

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI YARDIMIYLA
ASENKRON MOTOR PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa ARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR SİSTEMLERİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Konya, 2010

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI YARDIMIYLA
ASENKRON MOTOR PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa ARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR SİSTEMLERİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez 04-02-2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Cemil SUNGUR
(Üye)

Yrd.Doç. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
(Danışman)

Yrd.Doç.Dr.Adem Alpaslan ALTUN
(Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI YARDIMIYLA ASENKRON MOTOR PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa ARSLAN

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik ve Bilgisayar Sistemleri Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç. Dr. Mehmet CUNKAŞ

2010, 82 sayfa

Jüri: Yrd.Doç.Dr. Cemil SUNGUR

Yrd.Doç. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

Yrd.Doç.Dr. Adem Alpaslan ALTUN

Bu çalışmada, Asenkron Motorların (ASM) elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi Diferansiyel Evrim Algoritması (DEA) ve Genetik Algoritma (GA) ile gerçekleştirilmiştir. Algoritmalarda amaç fonksiyonu olarak, asenkron motorların nominal momenti, kalkınma momenti ve devrilme momenti denklemleri kullanılmıştır. Eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi 2.2kW, 5.5kW ve 37 kW gücünde üç asenkron motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, farklı popülasyon ve iterasyon sayısı, çaprazlama, mutasyon katsayıları için DEA ile GA karşılaştırılmıştır. Ayrıca DEA ve GA ile elde edilen eşdeğer devre parametrelerinin asenkron motor moment değerlerinin değişimi üzerindeki etkileri incelenmiş ve grafiklerle gösterilmiştir.

Yapılan alışmalar sonucunda, asenkron motor elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesinde GA'ya göre DEA kullanımının global çözüme yakınsama hassasiyetini artırdığı ve eşdeğer devre parametrelerinin belirlenme süresini kısalttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: diferansiyel evrim algoritması, genetik algoritma, asenkron motor, elektriksel eşdeğer devre parametreleri.

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF INDUCTION MOTOR PARAMETERS BY DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM

Mustafa ARSLAN

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Elektronik and Computer Education Department

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
2010, 82 Pages

Jury: Asst. Prof. Dr. Cemil SUNGUR
Asst. Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Asst. Prof. Dr. Adem Alpaslan ALTUN

In this study, the determination of electrical equivalent circuit parameters of induction motors (IM) was carried out via Differential Evolution Algorithm (DEA) and Genetic Algorithm (GA). As an objective function in the algorithms, the equations of full-load torque, startup torque and breakdown torque of induction motors were used.

The determination of equivalent circuit parameters was performed with three induction motors of 2.2 kW, 5.5 kW and 37 kW. In the study, DEA was compared with GA in terms of the numbers of different populations and iteration, crossing and mutation coefficient. In addition, the effects of equivalent circuit parameters

obtained via DEA on induction motors torque changes were investigated and presented with graphics.

The results showed that the DEA increased the convergence sensitivity in the determination of electrical equivalent circuit parameters of induction motors and has shorten simulation time.

Keywords: Differential evolution algorithm, genetic algorithm, Inductions motor, electrical equivalent circuit parameters.

ÖNSÖZ

Elektrik motorları içerisinde sincap kafesli asenkron motorlar, yapılarının basit ve sağlam olmaları, bakıma az ihtiyaç duymaları, arıza yapmamaları, maliyetlerinin düşük olması ve verimlerinin yüksek olması sebebiyle endüstride en çok kullanılan motorlardır. Asenkron motorlar doğrudan şebeke gerilimiyle çalıştırıldıklarından, yük altında hızları sabit kalmalarından dolayı da endüstriyel uygulamalarda tercih edilen motorlardandır. Ayrıca, asenkron motorların devir sayılarının ve konum kontrollerinin kolaylıkla yapılabilmesi, günümüzdeki endüstriyel-teknolojik gelişmelere paralel olarak, bu motorları diğer endüstriyel motorlar karşısında avantajlı hale getirmiştir.

Son yıllarda, asenkron motorların elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Doğrusal olmayan ve çok değişkenli bir problem olan eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesinde yapay zeka teknikleri çok kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerden bazıları genetik algoritmalar, diferansiyel evrim algoritması, parçacık sürü optimizasyon algoritması vb. olarak sıralanabilir.

Bu tez çalışmasında, asenkron motorların elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla genetik algoritmalar ve diferansiyel evrim algoritmaları kullanılmıştır

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam süresince bilgi ve tecrübeleriyle yardımlarını esirgemeyen danışmanım Yrd.Doç. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ'a, genetik algoritma ve diferansiyel evrim algoritmasının bilgisayar programının oluşturulması konusunda bilgisinden istifade ettiğim Arş.Gör.Tahir SAĞ'a, çalışmalarımnda teorik ve pratik konulardaki desteklerinden dolayı çalışma arkadaşlarım Öğr.Gör. M.Ali ANADOL'a, Öğr.Gör. Hakan TERZİOĞLU'a ve yoğun çalışmalarım esnasında her türlü fedakarlığı gösteren ve maddi-manevi desteğini esirgemeyen eşim Öğr.Gör. Cemile ARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER.....	xi
Şekil 1.1 Deney düzeneği.....	xi
TABLolar.....	xii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xiii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Konunun Tanıtımı.....	3
1.2 Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	4
2 KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
3 ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTORLAR.....	8
3.1 Üç Fazlı Asenkron Motor Yapısı.....	9
3.2 Statorda Üç Fazlı Döner Manyetik Alanın Üretilmesi.....	10
3.3 Asenkron Motorun Çalışma İlkesi.....	10
3.4 Üç Fazlı İndüksiyon Motorlarda Tork Üretimi.....	11
3.5 Kayma.....	12
3.6 Üç Fazlı Asenkron Motorun Bir Faz Eşdeğer Devresi.....	13
3.6.1 Asenkron Motor Parametrelerinin Hesaplanması İçin Gerekli Deneyle..	17
3.6.1.1 Asenkron Motorun Stator Etkin Faz Direncinin Bulunması.....	17
3.6.1.2 Asenkron Motorun Boş Çalışma Deneyi.....	18
3.6.1.3 Asenkron Motorun Kilitli Rotor Çalışma Deneyi.....	20
3.7 Nominal Çalışma Moment Denklemine Elde Edilmesi.....	22
3.8 Asenkron Motorun Kalkınma Moment Denklemine Elde Edilmesi.....	23
3.9 Asenkron Motorun Devrilme Moment Denklemine Elde Edilmesi.....	23

4 DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI VE GENETİK ALGORİTMALAR	25
4.1 Genetik Algoritmalar	25
4.1.1 Genetik Algoritma Akış Şeması	28
4.1.2 Genetik Algoritmanın Performansını Etkileyen Faktörler	29
4.1.3 Genetik Algoritmanın Uygulama Alanları	30
4.2 Diferansiyel Evrim Algoritması	31
4.2.1 Algoritmanın Temel Adımları	34
4.2.1.1 Kodlama	37
4.2.1.2 Popülasyon Yapısı Ve Parametre Sınırları	37
4.2.1.3 Mutasyon	38
4.2.1.4 Seleksiyon	39
4.2.1.5 Rekombinasyon	39
5 TEST FONKSİYONLARI	41
6 ASENKRON MOTOR PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	43
6.1 Deney Düzenegi	44
6.2 Deney Metodu İle Asenkron Motor Parametrelerinin Belirlenmesi	45
6.3 Amaç Fonksiyonu ve Uygunluk Fonksiyonu	46
6.4 Genetik Algoritma Metodu İle Asenkron Motor Parametrelerinin Belirlenmesi	47
6.5 Diferansiyel Evrim Algoritma Metodu İle Asenkron Motor Parametrelerinin Belirlenmesi	49
6.6 Deneysel Çalışmalar	51
7 SONUÇLAR	60
8 KAYNAKLAR	62
EKLER	65

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 1.1 Deney düzeneği
- Şekil 3.1 Üç fazlı bir asenkron motor
- Şekil 3.2 Rotor torkunun üretimi
- Şekil 3.3 Bir faz stator eşdeğer devresi
- Şekil 3.4 Asenkron motorun komple bir faz eşdeğer devresi
- Şekil 3.5 Asenkron motorun rotor eşdeğer devresi
- Şekil 3.6 Asenkron motorun rotor devresi statora aktarılmış bir faz eşdeğer devresi
- Şekil 3.7 Asenkron motorun rotor devre direncinin iki kısma ayrılmış durumdaki bir faz eşdeğer devresi.
- Şekil 3.8 Asenkron motorun DC deneyi
- Şekil 3.9 Boş çalışma deney bağlantı şeması, Kilitli çalışma deney bağlantı şeması
- Şekil 3.10 Asenkron motorun kilitli rotor deneyi bir faz eşdeğer devresi
- Şekil 4.1 Genetik algoritmanın akış diyagramı
- Şekil 4.2 Algoritmanın şematik diyagram formunda gösterimi
- Şekil 6.1 Gerçekleştirilecek sistemin blok diyagramı
- Şekil 6.2 Gerçekleştirilen Genetik Algoritma programı
- Şekil 6.3 Diferansiyel Evrim Algoritma Programı
- Şekil 6.4 5.5 kW'lık motor için DEA yakınsama grafiği
- Şekil 6.5 5.5 kW'lık motor için GA yakınsama grafiği
- Şekil 6.6 2.2kW'lık motor için DEA yakınsama grafiği
- Şekil 6.7 2.2kW'lık motor için GA yakınsama grafiği
- Şekil 6.8 Moment hız grafiği
- Şekil 6.9 Akım ve moment grafiği
- Şekil 6.10 Güç katsayısı moment grafiği
- Şekil 6.11 Güç moment grafiği
- Şekil 6.12 Akım gerilim grafiği

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1 Benchmark Test Fonksiyonları

Tablo 5.2 Fonksiyonlar için optimasyon Tablo 6.3

Tablo 5.3 Uygunluk değerleri

Tablo 6.1 Deneyde kullanılan makine ve teçhizatın özellikleri

Tablo 6.2 2.2 kW Asenkron Motora ait deney sonuçları

Tablo 6.3 5.5 kW motorlara ait katalog verileri

Tablo 6.4 2.2 kW, 5.5 kW ve 37 kW motorlara ait eşdeğer devre parametreleri

Tablo 6.5 2.2 kW'lık motor için GA ve DEA kullanılarak bulunan parametreler

Tablo 6.6 5.5 kW'lık motor için GA ve DEA kullanılarak bulunan parametreler

Tablo 6.7 37 kW'lık motor için GA ve DEA kullanılarak bulunan parametreler

Tablo 6.8 Eşdeğer devre Parametreleri ve hata oranları

Tablo 6.9 Hesaplanan kalkınma, nominal çalışma ve devrilme momentleri

SİMGELER ve KISALTMALAR

ASM, asm	Asenkron motor
Ark.	Arkadaşları
D	Değişken sayısı
DEA	Diferansiyel evrim algoritma
F	Ölçekleme faktörü
F1,F2,F3,F4	Test fonksiyonları
F_1, F_2, F_3	Uygunluk fonksiyonları
G	Jenerasyon
GA	Genetik algoritma
I_s	Stator akımı
I'_r	Statora indirgenmiş rotor akımı
M_n	Nominal moment
M_k	Kalkınma momenti
M_d	Devrilme momenti
NP	Popülasyon boyutu
n_r	Rotor devir sayısı
$n_{j,i,G+1}$	Mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom
Pc, CR	Çaprazlama oran katsayısı
Pm	Mutasyon oran katsayısı
P_0	Başlangıç popülasyonunu
R_s	Stator direnci
R'_r	Statora indirgenmiş rotor direnci
$r_{1,2,3}$	Yeni kromozomun üretilmesinde kullanılacak rasgele seçilecek kromozomlar
s	Kayma

$u_{j,i,G+1}$	$x_{j,i,G}$ den bir sonraki jenerasyon için üretilen kromozom
V	Volt
V_s	Stator gerilimi
W	Watt
ω_s	Stator açısal hızı
X_{ls}	Stator reaktansı
X'_{lr}	Statora indirgenmiş rotor reaktansı
X_m	Mıknatıslanma reaktansı
$x_{j,i,G}$	G jenerasyonunda, i. kromozomun j. parametresi (gen)
$x_j^{(lo)}, x_j^{(hi)}$	Değişkenlere ait alt ve üst sınır değerleri

1 GİRİŞ

İndüksiyon motorlar olarak bilinen, asenkron motorlar yapılarının sağlam oluşu ve ucuz olmalarından dolayı endüstride en çok kullanılan elektrik makineleridir. Endüstride genellikle motor olarak çalıştırılan asenkron motorların devir sayıları sabit değildir, fakat devir sayıları yükü az değiştirdiği için kullanımda tercih edilen motorlardır.

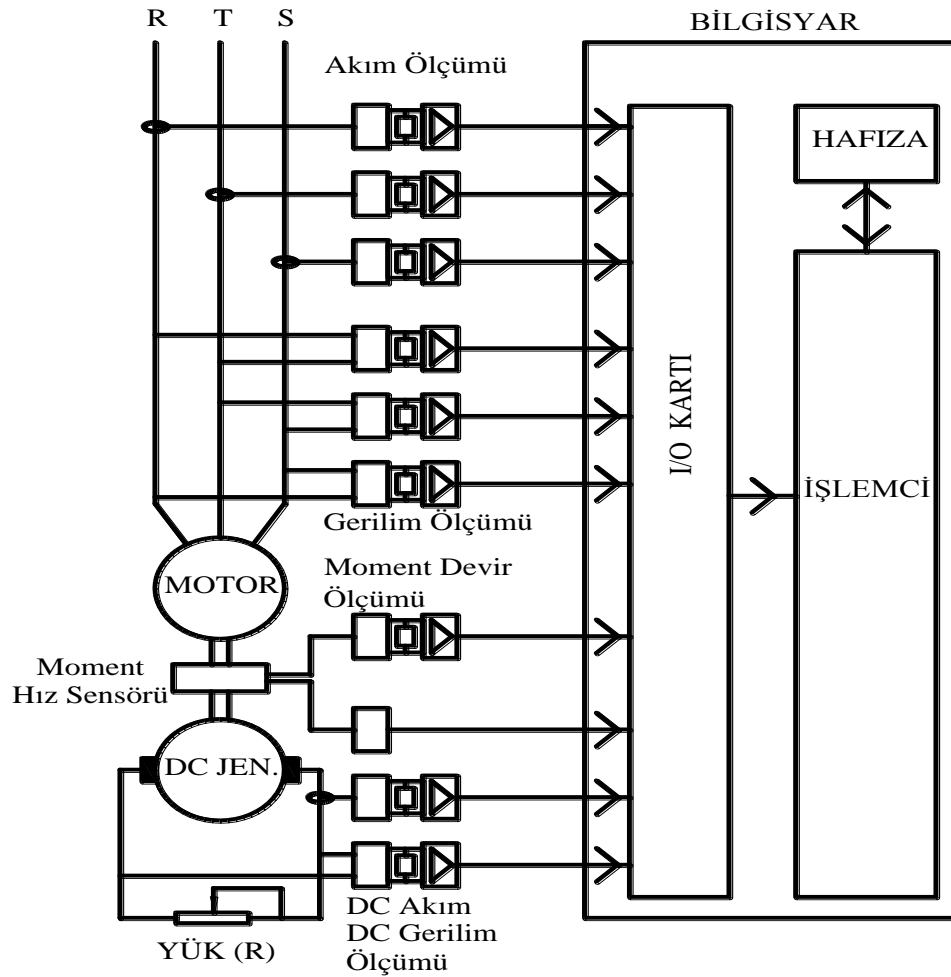
Asenkron motor elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin doğru ve hassas belirlenmesi, asenkron motorların devir sayısı, konum kontrolleri ve optimizasyon çalışmalarında önem arz etmektedir.

Asenkron motorların eşdeğer devre parametrelerinin en düşük hatayla belirlenmesi, doğrusal olmayan dinamik yapılarından dolayı zor bir problemdir. Ancak, endüstriyel uygulamalar açısından asenkron motor parametre değerlerinin hızlı bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Asenkron motor parametrelerinin hassas bir şekilde belirlenmesi genellikle; stator giriş gerilimi, stator akımı ve giriş gücü gibi giriş büyüklüklerinin veya rotor dönme hızı ve motor momenti gibi çıkış büyüklüklerinin kullanıldığı optimizasyon metotlarına bağlıdır.

Yapay zeka teknikleri, elektrik makinelerinin optimizasyon ve parametrelerinin belirlenmesi çalışmalarında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Bu teknikler sezgisel metotlar olarak bilinir ve en iyiyi seçmek için tüm farklı durumları üretmeyebilir. Bu sebeple mükemmel çözüme ulaşamayabilir. Endüstriyel uygulamalar da daha hassas sonuçlara hızlı bir şekilde ulaşılmasının gerekliliğinden dolayı, eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesinde yüksek yakınsama hassasiyetine sahip farklı metotlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez çalışmasında, diferansiyel evrim algoritması ve genetik algoritmalar asenkron motor eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Algoritmalarla amaç fonksiyonu olarak, asenkron motorların tam yük momenti, kalkınma momenti ve devrilme momenti denklemleri kullanılmıştır. Eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi 2.2kW, 5.5kW ve 37 kW gücünde üç asenkron motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca DEA ve GA ile elde edilen eşdeğer devre parametrelerinin asenkron motor moment değerlerinin değişimi üzerindeki etkileri incelenmiş ve grafiklerle gösterilmiştir. Bu amaçla Şekil 1.1’de verilen deney düzeneği oluşturulmuştur.



Şekil 1.1 Deney düzeneği

1.1 Konunun Tanıtımı

Asenkron motor elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesinde **Deterministik Metotlar” ve ”İstatistiksel Metotlar”** olmak üzere iki grup metot vardır. Türevsel yaklaşım kullanan deterministik metotlar, lokal maksimum veya minimuma yakınsayan algoritmalarıdır. İstatistiksel metotlar global maksimuma veya minimuma ulaşmak için rastgele sayıları ve yöntemleri kullanırlar. Son yıllarda yaygın olarak kullanılan yapay zeka teknikleri, istatistiksel metotlar olarak bilinirler.

Bu çalışmada asenkron motorun elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi için, “Diferansiyel Evrim Algoritma” ve “Genetik Algoritmalar” kullanılmıştır. Diferansiyel evrim algoritması, küresel optimizasyon problemleri için önerilen gerçek kodlu bir algoritmadır. Genetik algoritmalar gibi popülasyon tabanlı olup aynı anda birçok noktada araştırma yapabilmektedir. Asenkron motor elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesinde, motor etiket değerlerinden faydalanılmıştır. DEA ve GA ile elde edilen parametre değerleri motorun boş ve kilitli çalışma deneyinden sağlanan değerler ile karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışması toplam sekiz bölümden oluşmaktadır.

Birinci Bölümde; tezin konusu genel olarak tanıtılmış, tezin önemi ve amacı hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

İkinci Bölümde; asenkron motor eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi hakkında yapılan çalışmalar ile ilgili literatür özetleri sunulmuştur.

Üçüncü Bölümde; asenkron motorların yapısı, çalışması ve eşdeğer devre parametrelerinin elde edilmesi açıklanmıştır.

Dördüncü Bölümde; genetik algoritmalar ve diferansiyel evrim algoritması hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci Bölümde; genetik algoritma ve diferansiyel evrim algoritması test fonksiyonları ile denenmiştir.

