	0.1933	0.0220	0.0331	0.0179	0.0072
3.	0.8526	0.4916	2.7582	2.6645	0.1961	0.0186	0.0364	0.0183	0.0076

4.3. Parametre Testi İçin Gerçek Zamanlı Çalışmalar

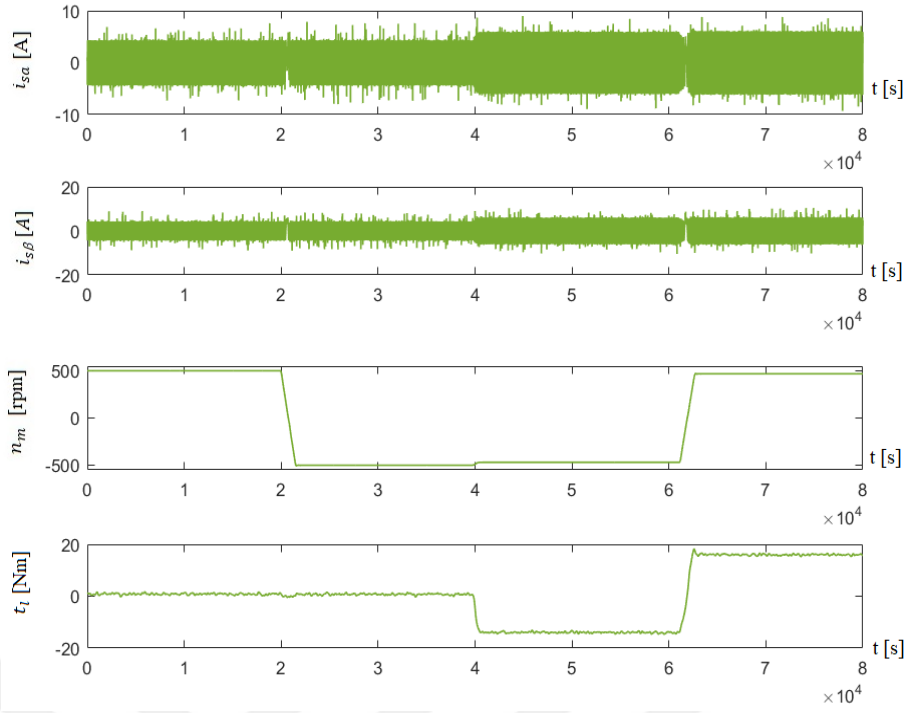
Bu kısımda hem GA hem de DEA kullanılarak ASM parametrelerinin gerçek zamanlı deneylerle belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen eniyileme işlemleri sonucunda elde edilen parametre değerlerinin başarımları Şekil 4.3-4.8'de verilen senaryolar altında gerçek zamanlı deney düzeneği kullanılarak test edilmiştir. Hem GA hem de DEA ile belirlenen parametrelerin gerçek zamanlı test işlemlerinde örnekleme zamanı $T = 100 \mu s$ olarak seçilmiştir.



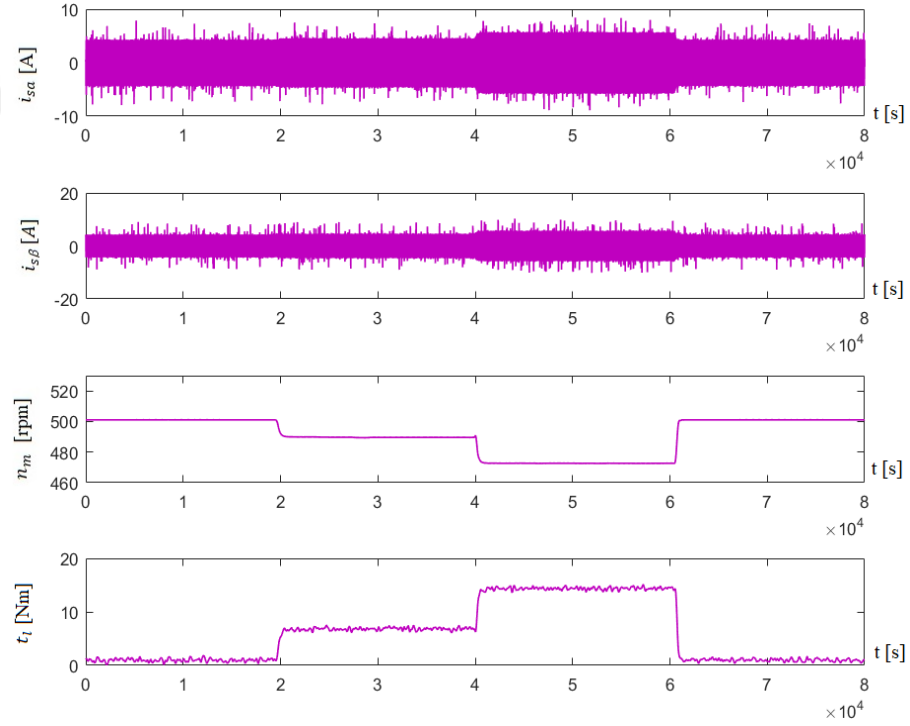
Şekil 4.3. Senaryo 1'e ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi



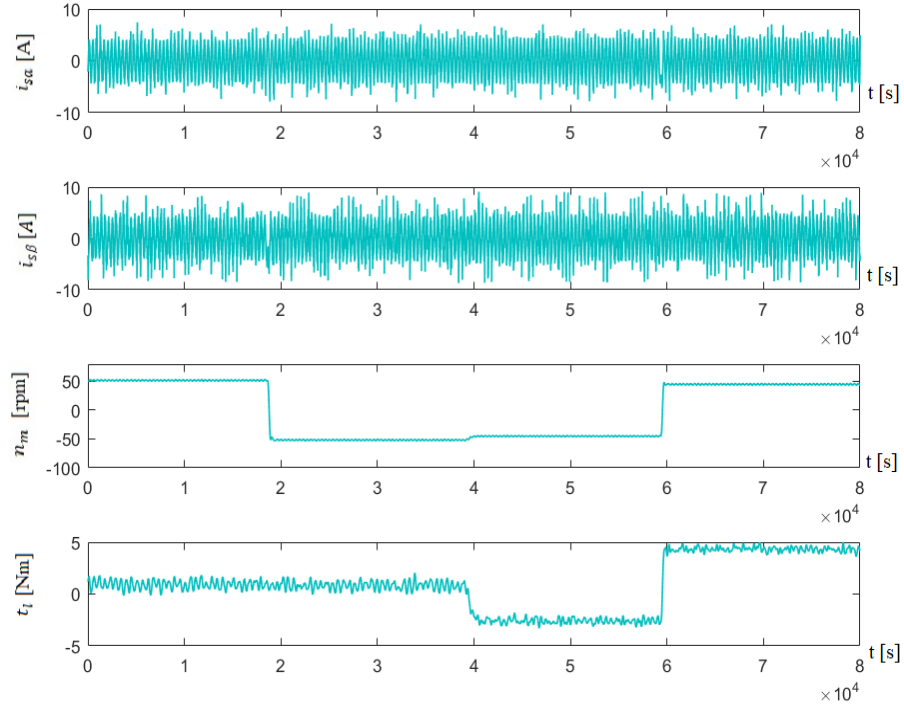
Şekil 4.4. Senaryo 2'ye ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi



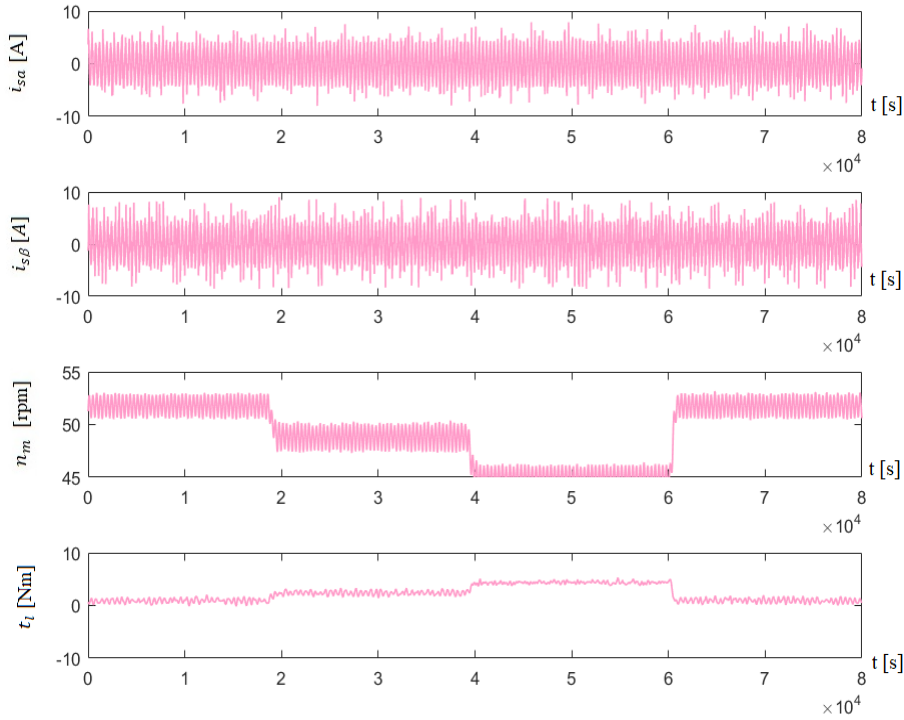
Şekil 4.5. Senaryo 3'e ait i_{sa} , i_{sb} , ω_m ve t_L bilgisi



Şekil 4.6. Senaryo 4'e ait i_{sa} , i_{sb} , ω_m ve t_L bilgisi



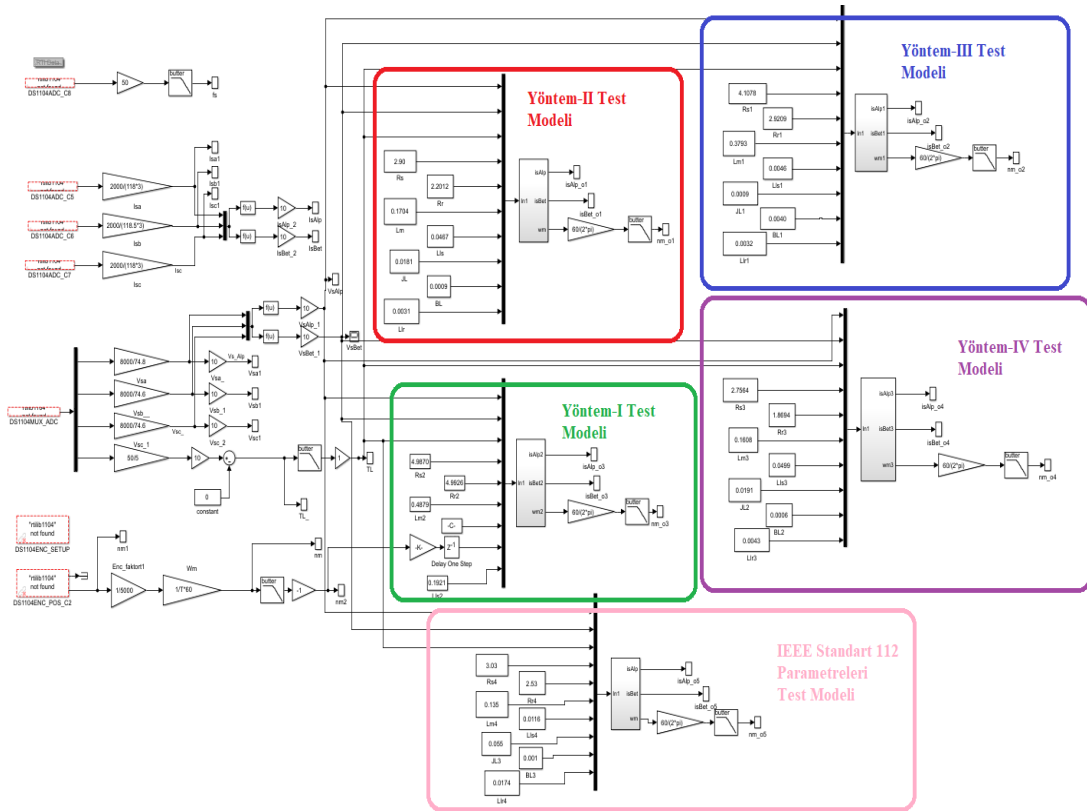
Şekil 4.7. Senaryo 5'e ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi



Şekil 4.8. Senaryo 6'ya ait $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, ω_m ve t_L bilgisi

Matlab-Simulink ortamında metasezgisel algoritmalarla elde edilen parametrelerin test çalışmalarına yönelik oluşturulan simulink modeli Şekil 4.9'da verilmiştir. Burada,

DS1104MUX_ADC bloğu ile ASM'ye uygulanan üç faz gerilim bilgileri kişisel bilgisayara aktarılmaktadır. DS1104ADC_C5, DS1104ADC_C6 ve DS1104ADC_C7 ile ASM'nin sırasıyla A, B ve C fazlarına ilişkin stator sargılarına uygulanan akım bilgileri kişisel bilgisayara aktarılmaktadır. Bu bilgiler kullanılarak S-function Builder'da tasarlanan algoritmalar için 3 faz/ 2 faz dönüşümü ile stator gerilimleri ve akımlarına ait duran eksen takımı bileşenleri (v_{sa} , $v_{s\beta}$, i_{sa} ve $i_{s\beta}$) elde edilir. Ölçülen yük momenti ise DS1104MUX_ADC'nin 4. kanalı aracılığıyla kişisel bilgisayara aktarılmaktadır. DS1104ENC_SETUP, DS1104 ENC_POS_C2 blokları kullanılarak rotor hız bilgisi bilgisayara aktarılmıştır (Demir, 2011).

