

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ ALGORİTMASI KULLANILARAK  
KOMPAKT FLÜORESAN LAMBALARIN RADYO FREKANSLI  
ELEKTROMANYETİK ALANLARININ İNCELENMESİ**

**Yeliz TANIŞ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ANKARA  
2019**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Yeliz TANIŞ tarafından hazırlanan “Yapay Bağışıklık Sistemi Algoritması Kullanılarak Kompakt Flüoresan Lambaların Radyo Frekanslı Elektromanyetik Alanlarının İncelenmesi” adlı tez çalışması 13/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. İlhan KOŞALAY

Ankara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

### Jüri Üyeleri:

**Başkan:** Doç. Dr. Hasan Hüseyin SAYAN

Gazi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye:** Doç. Dr. İlhan KOŞALAY

Ankara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye:** Doç. Dr. Murat Hüsnü SAZLI

Ankara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

**Prof. Dr. Özlem YILDIRIM**

**Enstitü Müdür V.**

## ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

13.06.2019



Yeliz TANIŞ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ ALGORİTMASI KULLANILARAK KOMPAKT FLÜORESAN LAMBALARIN RADYO FREKANSLI ELEKTROMANYETİK ALANLARININ İNCELENMESİ

Yeliz TANIŞ

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İlhan KOŞALAY

Elektromanyetik (EM) ortam; doğal ve yapay elektromanyetik alan olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Dünya üzerindeki doğal elektromanyetik ortam; uzay ve güneşteki ışınım ile dünya atmosferindeki elektriksel boşalmalar gibi kaynaklardan meydana gelmektedir, yapay elektromanyetik alan ise insan yapımı elektronik cihaz ve sistemlerden oluşmaktadır. Günlük hayatta isteğe bağlı ya da gereksinimler dâhilinde kullanılan bu elektronik cihazlardan biri de aydınlatmada kullanılan kompakt flüoresan lambalardır.

Bu tez çalışmasında kompakt flüoresan lambalardan yayılan radyo frekanslı elektromanyetik alanlar yapay bağışıklık sistemi algoritması kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Söz konusu tahminlerin sağlanması için, öncelikle deneysel çalışmalar yapılmış, deneylerde dışarıdan sinyal geçirmeyen izoleli bir laboratuvarında, farklı güç değerindeki kompakt flüoresan lambaların elektromanyetik alanlarının tek boyutlu koordinat düzleminde belirli noktalarda ölçümleri yapılmış ve elde edilen elektromanyetik alan değerleri, oluşturulan algoritmada, ölçüm yapılmayan noktalardaki elektromanyetik alanların tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Tahmin işlemi, bir sezgisel optimizasyon yöntemi olan yapay bağışıklık sistemi algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Haziran 2019, 149 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** yapay bağışıklık sistemi, elektromanyetik alan, radyo frekansı, kompakt flüoresan lamba

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **ANALYSIS OF RADIO FREQUENCY ELECTROMAGNETIC WAVES OF COMPACT FLOURESCENT LAMPS USING ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM**

Yeliz TANIŞ

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electric and Electronic Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlhan Koşalay

Electromagnetic field (EMF) is analysed in two group including natural and artificial electromagnetic field. Natural electromagnetic field is composed of internal and external sources yet, artificial electromagnetic fields compose of man-made electronic devices and systems. Compact fluorescent lamps, are used for lightening, is one of these electronic devices are used optional or required in daily life.

In this study, estimating of radio-frequency electromagnetic fields emitted from compact fluorescent lamps using artificial immune system is aimed. In order to provide respective estimates, firstly, experimental studies was done, experiments were carried out in an radio-opaque laboratory, electromagnetic field radiation of various power values of compact fluorescent lamps were measured in 1-D coordinate plan for definitive points and these points were used in prepared algorithm in order to estimate electromagnetic fields of unmeasured points. Estimations were produced using artificial immune system algorithm is in the scope of the heuristic optimization method.

**June 2019, 149 pages**

**Key Words:** artificial immune system, electromagnetic field , radio frequency, compact fluorescent lamp

## TEŐEKKÖR

Yapmıő olduğum bu bilimsel çalışmada beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. İlhan KOŞALAY' a, yardımlarından ve katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. H. Gökhan İLK' e, Sayın Doç. Dr. Hasan Hüseyin SAYAN' a ve çalıőmam süresince her zaman yanımda olan, beni her zaman destekleyen aileme en içten duygularımla teőekkr ederim.

Yeliz TANIŞ  
Ankara, Haziran 2019

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTROMANYETİK ALANLAR.....	4
2.1 Elektromanyetizma.....	4
2.2 Elektrik Alan.....	4
2.3 Manyetik Alan.....	5
2.4 Elektrik alan ve Manyetik Alan Karşılaştırılması.....	6
2.5 Elektromanyetik Alan.....	8
2.5.1 Doğal elektromanyetik alanlar.....	9
2.5.2 Yapay elektromanyetik alanlar.....	9
2.6 Elektromanyetik Radyasyon.....	9
2.7 Elektromanyetik Spektrum.....	10
3. KOMPAKT FLÜORESAN LAMBA.....	12
3.1 Aydınlatma ve Tarihçesi.....	12
3.2 Kompakt Flüoresan Lambanın Çalışma Şekli.....	13
3.3 Kompakt Flüoresan Lambalardan Yayılan Elektromanyetik Alan.....	14
3.4 Kompakt Flüoresan Lambaların Elektromanyetik Alanlarının Ölçümlendiği Önemli Çalışmalar.....	16
4. DENEYİN YAPILIŞI.....	21
4.1 Deney Ortamı ve Deneyde Kullanılan Ekipman.....	21
4.2 Deney Sonuçları.....	26
4.2.1 50-300 kHz Frekans aralığında yapılan ölçümler.....	26
4.2.2 50-300 MHz, 301-600 MHz, 601-900 MHz Frekans aralığında yapılan ölçümler.....	29
5. BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ.....	54
5.1 Genel Bilgiler.....	54
5.2 Doğal Bağışıklık.....	55
5.3 Edinsel Bağışıklık.....	55
5.3.1 Aktif ve pasif bağışıklık.....	56
5.3.2 Aktif bağışıklık tipleri.....	56
5.3.3 Humoral ve hücrel bağışıklık.....	57
5.4 Lenfoid Organlar.....	58
5.5. Bağışıklık Hücreleri.....	59
5.5.1 Lenfositler.....	60
5.5.2 B hücreleri ve antikorlar.....	60
5.5.3 B lenfositlerin aktivasyonu.....	62
5.5.4 Antikorlar.....	63
5.5.5 T hücreleri ve lenfokinler.....	65
5.5.6 Doğal öldürücü hücreler (nk, natural killer).....	67

5.5.7 Fagositler (hücre yiyiciler) .....	67
5.5.8 Kompleman sistemi.....	68
<b>6. YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ.....</b>	<b>69</b>
6.1 Yapay Bağışıklık Sisteminin Tarihsel Gelişimi .....	70
6.2 Yapay Bağışıklık Sisteminin Bileşenleri .....	72
6.2.1 Temel çerçeve .....	72
6.2.2 Şekil uzayı .....	72
6.2.3 YBS çerçevesi ve katmanları.....	72
6.2.4 Şekil uzayı ve afinite ölçümleri .....	74
6.3 Klonal Seçim .....	75
6.3.1 Klonal seçme prensibi .....	75
6.3.2 Afinite olgunlaşması.....	76
6.3.3 Bağışıklık hafızası .....	77
6.3.4 Somatik mutasyon.....	78
6.4 Öz-Yabancı ayrımı.....	78
6.4.1 Negatif seçim.....	79
6.5 Bağışıklık Ağı Teorisi.....	79
6.6 Yağay Bağışıklık Sistemi Uygulama Alanları .....	80
6.7 Klonal Seçim Algoritması İle İlgili Güncel Çalışmalar .....	80
<b>7. ELEKTROMANETİK ALANLARIN KLONAL SEÇİM ALGORİTMASI</b>	
<b>İLE TAHMİNİ .....</b>	<b>89</b>
7.1 Klonal seçim algoritması .....	89
7.2 Optimizasyon .....	90
7.2.1 Antikorların oluşturulması .....	92
7.2.2 Antikorların klonlanması .....	94
7.2.3 Antikorların hipermutasyona uğratılması.....	95
7.2.4 Hipermutasyona uğramış hücrelerin seçimi.....	97
7.2.5 Algoritmada kullanılan değişken parametreler .....	97
7.2.6 Hata analizi .....	113
<b>8. ELEKTROMANYETİK ALAN MARUZİYETİNE YÖNELİK YASAL</b>	
<b>DÜZENLEMELER.....</b>	<b>128</b>
8.1 ICNIRP (Uluslararası İyonlaşmamış Radyasyondan Korunma	
Komisyonu) Çalışmaları.....	130
8.2 Maksimum İzin Verilen Maruz Kalma Sınırları (MPE) Çalışmaları.....	134
8.3 Sınır Değerlerle Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	135
<b>9. SONUÇ.....</b>	<b>137</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>142</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>149</b>



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Akım
B	Manyetik akı yoğunluğu
c	Açısal dalga sayısı
D	Elektrik akı yoğunluğu
E	Elektrik alan şiddeti
$\epsilon_0$	Serbest uzayın elektrik geçirgenliği
$\lambda$	Doğrusal yük yoğunluğu
$\mu_0$	Serbest uzayın manyetik geçirgenliği
$\pi$	Pi sayısı

### Kısaltmalar

KFL	Kompakt flüoresan lamba
CISPR	Uluslararası Radyo Girişimi Komisyonu
Cm	Santimetre
GHz	Gigahertz
GSM	Global mobil iletişim sistemi
Hz	Hertz
ICNIPR	Uluslararası İyonlaşmamış Radyasyondan Korunma Komisyonu
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
KHz	KiloHertz
M	Metre
MHz	MegaHerz
RF	Radyo frekansı
TV	Televizyon
UV	Ultraviyole
W	watt
YBS	Yapay Bağışıklık Sistemi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Dalga boyu ve frekans .....	8
Şekil 2.2 Elektromanyetik Tayf (Anonim 2015).....	11
Şekil 3.1 Kompakt flüoresan lamba .....	13
Şekil 3.2 Kompakt flüoresan lamba iç yapısı (Onaylıgöl vd. 2004).....	14
Şekil 3.3 Dipolden yayılan elektromanyetik alan .....	15
Şekil 4.1 Deneyin yapıldığı yer.....	23
Şekil 4.2 Deneyde kullanılan kompakt flüoresan lambalar .....	23
Şekil 4.3 Deney düzeneği I .....	24
Şekil 4.4 Deney düzeneği II .....	24
Şekil 4.5 Deneyde kullanılan ölçüm cihazı.....	25
Şekil 4.6 8 W KFL 50-300 MHz elektrik alan.....	30
Şekil 4.7 8 W KFL 301-600 MHz elektrik alan.....	30
Şekil 4.8 8 W KFL 601-900 MHz elektrik alan.....	31
Şekil 4.9 8 W 50-300 KFL MHz manyetik alan .....	32
Şekil 4.10 8 W KFL 301-600 MHz manyetik alan .....	33
Şekil 4.11 8 W KFL 601-900 MHz manyetik alan .....	32
Şekil 4.12 15 W KFL 50-300 MHz elektrik alan.....	35
Şekil 4.13 15 W KFL 301-600 MHz elektrik alan.....	35
Şekil 4.14 15 W KFL 601-900 MHz elektrik alan.....	36
Şekil 4.15 15 W KFL 50-300 MHz manyetik alan .....	37
Şekil 4.16 15 W KFL 301-600 MHz manyetik alan .....	38
Şekil 4.17 15 W KFL 601-900 MHz manyetik alan .....	38
Şekil 4.18 30 W KFL 301-600 MHz elektrik alan.....	40
Şekil 4.19 30 W KFL 601-900 MHz elektrik alan.....	40
Şekil 4.20 30 W KFL 50-300 MHz manyetik alan .....	42
Şekil 4.21 30 W KFL 301-600 MHz manyetik alan .....	42
Şekil 4.22 30 W KFL 601-900 MHz manyetik alan .....	43
Şekil 4.23 50 W KFL 50-300 MHz elektrik alan.....	44
Şekil 4.24 50 W KFL 301-600 MHz elektrik alan.....	45
Şekil 4.25 50 W KFL 601-900 MHz elektrik alan.....	45
Şekil 4.26 50 W KFL 50-300 MHz manyetik alan .....	47
Şekil 4.27 50 W KFL 301-600 MHz manyetik alan .....	47
Şekil 4.28 73 W KFL 50-300 MHz elektrik alan.....	48
Şekil 4.29 73 W KFL 301-600 MHz elektrik alan.....	49
Şekil 4.30 73 W KFL 601-900 MHz elektrik alan.....	50
Şekil 4.31 73 W KFL 50-300 MHz manyetik alan .....	50
Şekil 4.32 73 W KFL 301-600 MHz manyetik alan .....	51
Şekil 4.33 73 W KFL 601-900 MHz manyetik alan .....	51
Şekil 4.34 73 W KFL 601-900 MHz manyetik alan .....	52

Şekil 5.1 Bağışıklık sistemi organları .....	59
Şekil 5.2 B ve T hücre farklılaşması .....	60
Şekil 5.3 B lenfositin olgunlaşması.....	61
Şekil 5.4 B hücre farklılaşması (Şahan 2004).....	61
Şekil 5.5 Dolaşan kanda ilk antijen enjeksiyonuna ve aylar sonra yapılan ikinci antijen enjeksiyonuna karşı gelişen antikor yanıtının zamana göre gelişimi .....	63
Şekil 5.6 Tipik bir IgG antikornun yapısı, iki hafif ve iki ağır polipeptid zincirini birleşmesiinden oluştuğunu göstermektedir. Antijen zincirlerinin değişken bölgelerinde iki ayrı uca bağlanmaktadır. (Çavuşoğlu vd. 2001).....	64
Şekil 5.7 Pozitif seçim (Şahan 2004) .....	66
Şekil 5.8 Negatif seçim (Şahan 2004).....	66
Şekil 5.9 Aktifleşen T hücre fonksiyonları (Kurdal 2008) .....	67
Şekil 6.1 Bir işlemsel zeka dalı olarak yapay bağışıklık sistemi .....	70
Şekil 6.2 YBS çerçevesi ve katmanları .....	73
Şekil 6.3 Tamamlayıcı bölgelerle tanıma.....	74
Şekil 6.4 Klonal seçim prensibi (Castro ve Zuben 2000) .....	76
Şekil 7.1 Klonal seçim algoritması diyagramı .....	90
Şekil 7.2 Optimizasyon uygulamaları için klonal seçim algoritmaları diyagramı (Castro ve Zuben 2001) .....	91
Şekil 7.3 8 W KFL için 50-30 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	98
Şekil 7.4 8 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	99
Şekil 7.5 8 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	99
Şekil 7.6 8 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	100
Şekil 7.7. 8 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	100
Şekil 7.8. 8 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	101
Şekil 7.9 15 W KFL için 50-5300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	101
Şekil 7.10 15 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	102
Şekil 7.11 15 W KFL için 61-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	102
Şekil 7.12 15 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	103
Şekil 7.13 15 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	103

Şekil 7.14 15 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	103
Şekil 7.15 30 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	103
Şekil 7.16 30 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	105
Şekil 7.17 30 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	105
Şekil 7.18 30 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	106
Şekil 7.19 30 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	106
Şekil 7.20 50 W KFL için 50-301 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	107
Şekil 7.21 50 W KFL için 300-601 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	107
Şekil 7.22 50 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	108
Şekil 7.23 50 W KFL için 50-301 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	108
Şekil 7.24 50 W KFL için 300-601 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	109
Şekil 7.25 50 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	109
Şekil 7.26 73 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	110
Şekil 7.27 73 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	110
Şekil 7.28 73 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları .....	111
Şekil 7.29 73 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	111
Şekil 7.30 73 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	112
Şekil 7.31 73 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları .....	112
Şekil 7.32 8 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	114
Şekil 7.33 8 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	114
Şekil 7.34 8 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	115

Şekil 7.35	8 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	115
Şekil 7.36	8 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	116
Şekil 7.37	8 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	116
Şekil 7.38	15 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	117
Şekil 7.39	15 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	117
Şekil 7.40	15 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	118
Şekil 7.41	15 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	118
Şekil 7.42	15 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	119
Şekil 7.43	15 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	119
Şekil 7.44	30 W KFL 31-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	120
Şekil 7.45	30 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	120
Şekil 7.46	30 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	121
Şekil 7.47	30 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısının hata miktarı karşılaştırması .....	121
Şekil 7.48	30 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı karşılaştırması .....	122
Şekil 7.49	50 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	122
Şekil 7.50	50 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	123
Şekil 7.51	50 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	123
Şekil 7.52	50 W KFL için 50-300 MHz aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	124
Şekil 7.53	50 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	124
Şekil 7.54	50 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	125
Şekil 7.55	73 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	125

Şekil 7.56	73 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	126
Şekil 5.57	73 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	126
Şekil 7.58	73 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	127
Şekil 5.59	73 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	127
Şekil 7.60	73 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması .....	128

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Elektrik alan ve manyetik alanın karşılaştırması (Sarıkahya 2014).....	7
Çizelge 2.2 Elektromanyetik spektrum çizelgesi .....	11
Çizelge 4.1 Cihazların bazı önemli teknik özellikleri (Anonim 2019 .....	22
Çizelge 4.2 8 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan ölçümü .....	26
Çizelge 4.3 8 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan ölçümü .....	26
Çizelge 4.4 15 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan ölçümü .....	26
Çizelge 4.5 15 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan ölçümü .....	27
Çizelge 4.6 30 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan ölçümü .....	27
Çizelge 4.7 30 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan ölçümü .....	27
Çizelge 4.8 50 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan ölçümü .....	27
Çizelge 4.9 50 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan ölçümü .....	28
Çizelge 4.10 73 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan ölçümü .....	28
Çizelge 4.11 73 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan ölçümü .....	28
Çizelge 4.12 8 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu.....	29
Çizelge 4.13 8 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu.....	31
Çizelge 4.14 15 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu.....	34
Çizelge 4.15 15 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu.....	36
Çizelge 4.16 30 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu.....	39
Çizelge 4.17 30 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu.....	41
Çizelge 4.18 50 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu .....	43
Çizelge 4.19 50 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu.....	46
Çizelge 4.20 73 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu .....	48
Çizelge 4.21 73 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu.....	51
Çizelge 5.1 Humoral ve hücrel bağışıklık karşılaştırması .....	57
Çizelge 8.1 10 GHz'e kadar elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar temel kısıtlamalar (1998).....	132
Çizelge 8.2 Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için mesleki sınır değerler (1998) .....	132
Çizelge 8.3 Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için genel kamu sınır değerleri (1998).....	133
Çizelge 8.4 Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlara 6 dakika ve daha f azla süreli maruziyet için temel kısıtlamalar (2018).....	133
Çizelge 8.5 Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlara 6 dakikanın altındaki maruziyet için temel kısıtlamalar (2018) .....	133
Çizelge 8.6 Bütün vücudun 100 kHz – 300 GHz aralığında elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için sınır değerler (2018) .....	134
Çizelge 8.7 Mesleki maruziyet sınırları.....	134
Çizelge 8.8 Genel kamu maruziyet sınırları.....	135

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşadığı mekânlarda sürekli olarak doğal veya yapay etkenlerden kaynaklı elektrik alan ve manyetik alanların etkisinde kalınmaktadır. Doğal alanlar, şimşek veya yıldırım gibi olaylara bağlı olarak ortaya çıkarlar. Diğer yandan, aydınlatmada kullanılan flüoresan vb. lambalar bulunduğu ortamlarda elektromanyetik alan oluşturmaktadır. Dünyanın iç gücünü yansıtan doğal manyetik alanların varlığı, bir pusulanın kuzey yönünün, Dünya'nın kuzeyini göstermesi ile kanıtlanabilir. Ses sistemlerinde mıknatıslanma ile oluşan yapay manyetik alan hoparlörün titreşmesini sağlayarak ses oluşumunu gerçekleştirir (Bayram 2017). Elektrik ve manyetik alan birbirleri ile iç içe geçmiş kavramlardır. Elektromanyetik (EM) alanlar ise elektrik alanının ve manyetik alanının birlikte bulunduğu durumu ifade etmektedir.

EM ortam; doğal elektromanyetik alan ve yapay elektromanyetik alan olmak üzere iki şekilde incelenmektedir. Doğal elektromanyetik ortam; uzaydaki ve güneşteki ışınlar ile atmosferdeki elektriksel boşalmalar (yıldırım, şimşek) gibi nedenlere bağlı olarak meydana gelir. Yapay elektromanyetik alan insan yapımı olan radyo frekanslı elektronik cihazlardan, sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Günlük hayatta kullanılan bu elektronik cihazlardan yayılan elektromanyetik alanlar uzun zamandır incelenmektedir (Güler vd. 2010).

Düşük enerjili foton ya da parçacıkların yayılımı; iyonize olmayan radyasyon olarak değerlendirilir. Ultraviyoleye yakın ışık, görünebilir ışık, mikrodalga, radyo dalgaları ve düşük frekanslı radyo dalgaları (uzun dalga) iyonize olmayan yayılıma örnektir. Kompakt flüoresan lambaların oluşturduğu radyo frekansları da iyonize olmayan yayılım kapsamındadır (Anonim 2015). Bu çalışmada iyonize olmayan radyasyon oluşturan kompakt flüoresan lambalardan yayılan elektrik ve manyetik alanın bulunabilmesi için laboratuvar koşullarında deneyler yapılmış, tek boyutlu koordinat düzleminde belirli noktalarda yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik ve manyetik alan değerleri, bir sezgisel optimizasyon yöntemi olan yapay bağışıklık sistemi algoritmasının bir parçası olan Klonal Seçim Algoritması aracılığı ile, ölçüm yapılmayan noktalardaki elektromanyetik alanların tahmin edilmesinde kullanılmıştır.



Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan yapay zekâ teknikleri, meta sezgisel araştırma yöntemleri olarak da bilinmektedir. Bu algoritmalar herhangi bir çözüme veya hedefe ulaşmak için farklı alternatifler içerisinde etkili olanları belirlemek için kullanılan kriterler veya bilgisayar yöntemleridir. Analitik çözüm yöntemleri ile çözüme ulaşan problemlerin sınırlı olması ve hesaplama sürelerinin uzunluğu araştırmacıları kapsamlı problemler için en iyi çözüm olmasa bile, iyi bir çözüme hızlı bir şekilde ulaşan yöntemlere yönelmiştir. Yapay zekâ optimizasyon algoritmaları, analitik çözüm yöntemleri için alt sınır veya üst sınır oluşturabilmesi açısından da önemlidir. Bu tür algoritmaları kesin bir çözüm garanti etmese bile amaca uygun bir çözümü bulmayı garanti edebilir (Çoşkun 2007).

Yapay Bağışıklık Algoritmaları, sezgisel algoritmalar alanında, Genetik Algoritma, Karınca Koloni Algoritması, Tabu Araştırma Algoritmaları gibi diğer sezgisel algoritmalara göre; daha yakın zamanda ortaya çıkan, güncel algoritmalar (Karaboğa 2014). Yapay bağışıklık sistemleri, teorik immünolojiden, bağışıklık fonksiyonları, prensipler ve modellerinden ilham alınarak oluşturulmuştur ve probleme göre uyarlanabilen adaptif sistemlerdir (Cisar 2014 ). Problemin tipine göre farklı mekanizmalar gelişmiştir. İmmün Ağ Modelleri dinamik ortamlarla başa çıkmak için kullanılırken, Klonal Seçim İlkesine dayanan algoritmalar optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılır. Negatif Seçim Stratejisi ise anomali tespitinde uygulanmaktadır. Her mekanizma kendi içinde ayrı araştırma alanları oluşturmuştur (De Castro 2000).

Tez kapsamında, Klonal Seçim İlkesi temelinde oluşturulmuş, Yapay Bağışıklık Sistemlerinin ana algoritmalarından olan Klonal Seçim Algoritması ile çalışılmıştır. Klonal Seçim Algoritması genel olarak, CLONALG şeklinde adlandırılır (Azadeh vd. 2014). Tez konusu olan problem kendi özelinde, mevcuttaki verilerden yola çıkarak ölçümü yapılmayan noktaların tahmin yöntemiyle bulunmasıdır. Bu açıdan problemin çözümünde güncelliğini koruyan sezgisel bir optimizasyon yöntemi olan Klonal Seçim Algoritması seçilmiştir.

Klonal seçim Algoritmasının işlem yaptığı üç ana operatör; seçim, klonlama ve hipermutasyon operatörü, daha yüksek afinite değeri olan (benzerliği fazla olan)

antikorların elde edilmesini, elde edilen afinitesi yüksek yeni antikorların hafıza hücresi olarak seçilmesini ve yeni mutasyonlar geliştirmede başarılı olmasını sağlamaktadır. Hafıza hücreleri ile araştırma uzayı daha detaylı incelenmektedir. Algoritmada kullanılan hipermutasyon operatörü; alt ve üst sınırlamalar kapsamında seçilen antikorlar arasındaki işlemler ile yeni antikorların elde edilmesini ve popülasyonun çeşitlilik kazanmasını sağlamıştır.