Altıncı Bölümde; C sharp programlama dilinde yazılan genetik algoritma ve diferansiyel evrim algoritması ile elde edilen asenkron motor eşdeğer devre parametrelerinin, asenkron motor moment değerleri üzerindeki etkileri incelenmiş, asenkron motor moment değerlerinin değişimi grafiklerle ve tablolarla gösterilmiştir. Farklı iterasyon sayıları, çaprazlama ve mutasyon değerleri için genetik algoritma ve diferansiyel evrim algoritma sonuçları incelenmiştir.

Yedinci Bölümde; yapılan tez çalışmasında elde edilen sonuçlar tartışılmış ve ileride bu konuda çalışma yapacak araştırmacılara öneriler sunulmuştur.

Sekizinci Bölümde; tezde faydalanılan kaynaklar verilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmadaki amaç; diferansiyel evrim algoritması ve genetik algoritmalar yöntemiyle asenkron motor elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin hızlı ve en düşük hatayla belirlenmesini sağlamaktır. Diferansiyel evrim algoritması, genetik algoritmalar gibi popülasyon tabanlı bir algoritma olup, aynı anda birçok noktadan araştırma yapabilmektedir.

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, asenkron motorların eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi çeşitli metotlarla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, bu konuyla ilgili daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak asenkron motor elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi çevrim dışı (off-line) diferansiyel evrim algoritma yöntemiyle gerçekleştirilecektir. DEA'nın performansı GA ile karşılaştırılacaktır. Kısa devre ve boş çalışma deneyine gerek kalmaksızın, motor moment değerleri kullanılarak eşdeğer devre parametreleri elde edilecektir.

Diferansiyel evrim algoritması ve genetik algoritmaların, asenkron motorların optimizasyonu ve konum kontrolleri gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılması ile endüstrideki mevcut çalışmalara göre daha verimli olacağı düşünülmektedir.

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

Elektrik motorlarının parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmaların bazılarının özetleri aşağıda verilmiştir.

Pillay ve ark. (1997), asenkron motor parametrelerinin belirlenmesinde genetik algoritmaları kullanmışlardır. Asenkron motor parametrelerini hesaplamak ve değerlendirmek için, mevcut motorun nominal çalışma, devrilme (maksimum) ve kalkınma moment denklemlerini amaç fonksiyonu olarak almışlar ve uygunluk fonksiyonunu buna göre düzenlemişlerdir. Ayrıca, asenkron motor parametrelerinin belirlenmesinde genetik algoritmaları Newton-Raphson optimizasyon yöntemiyle karşılaştırmışlardır.

Pillay ve ark. (1998), asenkron motor verimlerinin belirlenmesinde uygulanan, motor etiket verilerinden verimin elde edilmesi yerine, yeni bir metot olarak genetik algoritmaya dayalı bir yöntem gerçekleştirmişlerdir.

Nangsue ve ark. (1999), asenkron motor parametrelerinin belirlenmesinde evrimsel algoritmaların uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Genetik algoritmanın ve genetik programlamanın temel kavramlarını incelemişler ve asenkron motor eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesinde genetik algoritma ve genetik programlama yöntemlerini kullanmışlardır. Bu algoritmaları üç farklı asenkron motor için uygulamışlardır ve ayrıca genetik algoritmanın ve genetik programlamanın asenkron motor koruması ve motorun geçici/kalkınma çalışma durumunda da kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Bajrektarevic E. (2002), çalışmasında, asenkron motorların elektriksel parametrelerinin belirlenmesinde genetik algoritmayı kullanmıştır. Elektrik parametrelerini hesaplamak için kullanılan değişkenler, ölçülen stator akımları, stator gerilim ve rotor hızıdır. Parametreler Data Acquisition System ve LabVIEW Software

kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmalar 7.5 hp'lik bir asenkron motorda gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritma kullanılarak elde edilen elektriksel parametreler deneysel olarak elde edilen parametrelerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlara bağlı olarak, bu metodun çeşitli asenkron motor parametre belirleme problemlerine uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Weatherford ve Brice (2003), laboratuarda test edilebilen düşük güçlü indüksiyon motorların parametrelerinin belirlenmesini genetik algoritmalarla gerçekleştirmişlerdir. İndüksiyon motorun, akım, gerilim ve moment gibi değerlerinden hareketle diğer parametrelerin bulunmasını sağlamışlardır. Motor parametrelerinin bulunmasında genetik algoritmaların etkili bir çözüm metodu olduğunu göstermişlerdir. Motor optimizasyon çalışmalarını tek rotor çubuklu ve çift rotor çubuklu motor üzerinde yapmışlardır.

Çunkaş (2004), genetik algoritmalarla üç fazlı asenkron motorun tasarım optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Asenkron motorun performans özelliklerini iyileştirerek motorun mevcut ağırlığını düşürüldüğünü göstermiştir. Uygulama örneğiyle, elektrik makinelerinin tasarım optimizasyonunda genetik algoritmaların etkinliğini ANSYS magnetik analiz programı yardımıyla doğrulamıştır.

Koyuncu (2006), çalışmasında, ilk olarak bir yapay zeka optimizasyon algoritması olan diferansiyel evrim algoritmasının bütün programlama dillerine uygulanabilecek basitlikte bir örneğini vermiş ve bir yazılım geliştirmiştir

Rahimpour ve ark. (2006), çalışmalarında rotoru çift çubuklu indüksiyon motorların önerilen modelleri içinde, iki boyutlu teoriye dayanan bir model tartışılmış ve geliştirilmiştir. Modelin doğruluğu, gerçekliği ve tanımlanan parametreleri bir 5.5 kw,380 V, 50 Hz, 1450 rpm çift kafesli rotorlu indüksiyon motor yardımıyla araştırılmıştır

Keskintürk (2006), diferansiyel evrim algoritmasının temel prensiplerini açıklamıştır. Operatörlerin her bir birey için birlikte kullanılması, özel bir seçim yöntemi gerektirmemesi gibi nedenlerle genetik algoritmadan daha basit bir yapıya sahip olduğunu belirtmiştir.

Mutluer ve ark. (2007), asenkron motor parametrelerinin belirlenmesinde geliştirdikleri bir hibrid genetik algoritmayı kullanmışlardır. Asenkron motor parametrelerini belirlemek için, asenkron motorun nominal çalışma, devrilme ve kalkınma moment denklemlerini amaç fonksiyonu olarak kullanmışlar ve uygunluk fonksiyonunu buna göre elde etmişlerdir. Bununla birlikte, asm parametrelerinin belirlenmesinde klasik genetik algoritmayı ve geliştirdikleri hibrid genetik algoritmayı sonuçları itibariyle karşılaştırmışlar ve hibrid genetik algoritmanın asm parametrelerinin belirlenmesinde üstün performansa sahip olduğunu göstermişlerdir.

3 ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTORLAR

Sanayi tesislerinde elektrik enerjisini dairesel harekete çevirebilmek için motorlar kullanılır. Uygulamada onlarca çeşitte elektrikli motor karşımıza çıkmaktadır. Ancak, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektrik motorları içerisinde en sağlam, en ucuz, en az bakım gerektiren ve en çok kullanılan motorlar asenkron motorlardır. Bu motorlar indüksiyon prensibine göre çalıştıkları için indüksiyon motorları olarak da adlandırılırlar. Asenkron motorların iki çeşidi vardır(Boduroğlu,1988).

1- Kısa devre çubuklu (sincap kafesli) asenkron motorlar

2- Rotoru sargılı (bilezikli) asenkron motorlar

Çoğu endüstriyel uygulamalar için genellikle asenkron motorlar aşağıdaki nedenlerden dolayı tercih edilir

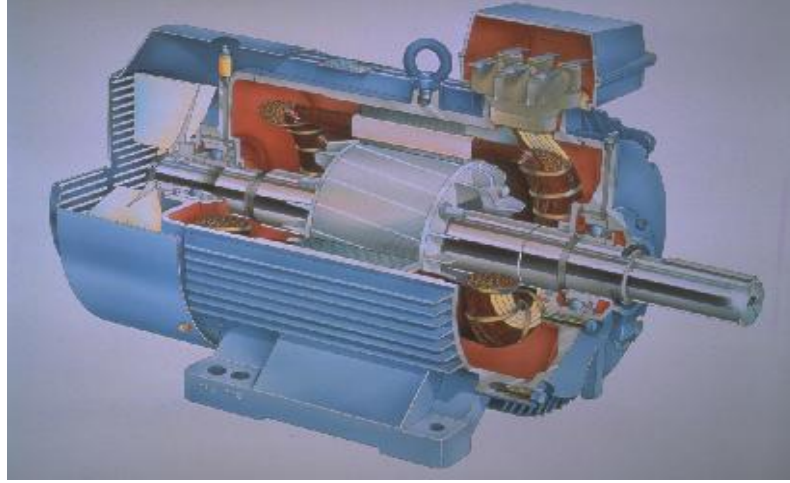
- Yapımlarının kolay ve maliyetlerinin düşük olması,
- Sağlam ve daha az bakıma ihtiyaç duymaları,
- Yöneltilabilir bir hız-moment eğrisine sahip olmaları,
- Yük altında çalışmalarının dengeli olması,
- Çok küçük güçlerden birkaç MW güç değerlerine kadar yapılabilmeleri,

Asenkron motorların bazı dezavantajları ise şu şekildedir:

- Hızlarının, doğru akım motorun hızı kadar kolay kontrol edilememesi,
- Tam yükte çektiği akımdan yaklaşık 6-8 kat kalkışta akım çekmeleri,
- Az yüklendiğinde düşük bir geri güç faktörüyle çalışmaları,

3.1 Üç Fazlı Asenkron Motor Yapısı

Asenkron motorlar genellikle sabit duran stator ve kendi çevresinde dönen rotor basta olmak üzere gövde, mil, kapaklar ve pervane gibi parçalardan oluşur.



Şekil 3.1 Üç fazlı bir asenkron motor

3.1.1 Stator

Asenkron makinenin bobinlerini üzerinde bulunduran kısımdır. Burası motorun sabit (duran) kısmıdır. Statorun gövde kısmı dökme çelik veya alüminyum bileşenlerinden, aktif kısmı ise 0,5-1,2mm kalınlığında üzerine oluklar açılmış ve birer yüzeyleri yalıtılmış ince silisli sacların preslenmesinden meydana gelirler. Buradaki oluklara iletkenler elektriki olarak birbirinden 120° faz farklı sargılar sarılır(Boduroğlu,1988).

3.1.2 Rotor

Rotor asenkron motorun dönen kısmıdır. Farklı uygulamalar için kullanılan iki farklı rotor vardır. Bunlar sincap kafesli (kısa devre çubuklu) ve sargılı rotordur.

a. Kısa Devre Çubuklu (Sincap Kafesli) Rotor: Statordaki gibi üzerine oluklar açılmış silisli saçların bir mil üzerine preslenmesinden elde edilmiştir. Oluklara iletken (aliminyum-bakır) çubuklar yerleştirilir. Bu çubuklar iki tarafından kısa devre edilir.

b. Sargılı Rotor: Sargılı rotorlarda standart sincap kafesli rotora benzer yolla üretilir. Fakat bu rotor üzerindeki oluklarda çubuklar yerine yıldız veya üçgen bağlı sargılar vardır. Bu sargıların uçları rotor sonunda mil üzerine yerleştirilmiş bileziklere bağlanmıştır. Bu bileziklerden dış devreye bağlantı fırçalar yardımı ile sağlanır.

3.2 Statorda Üç Fazlı Döner Manyetik Alanın Üretilmesi

Üç fazlı bir asenkron motorun statoruna birbirinden 120 şer derece faz farklı sargılar yerleştirilmiştir. Statora üç fazlı bir gerilim uygulandığında, sargılardan geçen akımlar dönen bir manyetik alan meydana getirirler. Bu dönmenin hızı uygulanan frekansa ve çift kutup sayısına bağlıdır. Bu ilişki şu formülle ifade edilir(Gülbeyazoğlu,1992).

$$n_s = \frac{f}{p} \text{ devir/saniye} \quad \text{veya} \quad n_s = \frac{60*f}{p} \text{ devir/dakika} \quad (3.1)$$

n_s = manyetik alanın bir saniyedeki dönme hızı. Buna senkron devirde denir.

f = Stator sargılarına uygulanan gerilimin frekansı.

p = Statorun çift kutup sayısı.

3.3 Asenkron Motorun Çalışma İlkesi

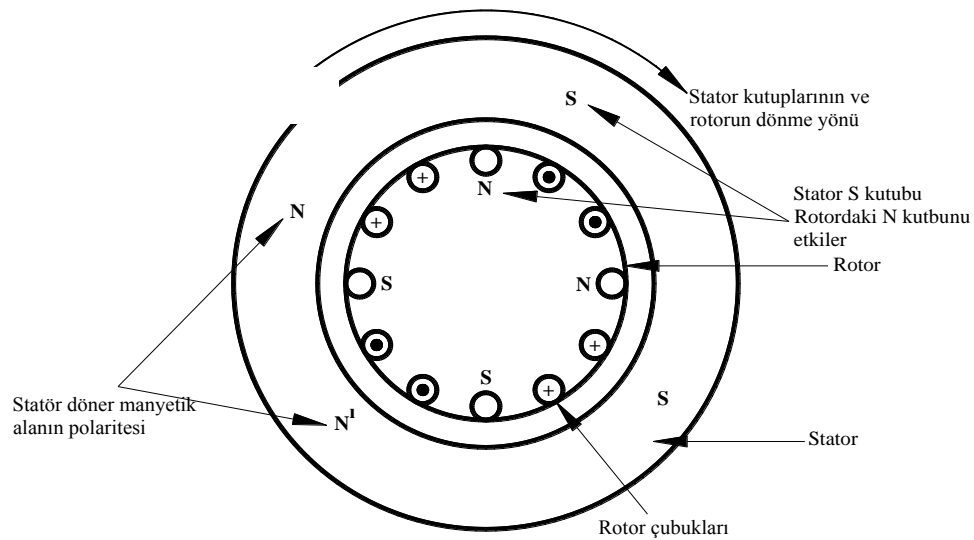
Asenkron motorlar indükleme esasına göre çalıştığından, indüksiyon prensibine göre; dönen bir manyetik alan içinde bulunan iletkenlerde gerilim indüklenir. Stator sargılarına uygulanan üç fazlı alternatif akımlar stator hava boşluğunda dönen bir manyetik alan meydana getirir. Bu manyetik alan rotor çubuklarını keserek çubuklarda elektromotor kuvvet (emk) indükler. İndüklenen bu emk'dan dolayı kısa devreli rotor

çubuklarından indüksiyon akımı geçer. Bu akımlar rotor sargılarında kutuplar meydana getirir. Dönen stator kutupları rotorun kutuplarını etkileyerek rotoru bir yönde döndürür(Çolak,2001).

3.4 Üç Fazlı İndüksiyon Motorlarda Tork Üretimi

Stator sargılarında meydana gelen döner manyetik alan rotor çubuklarını keserek onların üzerinde gerilim doğmasına neden olur. Bütün çubuklar birbirleri ile bağlantılı olduklarından (kısa devre oldukları için) meydana gelen gerilimden dolayı üzerlerinden akım dolaşır. Bu akım Şekil 3.2 de görüldüğü gibi rotor çubuklarını manyetik etki altına alır. Lenz Kanununa göre rotor çubuklarında indüklenen akımın yönü kendisini meydana getiren akım yönüne terstir. Yani rotordaki manyetik alanın polaritesi statordaki manyetik alanın polaritesi ne terstir.

Rotorda indüklenen N kutbu statorun dönen S kutbu tarafından çekilir Aynı anda rotorda indüklenen S kutbu statorun dönen N kutbu tarafından çekilir. Bu şekilde rotorda döner manyetik alanla aynı yönde dönen bir kuvvet veya tork meydana gelir(Boduroğlu,1988).



Şekil 3.2 Rotor torkunun üretimi

İletken rotor üzerinde, rotorda iki taraftan yataklanmış olduğu için rotor, stator manyetik alanının dönüş yönünde dönmeye başlayacaktır,

Rotor hızının artması ile döner manyetik alanın rotor çubuklarını kesme hızı düşer Bundan dolayı çubuklarda indüklenen e.m.k.'in değeri azalır, ($e = B.l.v \sin\alpha \cdot 10^{-8}$ volt) Bu durumda şebekeden çekilen akımda düşer. Rotor devrinin artmasına bağlı olarak, döner manyetik alanın rotor çubuklarını kesme hızının düşmesi işleminin sonunda rotorun hızlanması azalır ve belli bir seviyede kalır(Boduroğlu,1988).

Rotor hızı senkron (döner alan) hızına eşit olamaz. Çünkü bu anda manyetik alanın rotor çubuklarını kesme hızı sıfır olur ve rotor çubuklarında gerilim indüklenmeyeceği için akım da geçmez ve tork oluşmaz. Onun için rotor hızı döner alan hızından geri kalır.

Motor çalışmayı sürdürmek ve tork üretmek için indüksiyon prensibine bağlı kalır Rotor ile stator veya şebeke arasında elektriki bir bağ yoktur. Fakat manyetik olarak rotor statora veya şebekeye bağlıdır.

3.5 Kayma

Stator döner alanı (n_s) ile rotor hızı (n_r) arasındaki farka ($n_s - n_r$) kayma hızı ve bu hızın döner alan hızına oranına kayma denir. Kayma asenkron makinenin incelenmesinde önemli bir büyüklüktür. Kaymayı senkron hızın yüzdesi veya birim miktarı olarak açıklamak daha yaygındır(Gülbeyazoğlu,1992).

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (3.2)$$

3.6 Üç Fazlı Asenkron Motorun Bir Faz Eşdeğer Devresi

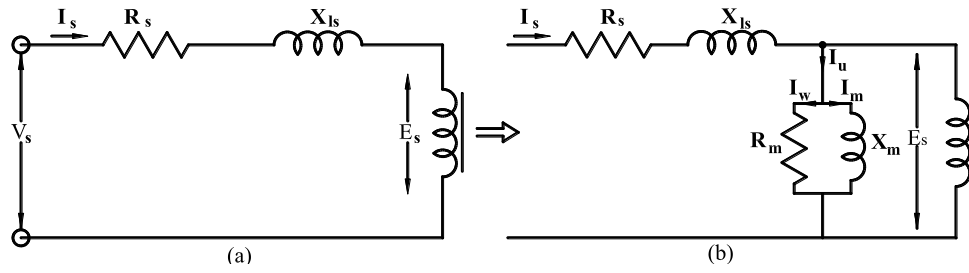
Asenkron motorun güç, döndürme momenti, kalkınma akımı, güç katsayısı ve değişik yüklerdeki verim hesapları için motorun eşdeğer devresini bilmek kolaylıklar sağlar. Eşdeğer devre motoru temsil eden bir devre olup direnç ve endüktanslardan meydana gelir.

Asenkron motorun statoruna alternatif bir gerilim uygulandığı zaman sargılardan geçen akım nüve üzerinde, zamana bağlı olarak değişken bir manyetik akı oluşturur. Bu manyetik akının küçük bir kısmı havadan devresini tamamlarken, büyük miktarı da stator ve rotor demir nüve üzerinden devresini tamamlar. Havadan devresini tamamlayan kaçak akılardan dolayı kaçak reaktans X_{ls} oluşur. Stator sargılarının iç direnci R_s kaçak reaktans X_{ls} ye seri bağlanır(Çolak,2001).