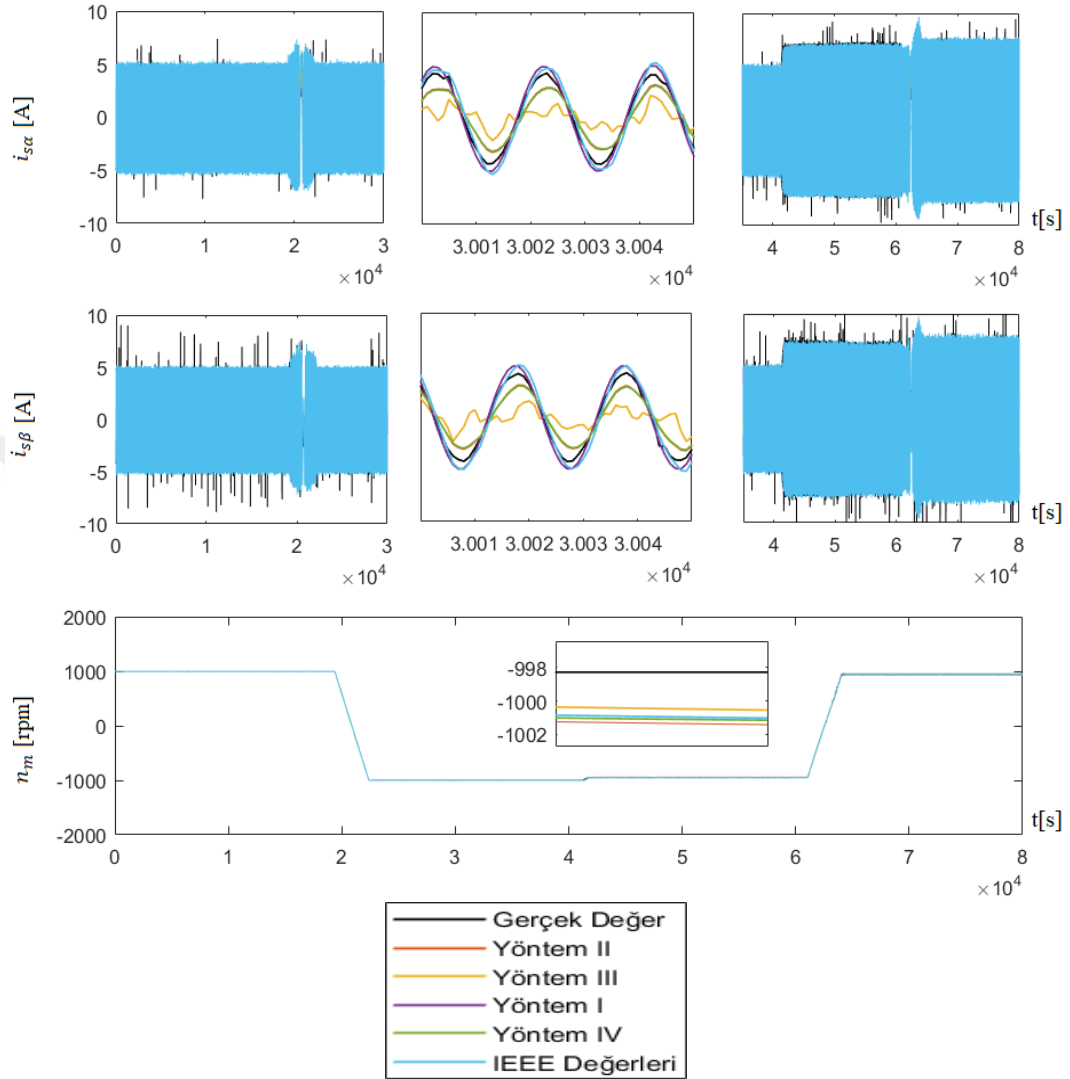


Şekil 4.9. Belirlenen parametrelerin test işlemine yönelik oluşturulan simulink modeli

4.3.1. GA ile gerçek zamanlı olarak belirlenen parametrelere yönelik test çalışmaları

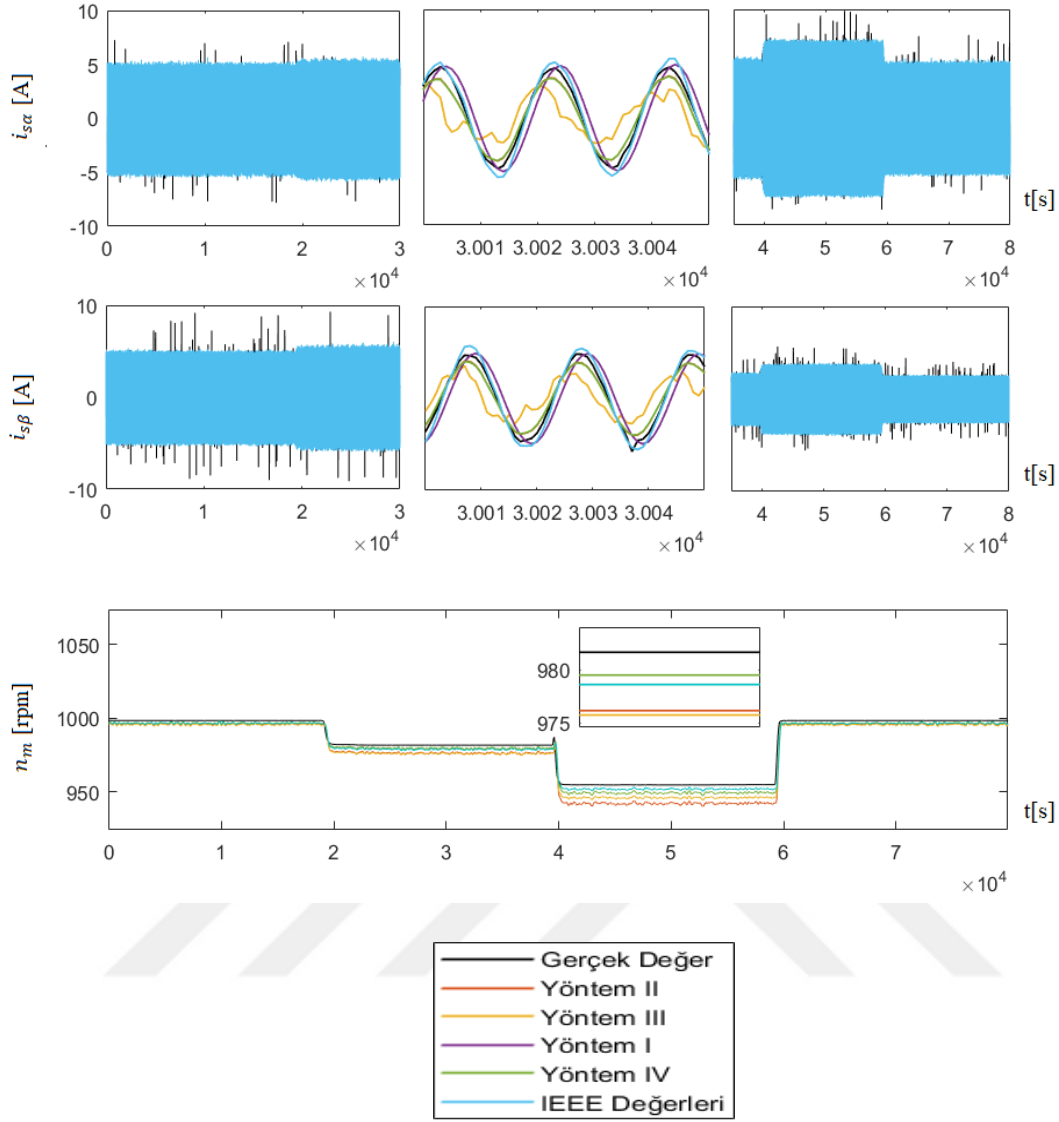
Tez kapsamında Yöntem-I, II, III ve IV ile GA kullanılarak elde edilen parametrelerin ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin başarımları ayrıntıları Bölüm 4.3'te verilen senaryolar için gerçek zamanlı deneylerle eş zamanlı olarak test edilmişlerdir. Gerçekleştirilen eş zamanlı testlere ait sonuçlar Şekil 4.10-4.15'te sunulmuştur. Ayrıca, test işlemleri sonucunda her bir yöntem için edilen sonuçlar deney düzeneğinde ASM'den

ölçülen değerler ile karşılaştırılarak her bir yöntem için akım ve hız bilgilerine ilişkin MSE değeri Çizelge 4.10-4.11’de verilmiştir.



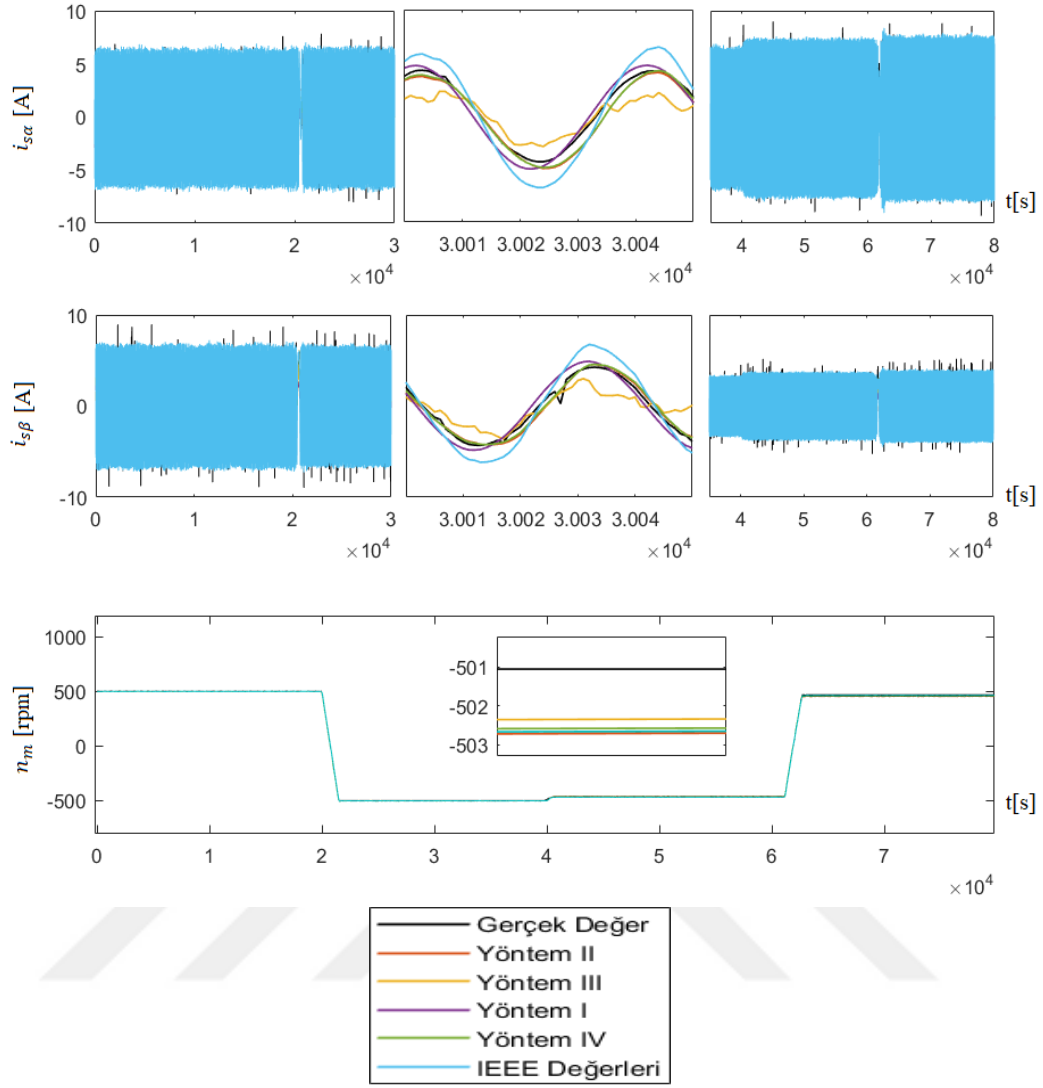
Şekil 4.10. Senaryo 1 için GA’dan elde edilen parametre test sonuçları

Şekil 4.10’da verilen senaryo 1’den elde edilen akım ve hız bilgisi incelendiğinde Yöntem-III’ün akım bilgisi konusunda oldukça yetersiz olduğu ancak hız bilgisinde en başarılı yöntem olduğu görülmektedir. Yöntem-II ve IV’ün akım bilgileri incelendiğinde bu iki yöntemin birbirlerine çok yakın sonuç verdiği görülmektedir. IEEE standart 112 ile elde edilen parametrelerin akım ve hız bilgisinde oldukça başarılı olduğu, Yöntem-III’ün hız bilgisinden sonra gerçek hız bilgisine en yakın sonucu verdiği görülmektedir.



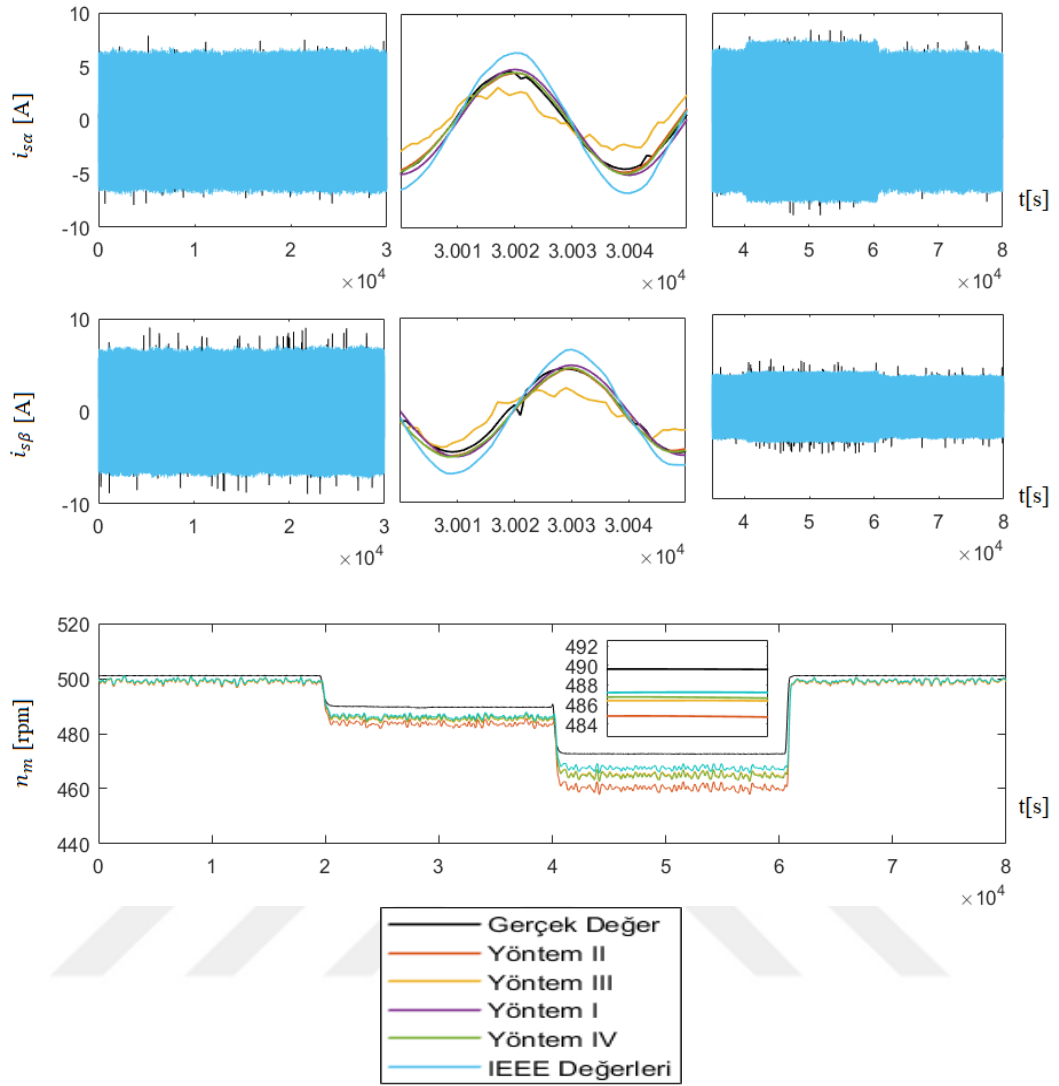
Şekil 4.11. Senaryo 2 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları

Şekil 4.11’de verilen senaryo 2 kullanılarak gerçekleştirilen test işlemlerinden elde edilen akım ve hız bilgisi verilmiştir. Bu bilgiler incelendiğinde Yöntem-III’ten elde edilen parametrelerin akım bilgisi yönünden diğer yöntemlere ve IEEE standart 112 ile elde edilen parametrelere kıyasla oldukça başarısız olduğu görülmektedir. IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin akım bilgisinin gerçek akım bilgisine en yakın sonucu verdiği, ona en yakın sonucun Yöntem-II ve IV’ten elde edilen parametrelerden elde edildiği gözlemlenmiştir. Senaryo 2 şartlarında eniyileme çalışmalarında kullanılan yöntemler ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin hız bilgileri incelendiğinde, Yöntem-IV ve IEEE standart 112 parametrelerinin gerçek hız bilgisine en yakın sonucu verdikleri görülmektedir. Hız bilgisinde en başarısız sonuç Yöntem-II ile belirlenen parametrelerden elde edilmiştir.