Kullanılan algoritma sonucu elde edilen tahmini veriler ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında popülasyonundaki veri sayısı arttıkça hata miktarlarının azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan deneyler, üzerinde çalışılan algoritma ve algoritma sonucu elde edilen tahmini verilerin doğruluğu incelendiğinde; her noktada ölçüm yapmak yerine daha az ölçüm sayısı ile daha kısa sürede ve daha az enerji harcayarak, kaynakları daha verimli kullanarak ve daha düşük maliyetle, fazla miktarda tahmini veri elde edilmiştir.

## 2. ELEKTROMANYETİK ALANLAR

### 2.1 Elektromanyetizma

Fiziksel evrende olaylar dört temel kuvvetle açıklanmaktadır. Dört temel kuvvet; nükleer kuvvet, zayıf etkileşim kuvveti (belirli radyoaktif temel parçacıklar arasındaki etkileşim), kütle çekim kuvveti ve elektromanyetik kuvvettir. Elektromanyetik kuvvet, atom ve moleküller gibi mikroskopik boyutlardaki yüklü parçacıklar arasında etkindir ve şiddeti nükleer kuvvetin yüzde biri düzeyindedir. Elektromanyetik kuvvet, atomik boyutta etkili olmasına rağmen etkileri hem boşlukta hem de malzeme ortamında elektromanyetik dalga yoluyla yayılabilir.

### 2.2 Elektrik Alan

Elektromanyetik alan, bir elektriksel bileşen ve bir manyetik bileşenden oluşur. Elektriksel alanın kaynağı elektrik yükü, yük birimi, coulomb (C ) olarak tanımlanır. Coulomb'un deneylerine göre; benzer iki yük birbirini iter; farklı yükler birbirini çeker. Kuvvet, yükleri birleştiren çizgi boyunca etkili olur ve şiddeti iki yükün büyüklüklerinin çarpımı ile doğru orantılı ve yüklerin birbirine olan uzaklığının karesiyle ters orantılıdır.

$$\vec{E} = \vec{R} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad (\text{V/m}) \quad (\text{serbest uzayda}) \quad 2.1$$

Eşitlik 2.1  $\vec{E}$  elektrik alanı göstermektedir. R yük ile gözlem noktası arasındaki uzaklık,  $\vec{R}$  yükten kaynaklanan birim vektörüdür.  $\epsilon_0$  , boşluktaki elektriksel geçirgenlik katsayısı olarak ifade edilen evrensel bir sabittir.

Aşağıdaki eşitlikte elektriksel alanı boşluktan herhangi bir ortama uygulamak için  $\epsilon_0$  yerine  $\epsilon$  yerleştirilir. Buradaki  $\epsilon$ , elektrik alanının ölçüldüğü malzemeye ait olan elektriksel geçirgenlik katsayısıdır ve Eşitlik 2.2 ile gösterilir.

$$\vec{E} = R \frac{q}{4\pi\epsilon R^2} \quad (\text{V/m}) \quad 2.2$$

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (\text{F/m}) \quad 2.3$$

Eşitlik 2.3'te bulunan  $\epsilon_r$ , görelî (bağıl) geçirgenlik katsayısı ya da malzemenin dielektrik katsayısı olarak ifade edilen birimsiz bir niceliktir. Elektrik alan  $\vec{E}$  ile ilişkili bir diğêr nicelik, elektrik akı yoğunluğudur (Yazgan vd. 2013).

$$D = \epsilon E \quad (\text{C/m}^2) \quad 2.4$$

### 2.3 Manyetik Alan

Elektromanyetik alanın iki temel bileşeninden ikincisi manyetik alandır. Fransız bilim adamları, küresel bir doğal mıknatısın yüzeyinde, bir iğnenin yerleştirildiğı farklı yerlerde farklı yönleri gösterdiğini gözlemişlerdir. İğnenin gösterdiğî doğrultular bir araya getirilince manyetik kuvvetin küreyi saran ve kürenin ortasındaki karşılıklı iki noktadan geçen manyetik alan çizgileri meydana getirdiğini bulmuşlardır. Bu noktaların varlığı, mıknatısın şeklinden bağımsız olup; kuzey ve güney kutupları oluşurlar. Bütün mıknatıslarda aynı kutupların birbirini ittiğı; farklı kutupların ise birbirini çektiğı gözlenmiştir.

Mıknatısın çevresindeki manyetik alan çizgileri manyetik akı yoğunluğu  $\vec{B}$ 'yi gösterir. Manyetik alan, sadece sabit mıknatıslarda oluşmaz. Elektrik akımı tarafından da oluşturulur.

Uzayda bulunan bir noktada; manyetik akı yoğunluğu  $\vec{B}$  ile iletkenden geçen akım  $I$  arasındaki ilişki günümüzde Biot-Savart yasası olarak bilinmektedir ve boşlukta z-

yönündeki çok uzun bir iletkenin geçen sabit I akımının meydana getirdiği manyetik akı yoğunluğu  $\vec{B}$ ,

$$\vec{B} = \vec{\phi} \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{T}) \quad 2.5$$

Eşitlik 2.5'te verilmiştir. Burada r akımdan radyan uzaklıktır ve  $\vec{\phi}$  akımın çevresinde oluşan manyetik alanın, akımı çevreleyen daireye teğet olduğunu gösteren azimut (yer düzlemi) yönündeki birim vektördür.  $\mu_0$  boşluğun manyetik geçirgenlik katsayısı olarak bilinir.

Eşitlik 2.5'te ortamın farklılığından dolayı;  $\vec{B}$ 'nin gözlemlendiği malzemenin manyetik geçirgenlik katsayısı olarak  $\mu$  kullanılabilir. Manyetik geçirgenlik katsayısı,  $\mu$  malzemenin manyetiklenme özelliklerini tanımlar. Eşitlik 2.6'da görüldüğü gibi herhangi bir malzeme için  $\mu$  aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\mu = \mu_r \mu_0 \quad (\text{H/m}) \quad 2.6$$

Eşitlik 2.6'da  $\mu_r$  boyutsuz bir niteliktir ve malzemenin bağlı manyetik geçirgenlik katsayısı olarak ifade edilir. Manyetik alan şiddeti  $\vec{H}$  'dir (Yazgan vd. 2013).

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad 2.7$$

#### 2.4. Elektrik alan ve Manyetik Alan Karşılaştırılması

Elektrik alanı, bir elektriksel yükün başka bir elektrik yükü üzerindeki çekme ya da itme kuvvetini ifade eder. Elektrik alanını elektrik yüklerinin varlığı meydana getirir. Bu nedenle, elektrik şebekesine bağlı bir lambanın tesisatı, içinde akımdan bağımsız olarak bir elektrik alan oluşturur. Bir cihazın beslenme gerilimi arttıkça, bunun sonucu olarak ortaya çıkan elektrik alanı da artar. Elektrik alan şiddeti kaynağından uzaklaştıkça

hızla azalır. Elektrik alanı ile ilgili olarak dikkat çeken bir nokta, yalıtkan olan küçük bir engelin bile (bina, ağaç vb.) elektrik alanı engellemesidir.

Manyetik alan, elektrik yükleri yer değiştirdiğinde, yani bir elektrik akımı olduğunda ortaya çıkar. Lamba yandığında, lambanın elektrik alanının dışında, besleme kablosundan lambaya geçen akımdan kaynaklı düşük frekanslı (50 Hz) manyetik alan da söz konusudur. Akımın artması, manyetik alanın da artmasını sağlar. Elektrik alanda olduğu gibi, manyetik alan şiddeti de mesafe ile ters orantılı olarak hızla azalır. Ancak; manyetik alan, elektrik alanda olduğu gibi herhangi bir engel tarafından neredeyse hiç engellenemez. Elektromanyetik alan (EMA), elektrik ve manyetik alanın bir araya gelmesiyle ortaya çıkar. Elektrik dalgası ve manyetik dalga birlikte ışık hızında hareket eder (Anonim 2011).

Çizelge 2.1 Elektrik alan ve manyetik alanın karşılaştırması (Sarıkahya 2014)

Elektrik Alan	Manyetik Alan
Elektrik alan şiddeti ve gerilim birbiri ile doğru orantılıdır.	Manyetik alan şiddeti ve akım birbiri ile doğru orantılıdır.
Cihazların açma / kapama düğmeleri kapalı olduğunda da elektrik alan oluşur.	Manyetik alanın oluşması için ortamda elektrik akımının bulunması gerekir. Bu sebeple cihazlar açık konumda bulunmalıdır.
Elektrik alan şiddeti, kaynağa olan uzaklık arttıkça azalır.	Manyetik alan şiddeti, kaynağa olan uzaklık arttıkça azalır.
Binadaki yapı malzemelerinin çoğunluğu elektrik alan için yalıtım etkisi oluşturabilir.	Manyetik alan şiddetini yalıtan, azaltan malzeme sayısı oldukça azdır.
Elektrik alan, duvarlardan geçemez, insan derisinden geçerken bile şiddeti çok azalır.	Manyetik alanları, özel olarak üretilmiş bazı maddeler dışında, hemen hiçbir madde engelleyemez.
Elektrik alan, insan bedeni üzerinde zayıf akımlar oluşturur.	Manyetik alanlar bedenin içine nüfuz eder ve bu tür zayıf akımların iç organlarda bile oluşmasına sebep olur.

## 2.5 Elektromanyetik Alan

Elektrik ve haberleşme teknolojileri elektromanyetik alanların temelinde oluşur. Maxwell denklemleri, elektrik ve manyetik alanların birbiri ile olan ilişkisini açıklamaktadır.

Maxwell denklemleri iki ana kural üstüne kurulmuştur: Bu kurallara göre; zamanla değişen elektrik alan, bir manyetik alan oluşturur ve zamanla değişen manyetik alan, bir elektrik alan oluşturmaktadır. Denklem 2.8-2.11 arasında Maxwell denklemleri verilmiştir (Yazgan vd. 2013).

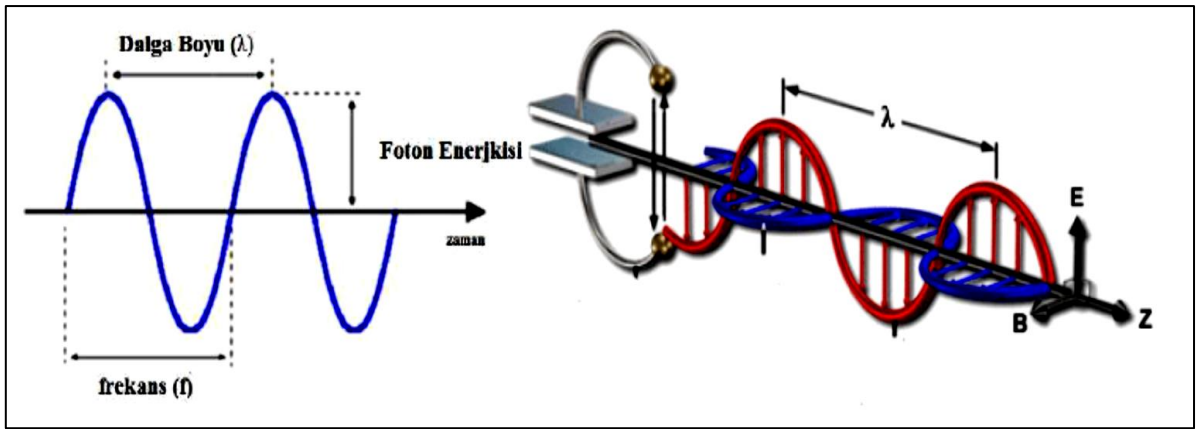
$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad 2.8$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad 2.9$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad 2.10$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad 2.11$$

Şekil 2.1’de kırmızı renkle gösterilen elektrik alanın zamanda sürekli değişimi mavi renkle gösterilen manyetik alanın meydana gelmesine sebep olmaktadır (Güner 2014).



Şekil 2.1 Dalga boyu ve frekans

Zamanla değişen kaynaklardan oluşan elektrik ve manyetik alanlar çevreye elektromanyetik ışımaya (radyasyon) ile yayılırlar.

### **2.5.1 Doğal elektromanyetik alanlar**

İnsan eli ile yapılan cihaz ve mekanizmalarda oluşan elektromanyetik alanlar dışındaki tüm elektromanyetik alanlar, doğal elektromanyetik alandır. Doğal elektromanyetik alanlar canlıların devamlılığı için evrenin oluşumundan beri etkisini göstermektedir. Dünya, yerküre merkezinde yarı sıvı halde bulunup, 40 µT değerlerinde elektromanyetik alan yayan bir mıknatısın üzerinde bulunmaktadır. Güneşten Dünyaya gelen elektromanyetik ışımaya bir saniyede bir m<sup>2</sup> 'ye 1400 Joule enerji yaymaktadır. Dünyayı içten ve dıştan saran bu tür olaylar doğal elektromanyetik alanlardır (Bayram 2017) .

### **2.5.2 Yapay elektromanyetik alanlar**

İnsanların eli ile yapılan cihaz ve mekanizmalarda oluşan elektromanyetik alanlar, yapay elektromanyetik alanlardır. Elektrik ileten veya elektrikle çalışan her şey yapay bir elektromanyetik alan kaynağı olur (Bayram, 2017).

## **2.6 Elektromanyetik Radyasyon**

EM radyasyon, EM dalgalar veya parçacık şeklinde nesnelere ve insan vücuduna nüfuz eden enerji yayılımıdır. Atom ya da moleküllerin yörüngelerinde elektron alış verişi yapıp iyonlara dönüşmesine iyonlaşma adı verilir. EM radyasyon maddeye olan etkisine göre iyonlaştıran (Ionizing Radiation) ya da iyonlaştırmayan (Non-Ionizing Radiation) şeklinde ifade edilir. EM radyasyon bir maddeye ulaştığında, maddenin atomlarındaki elektronların, yörüngeden ayrılmasını sağlayan enerjiye EM iyonlaştırıcı radyasyon denir. İyonlaştırmayan EM radyasyon, atom ya da moleküllerden elektron koparmaya



yetecek enerjiye sahip değildir. İyonlaştırıcı olmayan EM radyasyonda; dalga boyu 100 nm’den uzun, radyasyonun enerjisi 12 eV’ dan düşüktür (Bayram 2017).

EM kaynaklar, radyasyon ve alan formundadır. Radyasyon kaynaktan uzağa gidebilir ve kaynak kapatılsa bile varlığı devam eder. Parçacık formunda olan elektrik ve manyetik alanlar EM kaynağın yakınında oluşur ve kaynak kapatıldığında alanlarda sonlanır (Güler vd. 2010).

## 2.7 Elektromanyetik Spektrum

Bir EM dalganın boşluktaki faz hızı, ışığın boşluktaki hızı  $c$ ’ ye eşittir ve bu evrensel bir sabittir. Boşluktaki bir EM dalganın dalga boyu  $\lambda$  , salınım frekansı  $f$  ‘ye bağlıdır (Yazgan vd. 2013).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad 2.12$$

Eşitlik 2.12’deki frekans ve dalga boyu arasında ters orantı bulunmaktadır; EM dalganın frekansının azalması dalga boyunu arttırırken, artması azaltmaktadır. EM dalganın yaydığı enerji (foton enerjisi) ise frekans ile Planck sabitinin “ $h$ ” çarpımı ile bulunur.

$$E = h.f \quad 2.13$$

Eşitlik 2.13 düzenlendiğinde “  $E(\text{eV}) = \frac{h.c}{\lambda}$  ” bağıntısı elde edilir. Burada; EM alanın dalgalar halinde yayılan enerjisi dalga boyu ile ters orantılı, frekansla doğru orantılıdır (Yazgan vd. 2013). Şekil 2.2’de, EM spektrum; radyo-tv ve görünür ışığın içeriği ile birlikte sunulmuştur.



### **3. KOMPAKT FLÜORESAN LAMBA**

#### **3.1 Aydınlatma ve Tarihçesi**

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) 'nun uygun görülen tanımla, çevrenin ve nesnelerin gerektiği gibi görülebilmesini sağlayan ışık uygulamasına aydınlatma denir (Perdahçı ve Hanlı 2009).

Yapay aydınlatmanın geçmişi ateşle başlamış, gaz lambası ile devam etmiş, ve mumla aydınlatmaya kadar eskiye gitmiştir. Thomas Edison'un geliştirdiği akkor lambanın kısa sürede ticari olarak kabul edilmesi ve kullanılması ile elektriksel aydınlatmada önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Akkor lambalarda aydınlatma; basit bir dirençten oluşan devrede flaman lamba teline elektrik akımı uygulaması ile oluşur. Elektrikli ışık kaynaklarının en temel uygulaması olarak kabul gören akkor lambalar daha sonra üretilen lamba tiplerine göre ortam sıcaklığından daha az etkilenirler.

Elektrikle aydınlatmada kullanılan kaynaklarından bir diğeri ise 1930'lu yılların sonlarına doğru ortaya çıkan flüoresan lambalardır. Standart bir flüoresan lambada temel yapıyı, iç yüzeyi fosforla kaplanmış olan cam tüp içerisindeki soy gazlar ve az miktarda cıva oluşturmaktadır. Katotların lamba içerisinde oluşturduğu ark ile cıva buharlaşır ve ultraviyole ışık meydana gelir. Meydana gelen ultraviyole ışığın cam tüp içerisinde fosforla reaksiyona girmesiyle gözle görülür ışık oluşur. Ayrıca lambaya gelen enerjiyi kontrol etmek için balast adı verilen bir akım düzenleyici ve lambanın çalışmasını sağlayan başlatma mekanizması (starter) gereklidir.

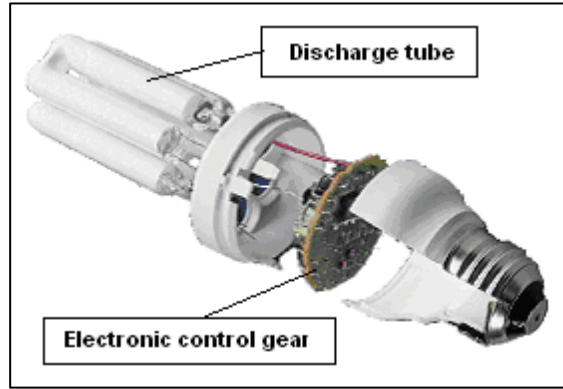
Flüoresan lambalarda elektronik veya elektromanyetik balastlar kullanılır ama yapıyı hafifletmek için kompakt flüoresan lambalarda elektronik balast kullanımı tercih edilmektedir.

Kompakt flüoresan lambalar (KFL) 1970'li yıllarda tasarlanmasına rağmen üretim maliyetinin yüksekliği nedeniyle 1990'lı yıllara kadar ticari anlamda yerini bulamamıştır. Kompakt flüoresan lambalar uzun süre kullanılabilen, enerji tasarrufu sağlayan lambalardır. İlk üretilen KFL'ler, kullanılan balastların yangına sebebiyet

vermesi nedeniyle ayrıca; lamba içinde bulunan yüksek miktardaki civa nedeniyle çevrecileri tepkisini çekmiştir. Günümüzde daha güvenli hale gelen KFL'ler, enkandesan lambaların yerini almıştır ve iyi bir alternatif haline gelmiştir (Yüce vd. 2014).

### 3.2 Kompakt Flüoresan Lambanın Çalışma Şekli

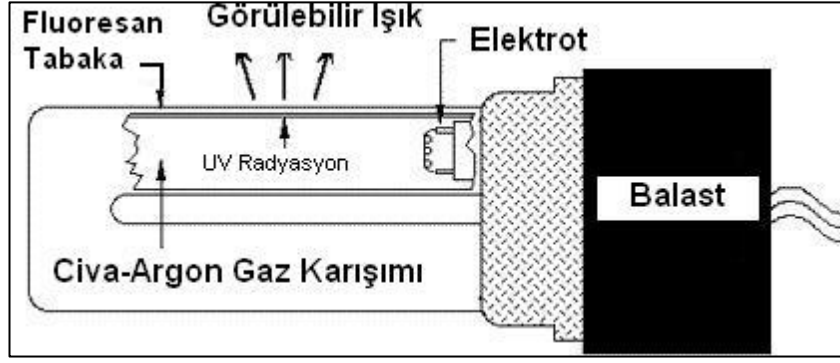
Enkandesan lambaları kolay kullanılabilir yapan bazı özellikler vardır ve müşteri memnuniyetini kazanabilmek için bu özelliklerin kompakt flüoresan lambalarda da yerine getirilmesi gerekir. Burada kompakt flüoresan lambalardan beklenen diğer özellikler, lambanın güvenli bir şekilde açılması, yanıp sönmeye yapmayan kararlı bir ışık çıkışı vermesi veya lambanın ışık çıkışının düzenli olması olarak belirtilebilir. Lambayı bu özellikleri sağlayarak çalıştırmak için elektronik kontrol düzeneği (balast) kullanılmaktadır. Sistem; deşarj tüpü, balast ve aralarındaki kablolardan oluşur. Şekil 3.1'de kompakt flüoresan lamba resmi, Şekil 3.2'de ise bu lambanın iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Kompakt flüoresan lamba

Flüoresan lambalar ve kompakt flüoresan lambalar düşük basınçlı gaz deşarj lambalarıdır, elektronların yayılımı ısı yükleri yoluyla sağlanır. Lamba, aslında üzeri emisyon karışımı (çıplak tungstenin işlevini azaltmak için kullanılan toprak alkali metallerin oksitleri) kaplı, içi asal gaz (genellikle argon veya neon, kripton karışımı) ve civa doldurulmuş, elektrotlu deşarj tüpüdür. Tüp içerisindeki civa çoğunlukla amalgam

şeklinde dozlanır. Civa atomları deşarj tüpünde elektronların çarpışmasıyla uyarılır. Bu uyarılma ile UV aralığında yüksek miktarda enerji yayılır. UV aralığındaki enerji deşarj tüpünün i  duvarında flüoresan toz aracılığıyla izlenebilir ışığa dönüştürülür (Schmidt ve Berta 2011).

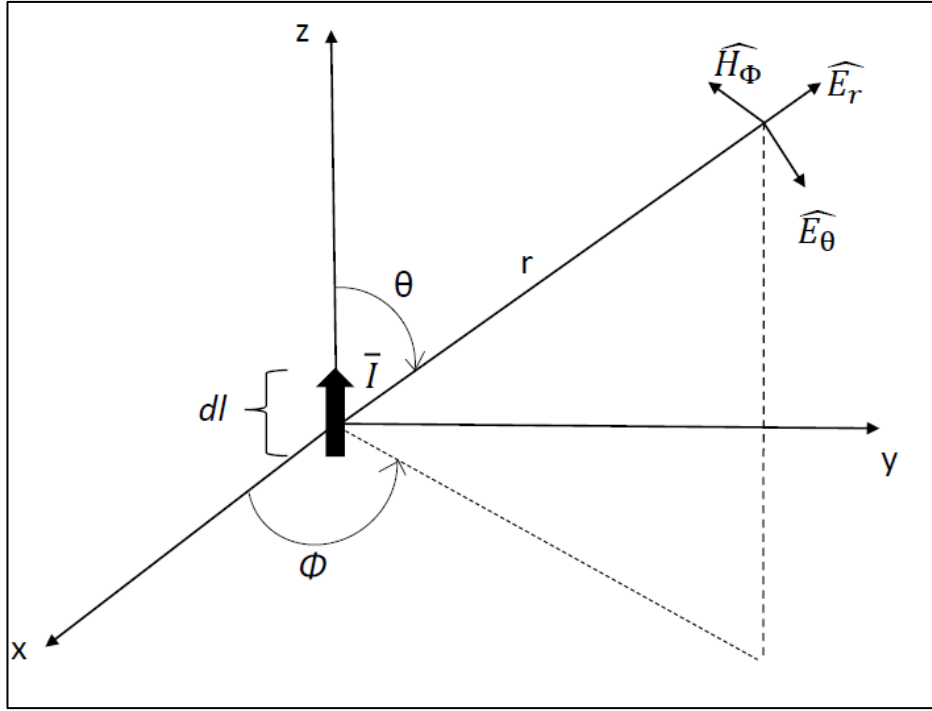


Şekil 3.2 Kompakt flüoresan lamba iç yapısı (Onaylığ l vd. 2004)

### 3.3 Kompakt Flüoresan Lambalardan Yayılan Elektromanyetik Alan

Kompakt flüoresan lambalarla ilgili frekans bantları; SLF, ULF, VLF, LF, MF, HF ve VHF'dir. KFL'den yayılan dalga yapısı, dipol yardımıyla açıklanabilir.