Stator sargılarında endüklenen gerilim E_s , statora uygulanan V_s gerilimi ile stator direnç ve reaktansında düşen gerilimlerin farkına eşittir. Buna göre :

$$\overline{E}_s = V_s - I_s (R_s + jX_{ls}) \quad (3.3)$$

Stator devresi Şekil 3.3'de ki gibi çizilir. Statordan çekilen akım I_s rotor ve manyetik devreden çekilen akımı karşıladığından, stator akımı I_r' ve I_u olarak ikiye ayrılır. Uyarım devresinden geçen akım doyma noktasına kadar statorda endüklenen gerilimle doğrusal olarak değişir. Bu sebeple uyarım akımı I_u , E_s gerilimine paralel bir koldan geçen akım olarak gösterilir. Uyarım akımının I_w ve I_m olmak üzere iki bileşeni vardır.

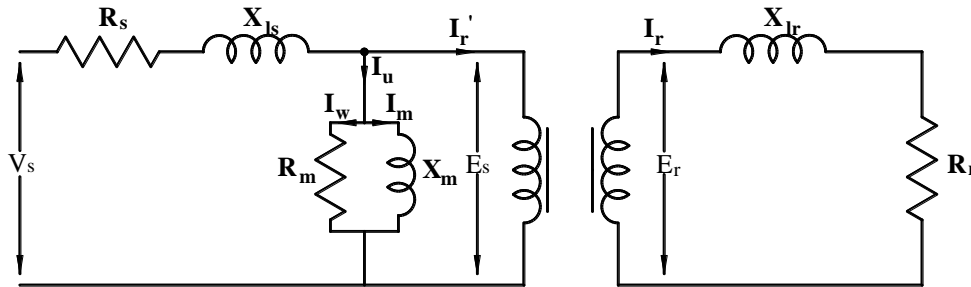


Şekil 3.3 a) Bir faz stator eşdeğer devresi, b) Bir faz stator ve uyartım devresi

Rotor devresi analiz edilirse, rotor empedansının kaymaya bağlı olarak değiştiği görülür. Şekil 3.4 rotor devresinin değerleri E_r ve X_{lr} kayma ile ilişkili olup, aşağıdaki gibi ifade edilir(Çolak,2001).

$$E_r = sE_{r0} \quad (3.4)$$

$$X_{lr} = sX_{lr0} \quad (3.5)$$



Şekil 3.4 Asenkron motorun komple bir faz eşdeğer devresi

E_{r0} = Rotor dururken sargılarında endüklenen gerilim.

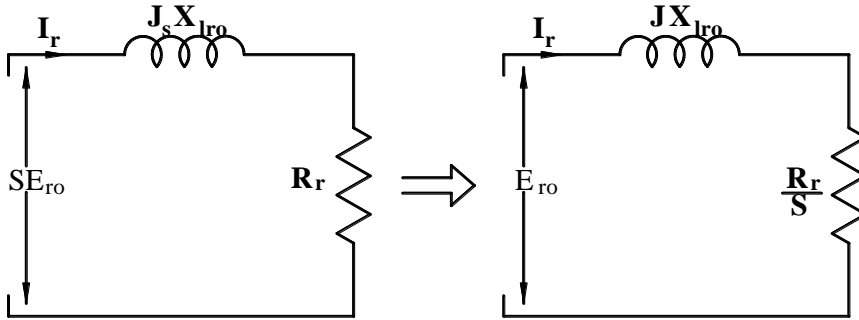
E_r = Kaymanın herhangi bir değerindeki rotorda endüklenen gerilim.

X_{lr0} = Rotor dururken rotor sargılarının kaçak reaktansı.

X_{lr} = Kaymanın herhangi bir değerindeki rotor kaçak reaktansı.

s = Kayma

Yukarıdaki ifadelerle göre rotor eşdeğer devresi Şekil 3.5’de ki gibi tekrar çizilir. Rotor akımı I_r , rotor sargılarında indüklenen E_r geriliminin rotor empedansına bölümüne eşittir(Çolak,2001).



Şekil 3.5 Asenkron motorun rotor eşdeğer devresi

$$I_r = \frac{E_{r0}}{R_r + J_s X_{lr0}} \quad (3.6)$$

$$I_r = \frac{E_{r0}}{R_r/s + JX_{lr0}} \quad (3.7)$$

Eşdeğer devrenin basitleştirilmesi bakımından rotor devresine ait değerler statora aktarılırken, aşağıdaki formüller kullanılır.

$$a = \frac{N_s}{N_r}; \quad E_r' = aE_{r0} \quad (3.8)$$

$$X_{rl}' = a^2 X_{lr0}; \quad R_r' = a^2 R_r; \quad I_r' = \frac{I_r}{a} \quad (3.9)$$

E_s = Stator sargılarında indüklenen gerilim.

E_r' = Rotor sargılarında indüklenen gerilimin stator devresine aktarılmış eşdeğeridir.

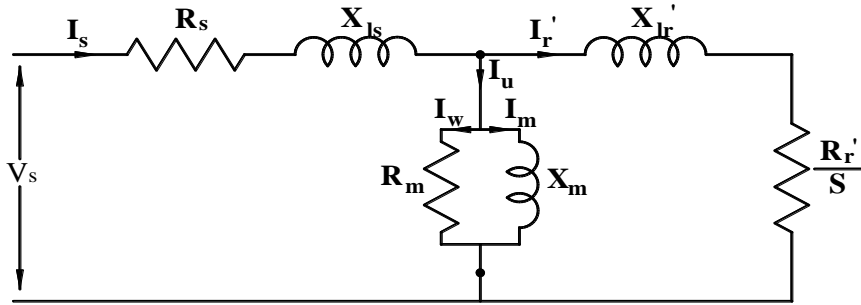
X_{rl}' = Rotor devresi kaçak reaktansının rotor devresine aktarılmış eşdeğeri.

R_r = Rotor devresi direnci.

R_r' = Rotor devresi direncinin stator devresine aktarılmış eşdeğeri.

I_r = Rotor devresinden geçen akım.

I_r' = Rotor devresinden geçen akımın stator devresine aktarılmış eşdeğeri.

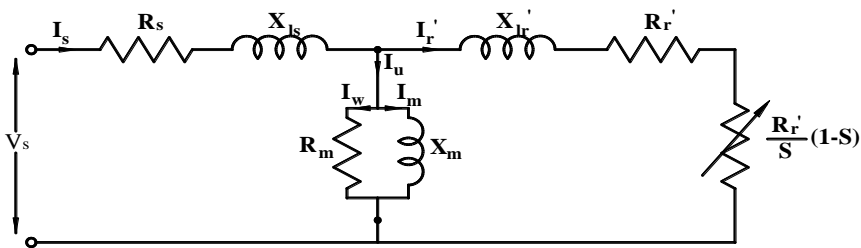


Şekil 3.6 Asenkron motorun rotor devresi statora aktarılmış bir faz eşdeğer devresi

Rotor devresi incelendiğinde $\frac{R_r'}{s}$ kayma ile değişen bir dirençtir. $\frac{R_r'}{s}$ direncine R_r' direncini ekleyip çıkartırsak eşdeğer devre Şekil 3.7 deki gibi olur(Çolak,2001).

$$\frac{R_r'}{s} = \frac{R_r'}{s} + R_r' - R_r' \quad (3.10)$$

$$\frac{R_r'}{s} = \frac{R_r'}{s} (1-s) + R_r' \quad (3.11)$$



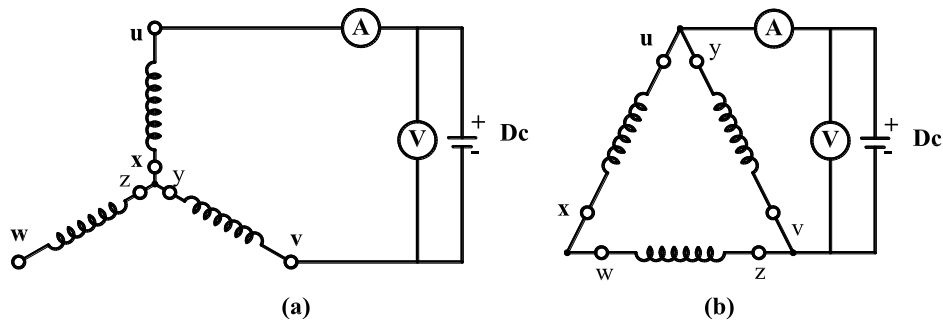
Şekil 3.7 Asenkron motorun rotor devre direncinin iki kısma ayrılmış durumdaki bir faz eşdeğer devresi.

Görüldüğü gibi rotor etkin direnci iki kısma ayrılabilir. Bunlardan R_r' değeri rotor bakır kayıplarını, $\frac{R_r'}{s}(1-s)$ kısmı ise motorun kaçak yük kayıplarını ve mil gücünü temsil eder(Çolak,2001).

3.6.1 Asenkron Motor Parametrelerinin Hesaplanması İçin Gerekli Deneyler

3.6.1.1 Asenkron Motorun Stator Etkin Faz Direncinin Bulunması

Bu deneye başlamadan önce asenkron motor anma sıcaklığına (70°C) ulaşmaya kadar tam yükte çalıştırılır. Böylece stator direncinin ölçümü esnasında oluşabilecek hata minimuma indirgenir. Daha sonra stator sargı uçlarından iki tanesine doğru gerilim uygulanır. Gerilim değeri ayarlı bir kaynak ile sıfırdan başlayarak artırılır. Motor tam yük akımı stator sargılarından geçtiği anda uygulanan gerilim değeri ve akım miktarı ölçülerek kaydedilir. Daha sonra motor sargılarının üçgen yada yıldız bağlı durumuna göre stator sargısının bir faz doğru akım direnci hesaplanır. Stator sargılarının bir faz etkin direnci , doğru akım direnç değerinin 1,2 katsayısı ile çarpımından bulunur(Çolak,2001).



Şekil 3.8 Asenkron motorun DC deneyi a) Yıldız bağlantı, b) Üçgen bağlantı

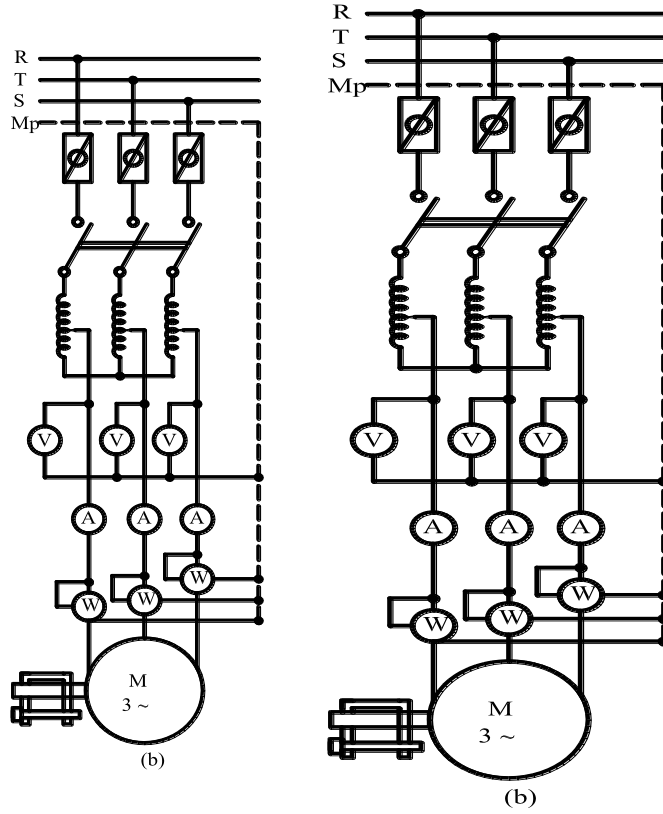
3.6.1.2 Asenkron Motorun Boş Çalışma Deneyi

Boş çalışma deneyinde asenkron motor anma gerilim değeriyle yüksüz olarak çalıştırılır. Motor yıldız veya üçgen bağlı olabilir. Motor boşta çalışırken şebekeden çekilen toplam güç, motor yıldız bağlı ise üç wattmetreden ölçülen güçlerin toplamına eşittir. Şekil 3.9'da olduğu gibi. Motor yıldız veya üçgen bağlı ise iki wattmetre metodu kullanılır. Motorun bir faz akım değeri ise üç ampermetrenin ölçtüğü değerlerin ortalamasıdır.

Asenkron motor boşta çalışırken rotor hızı senkron hıza çok yakın olduğundan motorun kayması çok küçüktür. Bu nedenle rotor empedansı yaklaşık olarak $R_r'/s(1-s)$ değerine eşittir. Boş çalışmada rotor devresinden geçen akımın küçük olması sebebi ile rotor bakır kayıpları ihmal edilebilir. Boş çalışmada şebekeden çekilen güç stator bakır kayıpları, demir kayıpları, sürtünme ve rüzgar kayıplarıdır. Boş çalışma gücünden stator bakır kayıplarını çıkartırsak, demir kayıpları bulunur(Çolak,2001).

$$P_{scu} = I_s^2 R_s \quad (3.12)$$

$$P_{fe} = P_0 - P_{scu} \quad (3.13)$$



Şekil 3.9 a) Boş çalışma deney bağlantı şeması, b) Kilitli çalışma deney bağlantı şeması

Asenkron motorun bir fazının uyarım devresi direnci R_m hesaplanırken, demir kaybının faz gerilimine bölümünden boş çalışma akımının aktif bileşeni hesaplanır. Aktif bileşenden faydalanarak direnç değeri bulunur.

$$I_w = \frac{P_{fe}}{V_s} \quad (3.14)$$

$$R_m = \frac{V_s}{I_w} \quad (3.15)$$

Uyarım akımının mıknatıslanma bileşeni I_m ;

$$I_m = \sqrt{I_u^2 - I_w^2} \quad (3.16)$$

Uyarım devresi kaçak reaktansı X_m ;

$$X_m = \frac{V_s}{I_m} \quad (3.17)$$

Asenkron motorun bir fazının boş çalışma direnci, bir fazın boş çalışma gücünün boş çalışma akımının karesine bölümü ile bulunur.

$$R_{nl} = \frac{P_{nl}}{3I_{nl}^2} \quad (3.18)$$

Motorun bir faz boş çalışma empedansı ise boş çalışma faz geriliminin, boş çalışma akımına bölümü ile bulunur(Çolak,2001).

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl}} = R_{nl} + j(X_{sl} + X_m) \quad (3.19)$$

Boş çalışma kaçak reaktansı ise;

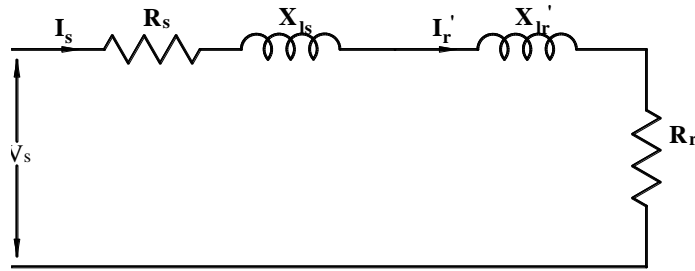
$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} = X_{sl} + X_m \quad (3.20)$$

3.6.1.3 Asenkron Motorun Kilitli Rotor Çalışma Deneyi

Asenkron motor anma sıcaklığına ulaşınca kadar çalıştırıldıktan sonra Şekil 3.9b' de ki bağlantı gerçekleştirilir. Motorun rotoru dönmeyecek şekilde bir mekanizma ile sıkıştırılır. Daha sonra ayarlı bir güç kaynağından uygulanan gerilim yavaş yavaş artırılır. Stator sargılarından geçen akım motorun nominal değerine ulaşınca akım, güç ve gerilim değerleri kaydedilir.

Motorun bir faz sargısından geçen akım değeri, her üç fazdan okunan akım değerlerinin ortalaması alınarak bulunur. Kilitli rotor deneyinde rotor devri $n_r = 0$ olduğu için, kayma $s = 1$ olup, stator ve rotorda endüklenen gerilimlerin frekansı birbirine eşittir.

Kaymanın $s=1$ olması sebebi ile $\frac{R_r'}{s}(1-s)$ değeri sıfır olur. Bu sebeple mekanik kayıplar sıfırdır. Dolayısı ile rotor devresinin empedansı $R_r'+X_{rl}'$ değerine eşittir. Asenkron motorun uyarım devre empedansı, rotor empedansından çok büyük olduğu için akım genel olarak rotor devresinden geçecektir. Bu yüzden uyarım empedansı ihmal edilir. Bu neticeye göre motor eşdeğer devre empedansı Şekil 3.10'da ki gibi olur. Bu durumda I_s akımı I_r' akımına eşit olur. Bu durumda kaynaktan çekilen aktif güç ise motorun stator ve rotor bakır kayıplarının toplamına eşittir(Çolak,2001).



Şekil 3.10 Asenkron motorun kilitli rotor deneyi bir faz eşdeğer devresi

$$P_{lr} = P_{scl} + P_{rc1} \quad (3.21)$$

P_{lr} = Toplam kilitli rotor bakır kayıpları

P_{scl} = Toplam stator bakır kayıpları

P_{rc1} = Toplam rotor bakır kayıpları

$$P_{lr} = I_s R_{lr} = I_s^2 (R_s + R_r') \quad (3.22)$$

Bir faz kilitli rotor eşdeğer direnci, stator ve rotor faz dirençlerinin toplamına eşittir.

$$R_{lr} = \frac{P_{lr}}{3I_s^2} \quad (3.23)$$

$$R_r' = R_{lr} - R_s \quad (3.24)$$

R_{lr} = Kilitli rotor direnci

R_r = Stator faz direnci

R_s = Rotor faz direnci

Kilitli rotor empedansı ise kilitli rotor faz geriliminin faz akımına bölümü ile bulunur.

$$Z_{lr} = \frac{V_{lr}}{I_{lr}} = \frac{V_s}{I_s} \quad (3.25)$$

$$Z_{lr} = R_{lr} + jX_{lr} \quad (3.26)$$

Z_{lr} = Kilitli rotor empedansı

V_{lr} = Kilitli rotor faz gerilimi

I_{lr} = Kilitli rotor faz akımı

X_{lr} = Kilitli rotor faz empedansı

3.7 Nominal Çalışma Moment Denkleminin Elde Edilmesi

Şekil 3.7’de verilen asenkron motor eşdeğer devresinden ve $X_m = \infty$, $R_m = 0$ iken $I_s = I_r'$ olacağından, asenkron motorun çektiği faz akımının ve rotor giriş gücünün, sırasıyla;

$$I_s = \frac{V_s}{\sqrt{R_s + R_r'/s^2 + X_s + X_{lr}'^2}} \quad (3.27)$$

$$P_r = \frac{R_r'}{s} I_1^2 = \frac{R_r'}{s} \left(\frac{V_s}{\sqrt{R_s + R_r'/s^2 + X_s + X_{lr}'^2}} \right)^2 \quad (3.28)$$

olduğu görülmektedir. Asenkron motorun nominal çalışma momenti ise,

$$M_n = \frac{P_r}{\omega_s} = \frac{V_s \frac{R_r'}{s}}{\omega_s \left[R_s + R_r' / s^2 + X_s + X_{lr}'^2 \right]} \quad (3.29)$$

olarak elde edilmektedir(Çolak,2001).