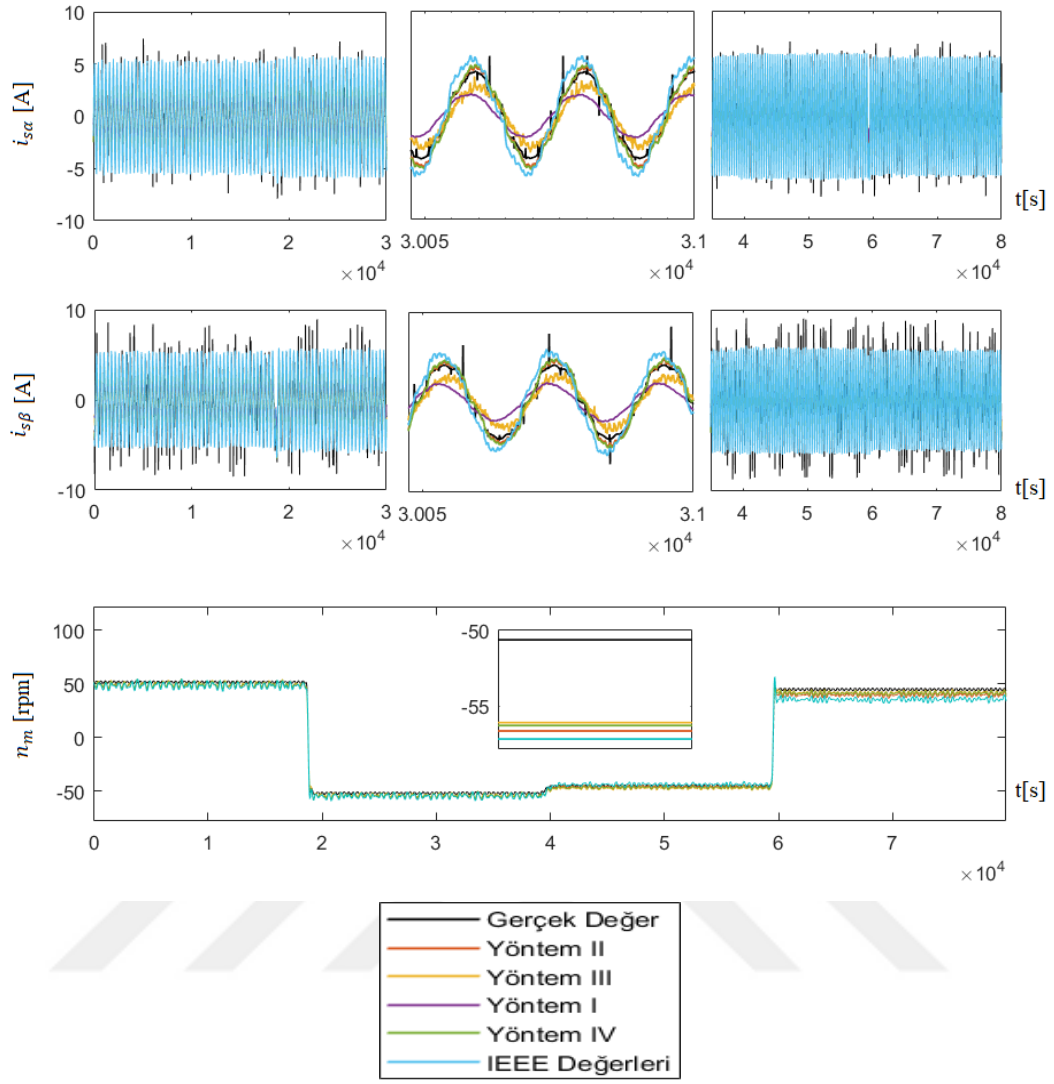
Şekil 4.12. Senaryo 3 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları

Şekil 4.12'de IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin akım bilgisinin, senaryo 3 şartlarında senaryo 1 ve senaryo 2'de (Şekil 4.10-4.11) olduğu kadar başarılı olmadığı görülmektedir. Şekil 4.12'de verilen senaryo 3 ile gerçek zamanlı testlerden elde edilen sonuçlardan, Yöntem-III'ün akım bilgisinin oldukça başarısız olduğu ancak hız bilgisinin başarılı olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir. Senaryo 3 sonuçlarından en başarısız hız sonucu Yöntem-II'den elde edilmektedir.



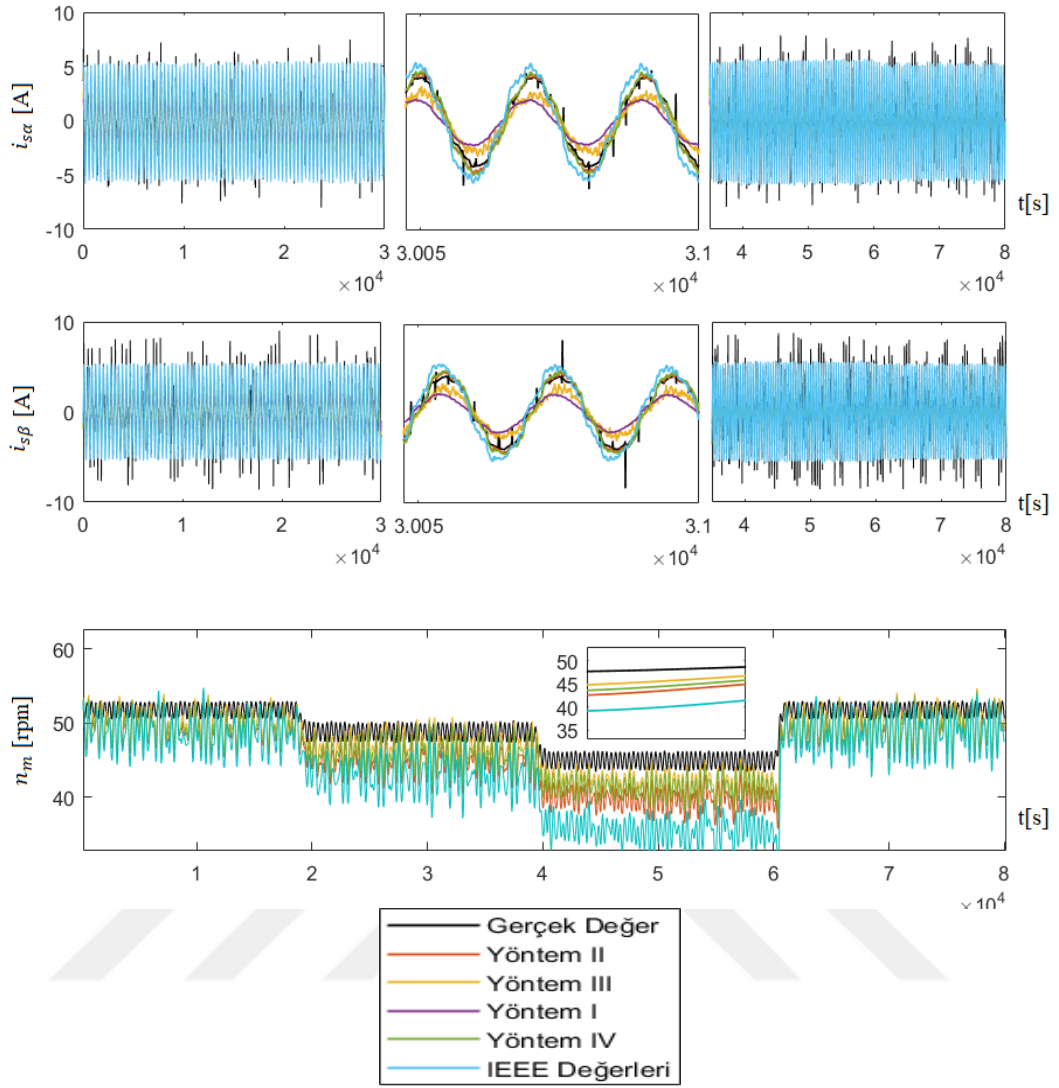
Şekil 4.13. Senaryo 4 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları

Senaryo 4 gerçek zamanlı parametre test işlemlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.13'te verilmiştir. Bu sonuçlar ışığında akım bilgisinde IEEE standart 112 ile belirlenen parametreler ve Yöntem-III ile elde edilen parametrelerin yetersiz kaldığı sonucuna varılmaktadır. Hız bilgisinde Yöntem-III ve IV'ün çok yakın sonuçlar verdiği ve en başarılı hız bilgisinin elde edildiği IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelere en yakın sonucu verdikleri görülmektedir.



Şekil 4.14. Senaryo 5 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları

ASM'nin düşük hız bölgesinde çalıştırıldığı senaryo 5 gerçek zamanlı test işlemlerine ait bilgiler Şekil 4.14'te verilmiştir. Bu bilgiler ışığında, gerçek akım bilgisine ne yakın akım bilgisinin Yöntem-II ve IV'ten alındığı, gerçek hız bilgisine en yakın hız bilgisinin ise Yöntem-III ve IV'ten elde edildiği sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4.15. Senaryo 6 için GA'dan elde edilen parametre test sonuçları

Şekil 4.15 incelendiğinde senaryo 6 şartları için IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin hem akım bilgisinde hem de hız bilgisinde oldukça başarısız oldukları görülmektedir. ASM'nin orta ve düşük hız bölgelerine gelindiğinde IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin başarımının yetersiz kaldığı, buna rağmen Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin hem akım hem de hız bilgisinde oldukça başarılı oldukları sonucuna varılması mümkündür.

Çizelge 4.10. GA temelli gerçek zamanlı deneysel çalışmalar için parametreler test sonuçları

SENARYO	YÖNTEM	PARAMETRE TEST SONUCU MSE DEĞERLERİ	
		AKIM HATASI ($i_{s\alpha} + i_{s\beta}$)	HIZ HATASI (n_m)
Senaryo 1 (Şekil 4.10.) (Yüksek hızda yüksüz/yüklü terslendirme)	Yöntem-I	11.1146	-
	Yöntem-II	1.1554	67.9550
	Yöntem-III	12.7608	26.2375
	Yöntem-IV	1.2338	18.5055
	IEEE Parametreleri	0.8916	10.4717
Senaryo 2 (Şekil 4.11.) (Yüksek hızda farklı yük koşulları)	Yöntem-I	5.8594	-
	Yöntem-II	1.1230	50.8674
	Yöntem-III	11.8247	33.2286
	Yöntem-IV	1.2139	11.5313
	IEEE Parametreleri	0.6661	8.0337
Senaryo 3 (Şekil 4.12.) (Orta hızda yüksüz/yüklü terslendirme)	Yöntem-I	4.2968	-
	Yöntem-II	0.7418	62.0536
	Yöntem-III	5.9877	20.6710
	Yöntem-IV	0.7175	24.5130
	IEEE Parametreleri	3.9208	10.5497

Çizelge 4.11. GA temelli gerçek zamanlı deneysel çalışmalar için parametreler test sonuçları devamı

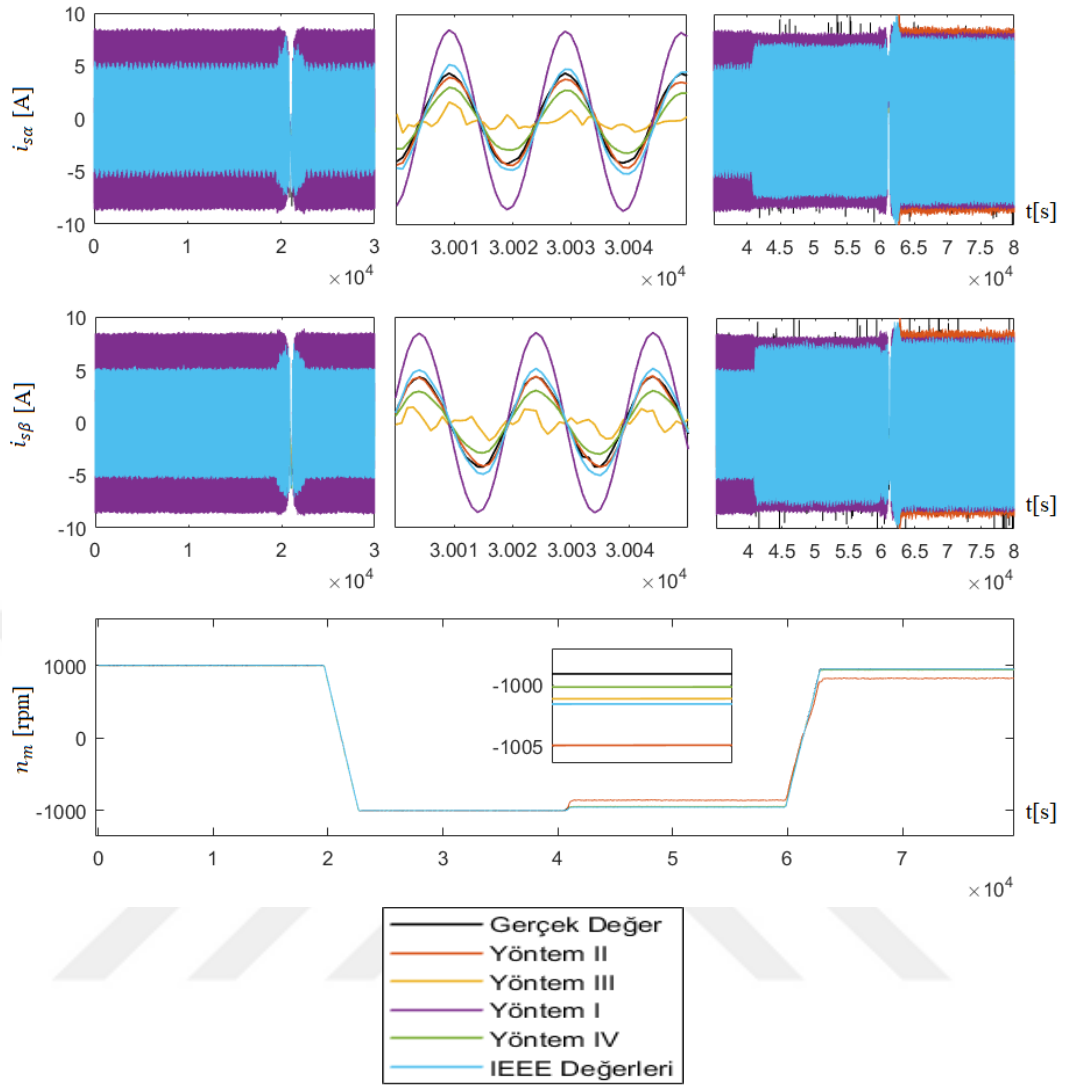
SENARYO	YÖNTEM	PARAMETRE TEST SONUCU MSE DEĞERLERİ	
		AKIM HATASI ($i_{s\alpha} + i_{s\beta}$)	HIZ HATASI (ω_m)
Senaryo 4 (Şekil 4.13.) (Orta hızda farklı yük koşulları)	Yöntem-I	2.1388	-
	Yöntem-II	0.7007	52.6339
	Yöntem-III	5.6815	22.9072
	Yöntem-IV	0.5942	23.3537
	IEEE Parametreleri	4.1179	13.0579
Senaryo 5 (Şekil 4.14.) (Düşük hızda yüksüz/yüklü terslendirme)	Yöntem-I	4.7820	-
	Yöntem-II	0.4282	12.2141
	Yöntem-III	2.4490	6.8512
	Yöntem-IV	0.6517	8.2445
	IEEE Parametreleri	2.4411	31.0652
Senaryo 6 (Şekil 4.15.) (Düşük hızda farklı yük koşulları)	Yöntem-I	4.6569	-
	Yöntem-II	0.3170	16.7501
	Yöntem-III	2.3961	7.5003
	Yöntem-IV	0.4896	10.6060
	IEEE Parametreleri	2.3294	42.2648

Yöntem-I, II, III ve IV ile GA kullanılarak belirlenen parametrelerin ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin Şekil 4.10-4.15'te sunulan gerçek zamanlı test sonuçlarına ait gözlemler aşağıdaki gibidir.