Dipol'den yayılan elektromanyetik alan 3 ortogonal pozisyondadır. Bu yayılma ile ilgili elektrik alan ve manyetik alanın bileşenleri 3.1-3.3 arasındaki formüllerle ifade edilir. Şekil 3.3'de dipol'den yayılan elektromanyetik alan gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Dipolden yayılan elektromanyetik alan

Bahse konu formüllerde,  $I$  (A) akım,  $\lambda$  (m) dalga boyu,  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$  ( $\frac{1}{m}$ ) faz sabitidir ve  $Z_0 = 120 \pi$  (ohm) uzayın karakteristik empedansdır.

$$E_\theta = j \frac{60\pi I dl}{\lambda} \left( \frac{1}{r} - \frac{j}{\beta r^2} - \frac{1}{\beta^2 r^3} \right) \sin \theta e^{j(\omega t - \beta r)} \quad 3.1$$

$$H_\phi = j \frac{1}{Z_0} \frac{60\pi I dl}{\lambda} \left( \frac{1}{r} - \frac{j}{\beta r^2} \right) \sin \theta e^{j(\omega t - \beta r)} = j \frac{I l}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{j}{\beta r^2} \right) \sin \theta e^{j(\omega t - \beta r)} \quad 3.2$$

$$E_r = j \frac{120\pi I dl}{\lambda} \left( \frac{-j}{\beta r^2} - \frac{1}{\beta^2 r^3} \right) \cos \theta e^{j(\omega t - \beta r)} \quad 3.3$$

Yukarıdaki eşitliklerde,  $r^{-1}$  ışımının olduğu uzak alanları ifade ederken,  $r^{-2}$  ve  $r^{-3}$  terimleri yakın alanları ifade etmektedir. Uzak alanlar, sadece  $E_\theta$  ve  $H_\phi$  'de bulunmaktadır.

Dipole çok yakın yerlerde, yakın alanları değeri, ışıma yapılan alanın değerinden daha büyükken, dipole olan uzaklığı arttırırsak, yakın alanların değeri, uzak alanların değerine göre daha fazla azalır.  $r > \lambda/2\pi$  'den büyük olduğu değerde ise yakın alanların değeri ihmal edilebilecek miktarda olur ( Schmidt ve Berta 2010).

### **3.4 Kompakt Flüoresan Lambaların Elektromanyetik Alanlarının Ölçümlendiği Önemli Çalışmalar**

Kompakt flüoresan lambaların radyo frekanslı elektromanyetik dalgalarının incelenmesi ile ilgili daha önce yapılan önemli deneysel çalışmalar araştırılmıştır.

İncelenen ilk deneyde; deney yöntemi IEC (Uluslararası Elektromanyetik Komisyonu) 62493/2009 standartlarına göre geliştirilmiştir. Deneyde, elektronik balastlı kompakt flüoresan lambanın elektromanyetik uyumluluğunu incelemek için ortalama bir insanın başı büyüklüğünde (21 cm) küre şeklinde iletken bir sensör kullanılmıştır. Dışarıdan sinyal geçirmeyen izoleli bir odada, kompakt flüoresan lambadan yayılan ışık, küre tarafından toplanmakta ve bir analizör yardımıyla değerlendirilmektedir. Analizör, 20 KHz – 10 MHz aralığındaki frekans değerlerini baz alarak çalışmaktadır. Testin uygulanmasında lambanın stabilize çalışması için gereken süre, test edilen lamba ve küre arasındaki mesafe de (en az 50 cm) önemlidir. Ölçümlerden elde edilen alan değerlerin, standart kapsamında uygun görülen alan değerlerine oranı F faktörüyle ifade edilir. ICNIPR 1998 ve ICNIPR 2010 (Uluslararası İyonlaşmamış Radyasyondan Korunma Kurulu) yayınlarına göre; 1 KHz-10 MHz frekans aralığında, maruz kalınan elektromanyetik alan en fazla  $F=1$  değerinde olmalıdır. Bu; deney izoleli bir ortam bulunmadığı için bir laboratuvarda yapılmıştır. 11 W ve 36 W değerinde iki tane kompakt flüoresan lamba küresel sensörün 50 cm uzağına yerleştirilmiş ve lambanın çalışmasıyla en az 15 dakika ölçüm yapılmıştır. Ortamda küreye 1 metreden daha yakın mesafede herhangi bir iletken bulunmamaktadır. Ölçümlere başlamadan önce arka plandaki gürültülerinde ölçümü yapılmıştır. Sonuçta, o deney izoleli bir test ortamında yapılamamasına rağmen 50 cm uzaklıkta, 11 W lambanın F faktörü; 0,0075, 36 W lambanın F faktörü 0,0095 olarak, 20 cm uzaklıkta ise 36 W lambanın F faktörü 0,0184 olarak hesaplanmıştır. Her 10 cm 'de F faktöründe 3 dB $\mu$ V' lik artış olmuştur. Ancak değerler  $F=1$  değerinin çok altında kalmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus

kompakt flüoresan lambadan yayılan elektrik alanın değerinin, lambanın gücüyle aynı oranda değişmemesidir (Baran ve Leonida, 2015).

İncelenen ikinci deneysel çalışmada; ölçümler çevreden gelen radyo frekanslarının ölçümleri etkilememesi için, yarı izoleli bir odada yapılmıştır. Elde edilen değerler, CISPR 22 (Uluslararası Radyo Girişimi Komisyonu) uluslararası standardı tarafından uygun görülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Deneyde, 21 W kompakt flüoresan lamba yerden 0.8 m yükseklikte yalıtkan bir masaya yerleştirilmiş, masanın bir metre uzağına alıcı bir anten koyulmuş ve RF kablo vasıtasıyla anten analizöre bağlanmıştır. Kompakt flüoresan lambadan yayılan radyo frekanslarının ölçümü, kompakt flüoresan lambanın parçaları birbirinden ayrılarak yapılmış sonrasında da kompakt lamba modülü ferit bir kutunun içine yerleştirilerek, hangi parçada radyo frekanslı bozulma olduğu incelenmiştir. Deneyde, anahtar lambayı açtıktan sonra tekrar kapatılmamıştır ve elektromanyetik bozulma anahtar ilk açıldığı sırada gerçekleşmiştir. Anahtar 5 saniye açık bırakılıp kapatılmış, bu işlem 10 defa tekrarlanarak ölçüm yapılmış ve elektromanyetik bozulmanın fazla olduğu görülmüştür. Deneyin devamında lamba parçalarına ayrılarak 1 MHz -100 MHz aralığında yapılan ölçümlerde, farklı frekans değerlerinde, standartta belirtilen değerlerin üstünde değerler görülmüştür. Kompakt flüoresan lambanın hangi parçasının elektromanyetik alan ürettiğini tespit etmek için aynı lambanın flüoresan tüp kısmı ferit bir kutunun içine yerleştirilmiştir. Ölçümlerde, 10 MHz-100 MHz frekans bandında elektromanyetik alan yayılımı görülmemiştir. Sonuç olarak; kompakt lamba modülü 10-100 MHz frekans aralığında bir anten gibi davranıp elektromanyetik dalga yaymaktadır ve anahtarların birkaç kez açılıp kapatılması kompakt flüoresan lambada yüksek derecede elektromanyetik yayılıma neden olmaktadır (Coca vd. 2011).

İncelenen üçüncü deneysel çalışmada; ölçümler, İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Kurulu'nun (ICNIRP) 2010 yılında yayınladığı, ara frekans değerleri ( 300 Hz-10 MHz) aralığında yapılan ölçümler baz alınarak elde edilen değerler kapsamında gerçekleştirilmiştir (Anonymous,1992). Ölçüm ekipmanları olarak bir analizör ve 9 kHz-30 MHz aralığında ölçüm yapan bir prob kullanılmıştır. İlk önce, ara frekans kaynağı yakınındaki elektrik alan ve manyetik alanın frekans spektrumu saptanmıştır.



İkinci olarak, insanların yoğun olduğu yerlerde elektrik alan ve manyetik alanın dar bant ölçümleri yapılmıştır. Son olarak, ara frekans kaynağından belirli uzaklıklarla ölçüm yapılarak, elektrik alan ve manyetik alanda uzak durulabilecek en uygun mesafe belirlenmiştir. 6 tane kompakt flüoresan lamba üzerinde; 0 cm, 5 cm, 15 cm, 20 cm ve 50 cm uzaklıktan ölçümler yapılmıştır. Evde, mutfakta yapılan ölçümlerde, kompakt flüoresan lambaya 5 cm mesafede elektrik alan ölçümleri, kamu için uygun görülen referans değerlerin yaklaşık 1,5 katı kadar fazla çıkmıştır. kompakt flüoresan lambaya 15 cm mesafede yapılan ölçümler referans değerlerin 1,2 katı kadar fazla çıkmıştır. 20 cm ve daha üzeri mesafelerde ise referans değerler sağlanmaktadır. Manyetik alan ölçümleri ise herhangi bir uzaklıkta referans değer sınırlarını aşmamıştır. Deneyin sonucunda; yerinde yapılan ölçümlerde kompakt flüoresan lambaların 25 cm uzağında bulunmanın referans değerlere uygun olduğu ve kamu sağlığı açısından tehlike teşkil etmediği görülmüştür (Bossche vd. 2014).

İncelenen dördüncü deneysel çalışmada; 20 Hz-1 MHz aralığında ölçüm yapan bir loop ve loopa bağlı bir analizör kullanılmıştır. Çalışma sırasında lamba ve loop arasında farklı mesafelerde ölçüm yapılarak her noktada en yüksek manyetik alan değerleri elde edilmesi amaçlanmıştır. Lambanın radyo frekans alan şiddetinin en yoğun olduğu yer, lambanın başlığı ile flüoresan tüpün ortası arasında kalan bölgedir. Manyetik Alan Ölçümleri A sınıfı bir lamba ve B sınıfı bir lambanın manyetik alan ölçümleri gerçekleştirilmiştir. A ve B sınıfı farklı güç değerinde iki lamba grubunu ifade etmektedir ve aynı güç değerindeki lambalardan farklı manyetik alan değerleri ölçülmüştür. Manyetik alan değerlerindeki farklılık, lambaların güç değerleri, tüp sayısı veya tüp boyutundan değil lambalarda kullanılan balastlardan kaynaklanmaktadır. A ve B sınıfı lambalardan birer numune alarak loopa olan uzaklıklarına göre ölçümler elde edilmiştir. Buna göre, lambalara ait eğriler karşılaştırıldığında iki eğri birbirine neredeyse paralel olup, a değerine göre  $1/r^a$  oranında azalmakta ve manyetik alan, mesafenin artmasına bağlı olarak hızlı bir şekilde azalmaktadır. Başka bir çalışmada ise; yerinde yapılan ölçümlerde, 30 W lambanın 30 cm uzağında 140 saniye süreyle 5 kHz-100 kHz aralığında elektrik alan ölçümü yapılmıştır. Lamba kapalıyken odadaki elektrik alan 0.3 V/m, manyetik akı 0,07  $\mu$ T olarak ölçülmüş, lamba açıldığında ilk saniyelerde elektrik alan 35 V/m değerine kadar artmış ve sonrasında ortalama 17,7 V/m civarında

kalmıştır. Manyetik akı ise ortalama 0,2  $\mu$ T olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak; ICNIRP 2001 verileri dikkate alındığında, 3 KHz-150 KHz aralığında elektrik alan için 87 V/m ve manyetik akı için 6,25  $\mu$ T, maruziyet sınırları dikkate alındığında yapılan ölçümler (elektrik alan için ortalama 17,7 V/m ve manyetik alan için 0,2  $\mu$ T ) sınır değerlerinin altında kalmıştır (Letertre vd. 2009) .

İncelenen beşinci deneysel çalışmada; ölçümler EN 55015 standartlarına göre yapılmış olup, laboratuvar ortamında yalıtkan bir masanın üzerine gerçekleştirilmiştir. 36 W kompakt flüoresan lamba, anten ve 9 kHz – 3 GHz aralığında frekans ölçen bir test alıcısı kullanılmıştır. Oda izoleli olmadığı için ilk önce arka plandaki gürültüler incelenmiştir. Test ortamında, anten seviyesindeki test edilen lamba dışında açık vaziyette birçok lamba bulunmaktadır. 1-100 KHz aralığında yapılan ölçümlerde, açık olan lambalara rağmen, arka plan gürültüleri 10 dB $\mu$ V ‘ un altında kalmıştır. 100 KHz – 1 GHz aralığında ise gürültü oranlarında artışlar görülmüştür. Gürültü artışlarının nedeni, ölçüm yapılan yerin yakınlarındaki bir TV (televizyon) verici istasyonu ve GSM (mobil iletişim sistemi) istasyonu bulunmasından kaynaklanmaktadır. Gürültü sinyalleri ayırt edildikten sonra lamba testleri başlamıştır. Lambanın frekans spektrumunda sinyal seviyesindeki ilk artış lamba açıldığında 61 kHz’de 40 dB $\mu$ V, sinyal seviyesindeki ikinci artış 2 saniye sonra 37 KHz’ de 33 dB $\mu$ V olarak ölçülmüştür. 100 kHz- 1 MHz frekans değerleri arasında çok sayıda gürültü seviyesi gözlenmiş ancak, 1 MHz ve üzeri frekanslarda önemli bir yayılım görülmemiştir. Lambanın antene olan uzaklığı, 20 cm- 2 m arasında incelendiğinde, yaklaşık 1,5 m’ den sonra sadece arka plan gürültüleri görülmektedir. Sonuç olarak, 1 KHz- 1 MHz aralığında farklı frekans aralıklarında lambalardan yayılan radyo frekanslarının yayılımı incelenmiş, arka plan gürültülerinin ölçümlere olan etkisi görülmüş ve kaynağın alıcıya olan uzaklığına göre gürültü değerleri elde edilmiştir (Kvasznicza ve Elmer 2006).

İncelenen altıncı deneysel çalışmada; 4 farklı üreticiden 19 farklı lamba kullanılmış olup, lambaların güçleri 11-23 W arası değişmektedir. Lambalar incelenmesinde lamba şekli de göz önünde bulundurulmuş ve ölçümler, x ve y koordinat düzleminde yapılmıştır. Ölçümlerde, bir prob ve 1,2 -100 KHz frekans aralığında ölçüm yapan bir analizör kullanılmıştır. Farklı frekans değerleri için yapılan ölçümlerde, farklı güç değerlerinde, üç farklı lamba şekli 216 V/m ile 42 V/m değerleri arasında farklı elektrik

alan değerleri ölçülmüştür. Ölçümlerde en yüksek ve en düşük elektrik alan değerleri 11 W kompakt flüoresan lambalarda görülmüştür. En yüksek elektrik alan değerine sahip olan 11 W değerindeki lambanın x ve y koordinatlarına göre yüzey eğrileri incelendiğinde, kaynaktan uzaklaştıkça, elektrik alanda hızla azalma olduğu gözlemlenmiştir (Bakos vd. 2010).

İncelenen yedinci deneysel çalışmada; deneyler, elektromanyetik bozulmayı önlemek ve kontrollü bir ölçüm ortamı sağlamak için ekranlı bir muhafaza içinde yapılmıştır. Metal muhafaza 3,7 x 2,2 x 2,6 ebatlarındadır. Ölçüm, 9 KHz- 30 MHz aralığında ölçüm yapan Narda EHP 200 ölçüm cihazı ile 10 kHz-1 MHz aralığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, 11 adet kompakt flüoresan lamba kullanılmış olup, lamba zeminden 1,2 metre yüksekte bulunmaktadır. Elektrik alan ve manyetik alan ölçümlerinde ortamın gürültü seviyesi ICNIRP (1998) referans seviyelerinin %1 'inden daha azdır. Her KFL için 150 mm ve 300 mm mesafelerdeki elektrik alan seviyesi referans değerlerin üzerindedir. 150 mm mesafede manyetik alan değerleri ise referans değerlerin ICNIRP (1998)'in %3'ü, ICNIRP (2010)'un %1'i kadardır. Deneyde dikkat edilen bir diğer hususta, flüoresan tüplerin simetrik yapısı nedeniyle spiral tüplü KFL' ler de manyetik alanın iki tüplü flüoresan tüplü KFL' lere göre daha düşüktür. Dikey eksen boyunca yapılan iki boyutlu ölçümlerde, lambaya en yakın mesafeden 120mm, 0 mm, -120 mm ve -250 mm için ölçülen elektrik alan değerleri sırasıyla 300 V/m, 100 V/m, 30 V/m ve 10 V/m 'dir ve bu değerler ICNIRP değerlerinin üzerindedir (Nadakuduti, 2012).

İncelenen sekizinci deneysel çalışmada; FA306 elektromanyetik alan analiz cihazı kullanılarak, çeşitli ev aletlerinin deneysel ölçümleri gerçekleştirilmiş ve 4 adet 18 W'lık KFL analiz edilmiştir. 0.05 metre, 0.1 metre, 0.15 metre, 1 metre ve 2 metrede yapılan ölçümlerde sırasıyla elektromanyetik alan değerleri,  $0.8 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ,  $0.8 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ,  $0.8 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ,  $0.8 \mu\text{W}/\text{m}^2$  ve  $0.63 \mu\text{W}/\text{m}^2$ , manyetik alan değerleri 2,03  $\mu\text{T}$ , 0,44  $\mu\text{T}$ , 0,9  $\mu\text{T}$ , 0,03  $\mu\text{T}$  ve 0,03  $\mu\text{T}$ , elektrik alan değerleri 32 V/m, 20 V/m ,11,2 V/m, 1 V/m ve 0,3 V/m olarak ölçülmüştür ve sonuç olarak, KFL' lere 1 metreden daha az yaklaşılmaması önerilmiştir (Iagăr, 2017).

## 4. DENEYİN YAPILIŞI

### 4.1 Deney Ortamı ve Deneyde Kullanılan Ekipman

Deney, Ankara Üniversitesi Gölbaşı Kampüsü Elektrikli Ev Aletleri Ölçme ve Değerlendirme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deney yapılan laboratuvarın yüksekliği 2.3 metre ve lambanın askı boyu 20 santimetredir. Lambanın bulunduğu noktadan itibaren 10 santimetre aralıklarla 11 noktada (1 metre) ölçüm yapılmıştır. Ölçüm yapılan oda, dışarıdan sinyal geçirmeyen izoleli bir ortamdır. Bu sebeple, deney üzerinde ölçüm yapılan kompakt flüoresan lambadan yayılan ışın dışında ölçümü etkileyen herhangi bir sinyal kaynağı etkili olmamıştır. Şekil 4.1'de ilgili laboratuvarın girişi görülmektedir. Deneyde kullanılan farklı tip ve güç değerlerindeki kompakt flüoresan lambalar Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekil 4.3 'de ölçümlerin uygun biçimde gerçekleştirilmesi için tarafımda yapılan düzenek deney esnasında laboratuvarında sadece düzenek üzerinde bulunan lambalar gösterilirken, Şekil 4.4 'de ölçümlerin gerçekleştirildiği düzenek ve ölçümlerin yapıldığı ortamın net bir şekilde görünebilmesi için laboratuvardaki lambalar da açılmıştır.

Deneyin amacı, algoritmada giriş verisi olarak kullanmak için aşağıda bahsi geçen güç değerlerinde kompakt flüoresan lambaların elektrik alan ve manyetik alan ölçümünün yapılmasıdır. Deneyde; 50-300, 301-600, 601-900 MHz frekans aralıklarında 8, 15, 30, 50 ve 73 W değerindeki kompakt flüoresan lambaların, kompakt flüoresan lambaya en yakın noktadan lambanın yüksekliği boyunca yere doğru, 0-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100 cm'de her lamba için manyetik alan ve elektrik alan ölçümü yapılmıştır. Manyetik alan için mA/m, elektrik alan için V/m birimleri kullanılmıştır.

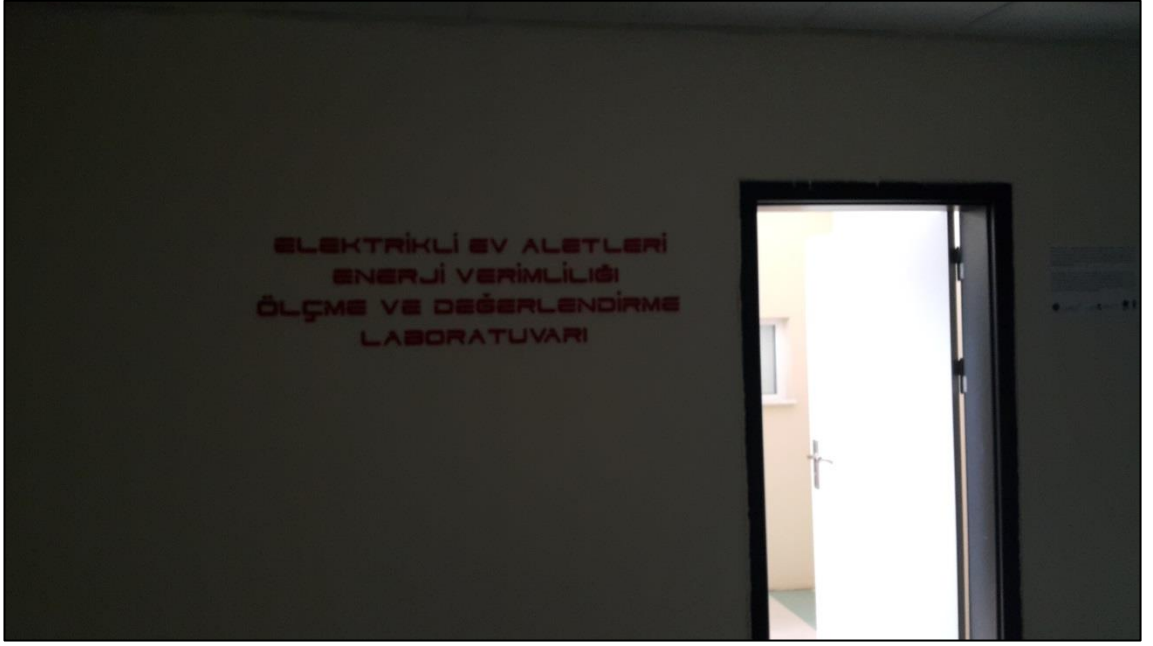
İlk olarak; 50-300 kHz frekans aralığında 0-25-50-75-100 cm için 8, 15, 30, 50 ve 73 W değerindeki kompakt flüoresan lambaların manyetik alan ve elektrik alan ölçümü yapılmıştır ve daha önceki çalışmaların da desteklediği gibi elektrik alan ve manyetik alan değerlerinin, ışık kaynağından uzaklaştıkça azaldığı görülmüştür. Bu inceleme, incelenen çalışmalardaki deney ortamlarının sağlıklı bir şekilde gerçekleştirildiğini,

incelenen çalışmalarla yapılacak deneylerin paralellik gösterdiğini ve deneyde kullanılan ölçüm cihazının doğru bir şekilde çalıştığını belirtmek için önemlidir. İkinci olarak 50-900 MHz frekans aralığında ölçüm yapılmıştır, bu ölçümler yapılacak olan çalışmanın bel kemiğini oluşturmakla birlikte, yapılan detaylı literatür incelemesinde, bu frekans aralığında yapılan, sonuçların karşılaştırılması açısından incelenebilecek bir çalışma bulunamamıştır.