3.8 Asenkron Motorun Kalkınma Moment Denkleminin Elde Edilmesi

Asenkron motorun ilk kalkınmasında, rotorun devri sıfır $n_r = 0$ olduğu için, kayma da $s = \%100$ 'dür. Şekil 3.7'de verilen asenkron motor eşdeğer devresinde motor milindeki mekanik yükü temsil eden R_r' / s direnci sıfırdır. Bu nedenle asenkron motorun ilk kalkınmada şebekeden çektiği faz akımının ve rotor giriş gücünün, sırasıyla;

$$I_s = \frac{V_s}{\sqrt{R_s + R_r'^2 + X_s + X_{lr}'^2}} \quad (3.30)$$

$$P_r = R_r' I_1^2 = R_r' \left(\frac{V_s}{\sqrt{R_s + R_r'^2 + X_s + X_{lr}'^2}} \right)^2 \quad (3.31)$$

olduğu görülmektedir. Asenkron motorun kalkınma momenti ise,

$$M_k = \frac{P_r}{\omega_s} = \frac{V_s^2 R_r'}{\omega_s \left[R_s + R_r'^2 + X_s + X_{lr}'^2 \right]} \quad (3.32)$$

olarak elde edilmektedir(Çolak,2001).

3.9 Asenkron Motorun Devrilme Moment Denkleminin Elde Edilmesi

Asenkron motorun devrilme momentinin elde edilebilmesi için rotor giriş gücünün maksimum olması gerekmektedir. Şekil 3.7'de verilen asenkron motor eşdeğer

devresinden, rotor giriş gücünün maksimum olması için R_r'/s direncinin $\sqrt{R_s^2 + X_s + X_{lr}'^2}$ empedansına eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle asenkron motorun devrilme anında şebekeden çektiği faz akımının ve rotor giriş gücünün, sırasıyla;

$$I_s = \frac{V_s}{\sqrt{R_s + R_r'/s^2 + X_s + X_{lr}'^2}} \quad (3.33)$$

$$P_r = \frac{R_r'}{s} I_1^2 = \frac{R_r'}{s} \left(\frac{V_s}{\sqrt{R_s + R_r'/s^2 + X_s + X_{lr}'^2}} \right)^2 \quad (3.34)$$

olduğu görülmektedir. Asenkron motorun devrilme momenti ise,

$$M_d = \frac{P_r}{\omega_s} = \frac{V_s^2}{2\omega_s \left[R_s + \sqrt{R_s^2 + X_s + X_{lr}'^2} \right]} \quad (3.35)$$

olarak elde edilmektedir(Çolak,2001).

4 DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI VE GENETİK ALGORİTMALAR

4.1 Genetik Algoritmalar

Günümüzdeki zor ve karmaşık koşullar, problemlere hızlı ve kolay sonuç veren yeni çözüm yöntemleri geliştirilmesine neden olmuştur. Yapılan çalışmalarda klasik metotların yerine evrimsel algoritma kullanımı ön plana çıkmıştır. Evrimsel yaklaşımlardan olan genetik algoritmalar, yapılan çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır(Emel ve Taşkın,2002).

Genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritmaların temel ilkeleri, ilk kez Michigan Üniversitesi'nde John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Holland, evrim yasalarını genetik algoritmalar içinde optimizasyon problemleri için kullanmıştır(Holland,1975) .

Genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Çözüm kümesindeki çözümler birbirinden tamamen bağımsızdır. Her biri çok boyutlu uzay üzerinde bir vektördür(Emel ve Taşkın,2002).

Genetik algoritmalar problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Diğer eniyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme genetik algoritma terminolojisinde nüfus adını alır. Nüfuslar vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Nüfustaki bireyler evrimsel süreç içinde genetik algoritma işlemcileri tarafından belirlenirler (Mutluer,2007).

Problemin bireyler içindeki gösterimi problemden probleme değişiklik gösterir. Genetik algoritmaların problemin çözümündeki başarısına karar vermedeki en önemli faktör, problemin çözümünü temsil eden bireylerin gösterimidir. Nüfus içindeki her bireyin problem için çözüm olup olmayacağına karar veren bir uygunluk fonksiyonu vardır. Uygunluk fonksiyonundan dönen değere göre yüksek değere sahip olan bireylere, nüfustaki diğer bireyler ile çoğalmaları için fırsat verilir. Bu bireyler çaprazlama işlemi sonunda çocuk adı verilen yeni bireyler üretirler. Çocuk kendisini meydana getiren ebeveynlerin (anne, baba) özelliklerini taşır. Yeni bireyler üretilirken düşük uygunluk değerine sahip bireyler daha az seçileceğinden bu bireyler bir süre sonra nüfus dışında bırakılırlar. Yeni nüfus, bir önceki nüfusta yer alan uygunluğu yüksek bireylerin bir araya gelip çoğalmalarıyla oluşur. Aynı zamanda bu nüfus önceki nüfusun uygunluğu yüksek bireylerinin sahip olduğu özelliklerin büyük bir kısmını içerir. Böylelikle, pek çok nesil aracılığıyla iyi özellikler nüfus içersinde yayılırlar ve genetik işlemler aracılığıyla da diğer iyi özelliklerle birleşirler. Uygunluk değeri yüksek olan ne kadar çok birey bir araya gelip, yeni bireyler oluşturursa arama uzayı içersinde o kadar iyi bir çalışma alanı elde edilir. Probleme ait en iyi çözümün bulunabilmesi için;

- Bireylerin gösterimi doğru bir şekilde yapılmalıdır.
- Uygunluk fonksiyonu etkin bir şekilde oluşturulmalıdır.
- Doğru genetik işlemciler seçilmelidir.

Bu sayede, çözüm kümesi bir noktada birleşecektir. Genetik algoritmalar, oldukça büyük arama uzayına sahip problemlerin çözümünde başarı göstermektedir. Genetik algoritmalar, bir problemin bütünsel en iyi çözümünü bulmak için garanti vermezler. Ancak, problemlere makul bir süre içinde, kabul edilebilir, iyi çözümler bulurlar. Genetik algoritmaların asıl amacı, hiçbir çözüm tekniği bulunmayan problemlere çözüm aramaktır. Kendilerine has çözüm teknikleri olan özel problemlerin çözümü için, mutlak sonucun hızı ve kesinliği açısından genetik algoritmalar kullanılmazlar. Genetik algoritmalar ancak;

- Arama uzayının büyük ve karmaşık olduğu,
- Mevcut bilgiyle sınırlı arama uzayında çözümün zor olduğu,
- Problemin belirli bir matematiksel modelle ifade edilemediği,
- Geleneksel eniyileme yöntemlerinden istenen sonucun alınmadığı, alanlarda etkili ve kullanışlıdır.

Genetik algoritmaların avantajları;

- Sürekli ve ayrık parametreleri optimize ederler
- Türevsel bilgiler gerektirmemesi
- Amaç fonksiyonu geniş bir spektrumda araştırması
- Çok sayıda parameterelerle çalışma imkanı olması
- Karmaşık amaç fonksiyonu parametrelerini, lokal minimum veya maksimumlara takılmadan optimize edebilmesi

Genetik algoritmaların diğer yöntemlerden farkları;

- Genetik algoritmalar problemlerin çözümünü parametrelerin değerleriyle değil, kodlarıyla arar. Parametreler kodlanabildiği sürece çözüm üretilebilir. Bu sebeple genetik algoritmalar ne yaptığı konusunda bilgi içermez, nasıl yaptığını bilir.
- Genetik algoritmalar aramaya tek bir noktadan değil, noktalar kümesinden başlar. Bu nedenle çoğunlukla yerel en iyi çözümde sıkışıp kalmazlar.
- Genetik algoritmalar, türev yerine uygunluk fonksiyonunun değerini kullanır. Bu değer kullanılması ayrıca yardımcı bir bilginin kullanılmasını gerektirmez.
- Genetik algoritmalar gerekli kuralları değil, olasılıklı kuralları kullanır.

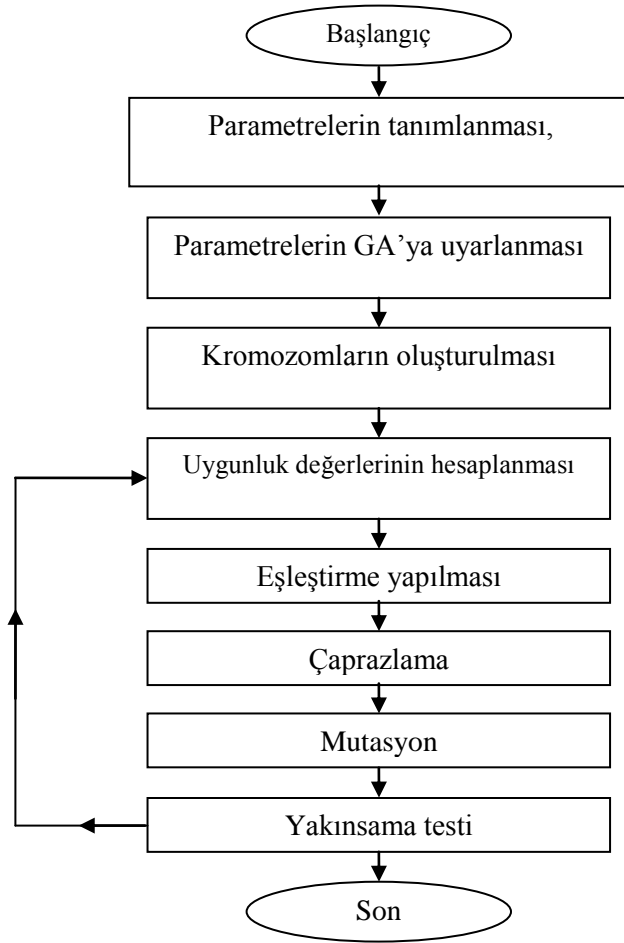
Genetik algoritmalar, parametre ve sistem tanıma, kontrol sistemleri, robot uygulamaları, görüntü ve ses tanıma, mühendislik tasarımları, planlama, yapay zeka uygulamaları, uzman sistemler, fonksiyon ve kombinasyonel optimizasyon problemleri, ağ tasarım problemleri, yol bulma problemleri, sosyal ve ekonomik planlama

problemleri için diğer optimizasyon yöntemlerinin yanında başarılı sonuçlar vermektedir(Mutluer,2007).

4.1.1 Genetik Algoritma Akış Şeması

Genetik algoritmanın çalışma prensibini açıklayan akış şeması Şekil 4.1'de verilmiştir. Birçok alanda uygulama imkanı olan genetik algoritmaların işlem sırası şöyle açıklanabilir.

- Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur.
- Popülasyonda bulunacak birey sayısı için bir standart yoktur, problemin türüne göre bu sayı değişebilir. Genellikle popülasyon rastgele oluşturulur.
- Popülasyondaki bireylerin verilen probleme göre uygunluk değerleri hesaplanır. Genetik algoritmanın başarısı çoğu zaman bu fonksiyonun verimli olmasına bağlıdır.
- Eşleşme havuzu oluşturulurken uygunluk değerleri baz alınır ve çeşitli seçim yöntemleri kullanılır.
- Seçilen kromozomlar eşlenerek yeniden kopyalama ve değiştirme uygulanır. Eşleşme havuzunda bulunan bireylerin çaprazlanması ve yeni bireylerin mutasyona uğraması bu aşamada yapılır.
- Yeni nesil bireylerin, ebeveyn bireylerle yer değiştirmesi sağlanarak popülasyonun sabit büyüklükte kalması sağlanır. Daha sonra, tüm kromozomların uygunluk değerleri tekrar hesaplanır.
- Belli bir nesil sayısına kadar algoritma döngüsü devam eder. Popülasyonun uygunluk değerleri tekrar hesaplanır, 2. adımdan itibaren işlemler tekrar edilir. Son olarak üretilen nesiller içinden en uygun değere sahip olan birey çözüm olarak kabul edilir.



Şekil 4.1 Genetik algoritmanın akış diyagramı

4.1.2 Genetik Algoritmanın Performansını Etkileyen Faktörler

➤ **Kromozom sayısı:** Kromozom sayısının artırılması çalışma zamanını arttırmakta iken; kromozom sayısının azaltılması ise kromozom çeşitliliğini azaltmaktadır.

➤ **Mutasyon oranı:** Popülasyondaki bireyler birbirine benzemeye başladığında algoritmanın yakınsaması halen çözüm noktalarının uzağında bulunuyorsa, mutasyon işlemi GA'nın sıkıştığı yerden kurtulmak için tek yoldur. Ancak, mutasyon oranının yüksek bir değer seçilmesi GA'yı kararlı bir noktaya ulaşmaktan alıkoyacaktır.

➤ **Noktalı çaprazlama sayısı:** Normal olarak çaprazlama tek noktada

gerçekleştirilmekle beraber, yapılan araştırmalar bazı problemlerde çok noktalı çaprazlamanın çok yararlı olduğunu göstermiştir.

➤ **Çaprazlamanın sonucu elde edilen bireylerin nasıl değerlendirileceği:** Elde edilen iki bireyin, hemen kullanılıp kullanılmayacağı yakınsama hızı açısından önemlidir.

➤ **Nesillerin birbirinden ayrıık olup olmadığı:** Normal olarak her nesil tümüyle bir önceki nesle bağlı olarak oluşturulur. Bazı durumlarda, yeni nesli eski nesille birlikte, yeni neslin o ana kadar elde edilen bireyleri ile oluşturmak yararlı olabilir.

➤ **Parametre kodlanmasının nasıl yapıldığı:** Bir parametrenin doğrusal ya da logaritmik kodlanması genetik algoritmanın performansında önemli bir farka yol açmaktadır.

➤ **Kodlama gösteriminin nasıl yapıldığı:** Bu da nasıl olduğu yeterince açık olmamakla beraber genetik algoritmanın performansını etkileyen bir noktadır. İkilik düzen, kayan nokta aritmetiği ve gray kodu ile gösterim en yaygın yöntemlerdir.

Başarı değerlendirmesinin nasıl yapıldığı: Akıllıca yazılmamış bir değerlendirme işlevi, çalışma zamanını uzatabileceği gibi, algoritmanın çözümüne hiçbir zaman ulaşamamasına neden olabilir(Mutluer,2007).

4.1.3 Genetik Algoritmanın Uygulama Alanları

Genetik algoritma kullanımının en uygun olduğu problemler geleneksel yöntemler ile çözümü mümkün olmayan veya çözüm süresi problemin büyüklüğü ile üstel orantılı olarak artanlardır. Bugüne kadar GA ile çözümüne çalışılan konulardan bazıları şunlardır(Emel ve Taşkın,2002).

a. Optimizasyon: Sayısal optimizasyon ve kombinetoral optimizasyon problemleri olan devre tasarımı, doğrusal olmayan denklem sistemlerinin çözümünde ve fabrika-üretim planlamasında

b. Otomatik programlama : Bilgisayar programları yardımıyla network sıralamasında (sorting), ders programı hazırlanmasında

c. Makine öğrenmesi : Robot sensörlerinde, neural networklerde, VLSI yonga

tasarımı ve protein yapısal analizinde

- d. Ekonomi :** Ekonomik modellerin geliştirilmesinde ve işleminde
- e. İmmün sistemler :** Doğal immün sistem modellerinde
- f. Sosyal sistemler :** Sosyal sistemlerin analizinde
- g. Finans :** Finansal modelleme uygulamalarında
- h. Pazarlama :** Tüketicilere ait verileri analiz etmede

4.2 Diferansiyel Evrim Algoritması

Evrım prensibine dayalı teknikler bilinen optimizasyon metotlarının noksanlıklarının üstesinden gelmek için kullanılmaktadır.(Storn ve Price,1997) Son zamanlarda bu prensibe dayalı tekniklerin hepsini temsilen ortak bir terim olarak evrimsel hesaplama terimi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sınıfa giren algoritmalara örnek olarak genetik algoritmalar, evrimsel programlama (evolutionary programming) evrimsel stratejiler (evolution strategies) ve DEA vs sayılabilir. (Storn ve Price,1997) Bir problemi çözmeye kullanılacak herhangi bir evrimsel algoritma aşağıdaki beş elemana ihtiyaç duymaktadır.

- Problem için çözümlerin genetik temsili.
- Çözümlerin başlangıç popülasyonunu oluşturacak bir yöntem.
- Çözümleri uygunluk açısından değerlendirmeye tabii tutacak değerlendirme fonksiyonu yani çevre.
- Genetik kompozisyonu değiştirecek operatörler.
- Kontrol parametrelerinin değerleri

Evrimsel algoritma tek bir bireyle değil bireylerin popülasyonu ile ilgilenir. Her birey mevcut problem için muhtemel bir çözümü temsil eder ve bir veri yapısı olarak tanımlanır. Her birey uygunluk ölçüt değerini belirlemek amacıyla değerlendirilir ve daha uygun bireyleri seçmek suretiyle yeni popülasyon oluşturulur(Koyuncu. 2006).

Evrimsel hesaplama teknikleri arasında oldukça benzerlikler olmasına rağmen birçok farklılıklar da mevcuttur. Örneğin çözümlerin temsili için farklı veri yapıları kullanılırlar ve dolayısıyla kullanılan genetik operatörler de farklı olabilir. Örneğin DEA’da bireylerin seçimi için kullanılacak çok sayıda seçme metodu bulunmaktadır(Karaboğa,2004).

DEA basit ama güçlü popülasyon tabanlı bir algoritmadır(Price,1996). Özellikle tamamen düzenlenmiş uzayda tanımlı ve gerçek değerli tasarım parametrelerini içeren fonksiyonları küresel olarak optimize etmek amacıyla kullanılan bir direkt araştırma algoritmasıdır. Gerçek parametrelili optimizasyon bilimde mühendislikte ve iş ortamlarında karşılaşılan pratik problemlerin önemli ve geniş bir sınıfını oluşturmaktadır. Zor optimizasyon problemleriyle karşılaşıldığında genellikle ilk yapılması gereken probleme özel sezgisel bir yaklaşım tekniği belirlemek olacaktır. Uzman bilgisinin tasarıma ilave edilmesine olanak sağlayan böyle teknikler gelişime dayalı algoritmalar gibi genel metotlarla karşılaştırıldığında oldukça üstün başarımlar göstermektedir. Örneğin amaç fonksiyonu lineer polinom formunda ise bu tür problemi çözmek amacıyla geliştirilmiş Simpleks metodu Karmakar algoritması gibi başarılı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler bu tip problemlerde yüzlerce hatta binlerce tasarım değişkeninin bulunması durumunda bile küresel optimal çözümleri bulabilme kabiliyetine sahiptir. Amaç fonksiyonu lineer bir polinom şeklinde değilse ve probleme özel metodlar yoksa o zaman genellikle Levenberg-Marguardt algoritması Branch and Bound metodu gibi yöntemlere başvurulmaktadır(Karaboğa,2004).

Malesef doğrusal olmama, gürültü, yüksek boyutluluk, çok modluluk sınırlamalar değişmeme (düz olma) ve türev alınamama gibi özellikler tek başlarına veya birlikte bu tür deterministik metotların başarımlarını çok olumsuz etkilemektedirler. Stokastik algoritmalar gibi gelişime dayalı algoritmalar bu tür sınırlamaların çoğunun üstesinden gelebilmektedirler. Ancak bu tür genel metotlar probleme özel bilgiyi kullanarak tasarımlarına aktarmazlarsa bunların da başarımları nispeten düşmektedir. Optimizasyon işleminin tamamen düzenlenmiş uzay domeninde sınırlandırılma bilgisi

kendi başına gelişime dayalı algoritmaların başarımını artırmak için kullanılacak probleme özel önemli bir bilgidir. Tipik bir gelişime dayalı algoritmanın temel basamakları aşağıdaki gibidir(Karaboğa,2004).

Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Değerlendirme

TEKRARLA

Mutasyon

Yeniden Birleştirme

Değerlendirme

Seçme

DURDURMA KRİTERİ SAĞLANINCAYA KADAR

Gelişime dayalı algoritmaların genel amaçlı nümerik optimizasyon algoritmaları olarak incelenmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalara literatürde oldukça sık rastlanmaktadır. Ancak bu tartışmaların çoğu orijinalinde bu amaç için tasarlanmamış tümleşik (combinatorial) tip algoritmalarla elde edilen sonuçlar üzerinedir. DE algoritması ise bir ayrık optimizasyon algoritması değil özellikle nümerik optimizasyon için geliştirilmiş bir algoritmasıdır. Bu algoritma yeni ama sadece basit olmayan aynı zamanda oldukça da etkili olan bir mutasyon işlemi uygulamaktadır. Daha önce tanımlanmış olasılık dağılım fonksiyonuna dayalı olarak çalışan genetik algoritma gibi gelişim tabanlı algoritmaların tersine DEA rastgele olarak seçilmiş amaç vektör çiftlerinin farklarına dayalı bir mutasyon işlemi kullanır. Vektörlerin dağılım formu temelde amaç fonksiyonunun topoğrafisine göstermiş oldukları cevaplara bağlıdır(Karaboğa,2004).

DEA'da kullanılan basit mutasyon işlemi algoritmanın başarımını geliştirmekte ve onu daha güçlü yapmaktadır. Bu özelliğinin yanı sıra diğer özellikleri için de şunlar söylenebilir. Hızlı basit kolayca kullanılabilir ve değiştirilebilir etkili küresel optimizasyon kabiliyetli doğal olarak paralel kayan nokta formatına bağlı hassasiyet sınırlamalı matris çarpımları ve sıralama işlemleri olmadığı için hesaplama maliyeti

açısından avantajlı daha önceden tanımlanmış herhangi bir olasılık dağılımlı mutasyon kullanmamaktadır. Tamsayı ayrık ve karışık parametre optimizasyonuna kolaylıkla uyarlanabilir. Amaç fonksiyonunun veya sınırlama fonksiyonlarının türevine gerek duymaz düz yüzeylerde çalışabilir gürlütülü ve zamana bağlı amaç fonksiyonları için kullanılabilir tek bir koşmada alternatif çözümler üretebilir ve özellikle doğrusal olmayan sınırlamalı optimizasyon problemlerinde etkilidir(Karaboğa,2004).

4.2.1 Algoritmanın Temel Adımları

DEA'nın temel adımları açık bir şekilde aşağıda verilmektedir. Çoğu açıdan bu algoritma tipik bir gelişim algoritmasıdır. Adım 2'de görüleceği üzere algoritma başlangıçta, NP (Number of Population – Popülasyon Büyüklüğü) tane D(Dimensiyon-Boyut) boyutlu amaç değişken vektörlerinin x_{jG} rastgele dağıtılmış başlangıç popülasyonunu (P_0) üretir. $rand_j [0,1]$ terimi 1 ile 0 arasında uniform şekilde dağılmış rastgele değişkeni temsil etmektedir. j indisi j'nin her bir değeri için yeni rastgele sayı üretildiğini göstermektedir. i indisi ise rastgele değer her bir değeri için yeni bir rastgele sayı üretildiğini göstermektedir. h_i ve l_0 indisleri üst ve alt başlangıç parametre sınırlarını temsil etmektedir. Oluşturulan bu popülasyon G_{max} jenerasyonu (Maximum Generation-Maksimum Jenerasyon, İterasyon) boyunca mutasyon, çaprazlama ve seleksiyon operatörleri uygulanarak başarılı bir şekilde geliştirilir(Karaboga,2004). DE algoritmasının en önemli özelliği deneme vektörünün üretilme şeklidir .

Adım 1. Kontrol parametrelerinin

$D, G_{max}, NP \geq 4, F \in (0,1+), CR \in [0,1]$, değerlerini ve parametre sınırlarını

$x^{-(lo)}, x^{-(hi)}$ ata.

Adım 2. Başlangıç popülasyonunu oluştur

$$\forall i \leq NP \wedge \forall J D: x_{j,i,G=0} = x_j^{(lo)} + rand_j [0,1].(x_j^{(hi)} - x_j^{(lo)})$$

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

Belirli bir durdurma kriteri sağlanıncaya kadar aşağıdaki adımları tekrarla

Adım 3. Mutasyon ve rekombinasyon

$r_1, r_2, r_3 \in 1, 2, \dots, NP$, $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$ (rasgele seçilmiş)

$J_{rand} \in 1, 2, \dots, D$, (rasgele seçilmiş)

$$\forall j \leq D, u_{j,i,G+1} = \begin{cases} x_{j,i,G} + K.(x_{j,i,G} - x_{j,i,G}) + F.(x_{j,i,G} - x_{j,i,G}) \\ \text{eğer } (\text{rand}_j [0,1] < CR \vee j = j_{rand}) \\ x_{j,i,G} \quad \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

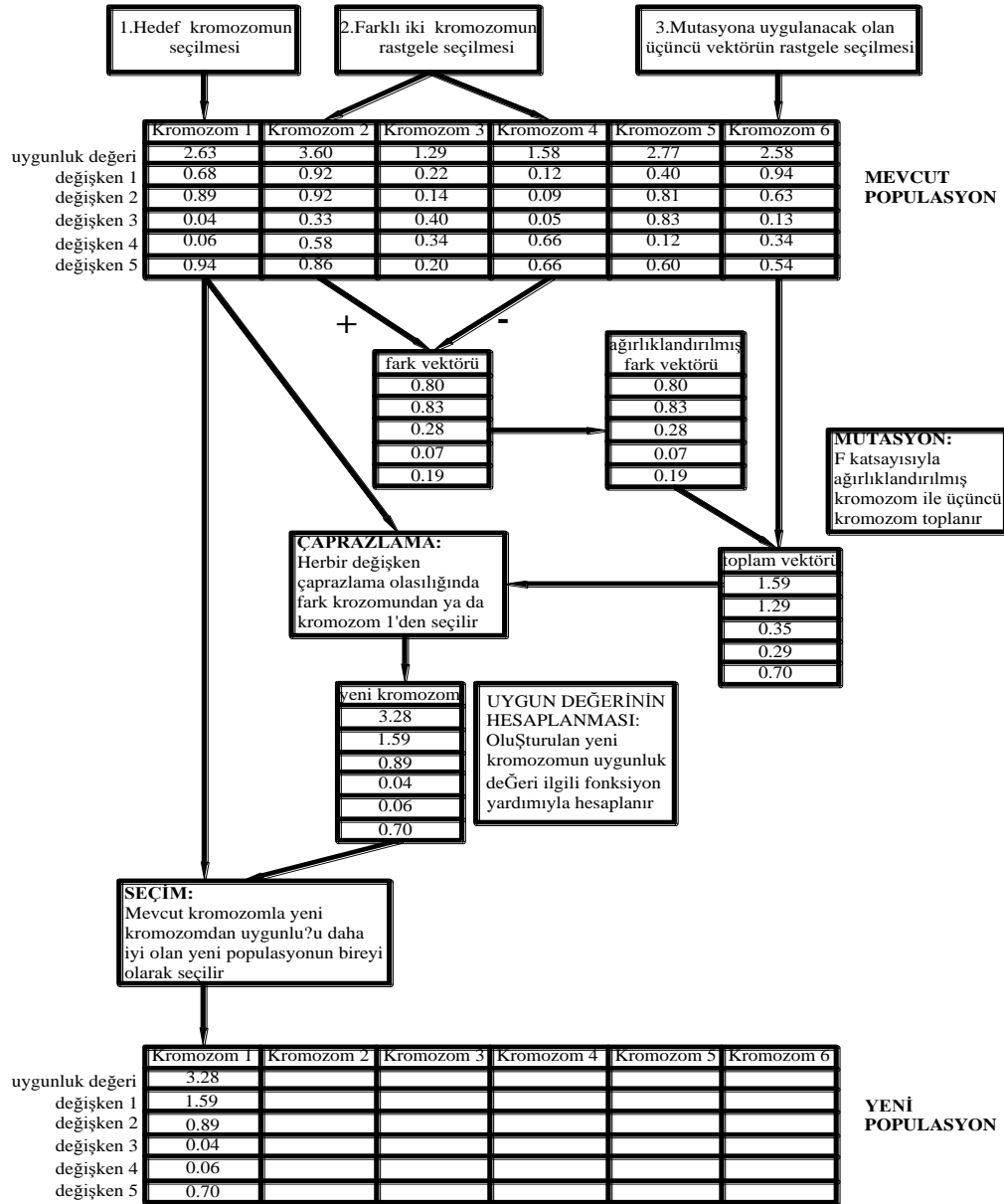
Adım 4. Seleksiyon

$$\bar{x}_{i,G+1} = \begin{cases} \bar{u}_{i,G+1} & \text{eğer } f(\bar{x}_{i,G+1}) \leq f(\bar{x}_{i,G}) \\ \bar{x}_{i,G} & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

Diferansiyel evrim algoritması, bir ebeveyn vektöründen x_{jiG} , bir deneme vektörü u_{jiG+1} üretmek için mutasyon ve rekombinasyon işlemlerinin her ikisini birlikte kullanmaktadır. r_1, r_2, r_3 indisleri, i indisinden farklı olan ve aynı zamanda birbirlerinden farklı rastgele seçilmiş popülasyon indisleridir. Burada i mevcut amaç vektörünü (ebeveyn) temsil etmektedir. Dolayısıyla Adım 1’de belirtildiği gibi popülasyon büyüklüğü NP her zaman 3’ten büyük olmalıdır. Hem CR (Crossover Rate-Çaprazlama Oranı) hem de F değerleri kullanıcı tarafından belirlenecek olan kontrol parametreleridir. CR olasılığı temsil ettiği için 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. F (Fitness Scaling-Uygunluk Ölçekleme) ise bir ölçekleme faktörüdür. Rand_j CR ’den küçükse veya $j=j_{rand}$ olduğunda yeni (child,çocuk) parametre, rastgele seçilmiş üç tane vektörün doğrusal kombinasyonu olacaktır. Değilse, yeni parametre doğrudan kendi ebeveyninden alınacaktır. $\forall j = j_{rand}$ şartı, yeni vektörlerin en az bir parametrede de olsa ebeveyn vektörlerin farklı olmasını garanti etmek amacıyla kullanılmaktadır(Karaboğa,2004).

Adım 4’te görüldüğü gibi her yeni vektör, amaç fonksiyonu vasıtasıyla değerlendirildikten sonra maliyeti ebeveyninin maliyeti ile karşılaştırılır. Şayet yeni vektör eşit veya daha düşük bir maliyete sahip olursa yeni vektör popülasyondaki ebeveyn vektörü ile yer değiştirir. Yoksa ebeveyn vektörü ile yer değiştirmeyip

popülasyonda muhafaza edilir. Bir sonraki jenerasyonun üyeleri bu seleksiyon işlemiyle seçildikten sonra gelişim çevrimi ya problem çözülene kadar ya da tüm vektörler bir noktaya yakınsayana kadar tekrar etmektedir. algoritmanın şematik diyagramı Şekil 4.2’de verilmektedir. Diyagram algoritmanın işleyişini daha rahat anlamak için alternatif bir yöntemdir.



Şekil 4.2 Algoritmanın şematik diyagram formunda gösterimi (Keskintürk,2006)

4.2.1.1 Kodlama

Nümerik optimizasyon amaçlayan çoğu gelişim algoritmaları nümerik parametreleri kodlamak amacıyla ikili tamsayıları kullanmaktadır. Ancak nümerik optimizasyon işlemlerinde tamsayı formatla parametre değerlerinin geniş dinamik sahasını verimli olarak temsil etmek pek mümkün olmamaktadır. Bunun için Gray kodlama gibi değişik kodlama gibi değişik kodlama türleri kullanılsa bile, hala bu tür yaklaşımlar geniş dinamik sahayı tanımlama kabiliyetinden yoksun kalmaktadır. Bu yüzden amaç vektörlerini kayan-noktalı sayılar kullanarak kodlama tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Bundan dolayı DE algoritması, gerçek parametreleri bilinen kayan-noktalı sayılar kullanarak kodlamakta ve bu parametreler arasındaki işlemleri, standart kayan-noktalı aritmetik mantığına göre gerçekleştirmektedir(Karaboğa,2004).

4.2.1.2 Popülasyon Yapısı Ve Parametre Sınırları

DE algoritması, sabit büyüklükte popülasyon kullanmaktadır. popülasyon, NPxD kayan-noktalı dizi formunda tanımlanır. Burada NP, popülasyondaki amaç vektörlerinin sayısına ve D de bir amaç vektöründeki parametrelerin sayısına karşılık gelmektedir. Gelişim algoritmasını paralel formda gerçekleştirirken, amaç vektörlerinin iki dizisi hafızada tutulur. Birinci dizi mevcut ebeveyn popülasyonu için diğeri ise yeni vektörleri ihtiva eden gelecek jenerasyonu oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Başlangıç amaç vektörleri iyi tanımlanmış sınırlamalara sahip bir araştırma uzayından uniform dağılımla rastgele elemanlar seçilerek oluşturulur. Pratikte, başlangıç parametre sınırları genellikle fiziksel şartlara göre belirlenir. Fiziksel şartlar belirleyici değilse o zaman başlangıç alt ve üst parametre sınırları, küresel optimayı ihtiva eden bölgeleri kapsayacak kadar büyük seçilmelidir. Alt ve üst parametre sınırları başlangıç parametreleri için kullanıldıktan sonra algoritmanın başlangıçta verilen sınırlar ötesinde araştırma yapmasına imkan vermek amacıyla ihmal edilebilir. Bununla birlikte sınırlamalar, özellikle düzgün ya da düzğüne yakın ani değişim göstermeyen yüzeyler ile çalışıldığında sonsuza gidişin engellenmesi için gereklidir. Başlangıçta eğer iyi bir

çözüm tespit edilebilmişse veya mevcutsa, algoritma bu nominal çözüm etrafında dağılmış amaç vektörlerinden oluşan popülasyonla araştırmaya başlayabilir. Ancak bu şekildeki bir uygulama araştırmayı bölgeselleştireceğinden pek tavsiye edilmez. Hatırlanması gereken önemli bir nokta, başlangıç parametre değerlerinin bir şekilde rastgele dağıtılmasıdır. Çünkü asıl araştırmayı yönlendiren, amaç vektörleri arasındaki farklardır. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken uygun olmayan bir amaç vektörü kabul edilmeyip reddedilebilir ve tekrar üretilebilir.

Yeni bir parametre değeri, katı bir sınırlamayı aşarsa o zaman parametreye müsaade edilen herhangi bir değeri atamak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunların en basiti, parametreye değer olarak aşmış olduğu sınır değerini atamaktır(Karaboğa,2004).

4.2.1.3 Mutasyon

Parametre optimizasyonu açısından mutasyon işlemi, var olan bir amaç vektörünün bir veya daha fazla parametreleri üzerine, rasgele üretilmiş bir artışın ilave edilmesi işlemine karşılık gelir. İyi bir mutasyon işleminin amacı, var olan amaç vektörlerini doğru zamanla doğru miktar ile doğru yönde hareket ettirecek artışları başka bir ifadeyle adımları üretmektedir. Bu hedefi başarmak esas olarak adımları üretecek dağılımın karakteristiklerine bağlıdır.

DE algoritması, bir amaç vektörüne mutasyon işlemini, rasgele seçilmiş amaç vektörler çiftinin ağırlıklaştırılmış farkının bu amaç vektörüne ilave edilmesiyle gerçekleştirilir. Algoritmanın basit mutasyon işlemi sık sık aritmetik çaprazlama işlemiyle karıştırılır. Aritmetik çaprazlama, iki vektörün genel doğrusal kombinasyonu iken mutasyon üç vektörün doğrusal kombinasyonunun özel bir halidir. Her iki durumda da mevcut amaç vektörlerinin doğrusal kombinasyonu olan yeni vektörler üretilmektedir. Kısacası DE algoritması, gerçek parametre optimizasyonuna rasgele amaç vektörlerinin doğrusal kombinasyonlarını örnekleyen, mutasyon ve rekombinasyonlarını örnekleyen, mutasyon ve rekombinasyon gibi iki basit operasyon kullanan normal gelişime dayalı bir yaklaşımdır. Aritmetik çaprazlama ile mutasyon

birbirlerine rağmen amaç vektörleri uzayını oldukça farklı şekilde araştırırlar. Örneğin aritmetik çaprazlama, mevcut vektörü popülasyondaki diğer bir vektöre daha çok benzetmeye çalışırken işlem vektörleri herhangi bir referans vektör (mevcut vektör) ihtiva etmemektedir. Referans vektörü yerine, araştırma eksenlerinin sayısını artıran ikinci rasgele seçilmiş bir amaç vektörü kullanmaktadır(Karaboğa,2004).

4.2.1.4 Seleksiyon

Seleksiyon işlemi, yeni üretilen vektörlerin hangi şartlar altında popülasyona girebileceğini tanımlayan bir kriterdir. Örneğin, turnuva seleksiyon işlemi rasgele seçilmiş vektör çiftleri arasında bir dizi yarışma gerçekleştirmek suretiyle yeni jenerasyonun üyesini belirlemektedir. Tipik olarak yarışan vektörler ebeveyn-aday popülasyonundan seçilir ve en fazla kazanan vektörlerin gelişmesine müsaade edilir. Gelişim stratejisi, alternatif olarak birleştirilmiş ebeveyn-çocuk popülasyonunun en iyi başarımları gösteren üyelerinin gelişimine müsaade edildiği deterministik bir seleksiyon işlemi kullanmaktadır. Her iki seleksiyon işleminin dezavantajı, her jenerasyon sonunda popülasyonun kalite değerlerine göre sıraya dizilme maliyetidir. DE algoritmasının seleksiyon işleminde, yeni üretilen vektör ebeveynine göre daha gelişmiş veya en azından aynı gelişme seviyesinde değilse ebeveyn vektör en az bir jenerasyon daha popülasyonda kalmaya devam etmekte ve başka bir vektörle yer değiştirmektedir (Karaboğa,2004).

4.2.1.5 Rekombinasyon

Mutasyon işlemi, temel olarak bir popülasyonu güçlü yapmaktan ve yeni araştırma bölgelerinin araştırılmasından sorumludur. Rekombinasyon veya çaprazlama işlemi ise tamamlayıcı bir işlemdir ve amacı, var olan amaç vektör parametrelerinden faydalanarak yeni vektörleri oluşturmak suretiyle araştırmanın başarılı olması için yardımcı olmaktır. Rekombinasyonun etkisi üzerine oldukça ciddi çalışmalar ve tartışmalar mevcuttur. Ama kesin olan bir sonuç, uniform rekombinasyon işleminin

araştırmanın hesaplama maliyetini önemli miktarda artırdığıdır. Ancak önemli miktarda da araştırmaya hızlilik sağlamaktadır.