- ASM'nin yüksek hızda çalışması durumunda, IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerinin diğer yöntemlere kıyasla daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. ASM'nin orta ve düşük hız bölgesinde çalıştığı durumlarda ise, IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerinin akım ve hız bilgilerine ilişkin MSE değerlerinin yüksek hızda çalışma durumuna kıyasla arttığı görülmektedir.
- Gerçekleştirilen testlerin tamamında, Yöntem-II ile belirlenen parametrelerin akım hatasına ilişkin MSE değeri Yöntem-I ile belirlenen parametrelerin akım hatasına ilişkin MSE değerlerine kıyasla daha düşüktür.
- Bu tez kapsamında gerçekleştirilen testler sonucunda, Yöntem-II ile belirlenen parametrelerinin akım bilgisi için düşük MSE değerine sahipken, hız bilgisine ilişkin yüksek MSE değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yöntem-III'te tek-amaçlı hız hatasına göre eniyileme işlemleri gerçekleştirildiğinden, Yöntem-II'de gözlemlenen durumun tam tersi sonuçlar elde edilmiştir.
- GA ile gerçekleştirilen benzetim çalışmalarına benzer şekilde Yöntem-IV ile belirlenen parametrelerin sonuçları incelendiğinde, Yöntem-II'nin hız hatasına ilişkin MSE değerinden ve Yöntem-III'ün akım hatasına ilişkin MSE değerinden bütün senaryolarda daha düşük MSE değerleri elde edilmiştir. Bu durum Yöntem-IV'ün Yöntem-II ve Yöntem-III'ün başarılı yönlerini gerçek zamanlı test çalışmaları için de birleştirdiği olarak yorumlanabilir.

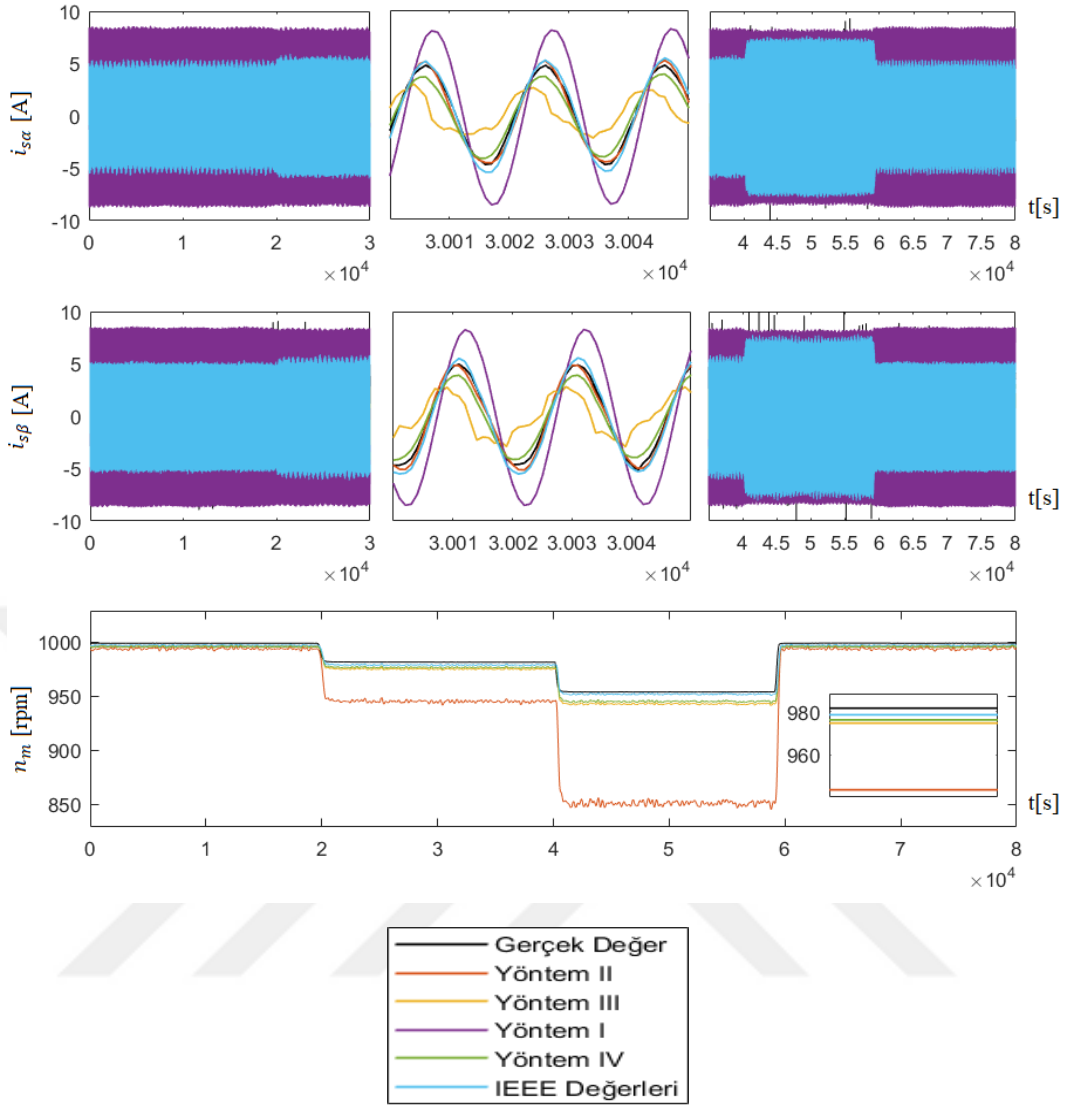
4.3.2. DEA ile gerçek zamanlı olarak belirlenen parametrelere yönelik test çalışmaları

Tez kapsamında Yöntem-I, II, III ve IV ile DEA kullanılarak elde edilen parametrelerin ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin başarımları ayrıntıları Bölüm 4.3'te verilen senaryolar için gerçek zamanlı deneylerle eş zamanlı olarak test edilmişlerdir. Gerçekleştirilen eş zamanlı testlere ait sonuçlar Şekil 4.16-4.21'de sunulmuştur. Ayrıca, test işlemleri sonucunda her bir yöntem için edilen sonuçlar deney düzeneğinde ASM'den ölçülen değerler ile karşılaştırılarak her bir yöntem için akım ve hız bilgilerine ilişkin MSE değeri Çizelge 4.12-4.13'te verilmiştir.



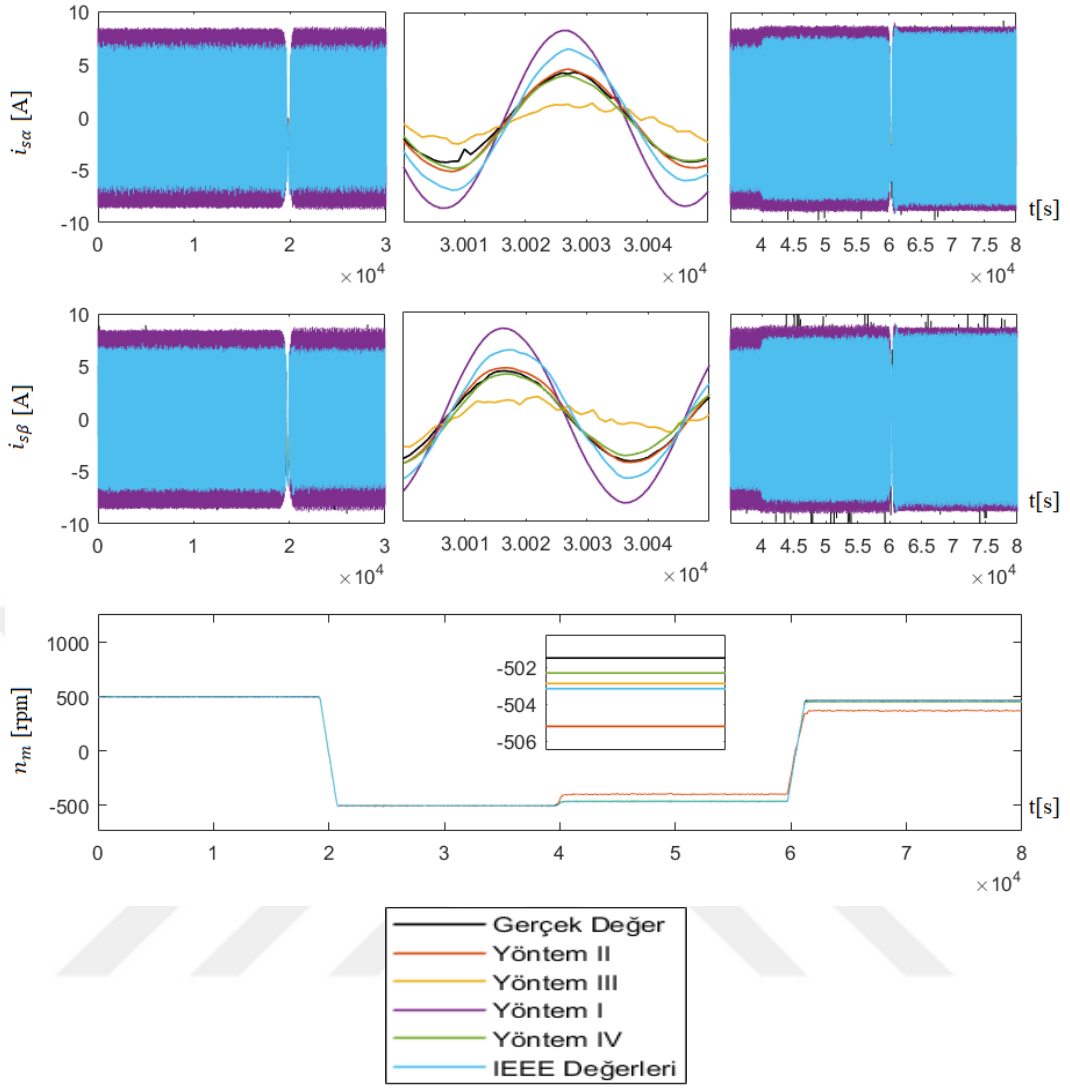
Şekil 4.16. Senaryo 1 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları

Şekil 4.16'da verilen senaryo 1'den elde edilen akım ve hız bilgisi incelendiğinde Yöntem-I ve III'ün akım bilgisi konusunda oldukça yetersiz olduğu görülmektedir. Yöntem-II parametrelerinin akım bilgisinde en başarılı yöntem olduğu ve gerçek akım bilgisine oldukça yakın sonuç verdiği görülmektedir. Ancak bu yöntemden elde edilen parametrelerin hız bilgisinde yetersiz kaldığı yorumu rahatça yapılabilmektedir.



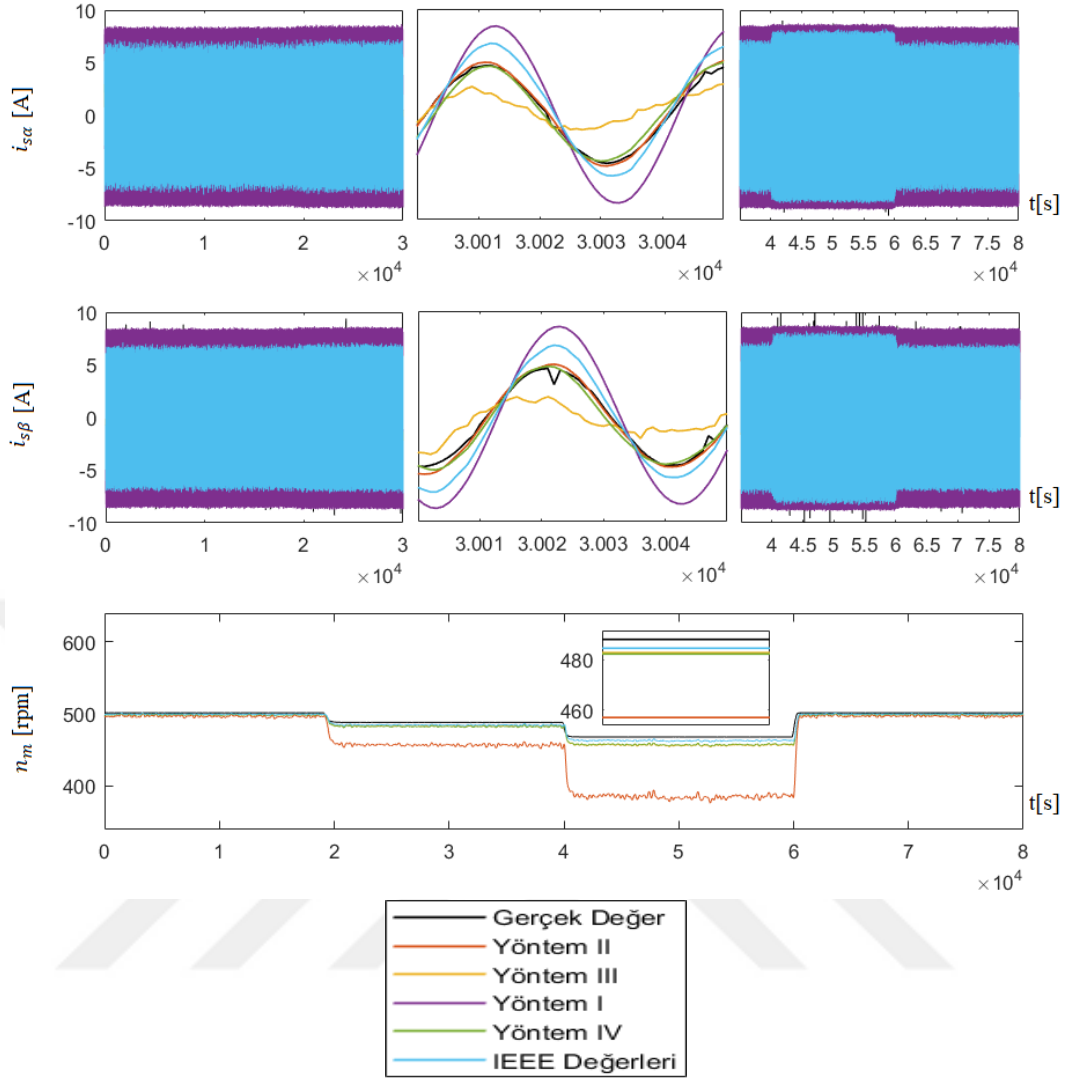
Şekil 4.17. Senaryo 2 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları

Şekil 4.17'de senaryo 1'den elde edilen akım ve hız bilgisi verilmiştir. Bu bilgiler incelendiğinde akım bilgisinin Şekil 4.16'da verilen senaryo 1 şartlarında elde edilen akım bilgisi gibi olduğu görülmektedir. Yöntem-II 'nin akım bilgisinde senaryo 1'de olduğu gibi en başarılı sonucu verdiği ancak hız bilgisinde özellikle yüklü durumlarda oldukça başarısız olduğu sonucuna varılması mümkündür.