Deneyde; 50-300 kHz frekans aralığı ölçümler için Aaronia firmasının, 1 Hz-30 MHz frekans aralıklarında ölçüm yapan NF-5030 tipi elektromanyetik alan ölçüm cihazı kullanılırken, 50-900 MHz frekans aralığındaki ölçümler için aynı firmanın HF-6060 V4 tipi elektromanyetik alan ölçümü yapan ölçüm aleti kullanılmıştır. Cihaz 10 MHz- 6 Ghz frekans aralığında ölçüm yapmakta olup, Şekil 4.5’de verilmiştir. Cihazların bazı özelliklerini Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Cihazların bazı önemli teknik özellikleri (Anonim 2019)

Özellikleri	NF-5030	HF-6060
Frekans aralığı	1 Hz- 30 MHz	10 MHz- 6 Ghz
Elektrik alan ölçüm birimleri	V/m	V/m
Manyetik alan ölçüm birimleri	A/m, Gauss, Tesla	A/m
Ayarlanabilir frekans aralığı	var	var
RBW (çözünürlük bant genişliği)	0,3 Hz- 1 MHz	10 kHz- 50 MHz
Dedektör	RMS/ en düşük, en yüksek	RMS/ en düşük, en yüksek



Şekil 4.1 Deneyin yapıldığı yer



Şekil 4.2 Deneyde kullanılan kompakt flüoresan lambalar



Şekil 4.3 Deney düzeneği I



Şekil 4.4 Deney Düzeneği II



Şekil 4.5 Deneyde kullanılan ölçüm cihazı



## 4.2 Deneý Sonuçları

### 4.2.1 50-300 kHz Frekans aralığında yapılan lümler

Daha önce yapılan araştırmalarla paralellik göstermesi açısından, 50-300 kHz frekans aralığında 0-25-50-75-100 cm için 8, 15, 30, 50 ve 73 W değerindeki kompakt flüoresan lambaların elektrik alan ve manyetik alan ölçümü yapılmıştır. lüm yapılan frekans aralığında kayda değer alan değerinin gözlendiği frekans değeri ölçümlerin yanında belirtilmiştir. Çizelge 4.2- 4.11 aralığında 50-300 kHz frekans aralığında yapılan ölçümlerin sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 8 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan ölçümü

lüm aralıkları	ölçülen değer ve ölçüm frekansları
0 cm	387,5 (50 kHz)
25cm	61,10 (60 kHz)
50cm	23,56 (55 kHz)
75cm	22,86 (130 kHz), 21,63 (135 kHz)
100cm	4,039 (55 kHz), 3,124 (130 kHz)

Çizelge 4.3 8 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan ölçümü

lüm aralıkları	ölçülen değer ve ölçüm frekansları
0 cm	11,84 (50 kHz)
25cm	4,344 (50 kHz), 5,016 (65 kHz), 3,226 (130 kHz)
50cm	4,742 (60 kHz), 3,064 (240 kHz)
75cm	4,238 (50 kHz), 4,156 (135 kHz), 3,6 (200 kHz)
100cm	4,039 (55 kHz), 3,124 (130 kHz)

Çizelge 4.4 15 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan lümü (V/m)

lüm aralıkları	ölçülen değer ve ölçüm frekansları
0 cm	58,4 (50 kHz)
25cm	85,43 (50 kHz)
50cm	32,70 (55 kHz)
75cm	24,76 (50 kHz), 22,64 (120 kHz)
100cm	22,54 (50 kHz), 21,90 (130 kHz)

Çizelge 4.5 15 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan ölçümü (mA/m)

Ölçüm aralıkları	Ölçülen değer ve ölçüm frekansları
0 cm	5,296 (50 kHz)
25cm	4,162 (65 kHz), 3,8 (140 kHz)
50cm	4,059 (100 kHz), 4,695 (75 kHz), 3,5 (120 kHz)
75cm	3,9 (60 kHz), 4,568 (70 kHz), 3,321 (225 kHz)
100cm	4,802 (50 kHz), 5,041 (70 kHz), 4,751(130 kHz)

Çizelge 4.6 30 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan ölçümü (V/m)

Ölçüm aralıkları	Ölçülen değer ve ölçüm frekansları
0 cm	1,134 kV/m (50 kHz)
25cm	274,1 (50 kHz)
50cm	93,28 (50 kHz)
75cm	36,07 (55 kHz)
100cm	25,53 (55 kHz), 28,02 (50 kHz)

Çizelge 4.7 30 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan ölçümü (mA/ m)

Ölçüm aralıkları	Ölçülen değer ve ölçüm frekansları
0 cm	32,36 (50 kHz)
25cm	8,296 (50 kHz), 8,427 (55 kHz)
50cm	4,727 (55 kHz), 3,155 (150 kHz), 3,5 (270 kHz)
75cm	4,9 (75 kHz), 3,791 (125 kHz)
100cm	4,236 (70), 4,693 (80 kHz), 4,067 (210kHz)

Çizelge 4.8 50 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan ölçümü (V/m)

Ölçüm aralıkları	Ölçülen değer ve ölçüm frekansları
0 cm	1,651 kV/m (50 kHz), 1,353 kV/m (55 kHz)
25cm	712,6 (50 kHz)
50cm	66,31 (55 kHz)
75cm	35,32 (55 kHz)
100cm	23,01 (55 kHz), 22,81 (130 kHz)

Çizelge 4.9 50 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan ölçümü (mA/m)

Ölçüm aralıkları	Ölçülen değer ve ölçüm frekansları
0 cm	43,04 (55 kHz), 37 (50 kHz)
25cm	11,65 (55 kHz), 10,92 (50 kHz)
50cm	4,20 (80 kHz), 4,90 (120 kHz), 6,903 (125 kHz)
75cm	4,042 (75 kHz), 4,420 (65 kHz), 3,909 (105 kHz)
100cm	4,145 (50 kHz), 5,055 (65 kHz), 4,157 (195 kHz)

Çizelge 4.10 73 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan ölçümü (V/m)

Ölçüm aralıkları	Ölçülen değer ve ölçüm frekansları
0 cm	1,0821 kv/m (50 kHz), 2,163 kV/m (55 kHz)
25cm	248,8 (50 kHz)
50cm	74,84 (50 kHz)
75cm	36,51 (50 kHz), 32,62 (55 kHz)
100cm	36,51 (50 kHz), 32,62 (55 kHz)

Çizelge 4.11 73 W Kompakt flüoresan lambanın manyetik alan ölçümü (mA/m)

Ölçüm aralıkları	Ölçülen değer ve ölçüm frekansları
0 cm	38,09 (50 kHz)
25cm	8,195 (55 kHz), 9,013 (55 kHz)
50cm	6,161 (50 kHz), 3,096 (90 kHz), 3,144 (260 kHz)
75cm	4,473 (65 kHz), 4,180 (190 kHz), 3,102 (155 kHz)
100cm	4,660 (115 kHz), 4,581 (65 kHz), 5,051 (55 kHz)

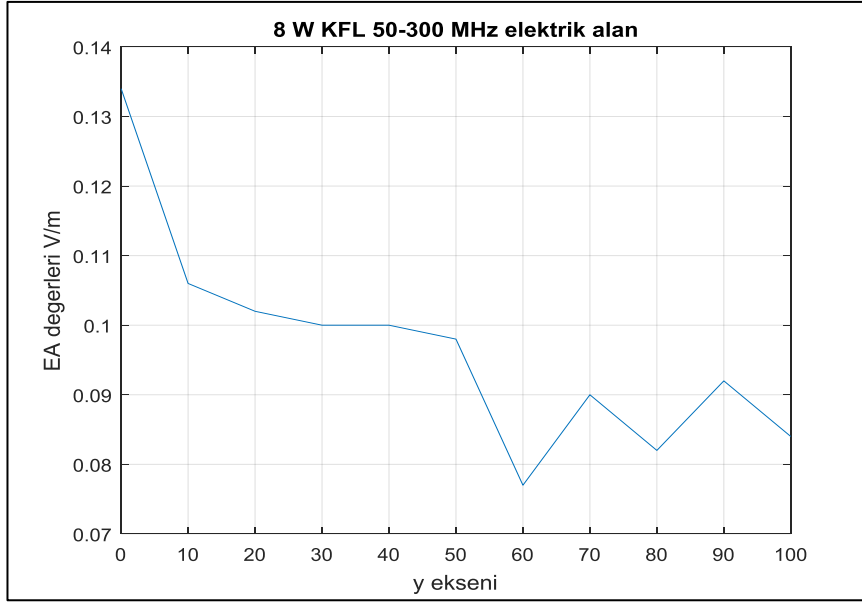
50-300 kHz aralığında manyetik alan ve elektrik alan ölçümü yapılan deney sonuçları göstermektedir ki; manyetik alan ve elektrik alan kaynaktan uzaklaştıkça azalırken, alan değerleri frekansa göre de değişmektedir. Frekans değerleri yükseldikçe, alan değerleri azalmaktadır. Ayrıca; elektrik alanın değeri kaynağa (kaynağın hemen yanında) 0 cm uzaklıkta yüksekken, kaynaktan uzaklaştıkça, değerlerdeki azalma oldukça hızlı olup; mesafe arttıkça hızla kayıplara uğramaktadır. Manyetik alan değerleri ise kaynağa 0 cm uzakta yüksekken, kaynaktan uzaklaştıkça azalmakta ancak sonrasında uzaklık artmasına rağmen elektrik alan değerlerindeki gibi belirgin farklarda azalma göstermemektedir.

#### 4.2.2. 50-300 MHz, 301-600 MHz, 601-900 MHz Frekans aralığında yapılan ölçümler

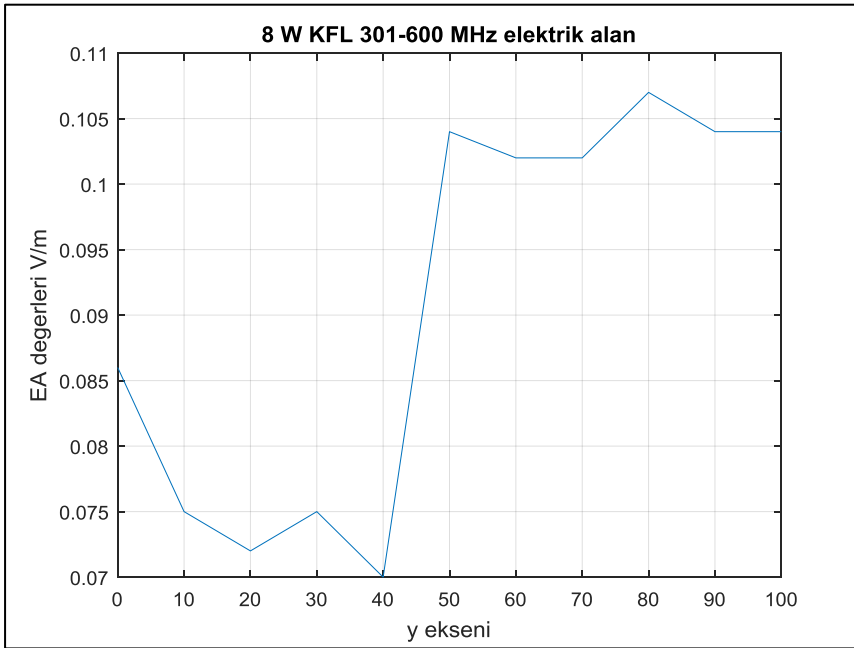
Tezin araştırma alanı olan Klonal Seçim Algoritması'nda giriş verisi olarak kullanılacak olan ve deneyin ikinci aşamasında elde edilmiş olan elektrik alan ve manyetik alan değerlerine ait Çizelgeler 4.12-4.21 aralığında, Çizelgelere ait grafikler ise 4.5-4.31 aralığında gösterilmektedir. Şekiller üzerinde elektrik alan değerleri; EA değerleri olarak belirtilmiştir ve ölçüm birimi V/m 'dir. Manyetik alan değerleri ise; MA değerleri olarak belirtilmiştir ve ölçüm birimi mA/m 'dir. Şekillerde y eksenini; y olarak belirtilmiştir. Deneyin öncesinde incelenen önemli çalışmalarda deneyler 100 MHz'e kadar yapılmıştır. Devamı niteliğinde bu çalışmadaki deneyler 50 MHz 'den başlatılmıştır.

Çizelge 4.12 8 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu

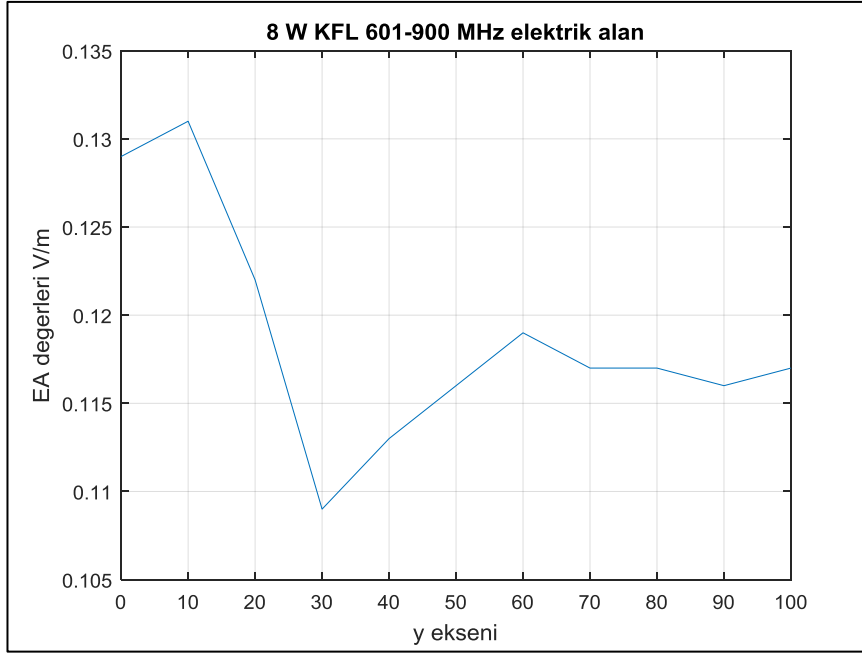
Ölçüm aralıkları (y=90 °)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları
0 cm	0,134 (60-86-200 MHz)	0,086 (340-380500 MHz)	0,129 (800-860 900MHz)
10 cm	0,106 (60-100-200MHz)	0,075 (340-380-500MHz)	0,131 (800-860-900MHz)
20 cm	0,102 (60-100-200 MHz)	0,072 (340-380-500MHz)	0,122 (800-860-900MHz)
30 cm	0,100 (60-100-200 MHz)	0,075 (340-380-500MHz)	0,109 (800-860-900MHz)
40 cm	0,100 (60-100-200 MHz)	0,070 (340-460-500MHz)	0,113 (800-860-900MHz)
50 cm	0,098 (60-86,3-200 MHz)	0,104 (340-460-500MHz)	0,116 (800-860-900MHz)
60 cm	0,077 (60-100-200 MHz)	0,102 (340-460-500MHz)	0,119 (760-800-900MHz)
70 cm	0,090 (60-80-140 MHz)	0,102 (340-460-500MHz)	0,117 (760-800-900MHz)
80 cm	0,082 (60-100-300 MHz)	0,107 (340-460-500MHz)	0,117 (760-800-900MHz)
90 cm	0,091 (60-140-300 MHz)	0,104 (340-460-500MHz)	0,116 (760-800-900MHz)
100 cm	0,084 (60-86-200 MHz)	0,104 (340-460-500MHz)	0,117 (760-800-900MHz)



Şekil 4.6 8 W KFL 50-300 MHz elektrik alan



Şekil 4.7 8 W KFL 301-600 MHz elektrik alan



Şekil 4.8 8 W KFL 601-900 MHz elektrik alan

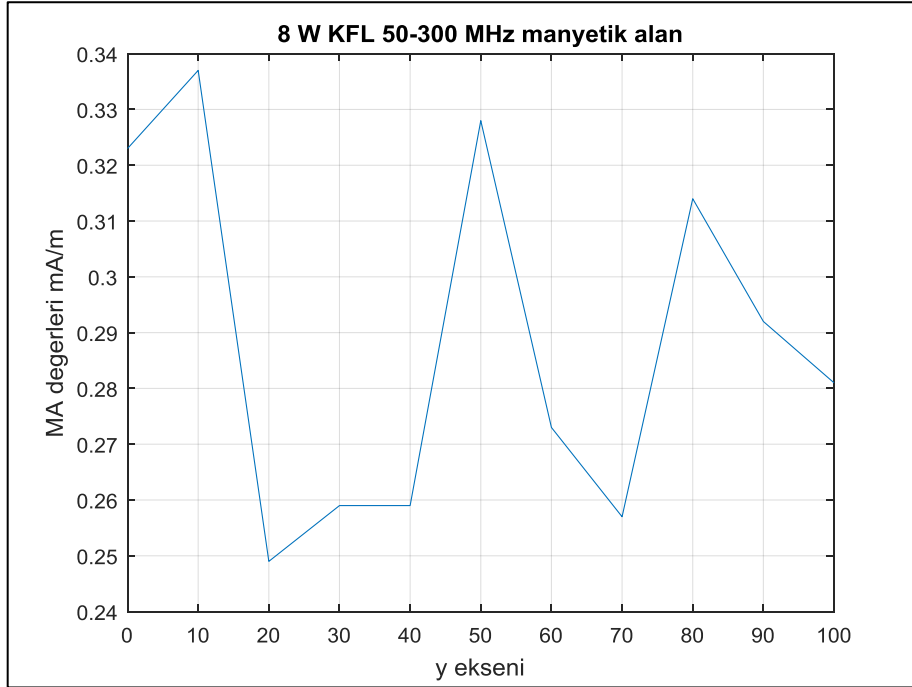
8 W değerindeki lamba için elektrik alan değerleri, 0.130-0.075 değerleri arasında değişmektedir. Manyetik alan değerleri ile kıyaslandığında, elektrik alan değerleri daha düşüktür.

Çizelge 4.13 8 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu

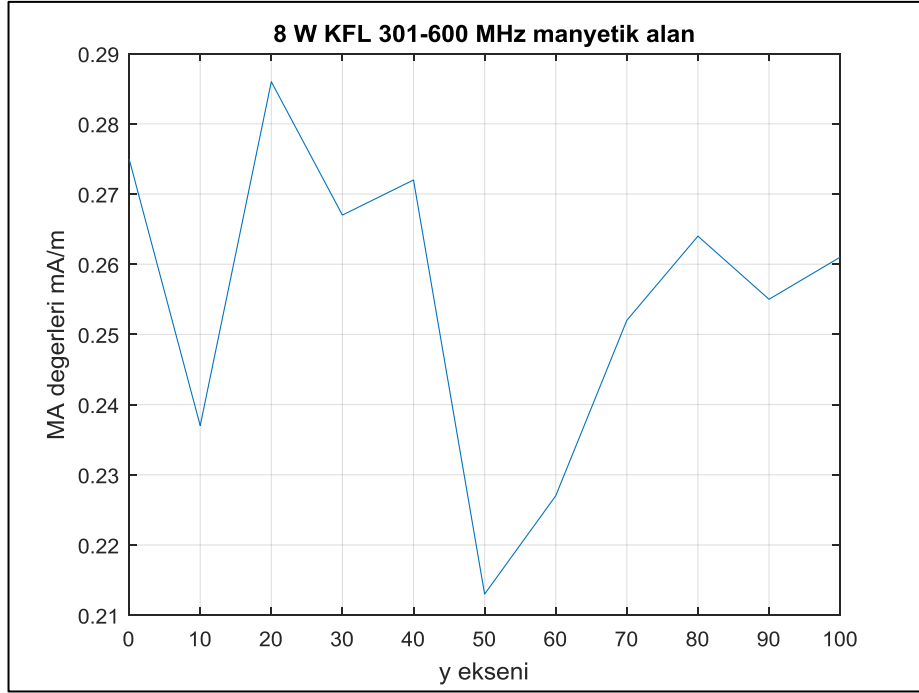
Ölçüm aralıkları (y=90 °)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (mA/ m) ve ölçüm frekansı	Ölçülen değer (mA/ m) ve ölçüm frekansı	Ölçülen değer (mA/ m) ve ölçüm frekansı
0 cm	0,323 (60-100-200 MHz)	0,275 (340-400-500 MHz)	0,310 (800-860-900MHz)
10 cm	0,337 (60-100-300 MHz)	0,237 (340-400-500 MHz)	0,324 (800-860-900MHz)
20 cm	0,249 (60-100-300 MHz)	0,286 (340-460-500 MHz)	0,311 (800-860-900MHz)
30 cm	0,259 (60-100-300 MHz)	0,267 (340-460-500 MHz)	0,310 (800-860-900MHz)
40 cm	0,259 (60-100-300 MHz)	0,272 (340-460-500 MHz)	0,312 (800-860-900MHz)
50 cm	0,328 (60-86,3-300 MHz)	0,213 (340-460-500 MHz)	0,310 (800-860-900MHz)
60 cm	0,273 (60-100-300 MHz)	0,227 (340-380-500 MHz)	0,299 (800-860-900MHz)

Çizelge 4.13 8 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu (devam)

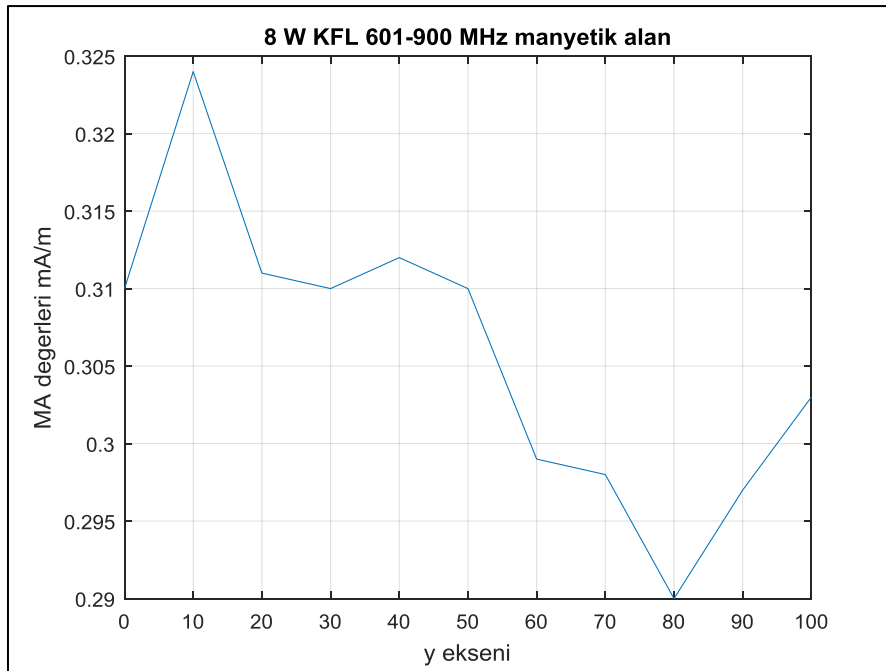
70 cm	0,257 (60-100-200 MHz)	0,252 (340-380-500 MHz)	0,298 (800-860-900MHz)
80 cm	0,314 (60-100-140 MHz)	0,264 (340-380-500 MHz)	0,290 (800-860-900MHz)
90 cm	0,292 (60-100-300 MHz)	0,255 (340-380-500 MHz)	0,297 (800-860-900MHz)
100 cm	0,281 (60-100-200 MHz)	0,261 (340-380-500 MHz)	0,303 (800-860-900MHz)



Şekil 4.9 8 W KFL 50-300 MHz manyetik alan



Şekil 4.10 8 W KFL 301-600 MHz manyetik alan



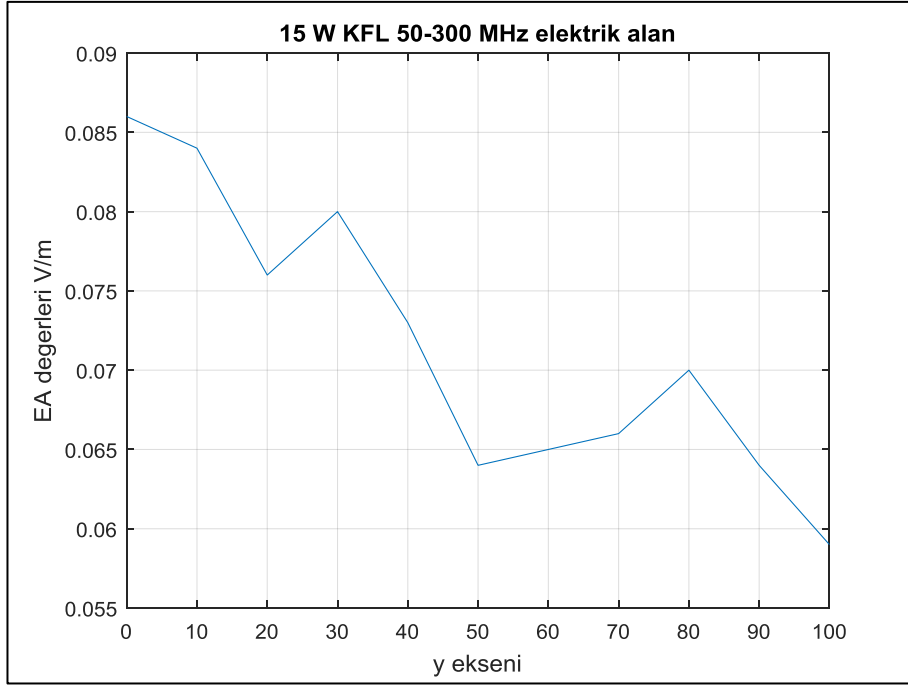
Şekil 4.11 8 W KFL 601-900 MHz manyetik alan