DE algoritmasının ilk versiyonları özel uniform olmayan ayırık rekombinasyon işlemi kullanmıştır. Bu işlemde, ebeveynle değiştirilme ihtimali olan yeni çözüm oluştururken çözümüm bazı elemanları ebeveynden bazıları ise mutasyona tabii tutulmuş vektörden alınmaktadır. Yeni aday çözümün oluşumunda, hangi vektörden daha çok elemanın alınacağını belirleyen frekansı kontrol etmek amacıyla hem üstel hem de binomial işlemler kullanılmıştır. Bu iki işlem, kullanıcı tanımlı, optimizasyon işlemi boyunca sabit tutulan ve çaprazlama oranı (CR) olarak adlandırılan kontrol parametresi aracılığıyla ayarlanır. Binomial uygulamada, 0 ve 1 arasında rasgele üretilen bir sayının CR'den küçük olması durumlarında elemanlar mutasyona uğramış çözümden, değilse ebeveynden alınmaktadır. Bunun tersine üstel uygulamada ise 0 ile 1 arasında rasgele üretilen bir sayının CR'den küçük olması anına kadar elemanlar ebeveynden, büyük olduğu andan itibaren de mutasyona uğramış çözümden alınmaktadır. Her iki durumda da yeni üretilen vektörün en az bir parametresinin ebeveynden farklı olması sağlanmaktadır(Karaboga,2004).

5 TEST FONKSİYONLARI

Genetik ve diferansiyel evrim algoritmalarının performansını değerlendirmek için, Tablo 5.1’de verilen değişik türdeki 4 adet test fonksiyonu(Price ve ark.,2005) üzerinde algoritmalar test edilmiştir.

Tablo 5.1 Benchmark Test Fonksiyonları

Fonksiyon No	İsmi	Fonksiyon	Değer (D)	Sınırlar
F1	Sphere	$f_1 = \sum_{i=1}^D x_i^2$	30	$-100 \leq x_i \leq 100$
F2	Schwefel	$f_2 = \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^i x_j$	30	$-100 \leq x_i \leq 100$
F3	Genelleştirilmiş Rosenbrock	$f_3 = \sum_{i=1}^D 100 x_{i+1} - x_i^2 + x_1 - 1^2$	30	$-30 \leq x_i \leq 30$
F3	Genelleştirilmiş Schwefel	$f_4 = -\sum_{i=1}^D x_i \sin \sqrt{x_i}$	30	$-500 \leq x_i \leq 500$

Algoritmaların her biri Tablo 5.2’de verilen parametre değerleri ile, 300.000 jenerasyona kadar en az 10 defa çalıştırıldı. Elde edilen en iyi sonuçlar dikkate alınarak test fonksiyonlarının uygunluk değerleri ve çalışma süreleri kaydedildi. Elde edilen sonuçların ortalamaları Tablo 5.3’te verilmiştir.

Tablo 5.2 Fonksiyonlar için optimasyon

Genetik Algoritma	Diferansiyel Evrim Algoritması
Popülasyon Boyutu = 100	Popülasyon Boyutu = 100
Çaprazlama oranı = 0.80	Çaprazlama oranı = 0.80
Mutasyon Oranı = 0.01	Ölçekleme Faktörü = 0.80
Elitism Count = 5	

Tablo 5.3 Uygunluk değerleri

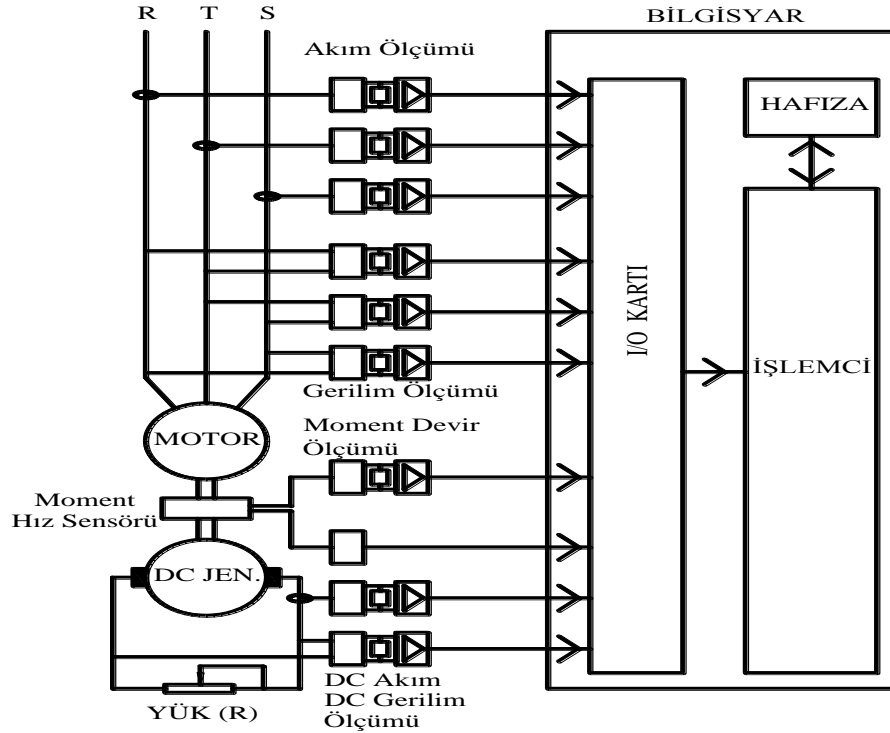
Algoritma Fonksiyonları	Genetika Algoritma		Diferansiyel Evrim Algoritması	
	Uygunluk	Süre (ms)	Uygunluk	Süre (ms)
F1	1.58069E-07	1682751.571	4.1628E-215	926482.62
F2	0.952750131	1454596.5	2.28114E-08	1525368
F3	0.005127272	1877997	0	1343816.6
F4	-12569.48662	1513339.1	-12569.48662	1465935.2

Tablo 5.3 incelendiğinde DEA'nın test fonksiyonlarının çözümünde, GA'dan daha kısa sürede çözüme ulaştığı görülmektedir. F1, F2 ve F3 fonksiyonlarının uygunluk değerleri göz önüne alındığı zaman, GA lokal minimuma takılırken, DEA global minimuma ulaşmıştır. F4 test fonksiyonunun uygunluk değeri her iki algoritmada da aynı değerdedir.

6 ASENKRON MOTOR PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada asenkron motorun elektriksel parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler, sonuçları ve aralarındaki farklar irdelenmiştir. Çalışmalara esas olarak, 2.2 kW, 1425 d/dk,Y, 50 Hz, 5.5 kW, 1430d/dk,Δ, 50 Hz'lik ve 37kW, 1705d/dk,Δ, 60 Hz'lik asenkron motorlar kullanılmıştır. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi 2.2 kW'lık motor için kurulan deney düzeneği oluşturulmuştur. Ayrıca düzenekle ilgili resimler EK-A da görülmektedir. Parametre tahmini için aşağıdaki yöntemler uygulanmıştır.

- Deney metodu ile asenkron motor parametrelerinin belirlenmesi
- Genetik Algoritma metodu ile asenkron motor parametrelerinin belirlenmesi
- Diferansiyel evrim algoritması metodu ile asenkron motor parametrelerinin belirlenmesi



Şekil 6.1 Gerçekleştirilecek sistemin blok diyagramı

6.1 Deney Düzenegi

Asenkron motor eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi için kurulan deney düzeninde, akım, gerilim, moment ve hız değerleri ölçülebilmektedir. Ayrıca boşa çalışma ve kilitli rotor deneyleri de gerçekleştirilebilmektedir. Sensörler, motorlar ve veri toplama kartı ile ilgili bilgiler, Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Deneyde kullanılan makine ve teçhizatın özellikleri

Makine Teçhizat	Özellikleri
2.2 kW Asenkron Motor	220/380 V, 50 Hz, 1500 d/d, 5.3 A, 16Nm, Verim %81
2.2 kW DC Jeneratör	Uyartım gerilimi 200 V Uyartım akımı 0.6 A Çalışma gerilimi 220 V Çalışma akımı 10 A 1500 d/d
3.5 kW DC Güç Kaynağı	Giriş 220 V Çıkış 0-220 V Çıkış akımı 17.5 A
Data Acquisition Card	16 bit, 250ks/s 16 Analog input 16 Analog output 24 Digital I/O
Dijital Tachometer	Besleme 0-24 V DC Yük akımı 30mA 1000 puls/devir
Tork Sensörü	Ölçüm aralığı 100 Nm Çıkış +/- 5V Dc ve 20mA Besleme gerilimi 30V DC %100 Mekanik dayanım
Akım Sensörü	Giriş 0-50 ve 0-100A Çıkış 0-10V DC Çalışma gerilimi 20-30V DC
Gerilim Sensörü	Giriş 0-380v Çıkış 0-10V ve 0-20mA DC Çalışma gerilimi 18.5-30.2V DC

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi asenkron motorun devir, akım, gerilim ve moment değerleri algılayıcılar ile ölçülerek veri toplama kartı yardımıyla bilgisayara

aktarılmaktadır. Bilgisayarda hazırlanan arayüz programı yardımıyla elde edilen veriler parametre tahmini için uygulanan yöntemlerde kullanılmaktadır.

6.2 Deney Metodu İle Asenkron Motor Parametrelerinin Belirlenmesi

IEEE standart test prosedürüne göre; sargı direncinin ölçülmesi, boş çalışma ve kilitli rotor çalışma deneyleri yapılarak Tablo 6.2’de verilen değerler alınmıştır. Sargı direncinin ölçümü motor anma akımında normal sıcaklığına ulaştıktan sonra iki ucu arasından yapılmıştır. Yıldız bağlı asenkron motorun stator sargı uçlarından iki tanesine doğru gerilim uygulandı. Gerilim değeri ayarlı bir kaynak ile sıfırdan başlayarak artırıldı. Motor tam yük akımı stator sargılarından geçtiği anda uygulanan gerilim değeri ve akım miktarı ölçülerek kaydedildi. Daha sonra $R_{dc} = V_{dc} / I_{dc}$ formülü kullanılarak, doğru akım direnci hesaplanmıştır. Motor yıldız bağlı olduğu için bu değer ikiye bölünerek bir faz direnci bulunmuştur. Elde edilen doğru akım direnci 1.2 ile çarpılarak motorun bir faz etkin direnci R_s hesaplanmıştır.

Tablo 6.2 2.2 kW Asenkron Motora ait deney sonuçları

	Boş Çalışma	Kilitli Rotor	Sargı Direnci
2.2 kW As.Motor	$V_0=380$ V	$V_k=130$ V	$R_d=3.75$ Ω
	$I_0=3.505$ A	$I_k=6.7$ A	$R_s=4.5$ Ω
	$P_0=260$ W	$P_k=1000$ W	

Tablo 6.3’de 5.5 kW motora ait verilerin boş çalışma, kilitli rotor ve sargı direnci değerleri Gamak firmasının 5.5 kW’lık motor kataloğundan alınmıştır.

Tablo 6.3 5.5 kW Asenkron Motora ait katalog verileri

5.5 kW As.Motor	$V_0=380$ V	$V_k=380$ V	$R_d=2.64$ Ω
	$I_0=5.35$ A	$I_k=68$ A	$R_s=3.17$ Ω
	$P_0=327$ W	$P_k=28500$ W	

2.2 kW'lık asenkron motorun boş ve kilitli çalışma deneyleri bölüm 3'te belirtildiği gibi yapılmış ve değerler Tablo 6.2'de verilmiştir. Hem boş çalışma hem de kilitli rotor deneylerinden elde edilen verilerden ve Şekil 3.7'de ki eşdeğer devreden faydalanarak motorların Tablo 6.4'de verilen parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda statorun kaçak reaktansı X_{ls} , ve statora indirgenmiş rotor kaçak reaktansı X_{lr}' yerine toplam kaçak reaktans X_k kullanılmıştır. 37 kW'lık motora ait gerçek parametre değerleri, Pillay ve ark (1997)'nin çalışmalarından alınmıştır.

Tablo 6.4 2.2 kW, 5.5 kW ve 37 kW motorlara ait eşdeğer devre parametreleri

Parametreler	2.2 kW	5.5 kW	37 kW
R_s	4.5	3.17	0.087
R_r'	2.926	2.99	0.228
X_k	8.398	7.43	0.604
X_m	62.648	118.75	13.08

6.3 Amaç Fonksiyonu ve Uygunluk Fonksiyonu

Amaç fonksiyonları asenkron motorun moment denklemleri kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$F_1 = \frac{V_s \frac{R_r'}{s}}{\omega_s \left[R_s + R_r' / s^2 + X_s + X_{lr}'^2 \right]} - M_n \quad (6.1)$$

$$F_2 = \frac{V_s^2 R_r'}{\omega_s \left[R_s + R_r' s^2 + X_s + X_{lr}'^2 \right]} - M_k \quad (6.2)$$

$$F_3 = \frac{V_s^2}{2\omega_s \left[R_s + \sqrt{R_s^2 + X_s^2 + X_r'^2} \right]} - M_d \quad (6.3)$$

GA ve DEA'da, uygunluk fonksiyonu moment hata fonksiyonlarının karelerinin toplamıdır. Algoritmaların amacı hata değerini dolayısıyla uygunluğu minimum yapmaktır.

$$\text{Uygunluk fonksiyonu} = F_1(\dots)^2 + F_2(\dots)^2 + F_3(\dots)^2 \quad (6.4)$$

M_n	:	Nominal moment
M_k	:	Start momenti
M_d	:	Devrilme momenti
F_1	:	Tam-yük dönme momentindeki hata değeri
F_2	:	Start momentindeki hata değeri
F_3	:	Devrilme momentindeki hata değeri
R_s	:	Stator direnci
R_r'	:	Rotor direncinin stator indirgenmiş şekli
X_{ls}	:	Stator reaktansı
X_{lr}'	:	Rotor reaktansının statora indirgenmiş hali

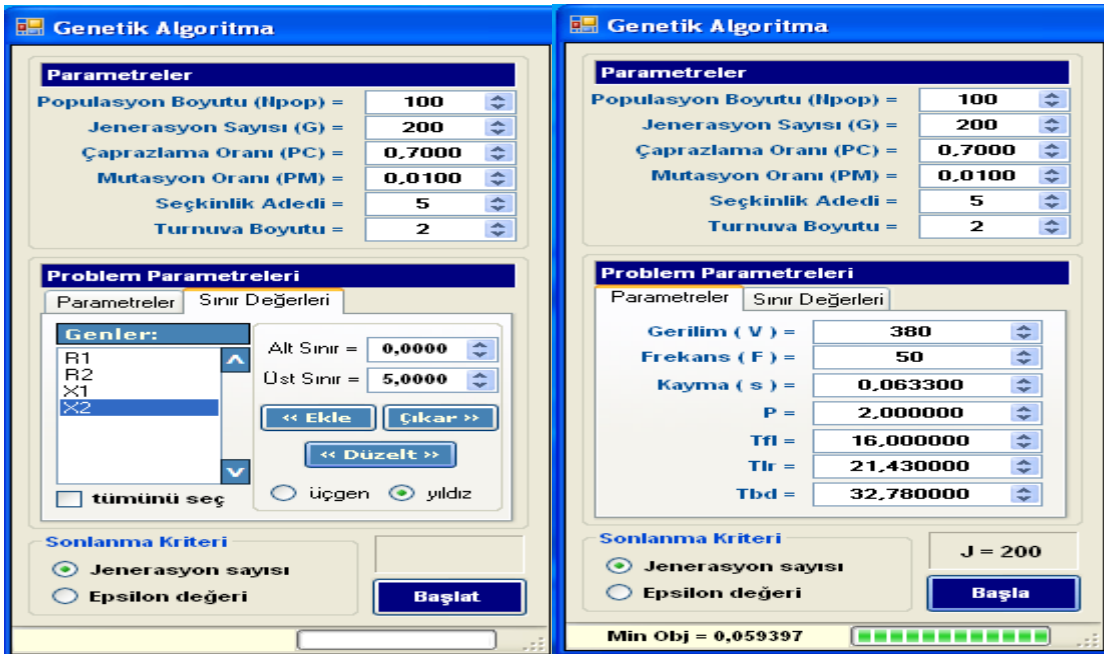
6.4 Genetik Algoritma Metodu İle Asenkron Motor Parametrelerinin Belirlenmesi

Genetik algoritmalar, arama ve optimizasyon yöntemini doğal seçim ilkelerine göre yaparlar. Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametrelerin kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyarlar. Çözüm

uzayının tamamını değil sadece bir kısmını tararlar. Böylece çok daha kısa bir zamanda çözüme ulaşırlar(Goldberg 1989).

Bu çalışmada değişkenlerin (parametrelerin) gösteriminde gerçek kodlu genetik algoritma kullanılmıştır. Eşdeğer devre parametrelerinin GA ile belirlenmesi işlemi için C Sharp dili kullanılarak bir program oluşturulmuştur. Şekil 6.2’de GA programının arayüzü verilmiştir.

Oluşturulan bu arayüzde genetik algoritma parametreleri, popülasyon boyutu, jenerasyon sayısı, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, seçkinlik adedi ve turnuva boyutu kullanıcı tarafından girilebilecek şekilde ayarlanmıştır. Böylece istenilen popülasyon sayısı, çaprazlama ve mutasyon oranları girilerek farklı denemeler yapılabilmektedir. Motora ait gerilim, frekans,kayma ve kutup sayısı değerleri ile motor parametreleri değiştirilebilmektedir.



Şekil 6.2 Gerçekleştirilen Genetik Algoritma programı

Genetik algoritmalar popülasyonu rastgele üreterek çalışmaya başlamaktadır. Algoritmanın çalışma hızını ve performansını etkileyen her bir kromozomun hassasiyeti ve popülasyonun birey sayısı, optimizasyon başlamadan önce belirlenmelidir. Her bir kromozomun hassasiyeti, motor parametreleri (R_s, R_r, X_{ls}, X_{lr}) dikkate alınarak belirlenmelidir. Bu uygulamada, popülasyonun büyüklüğü 100 bireyden oluşurken, her bir parametre için seçilen 0Ω 'dan 5Ω 'a kadar aralık, yeterli olmaktadır. Elde edilen popülasyondan doğal seçim işlemini yapmak için turnuva seçimi tercih edilmiştir. Turnuva seçiminde, eşleşecek çiftler (popülasyon boyutu kadar) rastgele seçilir. Uygunluk değerleri dikkate alınarak turnuvaya tabi tutulur. Uygunluk değeri iyi olan kazanır. Gerçek kodlu genetik algoritmada da ikili kodludaki gibi çeşitli çaprazlama yöntemleri mevcuttur. Tek düzen metodu, lineer çaprazlama, heuristic çaprazlama, karma çaprazlama, kuadratik çaprazlama vb. Bu problem için tercih edilen metot, aritmetiksel çaprazlamadır. Aritmetik çaprazlamada eşleşen kromozomların, karşılıklı her bir geni için rastgele $[0,1]$ aralığında bir sayı üretilir. Bu sayı çaprazlama oranından küçük ise genler çaprazlama işlemine alınabilir.

Çaprazlamadan sonra mutasyon işlemine geçilir. Popülasyondaki her bir kromozomun her bir geni(parametresi) için $[0,1]$ aralığında rastgele bir sayısı üretilir. Eğer üretilen sayı mutasyon oranından küçükse, gen tekrar üretilerek kromozom mutasyona uğratılmış olur.