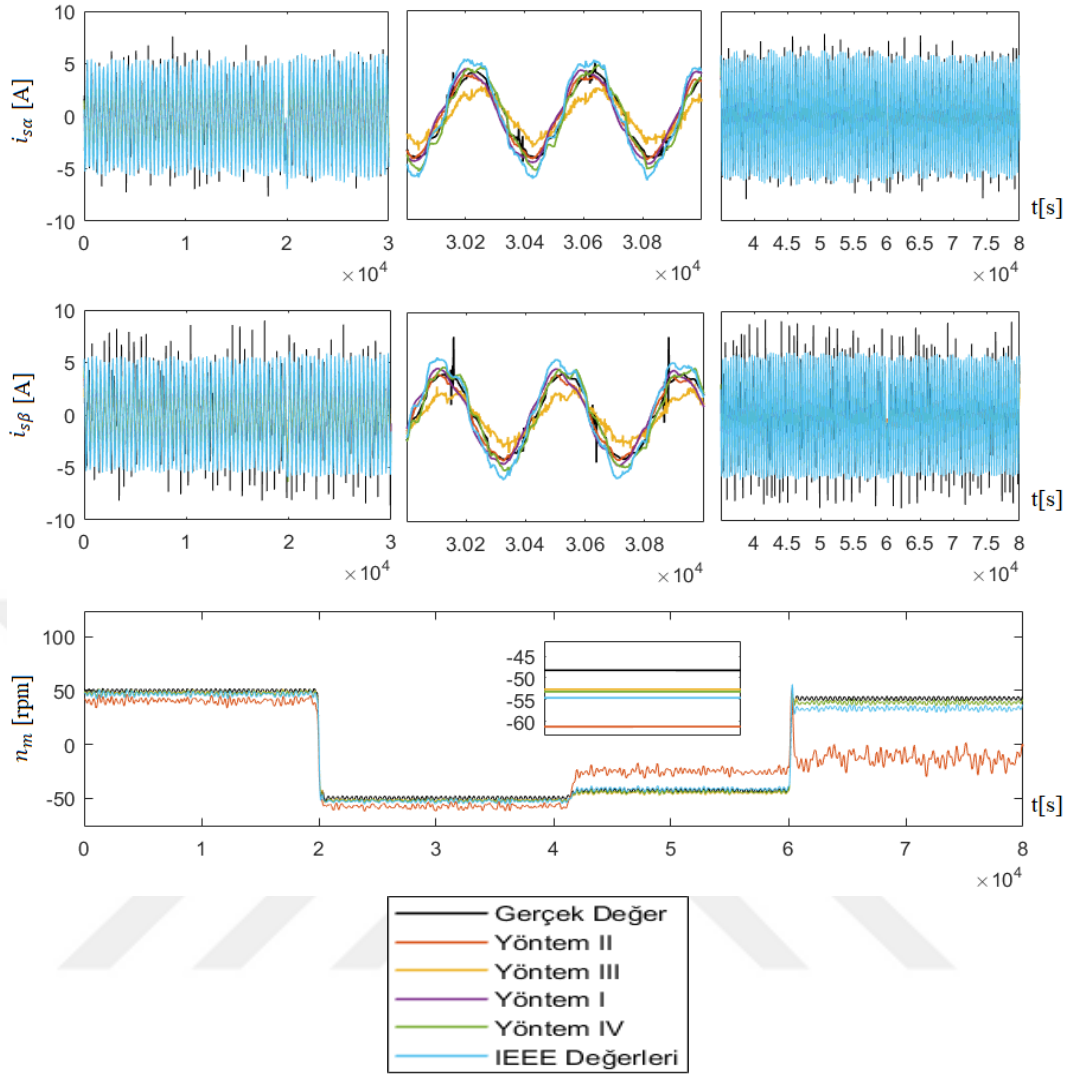
Şekil 4.18. Senaryo 3 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları

Şekil 4.18 incelendiğinde, Yöntem-II ve IV'ten elde edilen parametrelerin akım bilgisinde oldukça başarılı olurken diğer parametrelerde bu durumun tam tersi olduğu görülmektedir. Buna rağmen Yöntem-II'den elde edilen parametrelerin hız bilgisindeki başarısının akım bilgisine kıyasla oldukça yetersiz kaldığı gözlemlenmektedir. Hız bilgisinde en başarılı sonuç Yöntem-IV parametrelerinden elde edilmiştir.



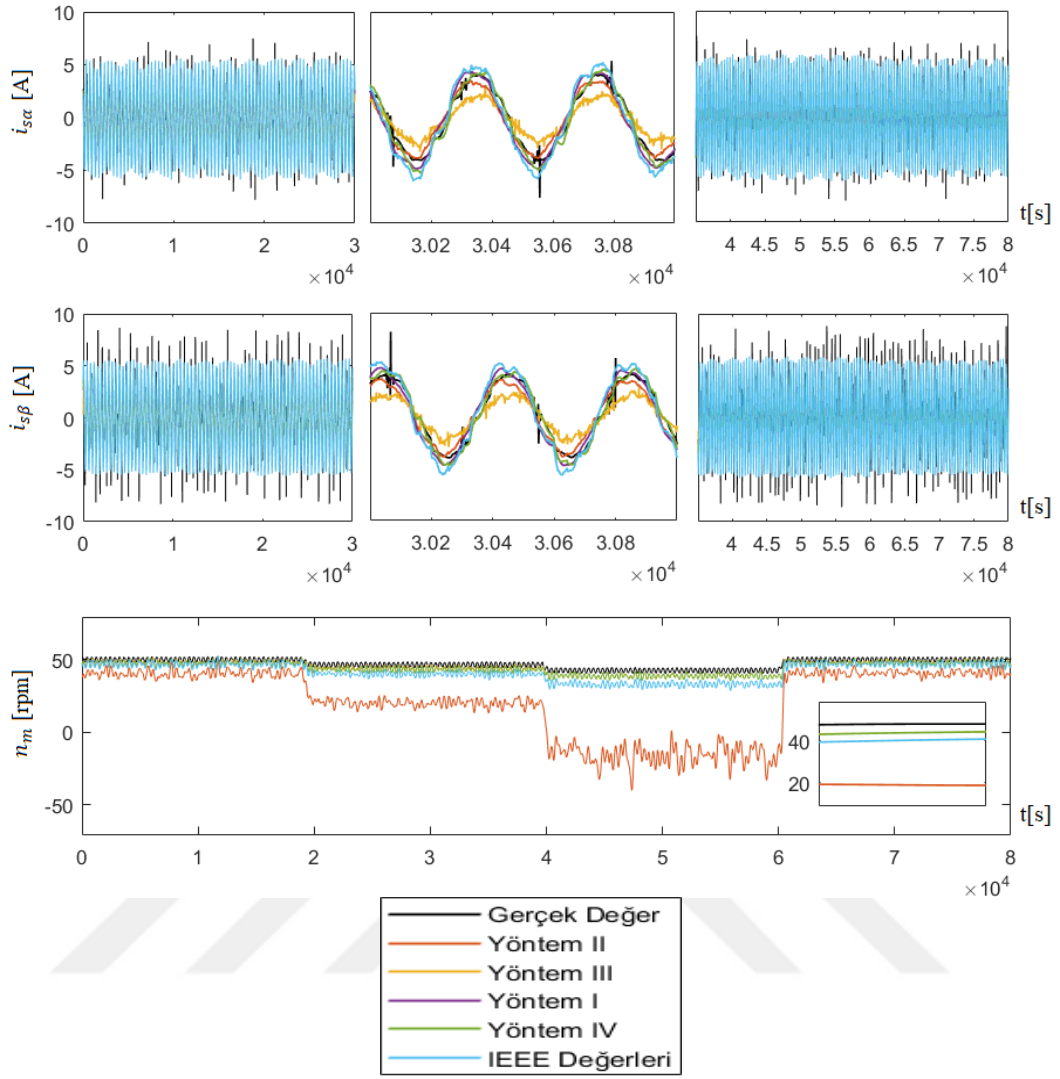
Şekil 4.19. Senaryo 4 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları

Şekil 4.19'da senaryo 4'ten elde edilen akım ve hız bilgisi verilmiştir. Bu bilgiler incelendiğinde akım bilgisinin Şekil 4.18'de verilen senaryo 3 şartlarında elde edilen akım bilgisi gibi olduğu görülmektedir. Yöntem-II 'nin akım bilgisinde senaryo 3'te olduğu gibi en başarılı sonucu verdiği ancak hız bilgisinde özellikle yüklü durumlarda oldukça başarısız olduğu sonucuna varılması mümkündür. Senaryo 4 sonuçlarından en başarılı hız bilgisinin IEEE standart 112 kullanılarak belirlenen parametreler ve Yöntem-IV ile belirlenen parametrelerden elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.20. Senaryo 5 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları

ASM'nin düşük hız bölgelerinde çalıştığı senaryo 5'ten elde edilen bilgiler Şekil 4.20'de verilmiştir. Bu bilgilerden akım bilgisinde Yöntem-IV'ten elde edilen parametreler en başarılı sonucu verirken, Yöntem-I'den elde edilen parametrelerin akım bilgisinin diğer senaryolara kıyasla senaryo 5'te daha başarılı olduğu görülmektedir. Hız bilgisinde Yöntem-III ve IV'ten elde edilen parametrelerin gerçek hız bilgisine oldukça yakın bir değerde olduğu gözlemlenmiştir. Yöntem-II'den elde edilen hız bilgisi incelendiğinde ASM'nin düşük hızda tam yük durumunda terslendirme işlemi gerçekleştirildiğinde başarısız olmuştur. Ancak, yüksüz terslendirme yapıldığı durumda Yöntem-II'nin hız bilgisinin senaryoya uygun bir şekilde hareket ettiği görülmüştür.



Şekil 4.21. Senaryo 6 için DEA'dan elde edilen parametre test sonuçları

Şekil 4.21'de senaryo 6'dan elde edilen akım ve hız bilgisi verilmiştir. Bu bilgiler incelendiğinde akım bilgisinin Şekil 4.20'de verilen senaryo 5 şartlarında elde edilen akım ve hız bilgisi gibi olduğu görülmektedir. Yöntem-II parametrelerinin hız bilgisinde diğer senaryolarda olduğu gibi başarısız kaldığı sonucuna varmak mümkündür. IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerden elde edilen akım ve hız bilgisi incelendiğinde ASM'nin düşük hız bölgesinde çalıştığı durumlarda bu parametrelerin başarımında düşüşlerin olduğu çıkarılabilmektedir.

Çizelge 4.12. DEA temelli gerçek zamanlı deneysel çalışmalar için parametreler test sonuçları

SENARYO	YÖNTEM	PARAMETRE TEST SONUCU MSE DEĞERLERİ	
		AKIM HATASI ($i_{s\alpha} + i_{s\beta}$)	HIZ HATASI (n_m)
Senaryo 1 (Şekil 4.16.) (Yüksek hızda yüksüz/yüklü terslendirme)	Yöntem-I	25.1391	-
	Yöntem-II	0.8435	5.87e+3
	Yöntem-III	15.8114	45.6584
	Yöntem-IV	1.2142	34.3678
	IEEE Parametreleri	0.9024	11.3133
Senaryo 2 (Şekil 4.17.) (Yüksek hızda farklı yük koşulları)	Yöntem-I	21.5851	-
	Yöntem-II	0.4363	2.85e+3
	Yöntem-III	14.8792	45.4014
	Yöntem-IV	1.3153	31.6180
	IEEE Parametreleri	0.6605	6.5803
Senaryo 3 (Şekil 4.18.) (Orta hızda yüksüz/yüklü terslendirme)	Yöntem-I	19.7533	-
	Yöntem-II	0.6914	3.25e+3
	Yöntem-III	8.4594	46.9462
	Yöntem-IV	0.7876	40.0230
	IEEE Parametreleri	4.0576	10.4333

Çizelge 4.13. DEA temelli gerçek zamanlı deneysel çalışmalar için parametreler test sonuçları devamı

SENARYO	YÖNTEM	PARAMETRE TEST SONUCU MSE DEĞERLERİ	
		AKIM HATASI ($i_{s\alpha} + i_{s\beta}$)	HIZ HATASI (ω_m)
Senaryo 4 (Şekil 4.19.) (Orta hızda farklı yük koşulları)	Yöntem-I	18.3852	-
	Yöntem-II	0.6068	1.97e+3
	Yöntem-III	8.3353	43.1776
	Yöntem-IV	0.8491	41.9014
	IEEE Parametreleri	4.3318	12.8638
Senaryo 5 (Şekil 4.20.) (Düşük hızda yüksüz/yüklü terslendirme)	Yöntem-I	1.4994	-
	Yöntem-II	1.2018	878.1217
	Yöntem-III	3.8715	7.5877
	Yöntem-IV	0.6684	7.8339
	IEEE Parametreleri	2.5318	29.1607
Senaryo 6 (Şekil 4.21.) (Düşük hızda farklı yük koşulları)	Yöntem-I	1.5146	-
	Yöntem-II	1.4183	1.09e+3
	Yöntem-III	3.7966	8.8276
	Yöntem-IV	0.4989	10.7040
	IEEE Parametreleri	2.3686	41.4817

Yöntem-I, II, III ve IV ile DEA kullanılarak belirlenen parametrelerin ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin Çizelge 4.12 ve 4.13'te sunulan gerçek zamanlı test sonuçlarına ait gözlemler aşağıdaki gibidir.