8 W değerindeki lamba için manyetik alan değerleri, 0.300-0.200 değerleri arasında değişmektedir.

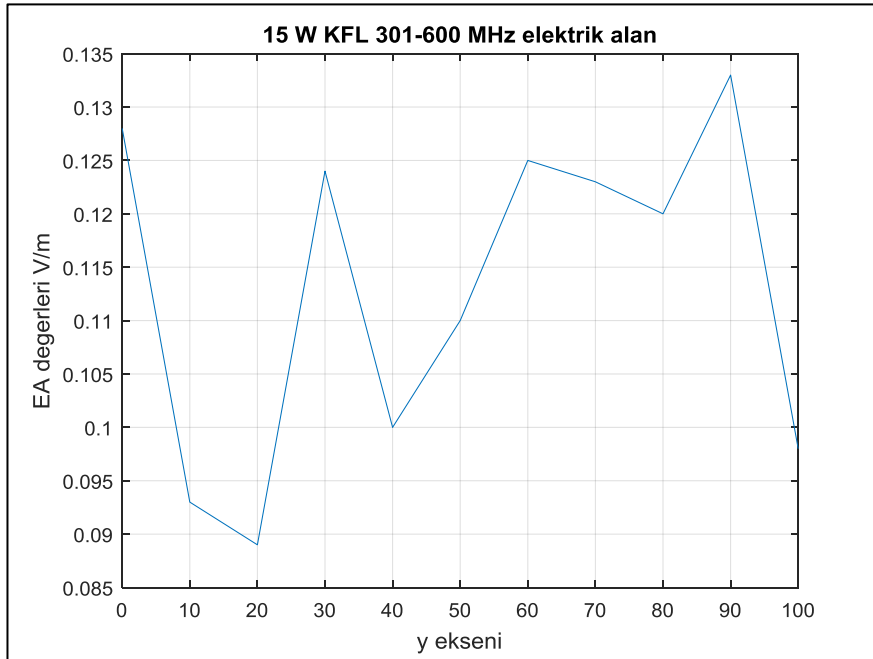


Çizelge 4.14 15 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu

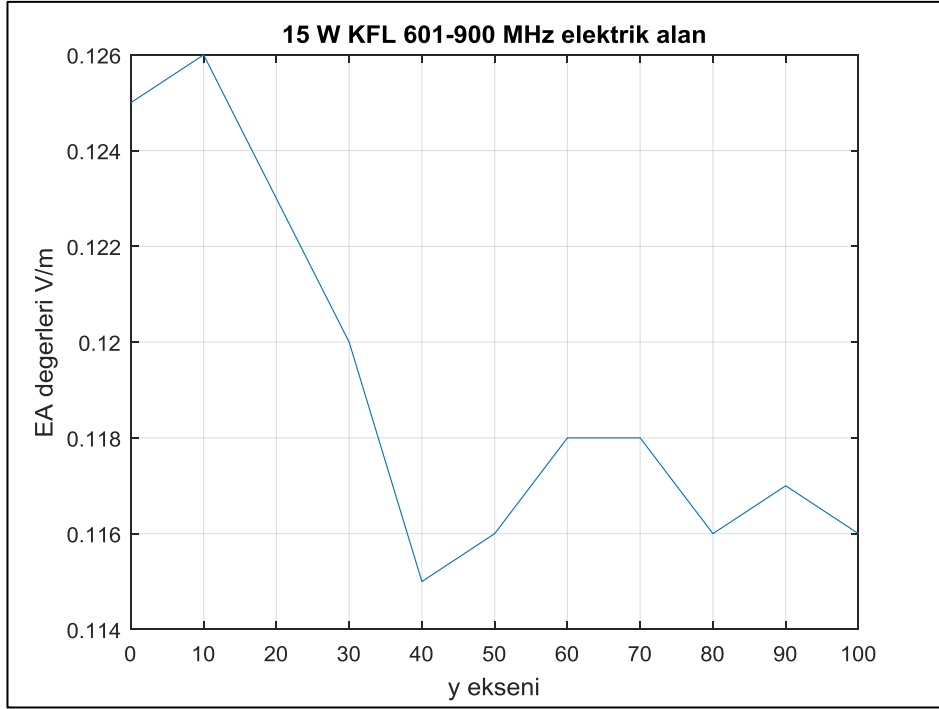
Ölçüm aralıkları (y=90 °)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları
0 cm	0,086 (60-88-140 MHz)	0,128 (340-460-420 MHz)	0,125 (760-800-860 MHz)
10 cm	0,084 (60-85,2-300 MHz)	0,093 (340-460-420 MHz)	0,126 (760-800-860MHz)
20 cm	0,076 (60-100-300 MHz )	0,089 (420-460-500 MHz )	0,123 (760-800-860MHz)
30 cm	0,080 (60-100-300 MHz)	0,124 (420-460-500 MHz )	0,120 (760-800-860 MHz)
40 cm	0,073 (60-100-300 MHz)	0,100 (420-460-500 MHz )	0,115 (760-800-860 MHz)
50 cm	0,064 (60-100-300 MHz)	0,110 (420-460-500 MHz )	0,116 (760-800-860 MHz)
60 cm	0,065 (60-100-300 MHz)	0,125 (420-460-500 MHz )	0,118 (760-800-860 MHz)
70 cm	0,066 (60-100-300 MHz)	0,123 (420-460-500 MHz )	0,118 (760-800-860 MHz)
80 cm	0,070 (60-100-300 MHz)	0,120 (420-460-500 MHz )	0,116 (760-800-860 MHz)
90 cm	0,064 (60-100-300 MHz)	0,133 (340-460-500 MHz)	0,117 (760-800-860 MHz)
100 cm	0,059 (60-100-300 MHz)	0,098 (340-460-500 MHz)	0,116 (760-800-860 MHz)



Şekil 4.12 15 W 50-300 MHz elektrik alan



Şekil 4.13 15 W KFL 301-600 MHz elektrik alan



Şekil 4.14 15 W 601-900 MHz elektrik alan

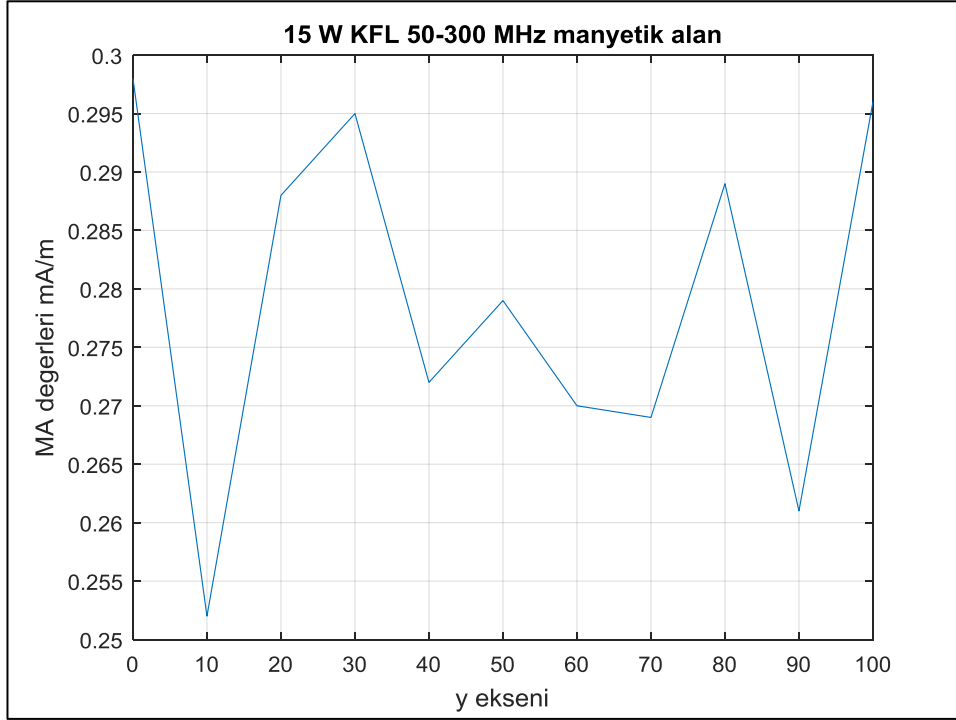
15 W değerindeki lamba için elektrik alan değerleri, 0.135-0.055 değerleri arasında değişmektedir.

Çizelge 4.15 15 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu

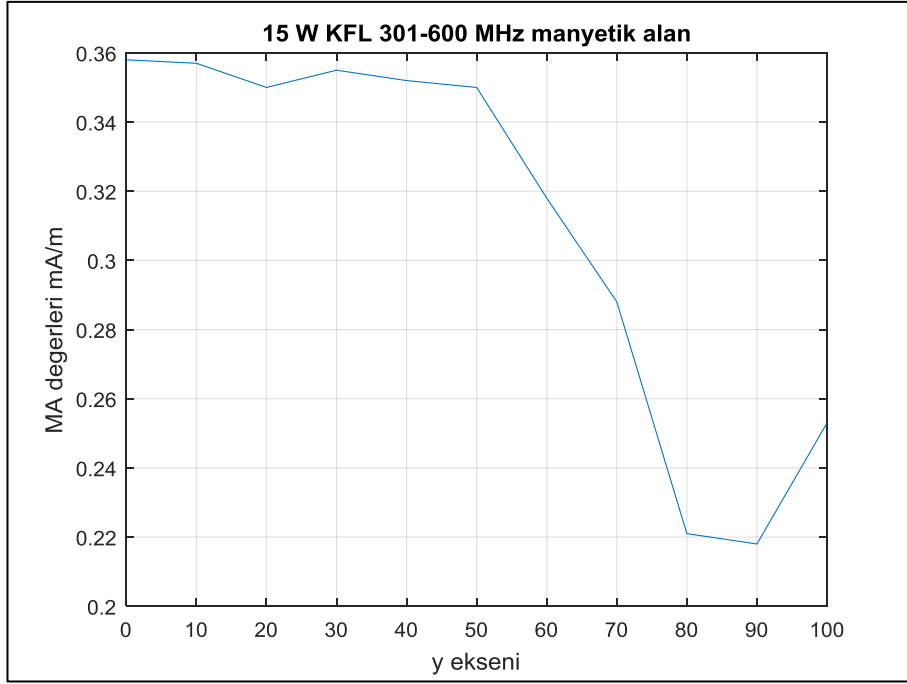
Ölçüm aralıkları (y=90 °)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer(mA/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları
0 cm	0,298 (60-86-140 MHz)	0,358 (340-460-500 MHz)	0,422 (800-860-900 MHz)
10 cm	0,252 (54,6-80-200 MHz)	0,357 (340-380-460 MHz)	0,356 (760-800-880MHz)
20 cm	0,288 (60-100-280 MHz )	0,350 (340-380-460 MHz)	0,345 (620-800-880 MHz)
30 cm	0,295 (60-100-300 MHz)	0,355 (340-460-500 MHz)	0,329 (800-840-880 MHz)
40 cm	0,272 (60-100-200 MHz)	0,352 (340-460-500 MHz)	0,322 (800-840-900 MHz)
50 cm	0,279 (60-86,1-200 MHz)	0,350 (340-460-500 MHz)	0,324 (800-860-900 MHz)
60 cm	0,270 (60-100-200 MHz)	0,318 (340-380-420 MHz)	0,363 (800-860-900 MHz)
70 cm	0,269 (60-100-200 MHz)	0,288 (340-380-420 MHz)	0,331 (800-860-900 MHz)

Çizelge 4.15 15 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu (devam)

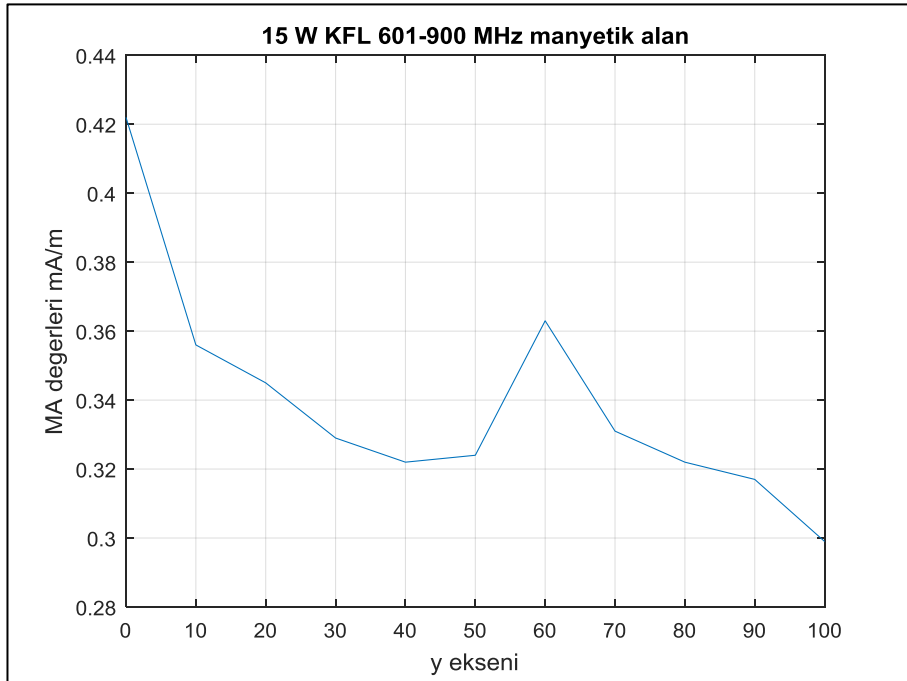
80 cm	0,289 (60-100-200 MHz)	0,221 (340-380-420 MHz)	0,322 (800-860-900 MHz)
90 cm	0,296 (60-100-200 MHz)	0,218 (340-380-420 MHz)	0,317 (800-860-900 MHz)
100 cm	0,269 (60-87,1-200 MHz)	0,253 (340-380-420 MHz)	0,299 (800-860-900 MHz)



Şekil 4.15 15 W KFL 50-300 MHz manyetik alan



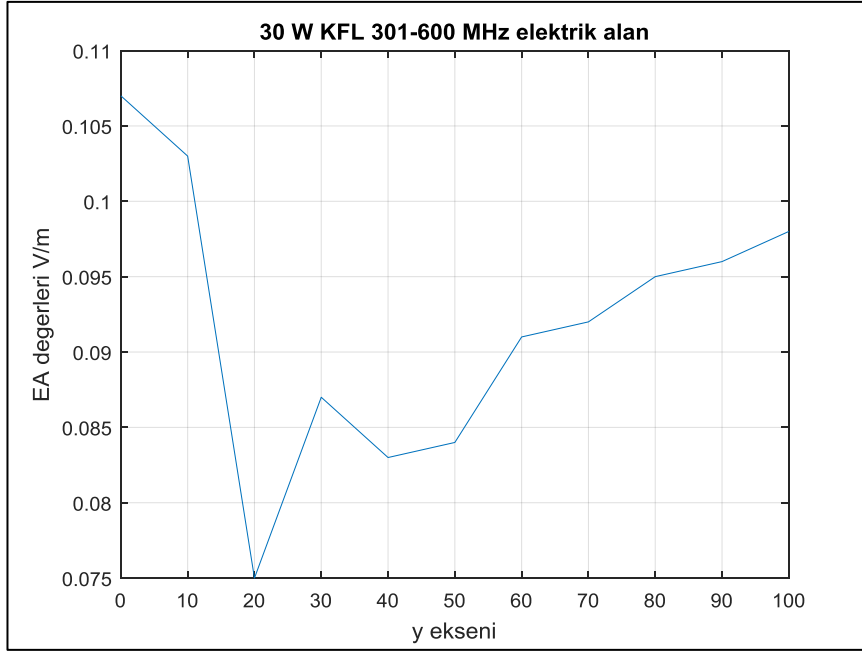
Şekil 4.16 16 W KFL 301-600 MHz manyetik alan



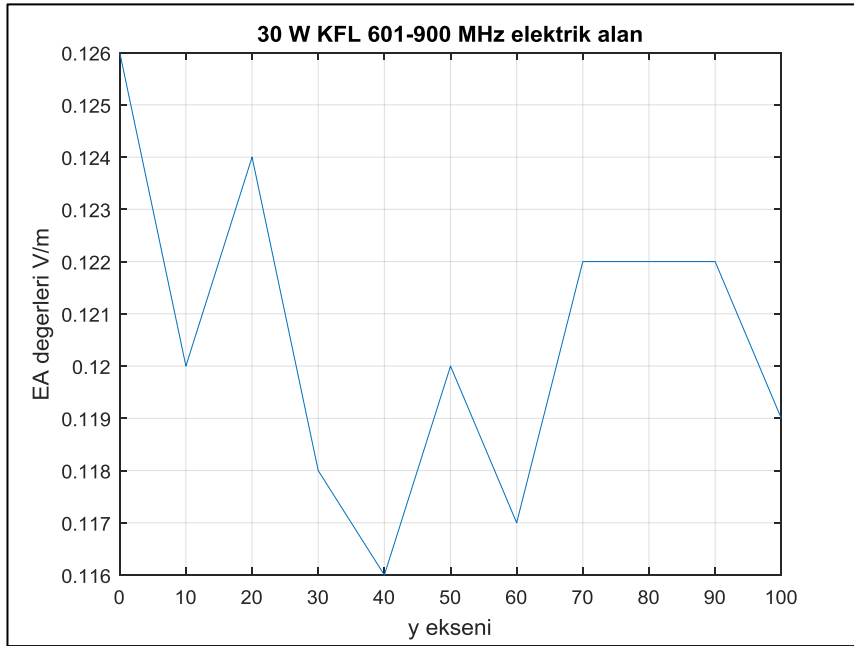
Şekil 4.17 17 W 601-900 MHz manyetik alan

Çizelge 4.16 30 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu

Ölçüm aralıkları (y=90 °)	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları
0 cm	0,107(340-460-500 MHz)	0,126 (760-800-880 MHz)
10 cm	0,103 (340-460-500MHz)	0,120 (760-800-880 MHz)
20 cm	0,075 (340-380-500 MHz)	0,124 (760-800-880 MHz)
30 cm	0,087 (340-380-500 MHz )	0,118 (760-800-880 MHz)
40 cm	0,083 (340-380-500 MHz )	0,116 (760-800-880 MHz)
50 cm	0,084 (340-380-500 MHz )	0,120 (760-800-880 MHz)
60 cm	0,091 (340-380-500 MHz )	0,117 (760-800-880 MHz)
70 cm	0,092 (340-380-500 MHz )	0,122 (760-800-880 MHz)
80 cm	0,095 (340-380-500 MHz )	0,122 (760-800-880 MHz)
90 cm	0,096 (340-380-500 MHz )	0,122 (760-800-880 MHz)
100 cm	0,098 (340-380-500 MHz )	0,119 (760-800-880 MHz)



Şekil 4.18 30 W KFL 301-600 MHz elektrik alan



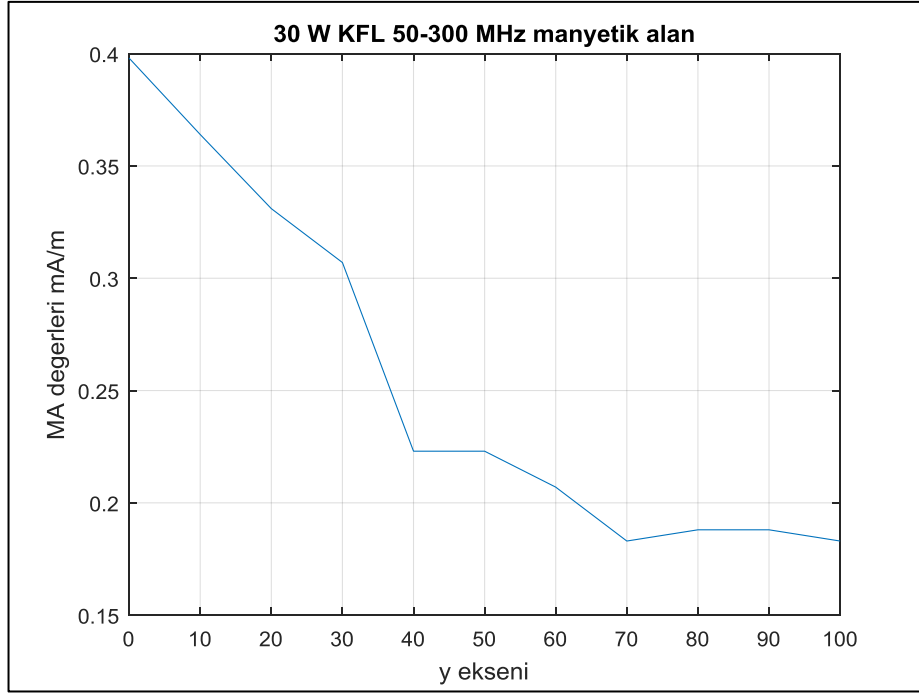
Şekil 4.19 30 W KFL 601-900 MHz elektrik alan

30 W değerindeki lamba için elektrik alan değerleri, 0.126-0.075 değerleri arasında değişmektedir. Manyetik alan değerleri ile kıyaslandığında, elektrik alan değerleri daha düşüktür.

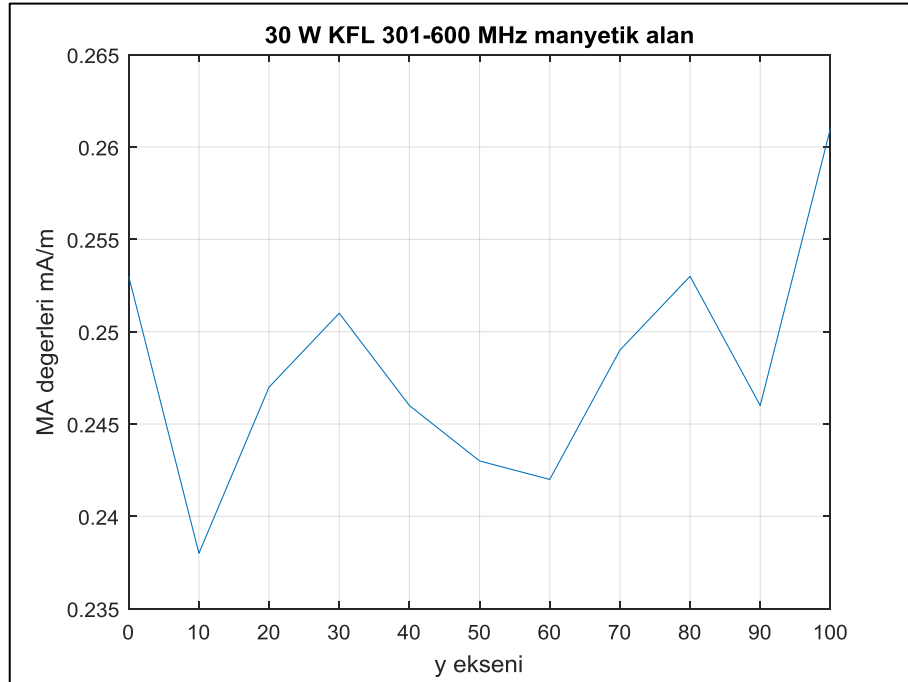
Çizelge 4.17 30 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu

Ölçüm aralıkları (y=90 °)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekanslar
0 cm	0,398 (60-100,1- 140 MHz)	0,253 (340-480-500 MHz)	0,380 (780-860-900 MHz)
10 cm	0,364 (51,3-80 - 300 MHz)	0,238 (340-480-500MHz)	0,406 (620-800-900MHz)
20 cm	0,331 (52,2-100,1-200 MHz)	0,247 (340-480-500 MHz)	0,394 (620-800-900 MHz)
30 cm	0,307 (55,2-100,1-200 MHz)	0,251 (340-480-500 MHz)	0,410 (620-800-900 MHz)
40 cm	0,223 (60-100-200 MHz)	0,246 (340-480-500 MHz)	0,431 (620-800-900 MHz)
50 cm	0,223 (60-100-200 MHz))	0,243 (340-480-500 MHz)	0,411 (620-800-900 MHz)
60 cm	0,207 ( 53,1-80- 200 MHz)	0,242 (340-480-500 MHz)	0,390 (620-800-900 MHz)
70 cm	0,183 ( 53,8-80- 200 MHz)	0,249 (340-480-500 MHz)	0,407 (800-860-900 MHz)
80 cm	0,188 ( 60-200- 280 MHz)	0,253 (340-480-500 MHz)	0,387 (620-800-900 MHz)
90 cm	0,188 ( 60-200- 280 MHz))	0,246 (340-480-500 MHz)	0,355 (800-860-900 MHz)
100 cm	0,183 ( 80-200- 280 MHz)	0,261 (340-480-500 MHz)	0,371 (800-860-900 MHz)

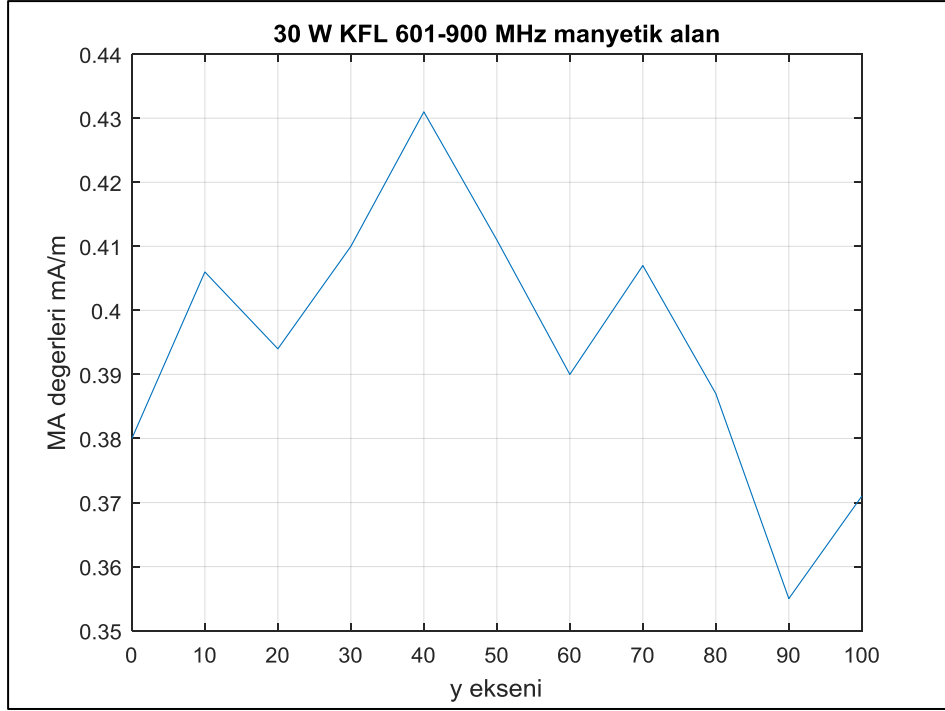




Şekil 4.20 30 W KFL 50-300 MHz manyetik ala



Şekil 4.21 30 W KFL 301-600 MHz manyetik alan



Şekil 4.22 30 W KFL 601-900 MHz manyetik alan

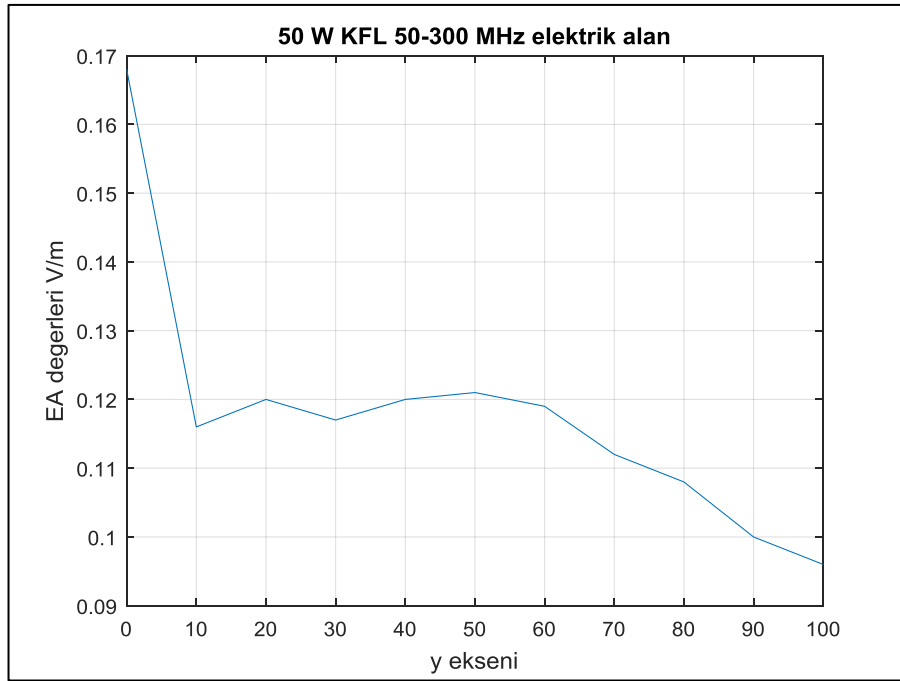
30 W değerindeki lamba için manyetik alan değerleri, 0.400-0.100 değerleri arasında değişmektedir.