6.5 Diferansiyel Evrim Algoritma Metodu İle Asenkron Motor Parametrelerinin Belirlenmesi

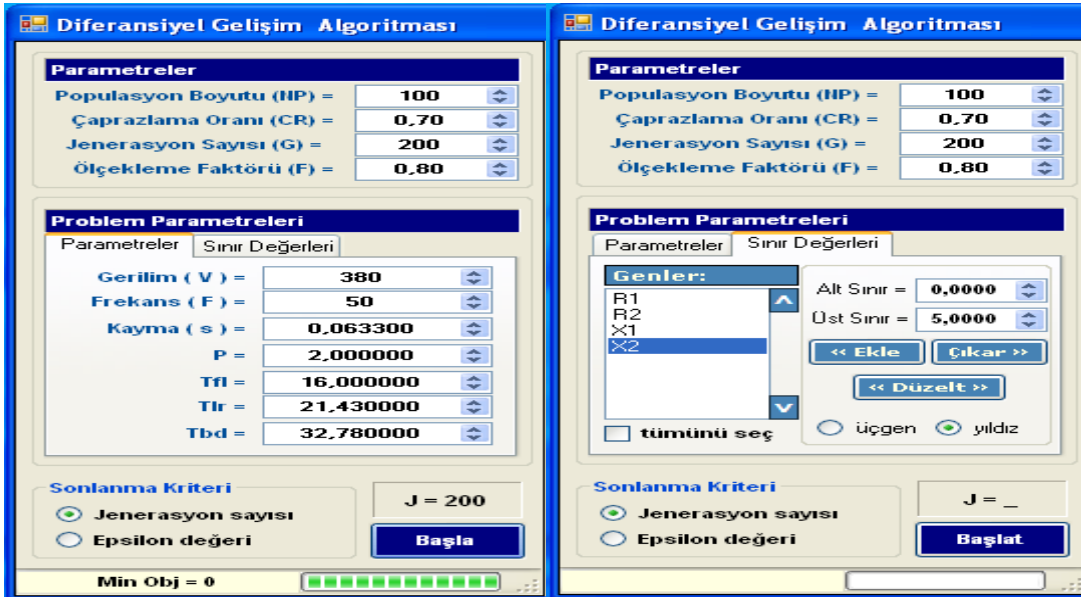
Diferansiyel Evrim 1995'te Price ve Storn tarafından küresel optimizasyon problemleri için önerilen yeni gerçek kodlu evrimsel bir algoritmadır. Klasik çaprazlama ve mutasyon işlemcilerinin yerine, ebeveyn kromozomlardan yeni bireyi oluşturmak için kullanılan özel bir tür diferansiyel operatörden dolayı bu şekilde isimlendirilmiştir .

Diferansiyel Evrim Algoritmasının çalışma mantığı oldukça basittir. Öncelikle aday çözümlerden oluşan bir popülasyon rastgele oluşturulur. Popülasyondaki her bir

çözüm, amaç fonksiyonundan elde edilen uygunluk değeri ile ele alınır. Genetik algoritmadaki çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörleri Diferansiyel Evrim Algoritmasında da kullanılmaktadır. Farklı olarak her bir operatör tüm popülasyona sırayla uygulanmaz. Kromozomların her biri için tek tek yeni bir çözüm oluşturulur.

Mevcut kromozomla elde edilen yeni kromozomun uygunlukları karşılaştırılarak uygunluğu daha iyi olan, yeni birey olarak bir sonraki popülasyona aktarılır. Yeni kromozomu oluşturmak amacıyla mevcut popülasyondan farklı üç kromozom rastgele seçilir. Daha sonra bu üç kromozom üzerinde çaprazlama, mutasyon ve ölçekleme faktörü kullanılarak yeni aday kromozom oluşturulur.

Diferansiyel evrim algoritması için oluşturulan arayüzde algoritma parametreleri, popülasyon boyutu, jenerasyon sayısı, çaprazlama oranı ve ölçekleme faktörü kullanıcı tarafından girilebilecek şekilde ayarlanmıştır. Böylece istenilen popülasyon sayısı ve çaprazlama oranı girilerek farklı seçenekler değerlendirilebilir. Motora ait gerilim, frekans, kayma ve kutup sayısı değerleri ile motor parametreleri değiştirilebilmektedir.



Şekil 6.3 Diferansiyel Evrim Algoritma Programı

6.6 Deneysel Çalışmalar

DEA ve GA Şekil 3.7’de gösterilen bir indüksiyon motorun eşdeğer devre parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Amaç fonksiyonu olarak kilitli-rotor, devrilme ve tam-yük moment denklemleri kullanıldı. Uygunluk fonksiyonu olarak ise denklem 6.1, 6.2 ve 6.3’de verilen hata fonksiyonlarının kareleri toplamı alınmıştır.

2.2 kW ve 5.5 kW’lık motorlar için algoritmalar sekiz defa çalıştırıldıktan sonra elde edilen değerler ve bu değerlerin ortalaması Tablo 6.5, ve Tablo 6.6’da verilmiştir. Tablolardan görüleceği gibi her çalıştırma sonunda GA’da özellikle R_s ve R_r' parametreleri için farklı değerler elde edilmiştir. DEA’da ise her çalıştırmada R_s ve R_r' parametreleri için genellikle yakın değerler elde edilmiştir. Bu sonuçlardan DEA’nın daha kararlı çalıştığı söylenebilir.

Tablo 6.5 2.2 kW motor için GA ve DEA kullanılarak bulunan parametreler

Çalışma	GA					DEA				
	R_s	R_r'	X_s	X_{lr}'	X_m	R_s	R_r'	X_s	X_{lr}'	X_m
Çalışma 1	4.744	2.879	4.056	3.99	76.463	4.458	2.923	3.778	4.683	78.366
Çalışma 2	4.118	3.025	4.455	4.479	76.450	4.456	2.925	4.411	4.052	77.784
Çalışma 3	4.343	2.971	4.357	4.258	77.632	4.556	2.924	4.307	4.156	78.183
Çalışma 4	4.777	2.82	4.837	4.077	79.591	4.454	2.924	4.721	3.482	76.148
Çalışma 5	4.501	2.935	4.732	3.666	77.820	4.556	2.924	4.013	3.976	76.576
Çalışma 6	4.572	2.925	3.956	4.348	79.019	4.454	2.926	4.631	3.338	77.350
Çalışma 7	4.516	2.926	4.07	4.298	78.843	4.454	2.925	4.132	3.989	75.071
Çalışma 8	4.807	2.866	4.235	3.723	79.809	4.456	2.922	4.534	4.683	77.697
Ortalama	4.547	2.918	4.337	4.105	78.174	4.481	2.924	4.316	4.045	77.130

Tablo 6.6 5.5 kW motor için GA ve DEA kullanılarak bulunan parametreler

Çalışma	GA					DEA				
	R_s	R_r'	X_s	X_{lr}'	X_m	R_s	R_r'	X_s	X_{lr}'	X_m
Çalışma 1	3.27	2.955	3.527	3.806	114.769	3.198	2.992	2.49	4.95	116.103
Çalışma 2	3.198	2.992	3.357	4.088	116.120	3.198	2.992	3.349	4.096	116.120
Çalışma 3	3.276	2.967	3.257	4.082	115.147	3.198	2.992	4.034	3.412	116.123
Çalışma 4	3.314	3.01	4.010	3.519	117.080	3.198	2.992	4.090	3.353	116.113
Çalışma 5	3.187	2.992	3.737	3.72	116.145	3.198	2.992	3.57	3.876	116.123
Çalışma 6	3.297	2.963	4.483	2.832	114.980	3.198	2.992	3.469	3.977	116.123
Çalışma 7	3.192	2.994	3.91	3.536	116.173	3.198	2.992	2.863	4.583	116.123
Çalışma 8	3.291	2.953	3.966	3.346	114.670	3.198	2.992	2.684	4.762	116.123
Ortalama	3.253	2.978	3.781	3.616	115.635	3.198	2.992	3.319	4.126	116.119

37 kW motor için GA ve DEA ile elde edilen değerler, Tablo 6.7'de verilmiştir. (Çunkaş ve ark. 2009)

Tablo 6.7 37 kW motor için GA ve DEA kullanılarak bulunan parametreler

GA					DEA				
R_s	R_r'	X_s	X_{lr}'	X_m	R_s	R_r'	X_s	X_{lr}'	X_m
0.084	0.239	0,316	0,316	13.304	0.087	0.238	0.315	0.315	13.291

Asenkron motorun, deney metodu ile elde edilen eşdeğer devre parametreleri, genetik algoritma ve diferansiyel evrim algoritma metodu ile elde edilen eşdeğer devre parametreleri kıyaslanarak hata oranları Tablo 6.8'de verilmiştir. Burada deney metodu olarak, boş çalışma ve kısa devre deneyi değerleri kullanılarak elde edilen motor parametreleri ifade edilmektedir. Bu parametre değerleri gerçek değerler olarak kabul edilmiş, GA ve DEA'dan bulunan parametreler tahmin edilen değerler olarak alınmıştır. Hata oranı hesaplaması, gerçek değerden tahmini değer çıkartılarak, elde edilen fark gerçek değer in yüzdesi olarak ifade edilmiştir.

Tablo 6.8 Eşdeğer devre Parametreleri ve hata oranları

Parametreler	2.2 kW		5.5Kw		37 kW	
	GA	DEA	GA	DEA	GA	DEA
R_s (gerçek)	4.5	4.5	3.17	3.17	0.087	0.087
R_s (tahmini)	4.547	4.481	3.253	3.198	0.084	0.087
%hata	1.044	0.422	2.618	0.883	2.729	0
R_r (gerçek)	2.926	2.926	2.99	2.99	0.228	0.228
R_r (tahmini)	2,918	2.924	2.978	2.992	0.239	0.238
%hata	0.273	0.068	0.401	0.066	4.66	4.385
X_k (gerçek)	8.398	8.398	7.46	7.46	0.604	0.604
X_k (tahmini)	8.442	8.361	7.397	7.445	0.633	0.631
%hata	0.523	0.428	0.844	0.201	4.822	4.47
X_m (gerçek)	62.648	62.648	118.61	118.61	13.08	13.08
X_m (tahmini)	78.174	77.130	115.635	116.119	13.304	13.291
%hata	24.942	23.116	2.508	2.1	1.712	1.613

Tablo 6.8’de görüldüğü gibi DEA’den elde edilen değerler, GA’dan elde edilen değerlere göre düşük hata oranına sahiptir. Bu hata değerleri kabul edilebilir değerlerdir. DEA metodu ile elde edilen değerlerin gerçek değerlere çok daha yakın olduğu görülmektedir. 2.2 kW’lık motorun X_m parametresi için hem GA hem de DEA’da hata diğer parametrelere göre oldukça yüksektir. Algoritmaların uygunluk fonksiyonları motor moment denklemlerinden meydana gelmektedir. Bu denklemlerde X_m parametresi yer almadığından bu parametre ile ilgili hata değerleri daha yüksek olabilir. X_m parametresinden sonra en yüksek hata 37 kW’lık motorun $X_k (X_{ls} + X_{lr})$ parametresinde meydana geldiği görülmektedir.

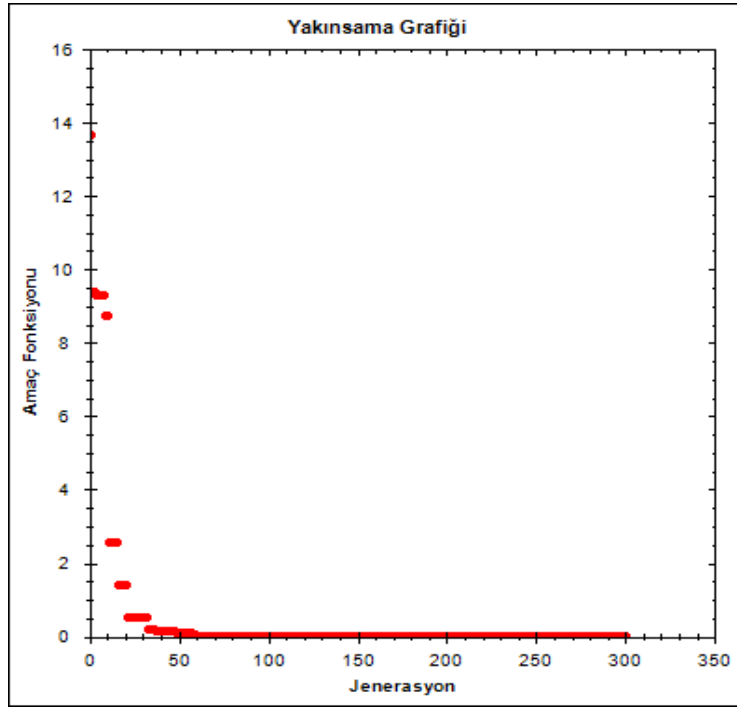
Deney metodu, GA ve DEA yöntemleri ile elde edilen asenkron motor eşdeğer devre parametrelerinin ortalama değerleri kullanılarak, kalkınma, nominal çalışma ve devrilme momentleri denklem 6.1, 6.2 ve 6.3’ten hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6.9’de verilmiştir. Deney metodu ile elde edilen moment değerleri gerçek değerler olarak kabul edilmiştir.

Tablo 6.9 Hesaplanan kalkınma, nominal çalışma ve devrilme momentleri

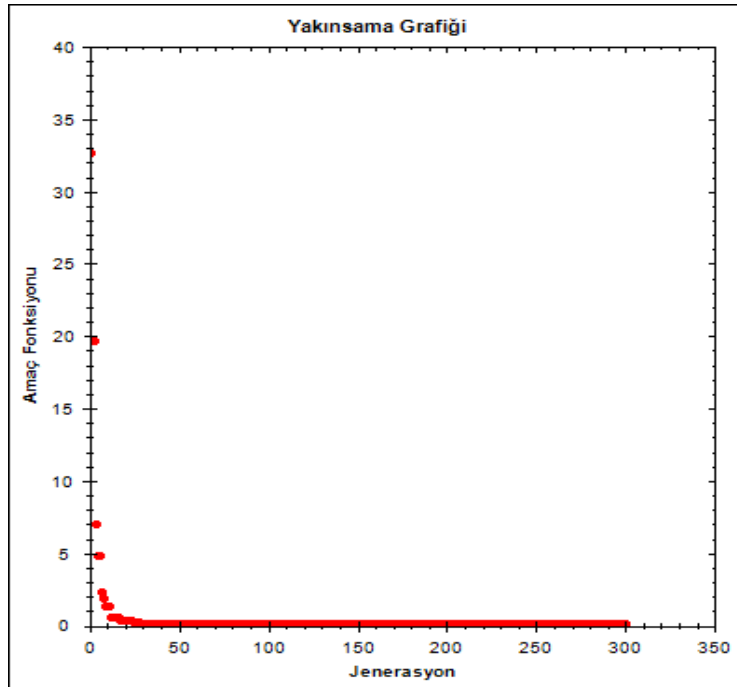
Momentler	2.2 kW		5.5 kW		37 kW	
	GA	DEA	GA	DEA	GA	DEA
$M_n(\text{gerçek})$	16	16	38.55	38.55	234.55	234.55
$M_n(\text{tahmini})$	16.075	16.098	38.607	38.504	235.076	234.863
% hata	0.468	0.612	0.147	0.119	0.224	0.133
$M_k(\text{gerçek})$	21.43	21.43	88.1	88.1	529.708	529.708
$M_k(\text{tahmini})$	21.122	21.548	87.799	88.021	530.635	531.659
% hata	1.437	0.55	0.341	0.089	0.175	0.368
$M_d(\text{gerçek})$	32.78	32.78	122.29	122.29	773.987	773.987
$M_d(\text{tahmini})$	32.516	32.908	121.665	122.019	777.149	776.352
% hata	0.805	0.390	0.511	0.221	0.408	0.305

Genel olarak, DEA ile elde edilen moment değerleri, GA ile elde edilen moment değerlerine göre gerçek değerlere daha yakındır. DEA yöntemiyle elde edilen eşdeğer devre parametreleri GA ile elde edilen parametrelerden daha düşük hata değerlerine sahip olduğu için moment değerleri de daha küçük hata değerlerine sahip olmaktadır.

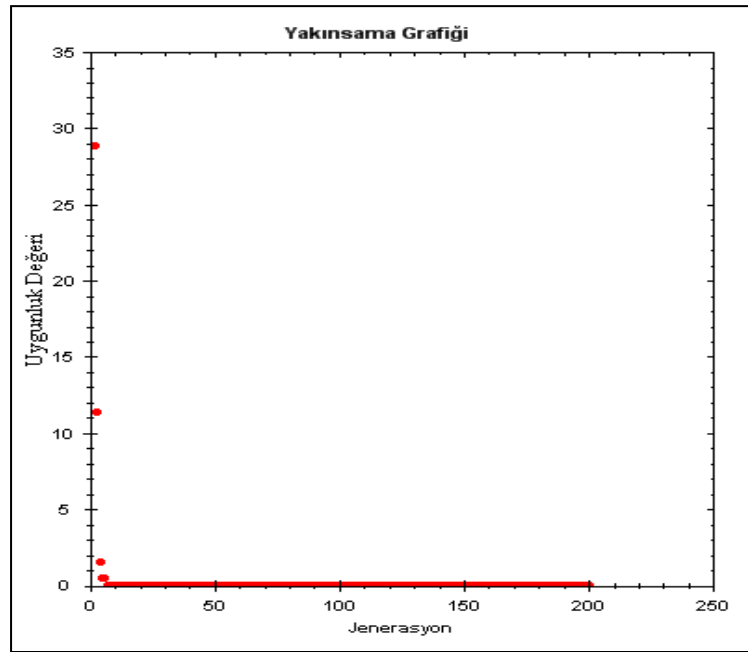
Şekil 6.4 ve 6.5'te 5.5 kW'lık motora ait DEA ve GA'nın uygunluk değerlerinin yakınsama grafiği görülmektedir. Şekil 6.6 ve 6.7'de 2.2 kW motora ait yakınsama grafikleri verilmiştir. Grafikler dikkatle incelendiğinde GA'nın DEA'ya göre hızlı bir şekilde yakınsadığı ancak bulunan çözümün yerel bir çözüm olduğu anlaşılmaktadır. DEA ise GA'ya göre hızlı yakınsamamakla birlikte bulunan çözümün global optimum olduğu görülmektedir.