- Hem GA hem de DEA kullanılarak elde edilen parametrelerin test işlemlerinde ayrıntıları Bölüm 4.3'te verilen senaryolar kullanıldığından, IEEE standart 112 ile

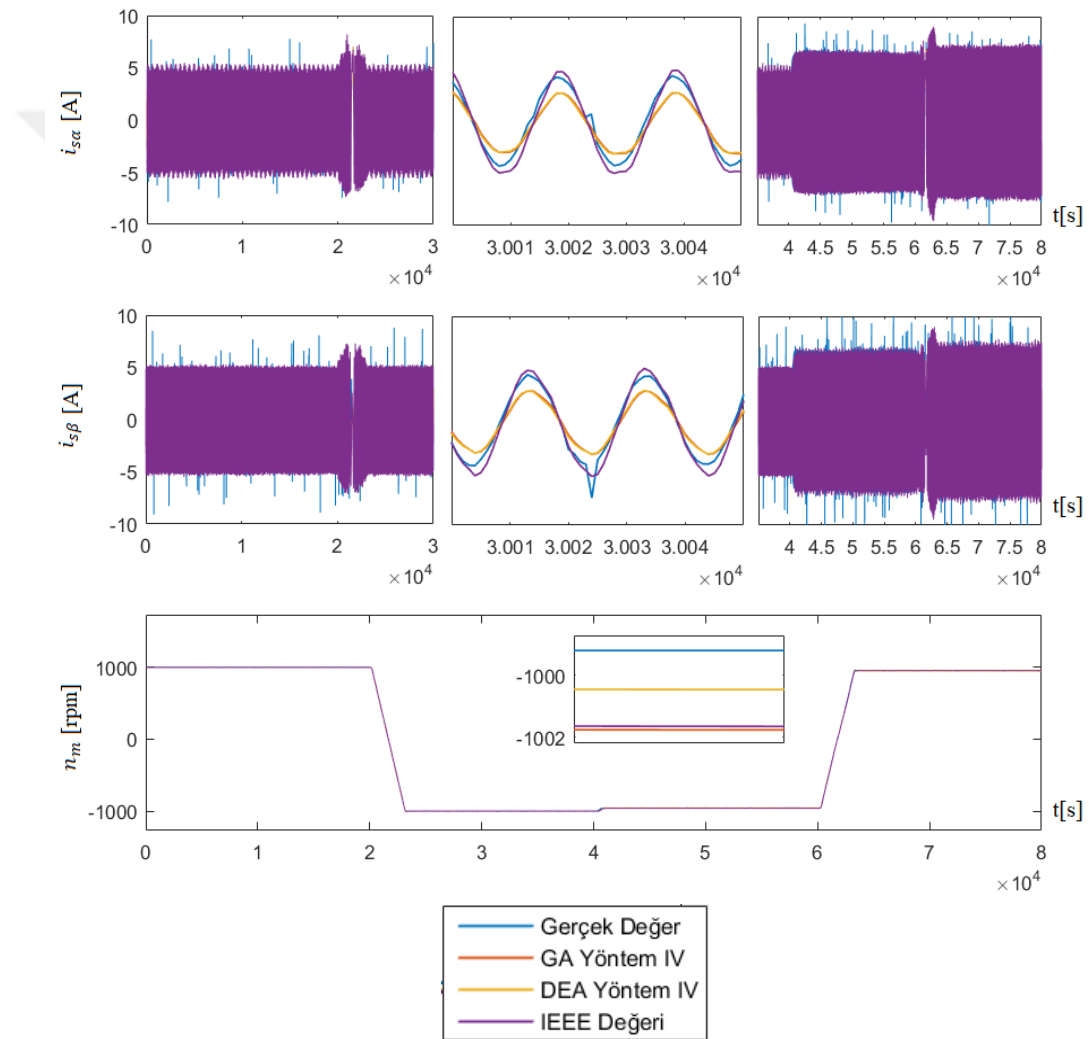
belirlenen parametrelerinin başarımları Bölüm 4.3.1'dekine benzerdir. Bu nedenle IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerinin başarımları ile ilgili aynı yorumlar burada da yapılabilir.

- GA kullanılarak belirlenen parametrelerin test çalışmalarına benzer şekilde, DEA kullanılarak belirlenen parametrelerin testlerinin tamamında da Yöntem-II ile belirlenen parametrelerin akım hatasına ilişkin MSE değeri Yöntem-I ile belirlenen parametrelerin akım hatasına ilişkin MSE değerlerine kıyasla daha düşüktür. Ayrıca, Yöntem-II ile belirlenen parametrelerin hız hatasına ilişkin MSE değeri incelendiğinde sonuçların oldukça başarısız olduğu görülmektedir. Son olarak Şekil 4.20 incelendiğinde, Yöntem-II ile belirlenen parametrelerin düşük hızda yüklü hız terslendirilmesi durumunda başarısız olduğu açıkça görülmektedir.
- Yöntem-III'te MF2 kullanılarak eniyileme işlemleri gerçekleştirildiğinden, Yöntem-III ile belirlenen parametrelerinin hız bilgisi için düşük MSE değerine sahipken, akım bilgisine ilişkin yüksek MSE değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.
- GA ile gerçekleştirilen gerçek zamanlı test çalışmalarına benzer şekilde Yöntem-IV ile belirlenen parametrelerin sonuçları incelendiğinde, Yöntem-II'nin hız hatasına ilişkin MSE değerinden ve Yöntem-III'ün akım hatasına ilişkin MSE değerinden bütün senaryolarda daha düşük MSE değerleri elde edilmiştir. Bu durum Yöntem-IV'ün Yöntem-II ve Yöntem-III'ün başarılı yönlerini gerçek zamanlı test çalışmaları için de birleştirdiği olarak yorumlanabilir.

4.3.3. GA ve DEA ile gerçek zamanlı olarak belirlenen parametrelere yönelik karşılaştırmalar

Bu tez kapsamında Bölüm 4.3.1'de GA'nın kullanıldığı 4 farklı yöntem ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin başarımları eş zamanlı test edilmiştir. Benzer şekilde, Bölüm 4.3.2'de DEA'nın kullanıldığı 4 farklı yöntem ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin başarımları eş zamanlı test edilmiştir. Geçekleştirilen testlerde hem GA hem de DEA kullanılarak belirlenen parametrelerden Yöntem-IV ile belirlenen parametrelerin, bütün test senaryoları göz önüne alındığında Yöntem-I, II ve III'e kıyasla genel anlamda daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, yine Bölüm 4.3'te verilen test senaryoları kullanılarak Yöntem-IV ile hem GA hem de DEA kullanılarak belirlenen

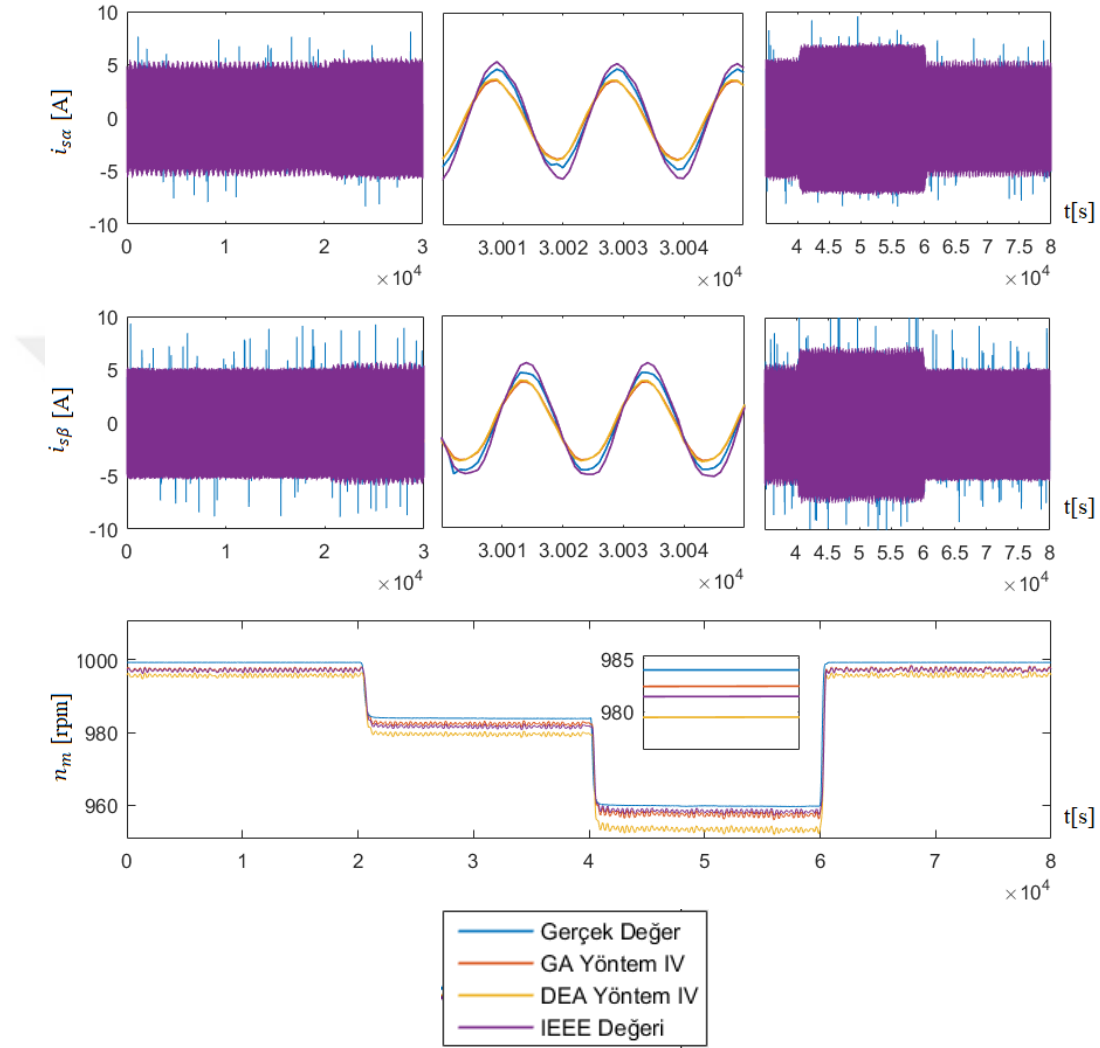
parametrelerin başarımı eş zamanlı olarak adil ve eşit şartlarda IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerinin başarımları ile karşılaştırılmıştır. Belirtilen eş zamanlı karşılaştırma çalışmalarına ilişkin sonuçlar Şekil 4.22-4.27’de ve her bir yöntem için akım ve hız bilgilerine ilişkin MSE değeri Çizelge 4.14’te verilmiştir. Eş zamanlı test işlemleri, gerçek zamanlı çalışmalarda kullanılan SKASM’nin sıcak olduğu durumda gerçekleştirilmiştir. ASM’nin sıcak olduğu durumda deri etkisi (skin effect) nedeniyle direnç değerlerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Bu nedenle Bölüm 4.3.1 ve 4.3.2’de verilen MSE değerlerinden farklı sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.22. Senaryo 1 GA ve DEA ile Yöntem-IV’ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları

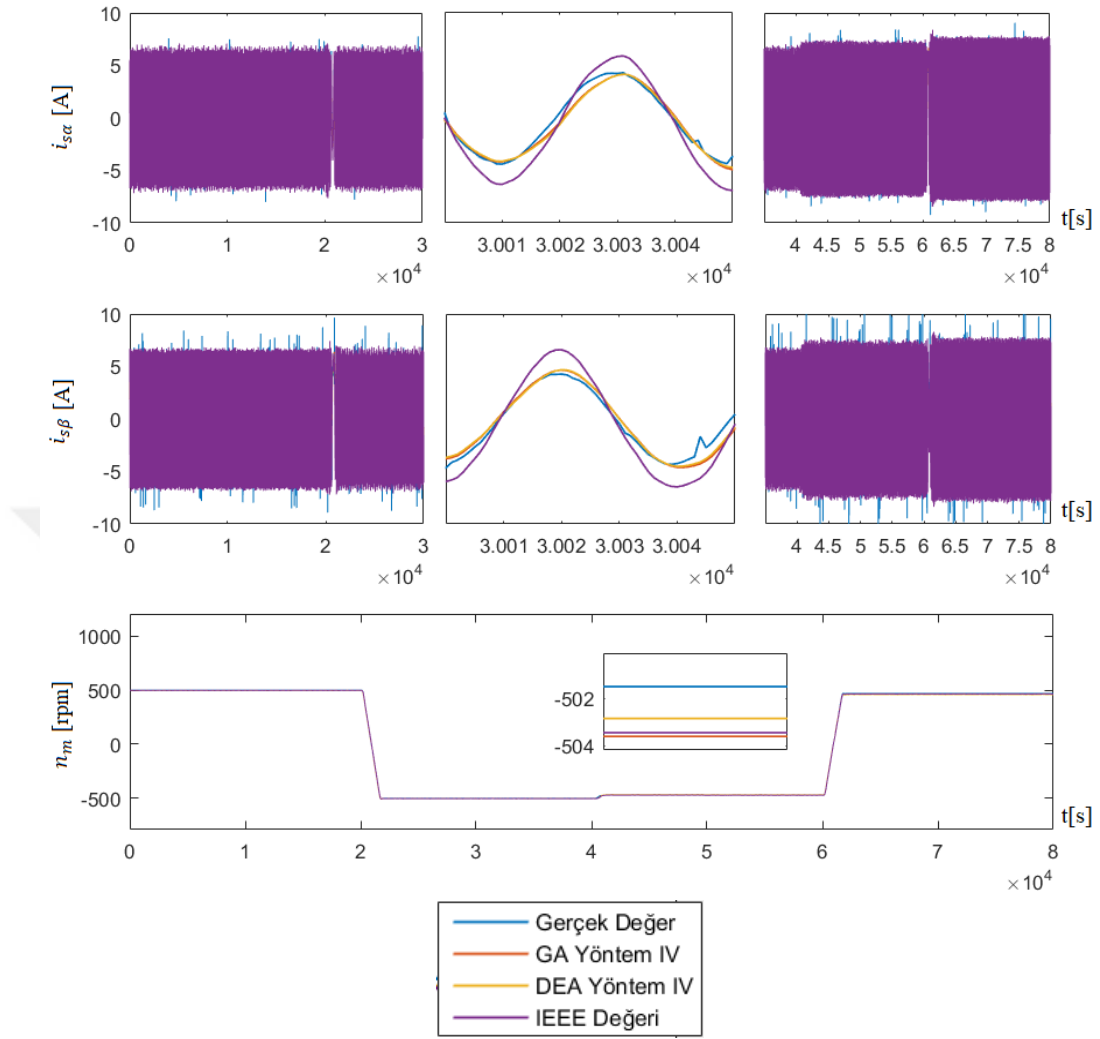
Şekil 4.22’de GA ve DEA Yöntem-IV kullanılarak belirlenen parametrelerin eş zamanlı olarak gerçekleştirilen test işlemlerinde senaryo 1’den elde edilen akım ve hız bilgisi

verilmiştir. Şekil 4.22 incelendiğinde akım bilgisinde en başarılı sonucun GA ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerden alındığı görülmektedir. Hız bilgisi incelendiğinde IEEE standart 112 ile belirlenen parametreler ve GA parametrelerinin çok yakın olup oldukça başarılı sonuç verdiği görülmektedir.