Çizelge 4.18 50 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu

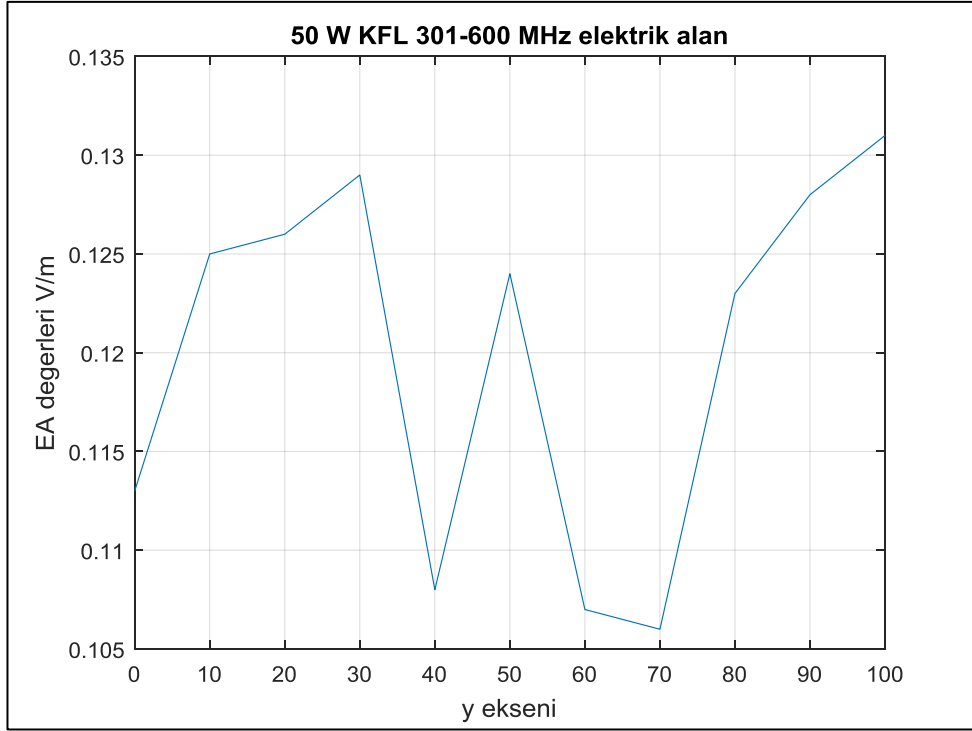
Ölçüm aralıkları (y=90 °)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları
0 cm	0,168 (56,9-88,4-140 MHz)	0,113 (380-420-460 MHz)	0,166 (800-860-900 MHz)
10 cm	0,116 (60-100-140 MHz)	0,125 (420-460-500MHz)	0,168 (800-860-90 MHz)
20 cm	0,120 (60-100-140 MHz)	0,126 (340-380-420 MHz)	0,175 (800-860-900 MHz)
30 cm	0,117 (60-100-140 MHz)	0,129 (340-380-420 MHz)	0,157 (800-860-900 MHz)
40 cm	0,120 (60-86-200 MHz)	0,108 (360-420-460 MHz)	0,154 (800-860-900 MHz)
50 cm	0,121 (60-86-200 MHz)	0,124 (420-460-500 MHz)	0,138 (700-860-900 MHz)
60 cm	0,119 (60-100-200 MHz)	0,107 (380-420-460 MHz)	0,136 (700-800-900 MHz)
70 cm	0,112 (60-87,4-200 MHz)	0,106 (380-420-460 MHz)	0,120 (760-800-900 MHz)

Çizelge 4.18 50 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu (devam)

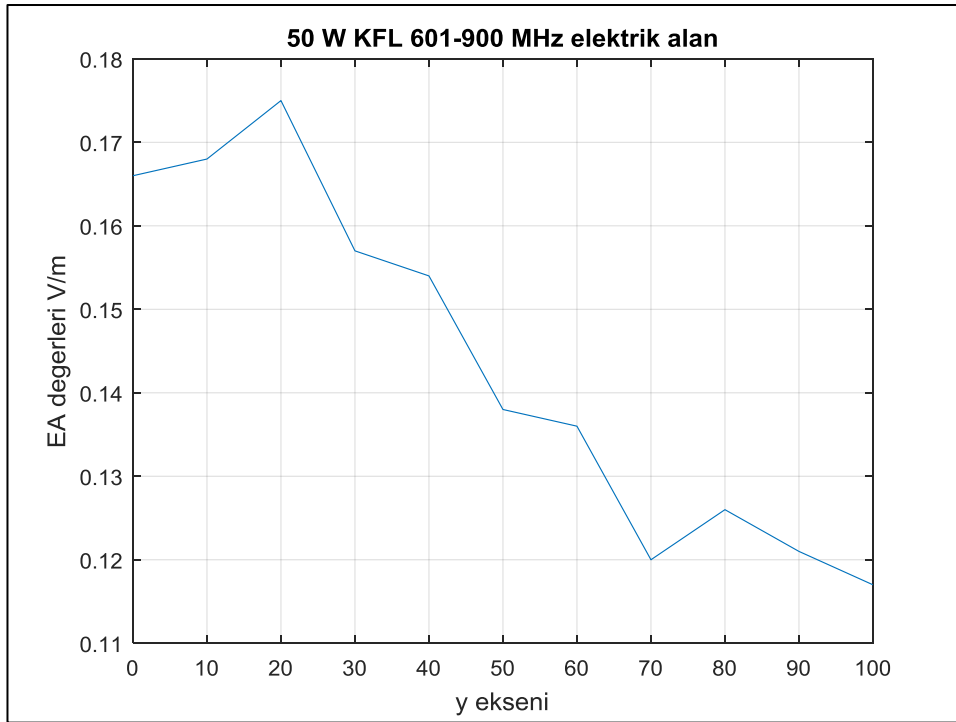
80 cm	0,108 (60-100-300 MHz)	0,123 (340-380-420 MHz)	0,126 (660-800-900 MHz)
90 cm	0,100 (60-100-300 MHz)	0,128 (340-380-420 MHz)	0,121 (760-800-900 MHz)
100 cm	0,096 (60-100-300 MHz)	0,131 (340-380-420 MHz)	0,117 (760-800-880 MHz)



Şekil 4.23 50 W KFL 50-300 MHz elektrik alan



Şekil 4.24 50 W KFL 301-600 MHz elektrik alan

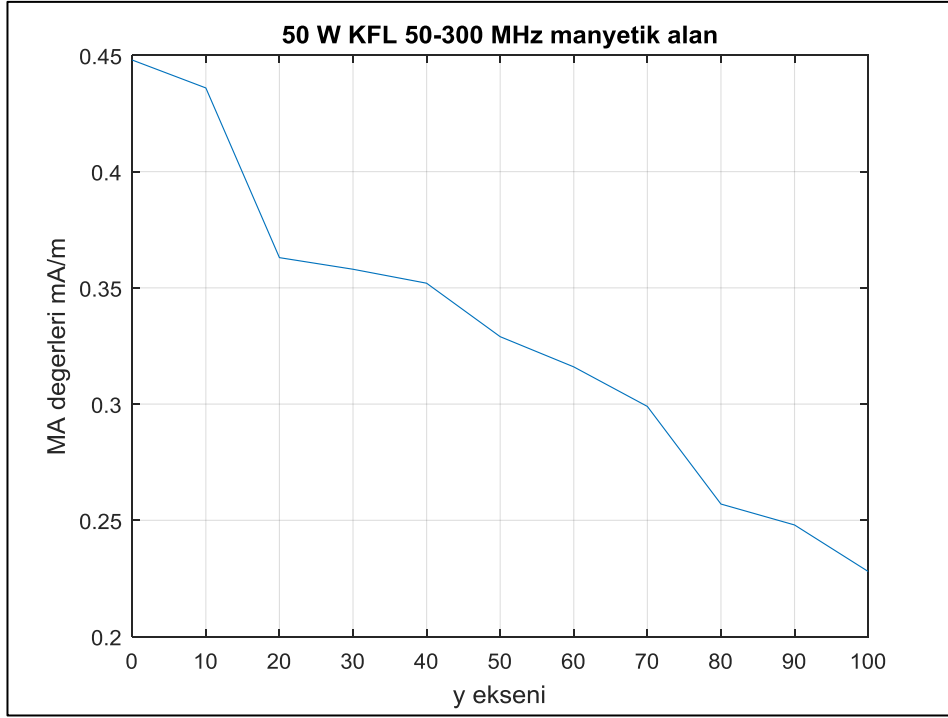


Şekil 4.25 50 W KFL 601-900 MHz elektrik alan

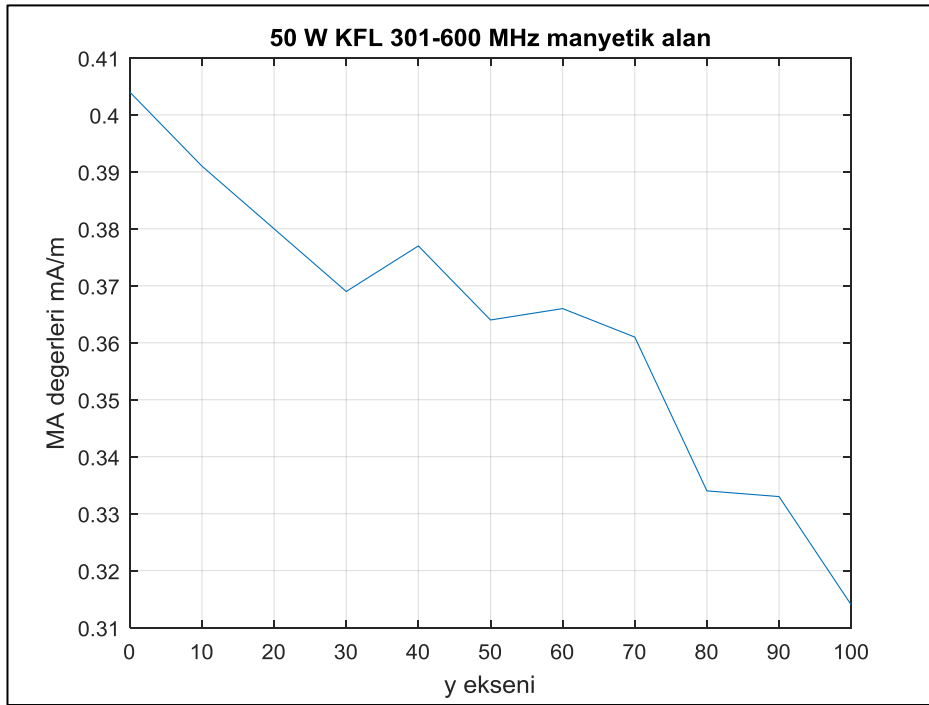
50 W değerindeki lamba için elektrik alan değerleri, 0.170-0.090 değerleri arasında değişmektedir. Manyetik alan değerleri ile kıyaslandığında, elektrik alan değerleri daha düşüktür.

Çizelge 4.19 50 W kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablosu

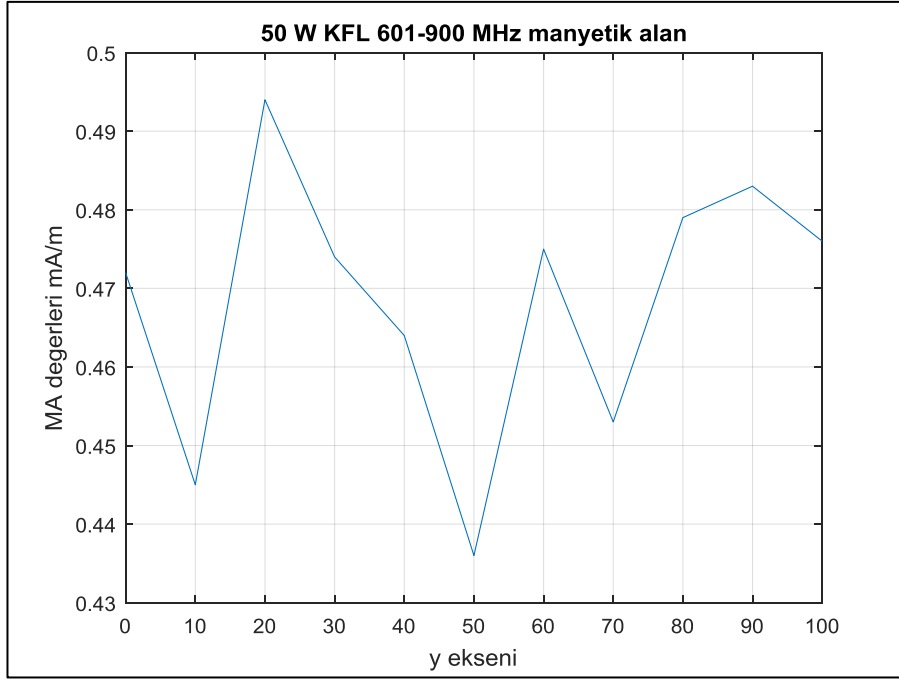
Ölçüm aralıkları (y=90 °)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları
0 cm	0,448 (58,1-100-300 MHz)	0,404 (420-460-500 MHz)	0,472 (620-860-900 MHz)
10 cm	0,436 ( 60-100-200 MHz)	0,391 (420-460-500 MHz)	0,445 (620-860-900MHz)
20 cm	0,363 (59,5-100,1-200 MHz)	0,380 (420-460-500 MHz)	0,494 (620-860-900 MHz)
30 cm	0,358 (58,5-100,1-200 MHz)	0,369 (420-460-500 MHz)	0,474 (620-860-900 MHz)
40 cm	0,352 ( 60-100- 200 MHz)	0,377 (420-460-500 MHz)	0,464 (620-860-900 MHz)
50 cm	0,329 ( 54,4-80- 200 MHz)	0,364 (420-460-500 MHz)	0,436 (620-860-900 MHz)
60 cm	0,316 ( 59,1-100- 200 MHz)	0,366 (420-460-500 MHz)	0,475 (620-860-900 MHz)
70 cm	0,299 ( 50,8-80- 300 MHz)	0,361 (420-460-500 MHz)	0,453 (620-860-900 MHz)
80 cm	0,257 ( 58,4-100- 300 MHz)	0,334 (420-460-500 MHz)	0,479 (800-860-900 MHz)
90 cm	0,248 ( 59,8-100- 140 MHz)	0,333 (420-460-500 MHz)	0,483 (800-860-900 MHz)
100 cm	0,228 ( 60-100- 300 MHz)	0,314 (420-460-500 MHz)	0,476 (800-860-900 MHz)



Şekil 4.26 50 W KFL 50-300 MHz manyetik alan



Şekil 4.27 50 W KFL 301-600 MHz manyetik alan



Şekil 4.28 50 W KFL 601-900 MHz manyetik alan

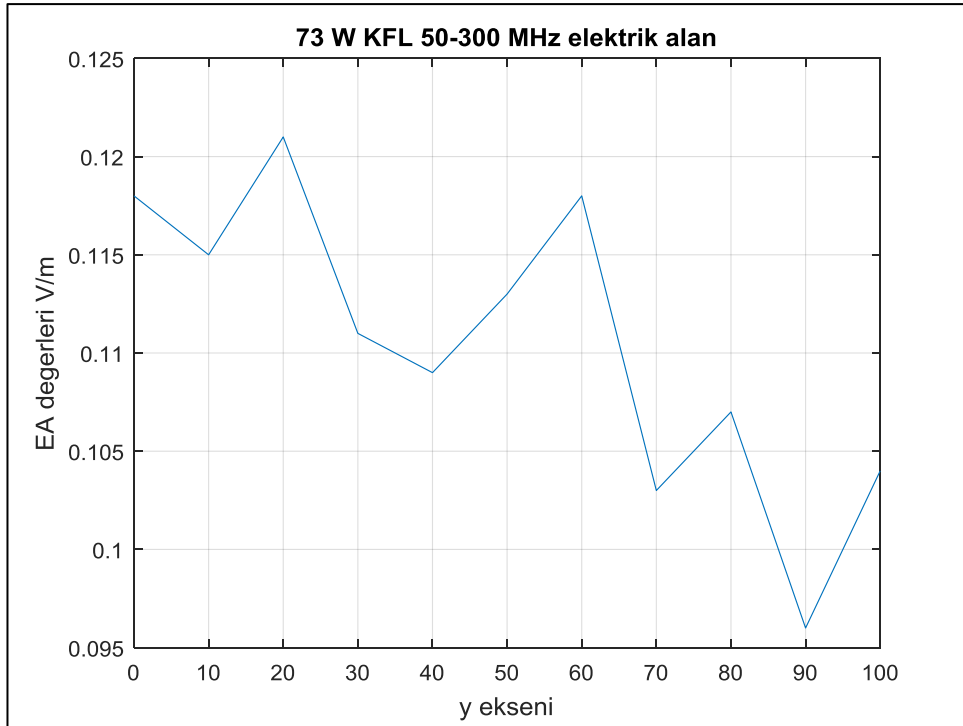
50 W değerindeki lamba için manyetik alan değerleri, 0.500-0.200 değerleri arasında değişmektedir.

Çizelge 4.20 73 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu

Ölçüm aralıkları (y=90 °)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları
0 cm	0,118 (60-100-140 MHz)	0,159 (340-380-420 MHz)	0,160 (800-860-900 MHz)
10 cm	0,115 (60-86-140 MHz)	0,152 (340-380-420MHz)	0,161 (800-860-900MHz)
20 cm	0,121 (50,8-86-200 MHz )	0,152 (340-380-420 MHz)	0,168 (800-860-900 MHz)
30 cm	0,111 (56,5-100,1-200MHz)	0,156 (340-380-420 MHz)	0,167 (800-860-900 MHz)
40 cm	0,109 (51,8-80-200 MHz)	0,158 (340-380-420 MHz)	0,168 (800-860-900 MHz)
50 cm	0,113 (56,9-100-200 MHz)	0,155 (340-380-420 MHz)	0,171 (800-860-900 MHz)
60 cm	0,118 (57,2-100-200 MHz)	0,161 (340-380-420 MHz)	0,168 (800-860-900 MHz)
70 cm	0,103 (50,4-80-200 MHz)	0,159 (340-380-420 MHz)	0,168 (800-860-900 MHz)

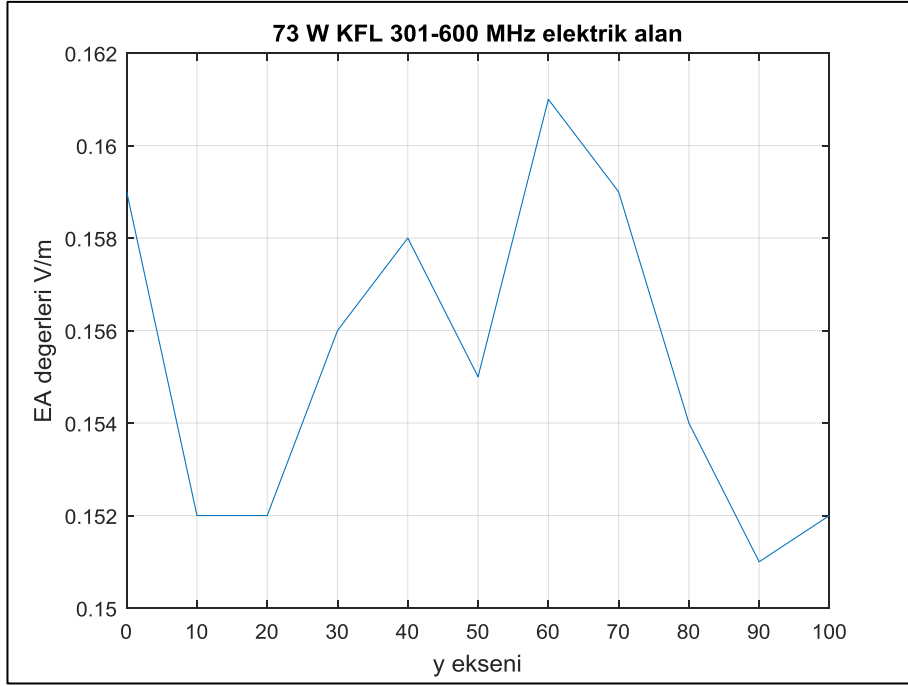
Çizelge 4.20 73 W kompakt flüoresan lambanın elektrik alan tablosu (devamı)

80 cm	0,107 (55,1100,1-300 MHz)	0,154 (340-380-420 MHz)	0,155 (800-860-900 MHz)
90 cm	0,096 (60-100,1-300 MHz )	0,151 (340-380-420 MHz)	0,150 (800-860-900 MHz)
100 cm	0,104 (60-100-300 MHz)	0,152 (340-380-420 MHz)	0,156 (800-860-900 MHz)

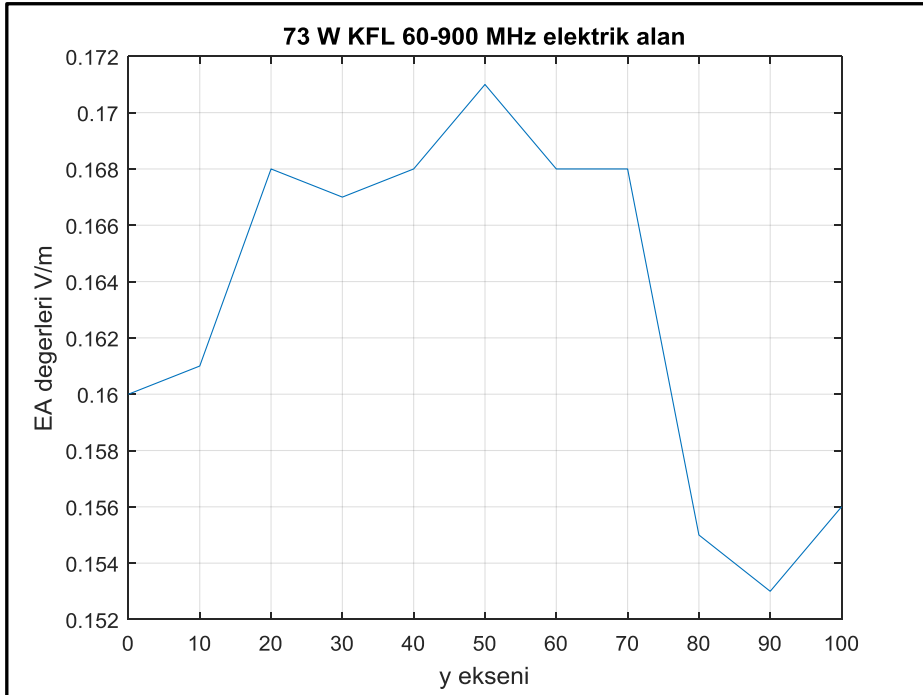


Şekil 4.29 73 W KFL 50-300 MHz elektrik alan





Şekil 4.30 73 W KFL 301-600 MHz elektrik alan

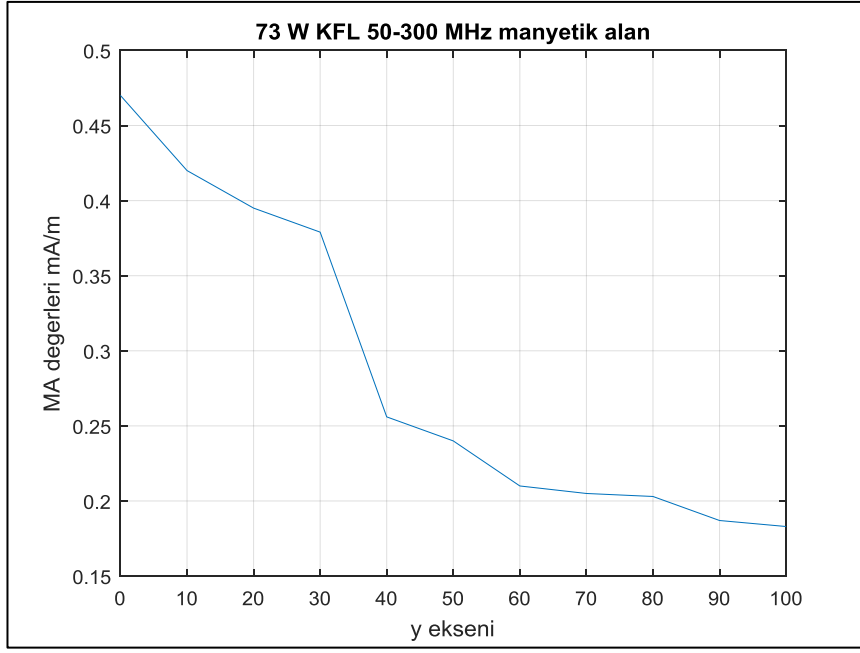


Şekil 4.31. 73 W KFL 601-900 MHz elektrik alan

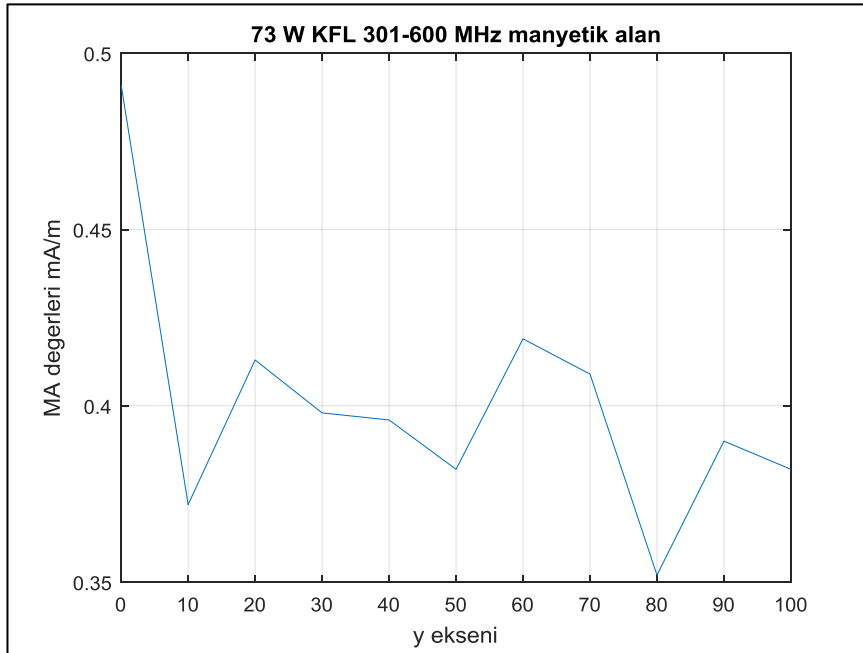
73 W değerindeki lamba için elektrik alan değerleri, 0.160-0.090 değerleri arasında değişmektedir.