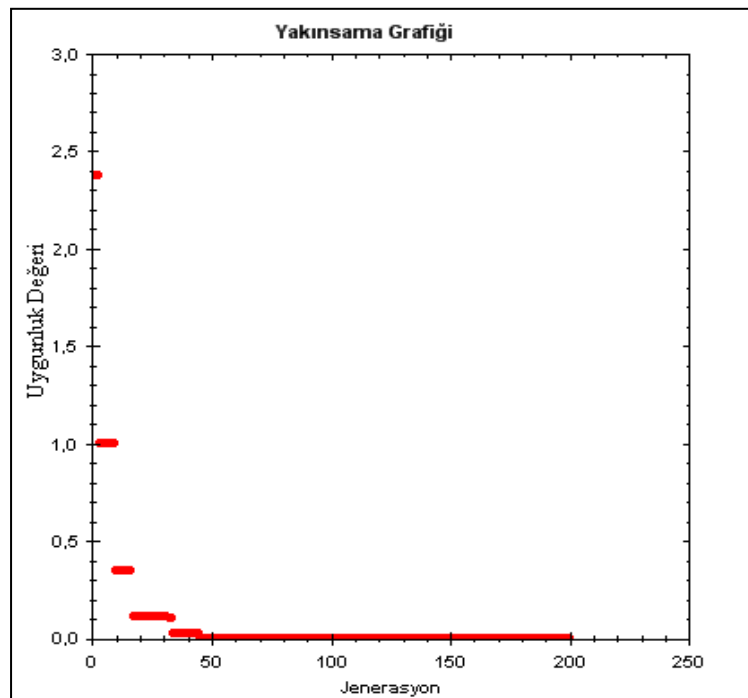
Şekil 6.4 5.5 kW'lık motor için DEA yakınsama grafiği



Şekil 6.5 5.5 kW'lık motor için GA yakınsama grafiği

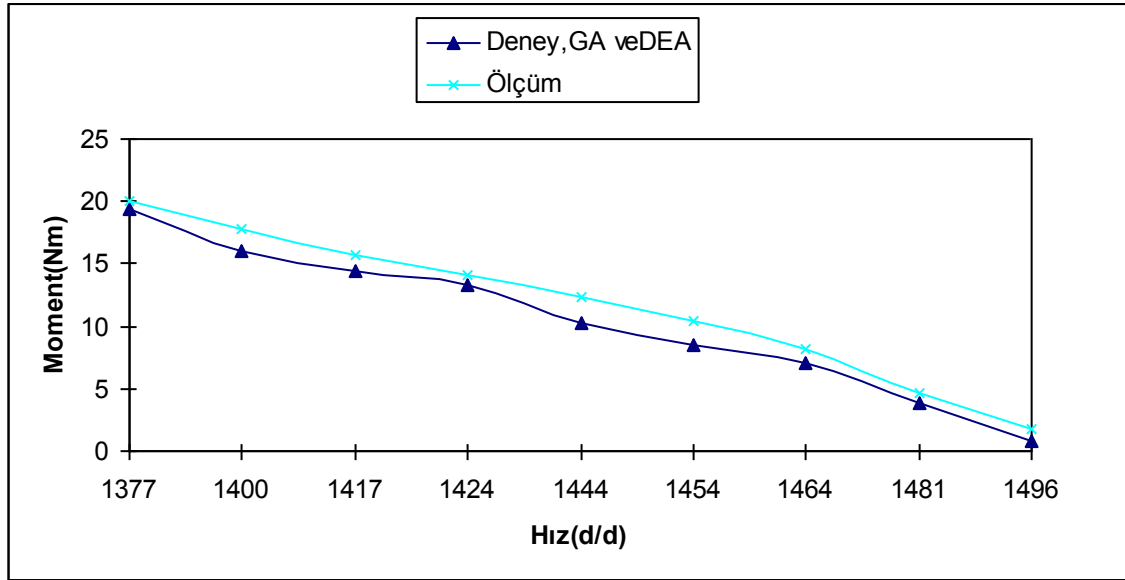


Şekil 6.6 2.2 kW'lık motor için GA yakınsama grafiği



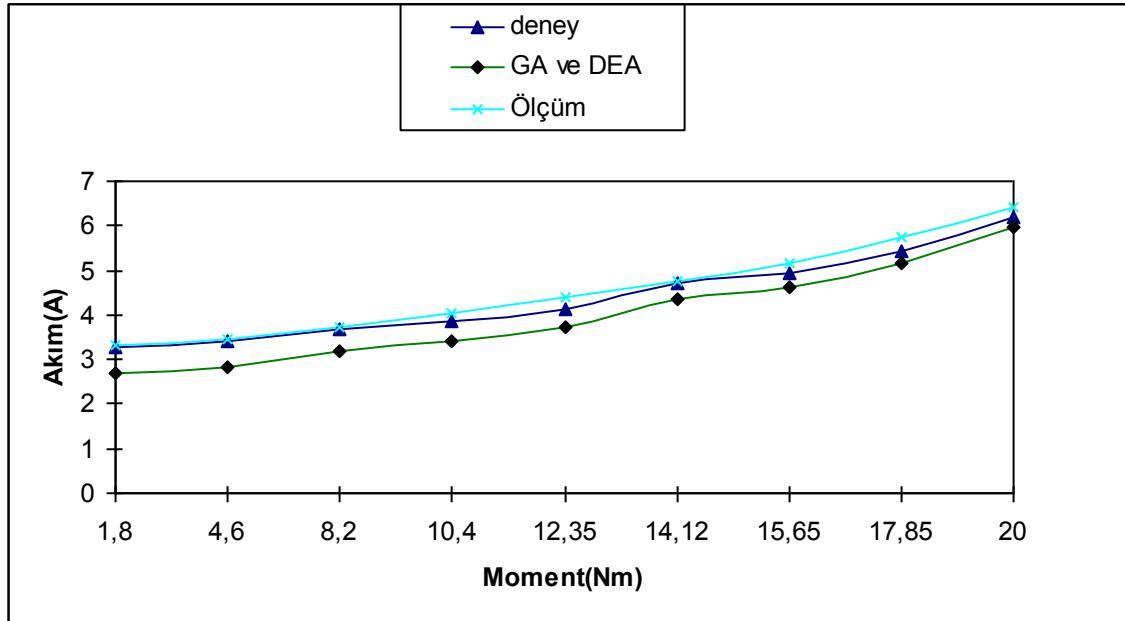
Şekil 6.7 2.2 kW'lık motor için DEA yakınsama grafiği

Tablo 6.8’de verilen 2.2 kW’lık asenkron motor eşdeğer devre parametreleri kullanılarak, motorun nominal çalışma momentleri hesaplanmıştır. Ayrıca deney düzeneğinde boş çalışma durumundan başlayarak %125 yüke kadar motor yüklenmiş ve hız-moment bilgileri kaydedilmiştir. Buna göre Şekil 6.8’de verilen moment hız grafiği çizilmiştir. Grafikten de anlaşılmaktadır ki nominal moment ölçüm değerleri ile her üç yöntem için elde edilen değerler birbirine yakındır.

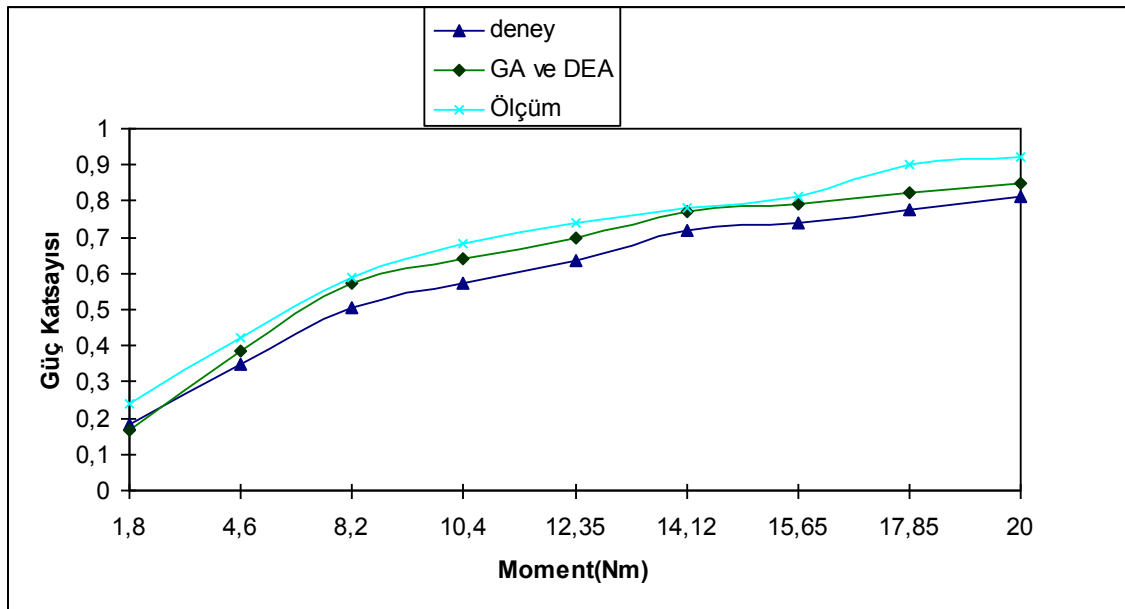


Şekil 6.8 Moment ve hız grafiği

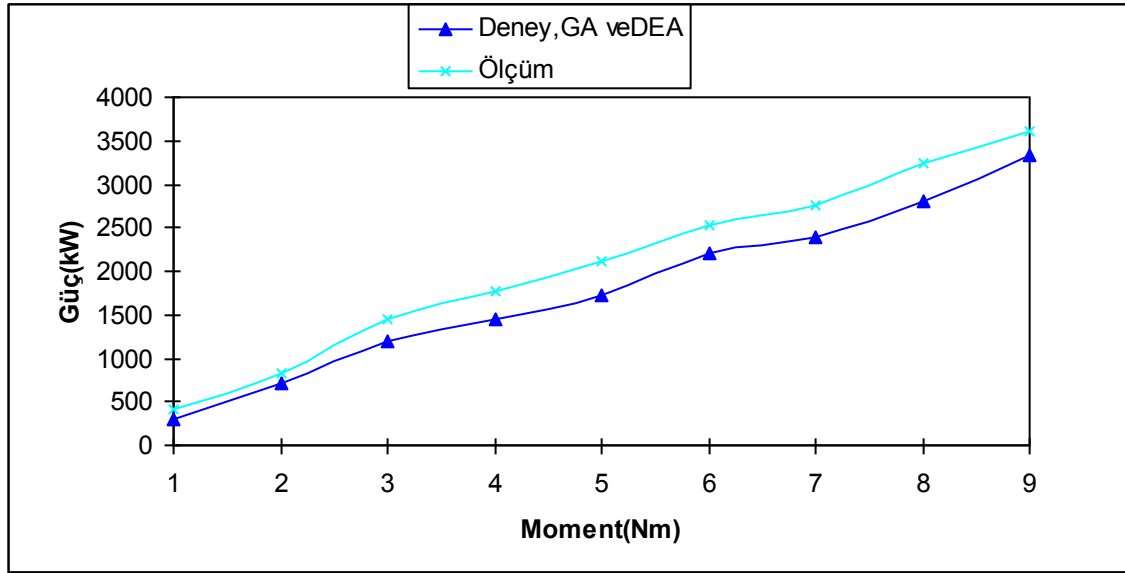
Asenkron motor için kurulan deney düzeneğinden ölçülen akım değeri ve moment değerleri kaydedilmiştir. Ayrıca DEA, GA ve deney metodu parametre değerleri kullanılarak hesap edilen akım ve moment değerleri Şekil 6.9’daki grafikte gösterilmiştir. Ölçülen değerlerle hesaplanan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Benzer şekilde elde edilen güç katsayısı-moment ve güç moment grafikleri Şekil 6.10 ve Şekil 6.11 de verilmiştir.



Şekil 6.9 Akım ve moment grafiği

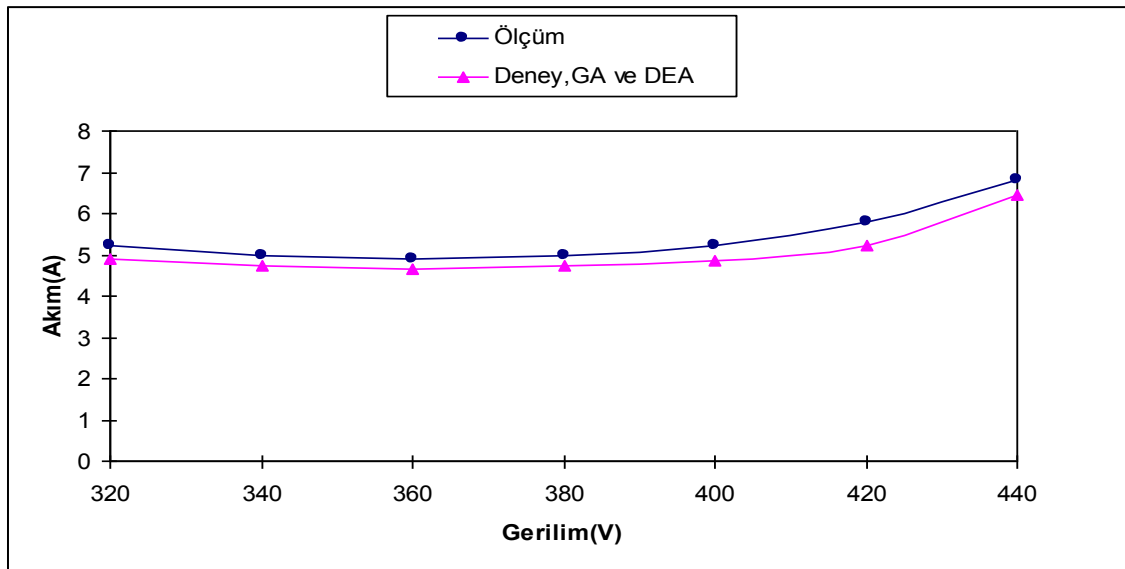


Şekil 6.10 Güç Katsayısı ve Moment grafiği



Şekil 6.11 Güç ve Moment grafiği

Ayrıca deney düzeneğinde asenkron motor 320 V ile 440 V arasında farklı çalışma gerilimlerinde ve sabit yükte çalıştırılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen giriş akımı ve gerilimi grafik olarak Şekil 6.12’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ölçüm değerleri ile hesaplanan değerler arasında fazla bir fark görülmemektedir.



Şekil 6.12 Akım gerilim grafiği

7 SONUÇLAR

Son yıllarda, elektrik makinelerinin optimizasyonu ve parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili yapay zeka tekniklerinin kullanımında artış görülmektedir. Uygulamada, elektrik motorlarının hizmet dışı kalma süresinin kısalması gibi güç sistem arızalarının azalmasına önem verilmektedir. Bu sebeple, elektrik motorlarının elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin kolayca elde edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrik makinelerinin fiziksel yapısı ve elektriksel yapısı arasındaki ilişki dikkate alındığında, asenkron motorların eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi için evrim algoritmaları kullanmanın avantajlı olduğu söylenebilir.

Asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışmada, genetik algoritma (GA) ve diferansiyel evrim algoritması (DEA) kullanılmıştır. Bu yöntemler ile elde edilen parametre değerleri, asenkron motorun kilitli rotor ve boş çalışma deneyleri sonucunda ölçülen değerlerden hesaplanan motor parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Algoritmaların elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin belirlenmesindeki etkinliğini göstermek amacı ile 2.2kW, 5.5 kW ve 37 kW'lık asenkron motorlar üzerinde çalışmalar yürütülmüştür.

Yapılan çalışmada asenkron motorun uyarım devresi reaktansı (x_m) dikkate alınmazsa, GA'nın maksimum hata oranı %4.822 ve DEA'nın maksimum hatası %4.47 olarak toplam kaçak reaktans da bulunmuştur. Bulunan parametrelere göre momentler hesaplanmıştır. GA'nın maksimum hatası %0.805 ve DEA'nın maksimum hatası %0,408 olarak devrilme momentinde meydana gelmiştir. Elektriksel parametrelerde hata değerleri moment hata değerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni uygunluk fonksiyonu olarak moment denklemleri kullanılmasıdır. Eşdeğer devre parametreleriyle sağlanan asenkron motor momentlerinin endüstriyel uygulamalar için oldukça hassas değerler olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, DEA'nın asm sürücüleri ve asm tasarımı/üretimi gibi endüstriyel çalışmalar için motor parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılmasının uygun olduğu söylenebilir. Ayrıca, DEA hesaplama süresinin kısa oluşu, optimum parametre değerlerine yakınsamasındaki hassasiyeti gibi üstünlükleri nedeniyle diğer optimizasyon çalışmaları için de kullanılabilir.

Bundan sonraki çalışmalarda, DEA için amaç fonksiyonu olarak moment büyüklüklerinden başka stator akımı, stator gerilimi ve güç katsayısı gibi etiket değerleri seçilerek asenkron motorların eşdeğer devre parametreleri belirlenebilir. Transformatörlerin parametrelerinin belirlenmesi de DEA kullanılarak gerçekleştirilebilir.

8 KAYNAKLAR

Boduroğlu T. 1988. Elektrik Makinaları Dersleri, 2.Baskı, Beta Yayınları, İstanbul.

Bajrektarevic E. 2002. “Parameter Identification of Induction Motor Using a Genetic Algorithm“ Lane Department of Computer Science and Electrical Engineering, Morgantown, West Virginia, 2002

Çolak İ. 2001. Asenkron motorlar, 1.Baskı, Nobel yayınları, Ankara.

Çunkaş M. 2004. Elektrik Motorlarında Genetik Algoritma İle Tasarım Optimizasyonu, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Çunkaş M.,Sağ T., Arslan M. 2009. “Determination of İnduction Motor Parameterrs by Differential Evolution Algorithm and Genetic Algorithms” , The 2nd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE 2009), Cairo, Egypt, 1, 777-784.

Electric Machinery Committee., “Standart test procedure for pollyphase induction motors and generators”, *IEEE Std 112*, Newyork, 1-79 (2004).

Emel G.G.,Taşkın Ç. 2002. Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, Uludağ Üniversitesi İ.İ.B.Fakültesi,Cilt XXI,Sayı 1,s.129-152.

Goldberg D.E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, New York, Addison Wesley.

Güzelbeyoğlu N. 1992. Elektrik Makinaları I,II., İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Holland J.H., 1975. Adaptation in Natural and Artifical Systems, Ann Arbor: The University of Michigan, USA

- Karaboğa, D. 2004. Yapay Zekâ ve Optimizasyon Algoritmaları, 1. Baskı, Ankara.
- Koyuncu C.A. 2006. “Farksal Gelişim Algoritmasının İncelenmesi ve İşaret Kestiriminde Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Kenneth V., Price · Rainer M., StornJouni A. 1998. LampinenDifferential EvolutionA Practical Approach to Global Optimization, USA.
- Keskintürk T. 2006. Diferansiyel Gelişim Algoritması, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl: 5 Sayı: 9 Bahar s.85-99.
- Mutluer M. 2007. “Asenkron Motor Elektriksel Eşdeğer Devre Parametrelerinin Hibrid Genetik Algoritma Yöntemiyle Belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi Elektrik-Elektronik Müh. Anabilim Dalı Konya.
- Mutluer M., Bilgin O., Çunkaş M. 2007. Parameter determination induction machines by using hybrid genetic algorithm, KES2007 11th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems, 12-13-14 September
- Nangsue P., Pillay P., Corny S.E. 1999. Evolutionary Algorithms for Induction Motor Parameter Determination. IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 3, September
- Pillay P., Nolan R., Haque T. 1997. Application of genetic algorithms to motor parameter determination for transient torque calculations. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, No. 5, pp. 1273-1282, September/October
- Price K.V. 1996. Differential Evolution: a fast and simple numerical optimizer.In:Smith,M., Lee,M.,J., (eds): Biennial Conferance of the North American Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS.IEEE Pres,524-527, New York

Price K.V., Storn R.M., Lampinen J.A. 2005. *Differential Evolution A practical Approach Global Optimization.*, Springer, Germany.

Pillay P., Levin V., Otaduy P., Kueck J. 1998. In-Situ Induction Motor Efficiency Determination Using the Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 13, No.4, pp 326-333, December

Rahimpour E., Rashtchi V., Pesaran M. 2006. Parameter identification of deep-bar induction motors using genetic algorithm, Springer-Verlag, July

Storn, R. and Price, K. 1995. *Differential Evolution - a Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces*. Technical Report TR-95-012, International Computer Science Institute, Berkeley.

Storn, R. and Price, K. 1997. Differential evolution a simple and efficient heuristic for global optimisation over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11:341–359.

Weatherford H.H., Brice C.W. 2003. Estimation of induction motor parameters by a genetic algorithm, Pulp and Paper Industry Technical Conference, pp. 21-28

EKLER

EK-A : Asenkron motor deney düzeneği