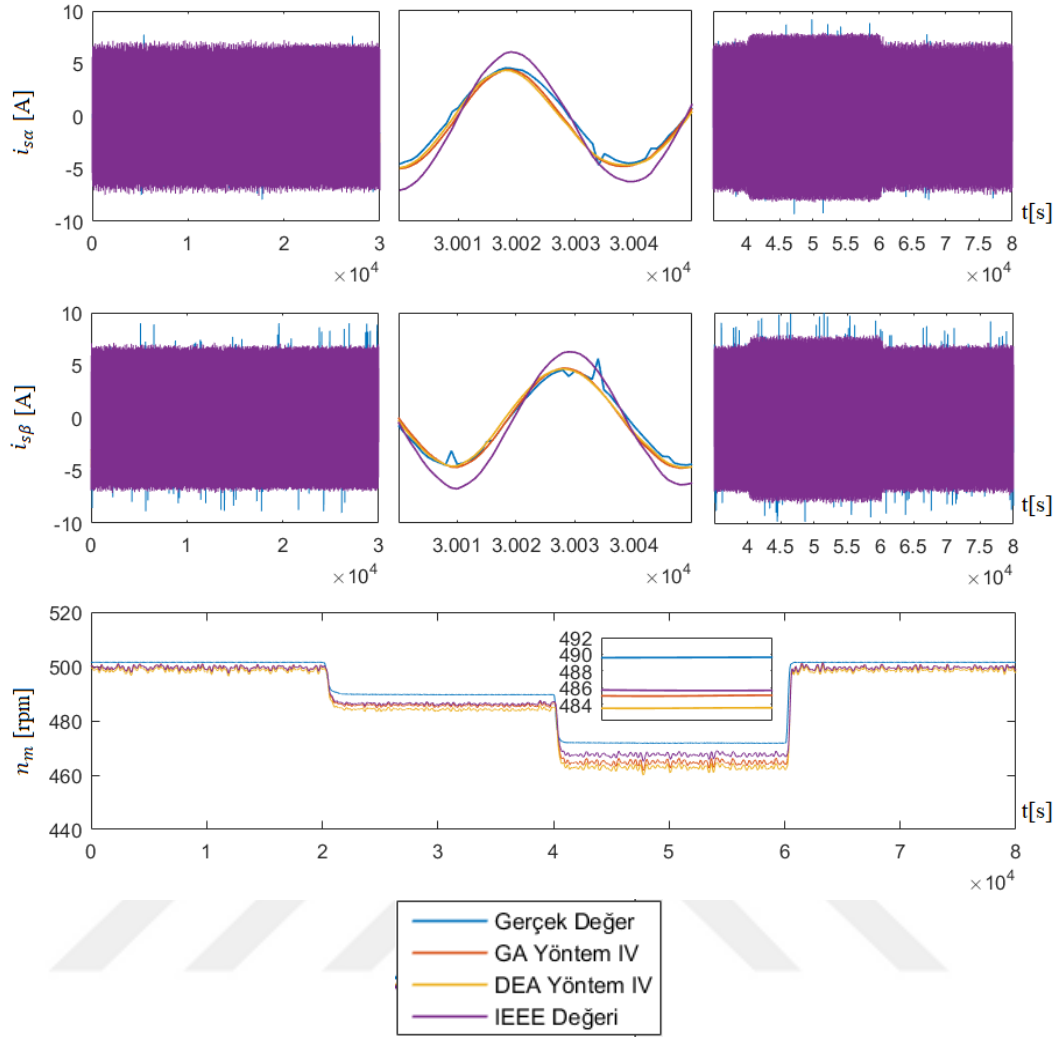
Şekil 4.23. Senaryo 2 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları

Şekil 4.23'te eş zamanlı olarak gerçekleştirilen test işlemlerinde senaryo 2'den elde edilen akım ve hız bilgisi verilmiştir. Şekil 4.23 incelendiğinde akım bilgisinde en başarılı sonucun IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerden alındığı görülmektedir. Hız bilgisi incelendiğinde IEEE standart 112 ile belirlenen parametreler ve GA parametrelerinin çok yakın olduğu ancak GA'nın gerçek hız bilgisine daha yakın bir sonuç verdiği görülmektedir.



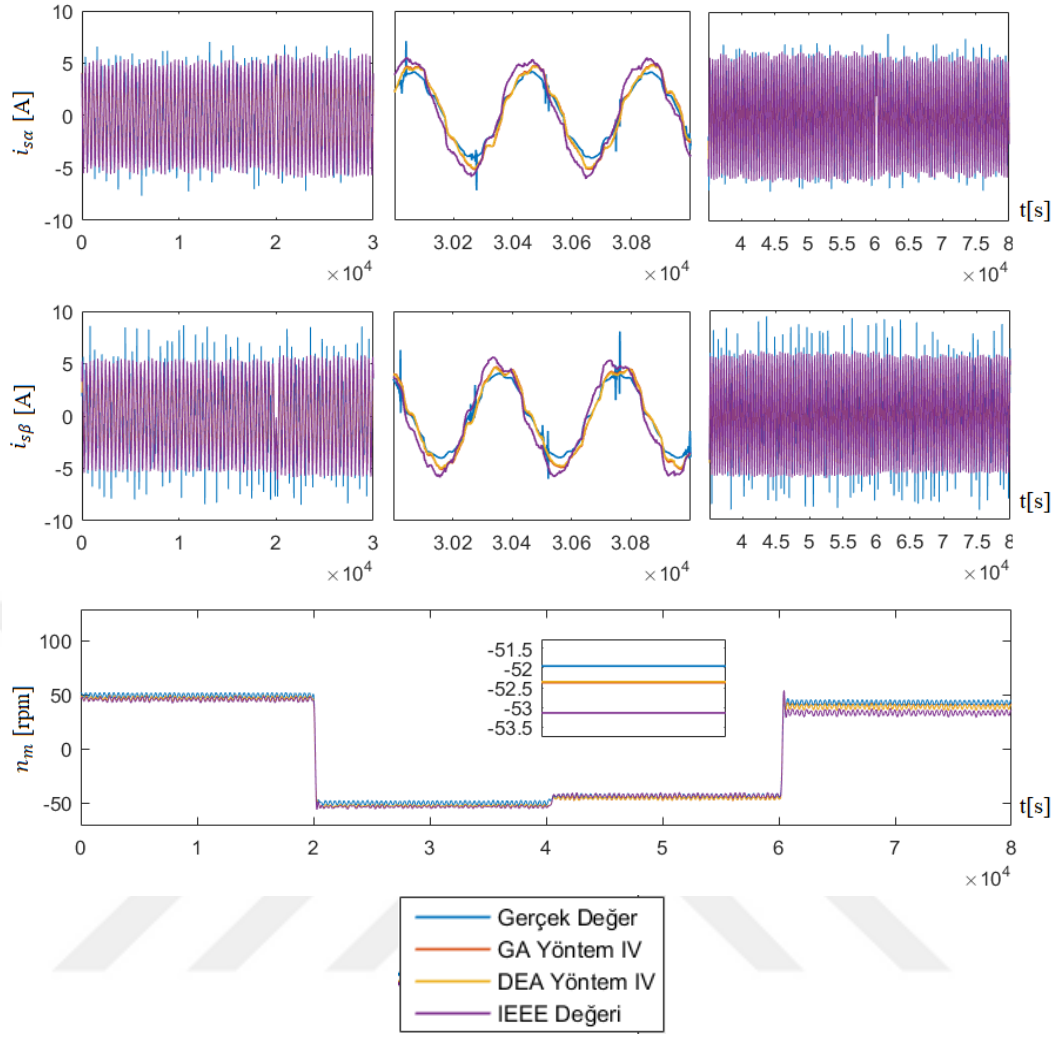
Şekil 4.24. Senaryo 3 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları

Şekil 4.24'te eş zamanlı olarak gerçekleştirilen test işlemlerinde senaryo 3'ten elde edilen akım ve hız bilgisi verilmiştir. Şekil 4.24 incelendiğinde akım bilgisinde en başarılı sonucun DEA ile Yöntem-IV'ten belirlenen parametrelerden alındığı görülmektedir. Hız bilgisi incelendiğinde IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin oldukça başarılı sonuç verdiği görülmektedir.



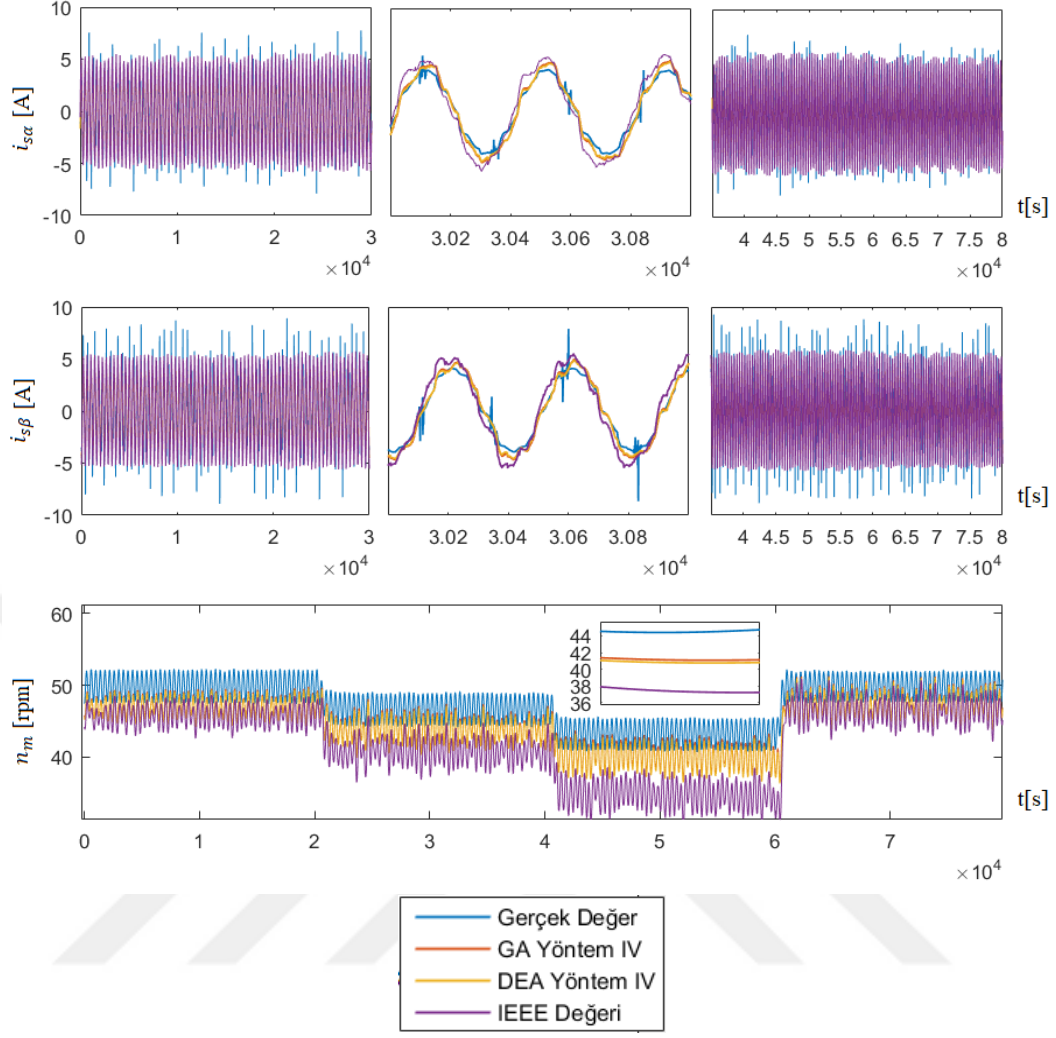
Şekil 4.25. Senaryo 4 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları

Şekil 4.25'te eş zamanlı olarak gerçekleştirilen test işlemlerinde senaryo 4'ten elde edilen akım ve hız bilgisi verilmiştir. Şekil 4.25 incelendiğinde akım bilgisinde en başarılı sonucun senaryo 3'te olduğu gibi DEA ile Yöntem-IV'ten belirlenen parametrelerden alındığı görülmektedir. Hız bilgisi incelendiğinde GA ile Yöntem-IV'ten belirlenen parametrelerin oldukça başarılı sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 4.26. Senaryo 5 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları

Şekil 4.26'da eş zamanlı olarak gerçekleştirilen test işlemlerinde senaryo 5'ten elde edilen akım ve hız bilgisi verilmiştir. Şekil 4.26 incelendiğinde akım bilgisinde en başarılı sonucun senaryo 3 ve 4'te olduğu gibi DEA ile Yöntem-IV'ten belirlenen parametrelerden alındığı görülmektedir. Hız bilgisi incelendiğinde GA ile Yöntem-IV'ten belirlenen parametrelerin oldukça başarılı sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 4.27. Senaryo 6 GA ve DEA ile Yöntem-IV'ten elde edilen parametrelerin karşılaştırma sonuçları

Şekil 4.27'de eş zamanlı olarak gerçekleştirilen test işlemlerinde senaryo 6'dan elde edilen akım ve hız bilgisi verilmiştir. Şekil 4.27 incelendiğinde akım bilgisinde en başarılı sonucun senaryo 3, 4 ve 5'te olduğu gibi DEA ile Yöntem-IV'ten belirlenen parametrelerden alındığı görülmektedir. Hız bilgisi incelendiğinde senaryo 4 ve 5'te olduğuna benzer olarak, GA ile Yöntem-IV'ten belirlenen parametrelerin oldukça başarılı sonuç verdiği görülmektedir.

Çizelge 4.14. GA ve DEA temelli gerçek zamanlı + eş zamanlı deneyler için çok-amaçlı test sonuçları

SENARYO	YÖNTEM	PARAMETRE TEST SONUCU MSE DEĞERLERİ	
		AKIM HATASI ($i_{s\alpha} + i_{s\beta}$)	HIZ HATASI (n_m)
Senaryo 1 (Şekil 4.22) (Yüksek hızda yüksüz/yüklü terslendirme)	GA Yöntem-IV	1.3099	10.9924
	DEA Yöntem-IV	1.2959	17.1522
	IEEE Parametreleri	0.9524	12.2816
Senaryo 2 (Şekil 4.23) (Yüksek hızda farklı yük koşulları)	GA Yöntem-IV	1.3283	4.9711
	DEA Yöntem-IV	1.3839	22.6043
	IEEE Parametreleri	0.6777	5.5787
Senaryo 3 (Şekil 4.24) (Orta hızda yüksüz/yüklü terslendirme)	GA Yöntem-IV	0.7311	17.6883
	DEA Yöntem-IV	0.6130	26.7322
	IEEE Parametreleri	4.1039	9.9833
Senaryo 4 (Şekil 4.25) (Orta hızda farklı yük koşulları)	GA Yöntem-IV	0.9328	19.9207
	DEA Yöntem-IV	0.8464	32.8559
	IEEE Parametreleri	4.3939	10.8070
Senaryo 5 (Şekil 4.26) (Düşük hızda yüksüz/yüklü terslendirme)	GA Yöntem-IV	0.8293	8.4650
	DEA Yöntem-IV	0.6638	9.3674
	IEEE Parametreleri	2.5016	30.6707
Senaryo 6 (Şekil 4.27) (Düşük hızda farklı yük koşulları)	GA Yöntem-IV	0.6424	8.5856
	DEA Yöntem-IV	0.5058	10.2200
	IEEE Parametreleri	2.3765	35.7602

Hem GA hem de DEA kullanılarak Yöntem-IV ile belirlenen parametrelerin, eş zamanlı olarak IEEE standart 112 ile belirlenen parametreler ile başarımlarının karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlar Çizelge 4.14'te verilmiştir.

- ASM'nin yüksek hızda çalışması durumunda, akım hatasına ilişkin en düşük MSE değerinin IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerden, hız hatalarına ilişkin MSE değerinin en düşük Yöntem-IV ile GA kullanılarak belirlenen parametrelerden elde edildiği görülmektedir.
- ASM'nin orta hızda çalışması durumunda, akım hatasına ilişkin en düşük MSE değeri Yöntem-IV ile DEA kullanılarak belirlenen parametrelerden elde edilirken, hız hatasına ilişkin en düşük MSE değeri IEEE standart 112 parametreleri kullanılarak elde edilmiştir.
- Düşük hız çalışma durumunda elde edilen akım hatasına ilişkin en başarılı sonuç DEA ile Yöntem-IV kullanılarak belirlenen parametrelerden elde edilmiştir. Hız hatası bakımından incelendiğinde en başarılı sonucun Yöntem-IV kullanılarak GA ile belirlenen parametrelerden elde edildiği görülmektedir. ASM'nin düşük hızda çalışması durumunda GA ve DEA Yöntem-IV'ün IEEE standart 112 parametrelerine kıyasla oldukça yüksek başarıma sahip olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak gerçek zamanlı eniyileme çalışmaları genel olarak değerlendirildiğinde, Yöntem-IV'ün diğer yöntemlere kıyasla hem akım hem de hız hatalarının MSE değerlerinin aynı anda başarılı sonuç verdiği ve başarısının diğer yöntemlere kıyasla yüksek olduğu görülmektedir. Eniyileme çalışmalarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde en genel ifade ile GA'nın DEA'ya göre daha başarılı olduğu sonucuna varılabilmektedir.