Çizelge 4.21 73 W Kompakt flüoresan lambanın manyetik alan tablo

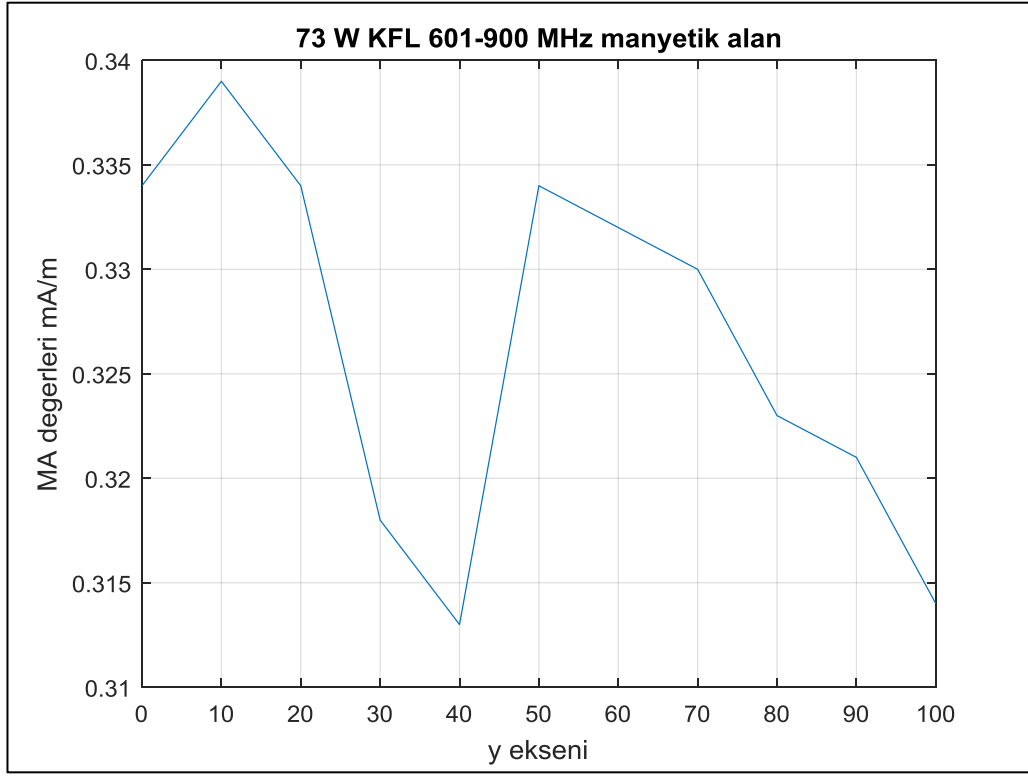
Ölçüm aralıkları (y=90 °)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları
0 cm	0,470 (56,1-100-300 MHz))	0,491 (380-420-460 MHz)	0,334 (800-860-900MHz)
10 cm	0,412 (58,5-100-200 MHz)	0,372 (340-380-460MHz)	0,339 (800-860-900MHz)
20 cm	0,395 (55-80- 100 MHz)	0,413 (340-380-460 MHz)	0,334 (800-860-900 MHz)
30 cm	0,379 (57,4-100-200 MHz)	0,398 (340-380-460 MHz)	0,318 (800-860-900 MHz)
40 cm	0,256 ( 60-100- 140 MHz)	0,396 (340-380-460 MHz)	0,313 (800-860-900 MHz)
50 cm	0,240 ( 60-86- 300 MHz)	0,382 (340-380-460 MHz)	0,334 (800-860-900 MHz)
60 cm	0,210 ( 60-100- 300 MHz)	0,419 (380-420-460 MHz)	0,332 (800-860-900 MHz)
70 cm	0,205 ( 54,2-80- 140 MHz)	0,409 (380-420-460 MHz)	0,330 (800-860-900 MHz)
80 cm	0,20 ( 60-86,7- 300 MHz)	0,352 (340-380-460 MHz)	0,323 (800-860-900 MHz)
90 cm	0,187 (57,8-100-200 MHz))	0,390 (380-420-460 MHz)	0,321 (800-860-900 MHz)
100 cm	0,183 ( 60-200- 280 MHz)	0,382 (380-420-460 MHz)	0,314 (800-860-900 MHz)



Şekil 4.32 73 W KFL 50-300 MHz manyetik alan



Şekil 4.33 73 W KFL 301-600 MHz manyetik alan



Şekil 4.34 73 W KFL 601-900 MHz manyetik alan

## 5. BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ

### 5.1 Genel Bilgiler

Bağışıklık, insan vücudunun kendisine zarar verebilecek her türlü organizma ve toksine direnç göstermesidir (Çavuşoğlu vd. 2001). Mikroorganizmaların doku ve organizmalara zarar vermesini engellemek ve en kısa zamanda vücuttan uzaklaşmasını sağlamak için yapılan işlemlere “bağışıklık cevabı” denir. Bağışıklık cevabı süresince “hastalık” devam eder ve bu süre; vücudun direncine ve mikroorganizmanın yapısına göre farklılaşır. Bağışıklık cevabı süresi içerisinde vücut hastalık sebebinin yenmişse, hastalığa sebebiyet veren mikroorganizmalara karşı duyarlı olan bağışıklık hücreleri vücutta hafıza hücresi olarak saklanır. Bu şekilde vücut söz konusu hastalığa karşı bağışıklık kazanmış olur (Şahan 2004).

Bağışıklık sistemine olan ilgi son yıllarda artmakta olup; matematikçiler, mühendisler, bilgisayar bilimcileri ve çeşitli konularda araştırmacılar bu sistemin yetenekleri ile ilgilenmektedir. Karmaşıklığı göz önünde bulundurulduğunda, bağışıklık sistemi en az beyin kadar karmaşık bir yapıda bulunmaktadır.

Bağışıklık sisteminin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Teklik: Her birey kendine özgü yetenekleri olan bir bağışıklık sistemine sahiptir.
2. Dış çevreye karşı uyumluluk: Bağışıklık sistemi, dış çevredeki değişikliklere hızlı uyum sağlayan ve doğal bir şekilde meydana gelen olay-cevap mekanizmasıdır.
3. Anomali tespiti: Bağışıklık sistemi, daha önce hiç karşılaşmadığı patojenleri tespit edip, bunlara tepki verebilmektedir.
4. Mükemmel olmayan tespit: Reaksiyon için patojenin tam tanımına tanınmasına gerek duyulmamaktadır. Bundan dolayı sistem gürültü toleranslıdır.
5. Dağıtılmış tespit: Bağışıklık sistemi hücreleri bütün vücuda dağıtılmıştır ve herhangi bir merkezi sistem tarafından kontrol edilmemektedir.
6. Takviyeli öğrenme: Sistem, patojenleri öğrenebilmekte ve daha sonrasında aynı patojenle karşılaştığında daha kuvvetli ve daha hızlı cevap vermektedir.

7. Farklılaşma: Bağışıklık sistemi farkı antijenlere cevap verebilecek antikörleri üretmeye çalışarak, farklılaşmayı teşvik eder.
8. Hafızaya sahip olma: Bağışıklık sistemi, aktifliği sürekli olarak devam eden, korunan ve kendini organize edebilen bir hafızaya sahiptir (Karaboğa 2014).

Bağışıklık sistemi genel olarak; doğal bağışıklık ve sonradan kazanılan (edinsel) bağışıklık şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

## **5.2 Doğal Bağışıklık**

Doğal bağışıklık, savunma sisteminde ilk aşamadır. Organizmaya ait olanı, yabancı olandan ayırabilir ama bir patojen tipini diğer patojenden ayırt edemez. Edinsel bağışıklık gibi organizmaya özgü bir süreç değildir, genel özelliklerle gelişir. Doğal bağışıklık vücudumuzda iki savunma hattı geliştirir. Vücuda yabancı maddeler; solunum yolu, ürogenital yollar, cildimizdeki epitel doku ve gastrointestinal yollarda bulunan müköz membranlarla karşılaştıklarında ilk direnç hattı ile karşılaşmış olurlar. Antimikrobiyal peptidler, antifagosit hücreler, kimyasal sinyaller, doğal öldürücü hücreler ve inflamasyonla ilişkili ateş, ikinci direnç hattını oluşturur (Songu ve Katılmış 2012).

## **5.3 Edinsel Bağışıklık**

Edinsel (spesifik) bağışıklık, bağışıklık sisteminin büyük çoğunluğunu oluşturur. Kişinin yaşamı boyunca devam eder; organizmaya ait olanı, yabancı olandan ayırabilir. Ayrıca, bir patojen tipini diğer patojen tipinden ayırarak, yabancı moleküllere ve farklı patojenlere özel olarak yanıt verir (Songu ve Katılmış. 2012). Edinsel bağışıklık, özgül organizmaları ve toksinleri yok eder, antikörleri ve aktif lenfositleri üretir (Çavuşoğlu vd. 2001).

### 5.3.1 Aktif ve pasif bağışıklık

Aktif (edinilmiş) bağışıklık; organizmanın özgün bir antijen ile karşılaşması ya da antijene karşı antikorun harekete geçmesini ifade eder. Hastalığın kendisini geçirerek ya da bağışıklık kazanma yolu ile edinilir. Aktif bağışıklık bir kere kazanıldığında uzun süre devam eder ancak; antijenin tamamıyla ortadan kaldırılması için uzun süre gerekir. Bu süre antijenle ilk defa karşılaşılmasının ardından birkaç gün ile birkaç hafta arasında değişebilir. Sonrasında antijenle tekrar karşılaşıldığında, artık antijen organizma tarafından tanınan bir madde olduğu için bağışıklık sistemi çok kısa sürede yanıt verir. Antijenin tanınmasını B ve T hafıza lenfositleri sağlar.

Bir kaynaktan diğerine iletilen bağışıklığa pasif bağışıklık denir. Bir bebek pasif bağışıklığı anne sütü ile ya da anne rahmindeyken annesinden geçen antikorlar aracılığıyla kazanır. Bu sayede dünyaya geldiğinde ilk üç ay ile altı ay boyunca az sayıda enfeksiyona yakalanır. Pasif bağışıklık, diğer insanlar ya da hayvanların ürettiği antikorların diğerine iletimi vasıtasıyla da sağlanır. Bir hastalığa istinaden yoğun antikor miktarı bulunduran serumlar, hastalığa karşı koruma sağlayabilir ancak bu şekilde sağlanan koruma bireyi kısa süre (haftalar ya da aylar ) korur (Songu ve Katılmış, 2012).

### 5.3.2 Aktif bağışıklık tipleri

Vücutta iki tür edinsel bağışıklık bulunmakta olup, birbirleri ile yakın ilgilidir. Bu iki türden birisinde vücut, antijene karşı antikor geliştirir, geliştirilen antikorlar globülin yapısındadır. Antikor geliştiren bağışıklık tipine *B hücre bağışıklığı* veya *humoral bağışıklık* denir. İkinci edinsel bağışıklık tipi ise aktif T lenfositinin çok sayıda oluşumu ile gelişir. Bu tip bağışıklık tipine *T hücre bağışıklığı* veya *hücre sel bağışıklık* denir. Antikorlar ve aktif lenfositler vücudun lenfoid dokularında üretilirler.

Lenfositlerin büyük çoğunluğu lenf düğümlerinde bulunur. Bir kısmı da dalak, kemik iliği, mide bağırsak kanalının submukoza tabakası gibi özelleşmiş lenfoid dokularda yer alır. Lenfoid doku, vücutta, vücuda giren yabancı maddenin fazla yayılmadan

yakalanmasını sağlayacak şekilde dağılmıştır. Mikroorganizma genellikle doku sıvılarına geçer ardından lenfotik damarlar tarafından lenf düğümlerine ve diğer lenf dokularına taşınır (Çavuşoğlu vd. 2001).

### 5.3.3 Humoral ve hücrel bağışıklık

Humoral bağışıklık kanda ve vücut sıvılarında antikorlara bağlı olarak oluşur Humoral bağışıklığın gelişmesi sırası ile primer ve sekonder yanıt oluşur. Primer yanıt; antijen vücuda ilk girdiğinde aşamada ortaya çıkar. Antijene cevap verme süresinde B hücreleri aktif hale gelir ve antikor salgılayan hücreler oluşur.

Hücrel bağışıklıkta; makrofajlar ve T lenfositler, hücre içi bakterilere, virüslere ve kanser hücrelerine karşı koruma sağlarlar.

Çizelge 5.1 Humoral ve hücrel bağışıklık karşılaştırması ( Düzgün 2014)

	Humoral bağışıklık	Hücrel bağışıklık
Efektör Hücre	B lenfosit	CD4+Th1,CD4+Th2,CD8+ Tc,T reg
Aracı moleküller	Antikor, Sitokinler	Sitokinler, Kemokinler
Efektör etki	-Mikropların hücre duvarına tutunarak konakçıyı hasta etmesini ve konakçıya yayılımını önler. -Toksinlerin yok edilmesini sağlar. -Antikorlar, mikroplara bağlanarak fagositozu kolaylaştırır. -Antikorlar, doğal öldürücü hücreler, lökositler ve FcR aracılığı hücelere bağlanır ve granülleri ile öldürür. -Tamamlayıcı sistemi (patojen temizlemeye yardımcı) -Mukozal bağışıklıkta rol oynar.	-Hücre içinde yaşayan mikropların öldürülmesi için fagositlerin aktive edilmesini sağlar. -Hasta hücreleri öldürerek hücre içinde çoğalan mikropları yok eder. -Hücre dışı parazitlerin yok edilmesini sağlar.



## 5.4 Lenfoid Organlar

Lenfoid organların farklı fonksiyonları vardır ve dokular vücutta dağıtılmış bir şekilde bulunmaktadır.

**Timüs:** Doğuma kadar gelişimini tamamlamış bir organdır ve bağışıklık hücrelerinin vücuttaki lenfoid dokulara yerleştiği ergenlik döneminde, gerilemeye başlar, Timüs 'ün yerini adipoz doku alır (Songu ve Katılmış. 2012). Timüs, T Lenfositlerin farklılaştığı ve fonksiyonel olarak olgunlaştığı merkezi organdır (Dinçkaya. 2000). T lenfositler, kemik iliğinde gelişir, Timüs bezine giderler. Timüs bezinde hızlı bir şekilde bölünüp, çoğalarak çok sayıda farklı antijene yanıt verirler. Bu şekilde, timik lenfositler antijene özgül yanıt verecek şekilde gelişir ve çok sayıda farklı T lenfosit timüsü terk ederek vücuttaki lenfoid dokulara dağılır (Çavuşoğlu vd. 2001).

**Lenf Düğümleri:** Lenf damarları boyunca konumlanmış küçük lenf dokusu toplulukları olup; her lenf düğümü farklı ve kendisine en yakın olan bölgedeki lenflerden sorumludur. Lenf düğümlerinin iki görevi vardır: yabancı maddeleri kan dolaşımına dâhil olmadan önce lenften uzaklaştırmak ve bağışıklık hücrelerinin çoğalması için merkezi işlev görmek (Songu ve Katılmış. 2012).

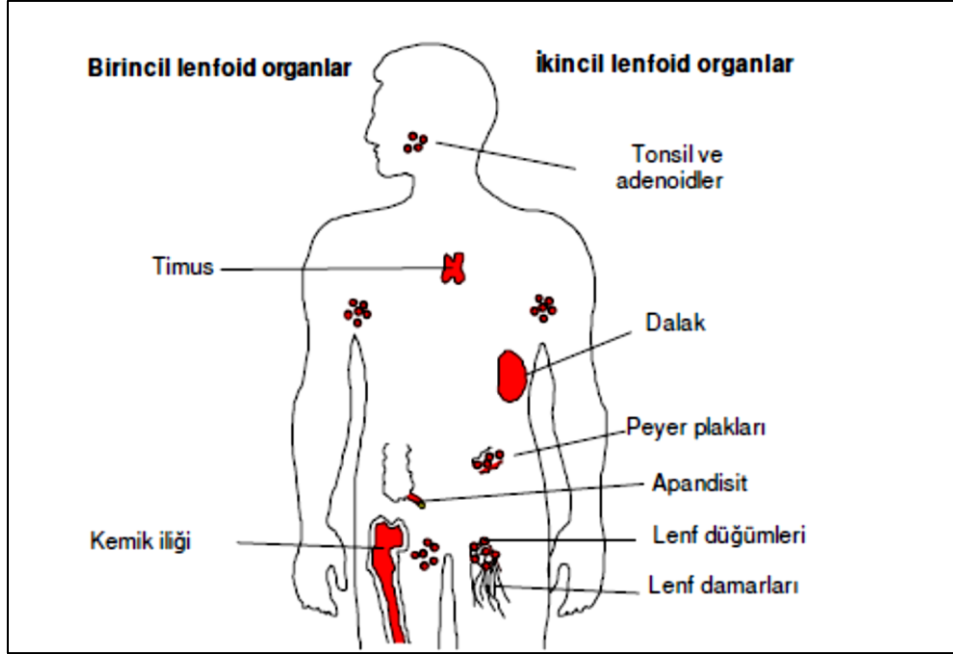
**Kemik İliği:** Uzun kemiklerin içindeki katı dokudur ve bağışıklık hücreleri kemik iliğindeki kök hücrelerin farklılaşması ile oluşur (Karaboğa 2014).

**Dalak:** Kandaki yabancı maddeleri süzer ve sürekli enfeksiyonlara karşı bağışıklık yanıtının önemli bir parçasını oluşturur. Dalak, kırmızı ve beyaz kan hücrelerini barındırır (Songu ve Katılmış. 2012).

**Lenfotik damarlar:** Lenf sıvısını kana ve bağışıklık organlarına ileten kanallar ağıdır (Karaboğa 2014).

**Mukoza ile ilişkili lenfoid dokular:** Bu lenfoid doku toplulukları; solunum, sindirim ve ürogenital kanallarda iç kısımlarda bulunmaktadır. Bağışıklık hücreleri, mikroorganizmalara yanıt vermek için bu kanallarda bulunur. Bu kanalların iç kısmında

bulunan mukozal bağışıklık, iç organların korunmasını sağlar (Songu ve Katılmış, 2012).



Şekil 5.1 Bağışıklık sistemi organları

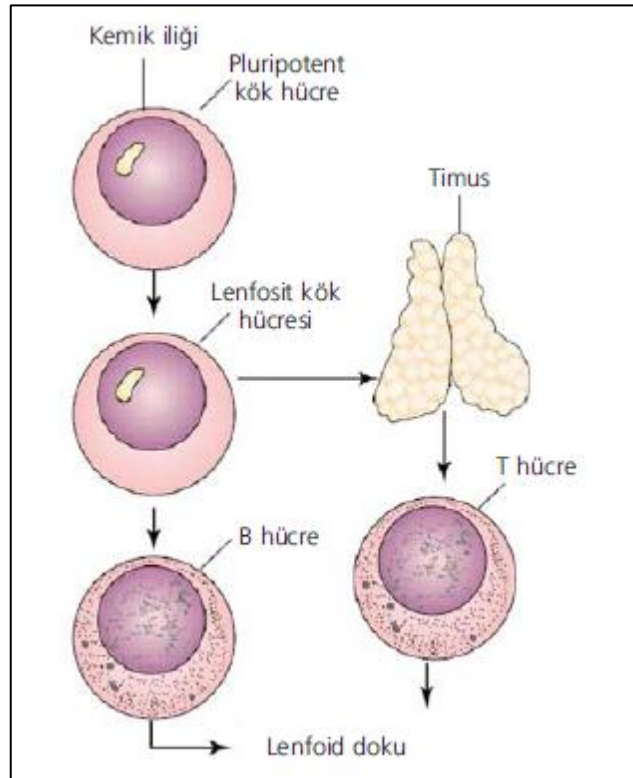
## 5.5 Bağışıklık Hücreleri

Bağışıklık sistemi hücreleri temel olarak üçe ayrılır.

1. Lenfositler
  - B hücresi ve Antikorlar
  - T hücresi ve Lenfokinler
  - Doğal Öldürücü Hücreler (NK)
2. Fagositler, granulositler ve benzerleri
3. Komplement

### 5.5.1 Lenfositler

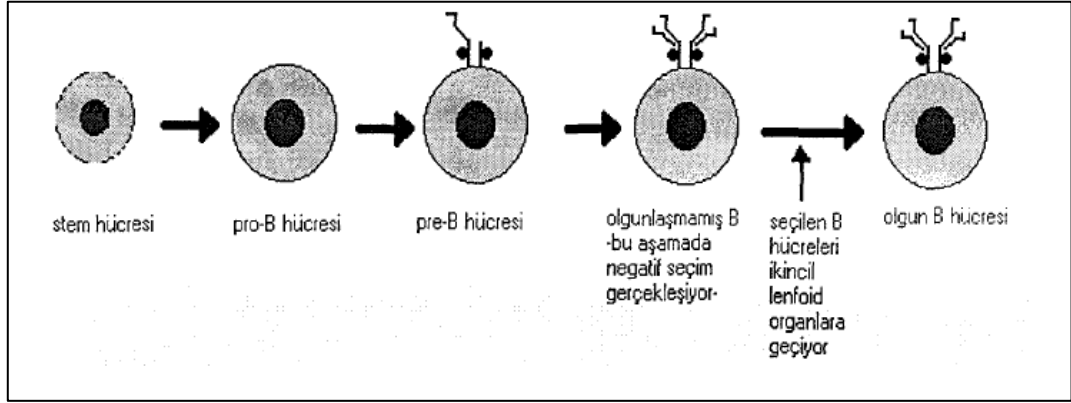
Lenfositler, kan lökositlerinin %25-35 kadarını oluşturur ve diğer kan lökositleri gibi kemik iliğindeki kök hücrelerden üretilirler. Kemik iliğinde üretilen lenfositler Şekil 5.2’de görülmektedir. Bu hücreler, lenfoid dokularda toplanır ve burada B ve T lenfosit tipi olarak olgunlaşır (Songu ve Katılmış. 2012).