BÖLÜM V

SONUÇLAR

Bu tez kapsamında, ASM'nin $\alpha\beta$ –duran eksen takımındaki dinamik modeline ilişkin elektriksel ve mekanik parametrelerinin belirlenmesi için Yöntem-I, II, III ve IV olarak isimlendirilen GA ve DEA temelli tek-amaçlı/çok-amaçlı eniyileme yapan metasezgisel algoritmalar önerilerek, Matlab/Simulink S-Function Builder kullanılarak benzetimlerle ve dSPACE'in DS1104 kontrolör kartından yararlanılarak gerçek zamanlı deneylerle gerçekleştirilmiş ve doğrulamaları yapılmıştır. Önerilen bu eniyileme işlemlerinde tek-amaçlı akım hatası (MF1), tek-amaçlı hız hatası (MF2), çok-amaçlı akım ve hız hatasına (MF3'e) göre belirlenen maliyet fonksiyonları kullanılmıştır. Parametrelerin belirlenmesine yönelik GA ve DEA ile gerçekleştirilen çalışmalarda, benzetim çalışmaları ve gerçek zamanlı çalışmaların uyumlu olması amacıyla, benzetim çalışmalarında da gerçek zamanlı deneylerde kullanılan ASM parametreleri kullanılarak eniyileme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında yapılan benzetim temelli eniyileme çalışmalarından elde edilen MSE değerleri incelendiğinde; hem GA'da hem de DEA'da,

- *MF1*+ASM dinamik modelinin sadece elektriksel yanına ilişkin 4 adet eşitliği kullanan Yöntem-I ile R_s , R_r , L_m , L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin belirlenebildiği,
- *MF1*+ ASM dinamik modelinin hem elektriksel hem de mekanik yanına ilişkin 5 adet eşitliği kullanan Yöntem-II ile R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin belirlenebildiği,
- *MF2*+ASM dinamik modelinin hem elektriksel hem de mekanik yanına ilişkin 5 adet eşitliği kullanan Yöntem-III ile R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin belirlenebildiği,
- *MF3*+ASM dinamik modelinin hem elektriksel hem de mekanik yanına ilişkin 5 adet eşitliği kullanan Yöntem-IV ile R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin belirlenebildiği,
- *MF2* ile Yöntem-III kullanılarak belirlenen parametreler içerisinde, Yöntem-III mekanik parametreleri başarılı bir şekilde bulurken elektriksel parametrelerin belirlenmesinde başarısının *MF1* ile belirlenen Yöntem-II kadar yüksek olmadığı,

- *MF1* ile Yöntem-II kullanılarak belirlenen parametreler içerisinde, Yöntem-II elektriksel parametreleri başarılı bir şekilde bulurken mekanik parametrelerin belirlenmesinde başarısının *MF2* ile belirlenen Yöntem-III'e kıyasla daha düşük olduğu,
- *MF3* maliyet fonksiyonu kullanılan Yöntem-IV'te ise hem elektriksel hem de mekanik parametrelerin başarılı bir şekilde belirlendiği ve gerçek parametre değerlerine daha yakın olduğu ve yüzde hata oranlarının daha düşük olduğu, (yani Yöntem-I, Yöntem-II ve Yöntem-III'e göre)

gözlemlenmektedir. Bu gözlemler, GA ve DEA kullanılarak benzetim ortamında belirlenen parametrelerin test işlemlerinden elde edilen sonuçlarda da görülebilmektedir.

Tez çalışması kapsamında hem GA hem de DEA ile gerçekleştirilen gerçek zamanlı eniyileme ve test işlemlerinde; gerçek zamanlı deney düzeneğinden elde edilen ASM'nin yüksüz olarak geniş bir hız aralığı için çalıştırıldığı verisinde ASM'nin yüksüz olarak çalıştırıldığı veri seti kullanılmıştır. Böylece, oldukça maliyetli olan moment ölçer kullanılmadan metasezgisel algoritmalar ile ASM parametrelerinin belirlenebildiğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Eniyileme işlemleri sonucunda tez kapsamında GA ve DEA kullanılarak Yöntem-I, II, III ve IV ile elde edilen parametrelerin ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametrelerin başarımları; eniyileme süreci sonunda MSE hatalarına göre elde edilen en iyi parametreler ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametreler ASM modelinde kullanılıp birlikte eş-zamanlı çalıştırılmasıyla *test* edilmiştir. Tez kapsamında yapılan gerçek zamanlı eniyileme çalışmalarından elde edilen MSE değerleri incelendiğinde; hem GA'da hem de DEA'da,

- *MF1*+ASM dinamik modelinin sadece elektriksel yanına ilişkin 4 adet eşitliği kullanan Yöntem-I ile R_s , R_r , L_m , L_{ls} ve L_{lr} parametrelerinin belirlenebildiği,
- *MF1*+ASM dinamik modelinin hem elektriksel hem de mekanik yanına ilişkin 5 adet eşitliği kullanan Yöntem-II ile R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin belirlenebildiği,
- *MF2*+ASM dinamik modelinin hem elektriksel hem de mekanik yanına ilişkin 5 adet eşitliği kullanan Yöntem-III ile R_s , R_r , L_m , L_{ls} , L_{lr} , J_L ve B_L parametrelerinin belirlenebildiği,

- $MF3+ASM$ dinamik modelinin hem elektriksel hem de mekanik yanına ilişkin 5 adet eşitliği kullanan Yöntem-IV ile $R_s, R_r, L_m, L_{ls}, L_{lr}, J_L$ ve B_L parametrelerinin belirlenebildiği,
- eniyileme süreci sonunda $MF3$ 'ün kullanıldığı Yöntem-IV'ün hem $MF1$ 'in kullanıldığı Yöntem-I/II ve $MF2$ 'nin kullanıldığı Yöntem-III'e göre hem de IEEE standart 112'ye göre daha başarılı olduğu,

görülmektedir. Daha sonra eniyileme süreci sonunda MSE hatalarına göre elde edilen en iyi parametreler ve IEEE standart 112 ile belirlenen parametreler ASM modelinde kullanılıp birlikte gerçek ve eş zamanlı çalıştırılmasıyla *test* edilmiştir. ASM'nin sadece yüksüz durumunu içeren eniyileme verileri sonunda elde edilen parametrelerin, ASM'nin yüklü+yüksüz çalışma durumunu içeren test sürecindeki başarımları değerlendirilmektedir. Bu zorlamalı senaryo koşullarında bile IEEE standart 112'nin sadece yüksek hızlarda ama GA/DEA'nın ise hem orta hem de düşük hızlarda daha başarılı olduğu gözlemlenmektedir

Son olarak hem benzetim hem de gerçek-zamanlı verilerle yapılan *eniyileme süreçleri sonunda* elde edilen MSE hataları dikkate alındığında;

- $MF1$ ve $MF2$ 'nin başarılı yönlerini birleştiren yöntem olan $MF3$ 'e göre eniyileme çalışmaları ile elektriksel ve mekanik parametrelerin daha yüksek başarımla gerçek parametrelere yakınsadığı,
- DEA'nın, GA'ya,
- hem DEA'nın hem de GA'nın IEEE standart 112'ye,

göre daha başarılı olduğu ve *eniyileme* sürecinde kullanılan verilere bağlı olarak elde edilen *test* sonuçlarının değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, bu tez kapsamında önerilen GA ve DEA temelli yöntemler, ASM sürücülerinde ASM parametrelerinin çevrim-dışı olarak belirlenmesi sürecinde kullanılabilecek başarımlara sahip olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Akhavan A., Mohammadi H. Z., “Parameter Estimation of Three-Phase Induction Motor Using Hybrid of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization”, **Journal of Engineering**, Volume 2014, Article ID 148204, 2014.

Arslan, M., Çunkaş, M. ve Sağ, T., “Determination of Induction Motor parameters with Differential Evolution Algorithm”, *Neural Computing and Applications*, 21(8),1995-2004, 2012.

Barut, M., “Sincap Kafesli Asenkron Motorların algılayıcısız yüksek başarılı kontrolüne yönelik genişletilmiş kalman filtresi tasarım ve uygulaması”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2005.

Bose, B.K., "High performance control and estimation in AC drives", *23rd International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON 97)*, s.377–385, 1997.

Chayakulkheeree, K., Hengsritawat, V. ve Nantivatana, P., “Particle Swarm Optimization based equivalent circuit estimation for on-service three-phase Induction Motor efficiency assessment”, *Engineering Journal*, 21, 101-110, 2017.

Çanakoğlu, A., Yetgin, A., Temurtaş, H. ve Turan, M., “Induction Motor parameter estimation using metaheuristic methods”, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 22(5), 1177-1192, 2014.

Çelik, Y., “Optimizasyon problemlerinde bal arılarının evlilik optimizasyonu algoritmasının performansının geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2013

De Jong, K.A., “Analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems”, Ph.D. Dissertation, **Department of Computer and Communication Science University of Michigan**, Ann Arbor, MI, 1975

Demir R. “Asenkron motorlar için genişletilmiş kalman filtresi tabanlı hız algılayıcısız kestirim uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, **Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Niğde, 2011

El-Hawary., “Principles of Electric Machines with Power Electronic Applications”, **IEEE Press**, New York, 1997.

Elkholy,M., El-Hay, E. Ve El-Fergany, A.,” Synergy of electrostatic discharge optimizer and experimental verification for parameters estimation of three phase Induction Motors”, **Engineering Science and Technology, an International Journal**, 31, 101067, 2022

Emara, H., Elshamy, W. ve Bahgat, A.,” Parameter identification of Induction Motor using Modified Particle Swarm Optimization Algorithm” **IEEE International Symposium on Industrial Electronics**, Cambridge, Birleşik Krallık, s.841-847, 30 Haziran-02 Temmuz, 2008.

Guedes, J., Castoldi, M., Goedel, A., Agulhari C. ve Sanches, D., “Parameters estimation of three-phase inductions motors using differential evolution”, **Electric Power Systems Research**, 154, 204-212, 2018.

Guades, H., Castoldi, M., Goedel, A., Agulhari, C. ve Sanches, D., “Differential Evolution applied to line-connected Induction Motors stator fault identification”, **Soft Computing**, 23(21), 11217-11226, 2019.

Gülbahçe, M. ve Karaaslan, M., “Estimation of Induction Motor equivalent circuit parameters from Manufacturer’s datasheet by Particle Swarm Optimization Algorithm for variable frequency drives”, **Electrica**, 22 (1), 16-26, 2021.

Huynh, C. ve Dunnigan, M., “Parameter estimation of an Induction Machine using a Dynamic Particle Swarm Optimization Algorithm”, *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Bari, İtalya, s.1414-1419, 04-07 Temmuz, 2010.

IEEE Standard-112, “IEEE standard test prosedure for polyphase induction motors and generators”, *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc*, New York,1996.

Karaboğa, D., “Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 2020.

Kaya, F. ve Fırlıklı, N., “Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde Pareto optimal kullanımı”, *Social Sciences Research Journal*, 5(2),9-18, 2016

Kayalı, S., “Asenkron Motor parametrelerinin çok amaçlı Genetik Algoritma ile belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 2019.

Kılıç. M. R., “Asenkron motorların hız-algılayıcısız kontrolü için indirgenmiş-dereceli genişletilmiş Kalman filtresi tabanlı kestiricinin geliştirilmesi ve gerçek-zamanlı uygulaması”, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 2010.

Kim, J. W., Kim, S. J. ve Kim, S. W., “Parameter identification of Induction Motors using Dynamic Encoding Algorithm for searches (DEAS)”, *IECON'03. 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Roanoke, VA, ABD, 02-06 Kasım, 2003.

Kostov, I., Spasov, V. ve Rangelova, V., “Application of genetic algorithms for determining the parameters of induction motors”, *Technical Gazette*, 16(2), 49-53,2009.

Maitre, J., Bouchard, B., Bouzouane, A. ve Gaboury, S., “An effective identification of the Induction Machine parameters using a Classic Genetic Algorithm”, NSGA II an Q-NSGA III”, *6th IEEE International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*, Corfu, Yunanistan, s. 1-6, 06 Haziran, 2015.

Mossad M., Azab M. and Abu-Siada A., “A Novel Evolutionary Technique to Estimate Induction Machine Parameters from Name Plate Data”, **XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM)**, Lausanne, Switzerland, 4-7 Sept. 2016.

Mutluer, M., “Asenkron Motor elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin Hibrit GA yöntemiyle belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 86, Konya, 2007.

Pillay, P., Nolan, R. ve Haque, T., “Application of Genetic Algorithms to motor parameter determination for transient torque calculation”. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 33(5), 1273-1282, 1997.

Sadavisiyan, J. ve Mammen, O., “Genetic Algorithm based parameter identification of three phase Induction Motors”, **International Journal of Computer Applications**, 31(10), 2011.

Sakthivel, V., Bhuvaneswari, R. ve Subramanian, S., “Multi objective parameter estimation of induction motor using Particle Swarm Optimization”, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 23(3), 302–312, 2010.

Saraçoğlu, B., Güvenç, U., Dursun, M., Poyraz, G. ve Duman, S., “Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon metodu kullanarak asenkron motor parametre tahmini”, **Journal of Advanced Technology Sciences**, 2(1), 46-54, 2013.

Silva, A., Alberto, J., Antunes, C. ve Ferreiria, F., “A stochastic optimization approach to the estimation of Squirrel-Cage Induction Motor equivalent circuit parameters”, **International Conference on Electrical Machines (ICEM)**, Gothenburg, İsveç, 23-26 Ağustos, 2020.

Storn. R., and Price. K., “Differential Evolution A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces”, **International Computer Science Institute**, Berkeley, 1995.

Ursem, R. ve Vadstrup, P., “Parameter identification of Induction Motors using Differential Evolution”, *The 2003 Congress on Evolutionary Computation*, Canberra, ACT, Avustralya, 08-12 Aralık, 2003.

Vas, P., Stronach, A.F., and Neuroth, M., "DSP-controlled intelligent high-performance AC drives present and future", *IEE Colloquium on Vector Control and Direct Torque Control of Induction Motors*, s. 7/1–7/8, 1995.

Yıldız, R., “Asenkron motorların hız-algılayıcısız kontrolü için genişletilmiş ve dağılımlı kalman filtrelerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 1-4, 2016.

Yıldız, R., “Asenkron motor sürücüleri için genişletilmiş ve dağılımlı kalman filtresi temelli gözlemleyicilerin tasarımları ve gerçek-zamanlı uygulamaları”, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s.59, 2020.

Zerdali E. ve Barut M., “The Comparisons of Optimized Extended Kalman Filters for Speed-Sensorless Control of Induction Motors”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(6), 4340-4351, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

İmran Aybüke POLAT ... tarihinde ...'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Niğde'de tamamladı. 2017 yılında başladığı Erciyes Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü eğitimini Ağustos 2021'de tamamladı. Eylül 2021'de Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı. Şubat 2023'te Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak atandı. Halen Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmakta ve yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Asenkron motorların parametre kestirimleri ile ilgili çalışmalar gerçekleştirmektedir.