### 5.5.2. B hücreleri ve antikorlar

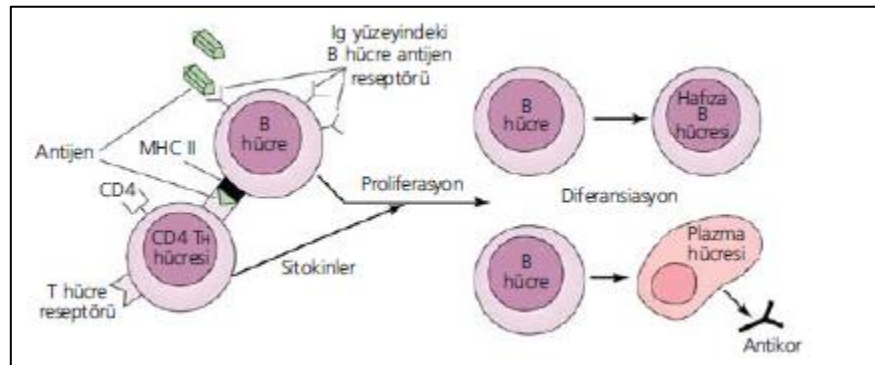
B hücrelerinin temel görevleri; virüs, bakteri ve tümör hücrelerine yanıt verip, antikorların üretilmesini ve salgılanması sağlamaktır. Her B hücresi özel bir antikor üretir. Antikorlar, başka bir proteini tanıyan ve ona bağlanan özel proteinlerdir. Antikorlar, bağışıklık sisteminin önemli bir tanıma elemanıdır (Karaboğa 2014) .

Olgunlaşmaları kemik iliğindeki kök hücrelerle gerçekleşir. Önce kök hücreler, gelişmemiş prekürsür (Pre B) hücelere dönüşür ve daha sonra özgün yüzey reseptörünü ve spesifik tipte antikoru oluşturur. Şekil 5.3’de görünen olgunlaşmış B hücresi kemik iliğini terk eder, dolaşıma katılır ve kendine özgü antijene yanıt vermek için lenfoid dokulara geçer.



Şekil 5.3 B lenfositin olgunlaşması

Antijen ile karşılaşan ve T hücrelerinden yardım alan B hücreleri, Şekil 5.4’de görüldüğü gibi kendilerini antikor salgılayan plazma hücrelerine ya da B hafıza hücrelerine dönüştüren değişikliklere uğrarlar (Songu ve Katılmış, 2012).



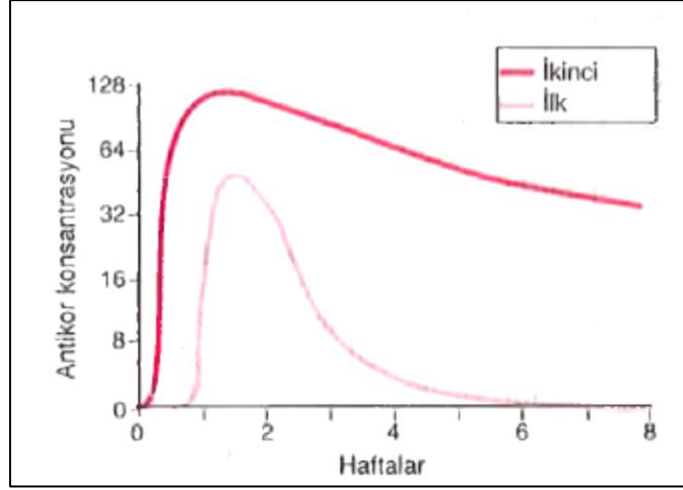
Şekil 5.4 B hücre farklılaşması (Şahan 2004)

### 5.5.3. B lenfositlerin aktivasyonu

Her lenfosit kopyası, sadece tek bir tip antijene (ya da benzer antijenlere) özgüdür. Çünkü B lenfositlerde, her hücrenin yüzeyinde, sadece tek tip bir antijene cevap verebilen 100.000 antikor molekülü bulunmaktadır. Bu nedenle, uygun antijen ortaya çıktığında, hızla hücre yüzeyine yapışacak ve böylece aktivasyon süreci başlayacaktır.

Lenfoid dokuda, lenfositlerle birlikte milyonlarca makrofaj da bulunmaktadır. Vücuda giren yabancı maddelerin çoğu önce makrofajlar tarafından fagosite edilir ve kısmen sindirilir. Makrofajlar, antijenleri hücreler aracılığıyla lenfositlere ulaştırır ve özgül lenfosit kopyasını aktif hale getirir. Makrofajlar aynı zamanda özgül lenfositlerin büyümesini ve çoğalmasını kolaylaştıran aktivatör madde salgılar. Bu maddeye interlökin-1 adı verilir.

T ve B lenfositlerin çoğunluğu, antijenler tarafından aynı zamanda uyarılır. Oluşan T hücrelerinden bir kısmı, B lenfositleri uyan ve sitokinler denilen maddeler salgılar. B hücrelerinin oluşturduğu antikor miktarının artması için T hücrelerinin yardımı gerekir. Antijene B hücrelerini yanında T hücreleri de müdahale eder. Kendine uyan antijenle karşılaşmadan önce B lenfosit kopyaları lenfoid dokuda pasif halde bulunmaktadır. Antijene özgül B lenfositleri hemen gelişir ve lenfoblasta dönüşür. Lenfoblastların bir kısmı daha da farklılaşarak plazma blastlara (plazma hücrelerinin prekürsörü ) dönüşür. Olgunlaşmış plazma hücresi bundan sonra çok hızlı bir şekilde antikorları üretir. Antikorlar lenf sıvısına dağıtılır ve kan dolaşımına yayılırlar. Bu süreç plazma hücresinin yok olmasına kadar günler haftalar boyunca devam eder ( Çavuşoğlu vd. 2001).



Şekil 5.5 Kandaki ilk ve aylar sonra yapılan ikinci antijen enjeksiyonuna karşı gelişen antikor konsantrasyonunun zamana göre değişimi

Uyarılan B lenfosit kopyalarından gelişen bazı lenfoblastlar plazma hücresine dönüşmez, yeni bir B lenfositte dönüşür. Farklı bir şekilde ifade edilecek olursa, başlangıçta özgül olarak uyarılmış olan olgunlaşmış B hücrelerinden oluşan yeni B lenfositleri ana lenfosit topluluğuna dâhil olur ve lenfoid doku aracılığı ile dolaşıma katılır, ama aynı antijenle tekrar karşılaşımaya kadar bağışıklık sistemde sessiz kalırlar. Bu lenfositler hafıza hücreleri adını alır. Aynı antijenle tekrar karşılaştığında daha hızlı ve daha güçlü bir antikor yanıtı oluşturulur. Çünkü başlangıçta özgül hücre topluluğunu oluşturan ana B lenfositlerinden daha fazla sayıda hafıza hücresi bulunur. Şekil 5.5'te özgül antijenle ilk karşılaşmada ortaya çıkan antikor konsantrasyonu ve süresi ile ikinci karşılaşmada oluşan ortaya çıkan antikor konsantrasyonu ve süresi karşılaştırılmaktadır. (Çavuşoğlu vd. 2001).

#### 5.5.4 Antikorlar

B hücrelerinin yüzeylerinde Immunoglobulin molekülleri bulunur. Immunoglobulinlerin yapıları birbirine benzeyen antikorlardan oluşur. Antikorların V (değişken) bölgeleri, antijenlerle veya diğer antijen yapılarıyla birleşme yeridir (reseptörler). Antikorlar beş farklı sınıfta S (sabit) bölgelere ayrılırlar; *IgM*, *IgD*, *IgG*, *IgE* ve *IgA*. Antikorların tepki

fonksiyonlarının çoğu S bölgelerinde başlar. Tepki fonksiyonlarının başlayabilmesi için; V bölgesinin antijen reseptörlerine bağlanması gerekir (Şahan 2004).

Antikorların Özellikleri:

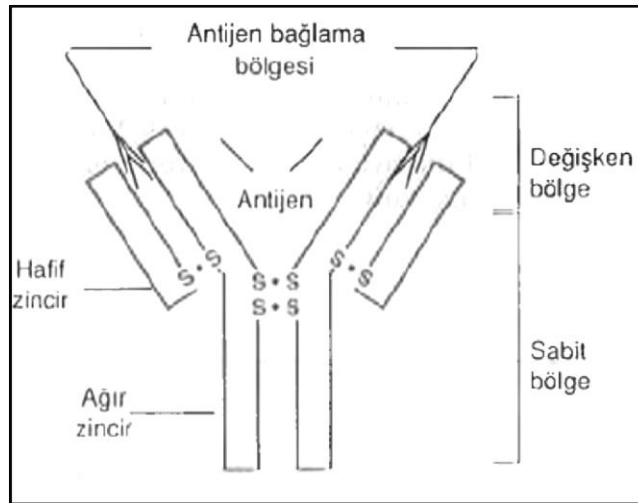
IgE: Immünoglobulin moleküllerinin % 0,004'ünü oluşturur. Bazofillere ve mast hücrelerine bağlanır; parazitlere bağlı enfeksiyonlarda, aşırı duyarlı olunan reaksiyonlarda ve alerjik reaksiyonlarda etkilidir.

IgD: Immünoglobulin moleküllerinin % 0,2' sini oluşturur. B lenfositlerinde bulunur ve gelişimleri için etkili olur.

IgG: Immünoglobulin moleküllerinin %75'ini oluşturur. Makrofajlara bağlanır, kompleman aktivasyonu yapar. Yeni doğanın korunmasından sorumludur.

IgM: Immünoglobulin moleküllerinin %10'unu oluşturur. İlk bağışıklık yanıtlarında önemli rol oynar, kan grubu antijenlerinde doğal antikor oluşturur, kompleman aktivasyonunda etkilidir.

IgA: Immünoglobulin moleküllerinin %15'ini oluşturur. Mukoz membranları korur (Songu ve Katılmış 2012).



Şekil 5.6 Tipik bir IgG antikorun yarısı, iki hafif ve iki ağır polipeptid zincirinin birleşmesinden oluştuğunu gösterilmektedir. Antijen zincirlerinin değişken bölgelerinde iki ayrı uca bağlanmaktadır. (Çavuşoğlu vd. 2001)

### 5.5.5 T hücreleri ve lenfokinler

Lenfosit hücreler, organizmada bağışıklık sisteminin aktif hücreleri olarak görev yapar. Temel lenfositler hücreleri, kemik iliğindeki kök hücrelerde oluşur ancak; T lenfositler olgunlaşmalarını timüste tamamlar. Timüste T lenfositler tekrar tekrar bölünerek çoğalır ve geniş bir repertuara sahip olur. Olgunlaşan T lenfositler, birincil lenfoid organlardan ikincil (çevresel) lenfoid organlara dağılır. İkincil lenfoid organlar dalak, deri, lenf düğümleri ve mukozalarla bağlantılı lenfoid dokular olup; lenfositlerin uyarılarla, yani antijenle karşılaşarak faal hale geldiği yerlerdir.

Organizmada kendinden olmayanı tanımaktan (kendi, self ya da öz) ve yanıt vermektan T hücrelerin sorumludur. T lenfositler ikincil organlardaki lenfositlerin %70' ini oluşturur ve organizmada yerleştikleri belirli bir yer olmadığı için sürekli doku ve kan arasında dolaşırlar. T lenfositler tarafından tanınan ve tepki verilen başlıca mikroorganizmalar; virüs, bakteri, kanserli dokular ve nakil dokulardır.

T lenfositler, Timüste olgunlaşmaları esnasında dendritik hücreler, epitel hücreler ve makrofajlarla etkileşimde olur, önce T hücreler hızla çoğalır sonrasında yüzeylerinde taşıdıkları T hücre reseptörü (THR) genleri düzenlenir.

Aktif T hücrelerinin alt gruplarına göre farklı görevleri bulunmaktadır. Yardımcı T hücreleri (Th) CD4+ ; B hücrelerinin plazma hücrelerine dönüşmesine ve plazma hücrelerinin salgıladıkları antikorun antijene olan benzerliğinin artmasına destek verip, yardımcı olur. Th1 grubunda bulunan T hücreleri, hücre bağışıklıkta “gecikmiş tipte aşırı duyarlılık” reaksiyonunda yer alır. Salgıladıkları IL-2 ile diğer yardımcı T hücrelerini ve sitotoksik T hücrelerini (CD4+ veya CD8+) ve makrofajları uyarırlar. Sitotoksik T hücreleri (Ts) CD8+: Hedef hücreyi öldüren sitotoksik T hücreleridir. Aktif T hücrelerinin fonksiyonları Şekil 5.9 'da verilmiştir.

Timik Seçim: Timusta T lenfositler, “pozitif seçim” yaparak, antijeni tanıyanları yaşatıp, diğerleri ölmektedir. Pozitif seçim Şekil 5.7 'de gösterilmektedir. “Negatif

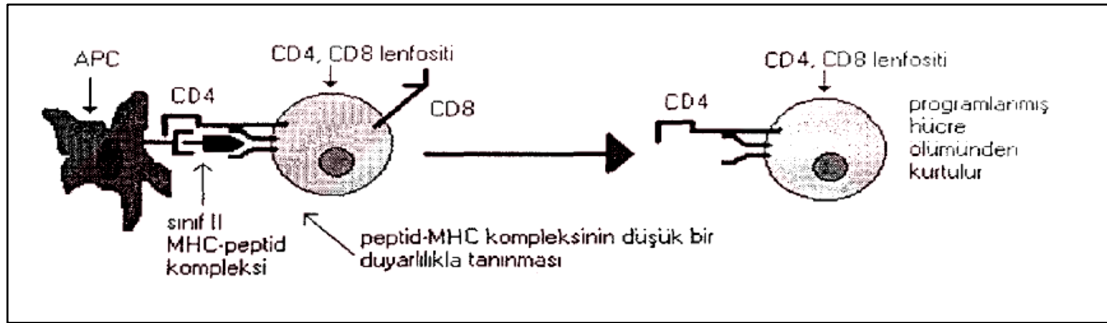


seçim” de ise; organizmanın kendinden olan proteinlere karşı yanıt verenleri yok etmektedir. Negatif seçim Şekil 5.8’ de gösterilmektedir.

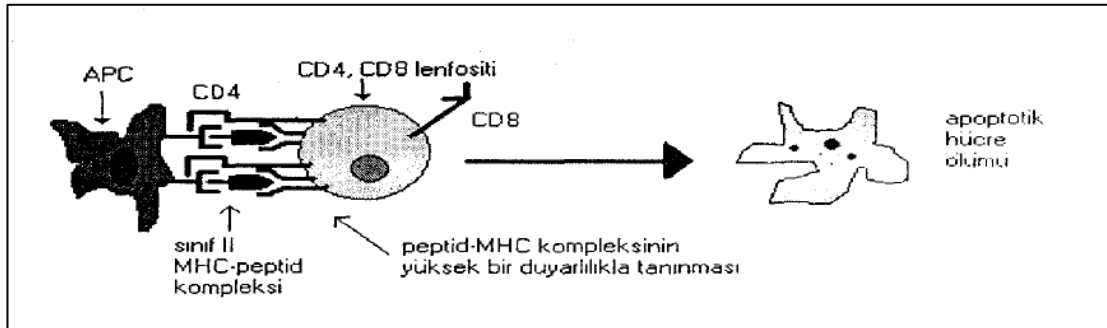
T hücre aktivasyonu: T lenfositler, taşıdıkları THR’ ye uygun antijen ve HLA molekülü ile karşılaştığında aktif hale gelirler.

Çoğalma: Kanda dolaşan lenfositler antijenle olan karşılaşmalarından sonra değişir ve büyür. Uyarıcı mikroorganizma yakındaki lenf düğümüne taşınır ve uyarıcının antijenlerine yanıt vermek için T ve B lenfositler uyarılır. Bu şekilde aktif hale gelen T hücreleri, makrofajların da etkisi ile hücrelerin klonal bir şekilde çoğalmasını sağlar. Hücrelerin çoğalması ile bağışıklık düzenleyici işlevler başlar.

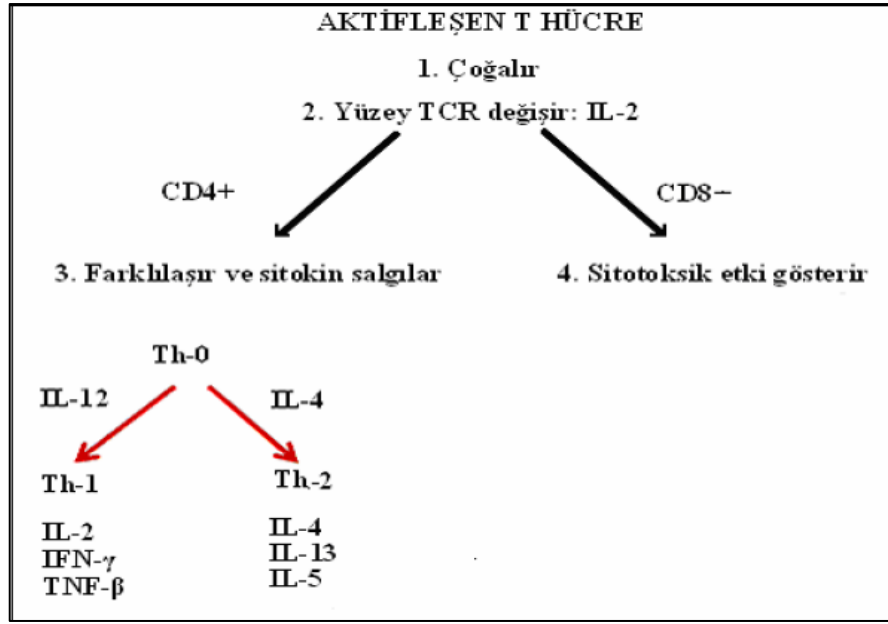
Bellek hücresi gelişimi: Antijenden kaynaklı uyarı durduğunda, cevap verme de durur, ancak bir miktar T hücresi hafıza hücreleri olarak uzun süre dolaşımda kalır. Hafıza hücreleri aynı antijenle tekrar karşılaştığında ikincil yanıtı oluşturur (Camcıoğlu 2013).



Şekil 5.7 Pozitif seçim (Şahan 2004)



Şekil 5.8 Negatif seçim (Şahan 2004)



Şekil 5.9 .Aktifleşen T hücre fonksiyonları (Kurdal 2008)

### 5.5.6 Doğal öldürücü hücreler (nk, natural killer)

Doğal öldürücüler, doğal bağışıklık sisteminde rol alan hücre grubudur, net olmamasına rağmen lenfoid kök hücrelerinde oluştuğunu bildiren kaynaklar bulunmaktadır. Doğal öldürücüler lenfositlerin kanda %10 %15 kadarını oluşturur ve lenfositlere benzer ancak lenfositlere göre daha büyük ve granüllü yapıları vardır. Granüllerinde bulunan granzim ve perforin enzimleri ile yabancı hücreleri öldürür. Doğal öldürücü hücrelerde, T ve B hücrelerinde bulunan antijene özgü reseptörler bulunmaz. NK hücrelerinin çoğu taşıdıkları yüzey molekülleri ile yabancı hücreyi (virüslü hücre, tümör hücresi vb.) tanır ve öldürür. Ayrıca doğal öldürücülerin antikor ile kaplanmış hücreleri öldürme özelliği de bulunmaktadır (Düzgün 2014).

### 5.5.7 Fagositler (hücre yiyiciler)

Fagositleri, beyaz kan hücresidir. Antijen özelliği gösteren partikülleri ve mikroorganizmaları sindirir. Makrofajlar ve monosit önemli fagosit gruplarıdır. Makrofajlar, antijenleri sarıp, sindirdikten sonra T lenfositlerine iletir ve bağışıklık cevabının ilk başladığı aşamada önemli rol oynarken; monositler, kanda dolaşır dokulara yayılır ve dokularda makrofaj (büyük yiyici) haline gelir (Karaboğa 2014).

### **5.5.8 Kompleman sistemi**

Kompleman sistem, humoral bağışıklık yanıtının temel aracı olup, vücudun enfeksiyona karşı yanıt oluşturmasını, yabancı hücreleri parçalamasını ve fagositozun arttırılmasını sağlar (Düzgün 2014).

Kompleman sistemi, serumda bulunan toplam proteinlerin yaklaşık olarak %10'unu oluşturmaktadır. Karaciğerde üretilir, aktif makrofajlar tarafından da az miktarlarda sentezlenir. Kompleman sistemde çok sayıda kompleman protein bulunur. Kompleman proteinlerin aktif hale gelmeleri için daha önce aktif olmuş enzimleri parçalanmaları gerekir. Aktif olan bir enzim daha sonraki aşamalarda birkaç molekülü aktif hale getirir ve etkileşim böylece artarak devam eder. Ancak, kompleman sistem kontrol altına alınamazsa güçlenerek biyolojik bir hasara neden olur ( Songu ve Katılmış 2012).

## 6. YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ

Bütün mühendislik alanlarıyla ilgili olan optimizasyon problemlerine yönelik bilimsel çalışmalar eskiye dayanır. Daha önceleri bu tür problemler için geliştirilen yöntemler, çeşitli kabullere dayalı matematiksel bağlantılı yöntemlerdi. Bu yöntemler klasik yöntemler olarak bilinmektedir ve problemlere özgü olması nedeniyle, problemlerin mutlaka matematiksel fonksiyonlarla tanımlanması gerekliliği dezavantaj oluşturmaktadır.

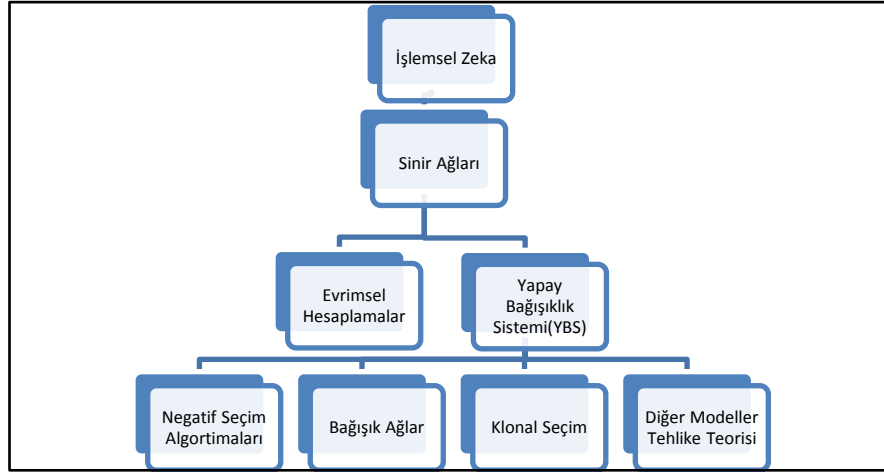
Özellikle son yıllarda, optimizasyon konusunda çalışan bazı bilim adamları; doğada bulunan doğal sistemleri ve bu sistemlerde gerçekleşen olayları incelemektedir. Bu sistemler; tek bir probleme özgü olmak yerine genel amaçlı kullanılabilen, performansı yüksek ve esnek sistemlerdir. Bu sebepler bilim adamlarının dikkatini çekmektedir. Doğada bulunan doğal optimizasyon sistemlerini zor ve karışıklığı nedeniyle anlaşılmasa da yine doğada var olan doğal yöntemlerle çözülmektedir. Doğada karşılaşılan doğal sistemleri ve olayları göz önünde bulundurarak oluşturulan optimizasyon yöntemlerine yapay zeka yöntemi, zeki yöntem ya da sezgisel yöntem gibi isimler verilmektedir (Karaboğa 2014).

Yapay Bağışıklık Sistemi (YBS) alanı, son on yılda işlemsel zekânın bir dalı olarak yavaş ve istikrarlı bir şekilde ilerlemektedir. Çeşitli bağışıklık ilkelerinin ilham kaynağı olduğu işlemsel modellerin geliştirilmesine olan ilgi giderek artmaktadır. Bazı araştırmalar biyolojik bağışıklık sistemindeki (BIS) mekanizmaların doğal süreçlerini daha iyi anlamak ve antijenlerin ve patojenlerin dinamik davranışları taklit etmek için modelleme yapmaktadır. Bununla birlikte, YBS modellemelerinin çoğu, yapay-işlemsel algoritmalar ve çeşitli bağışıklık süreçlerinin ve fonksiyonlarının basit modellerini kullanan teknikler üzerine kurulmuştur. Yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve hücresel otomatlar gibi biyolojik açıdan ilham veren diğer teknikler gibi, YBS’de bilim ve mühendislik problemlerinin çözümünde hesaplama araçları geliştirmek için Biyolojik Bağışıklık Sistemi’nden çıkarımlar yapmaya çalışmaktadır. Yapay Bağışıklık Sistemi nispeten genç bir alan olmasına rağmen, modeller, teknikler ve daha geniş çeşitlilikteki uygulamaları içeren aktif ve çekici bir alan olarak ortaya çıkmaktadır (Dasgupta 2006).

## 6.1 Yapay Bağışıklık Sisteminin Tarihsel Gelişimi

Yapay bağışıklık sistemi, insan bağışıklık sisteminden esinlenilen oluşturulmuş bir dizi algoritmanın ortak adıdır. Genetik algoritmalarından farklı olarak, tüm bağışıklık algoritmaları tek bir algoritmadan elde edilmemiştir. Ancak, yapay bağışıklık sistemi kapsamındaki tüm araştırmaların kökeni teorik immünolojiden kaynaklanmaktadır. Son 20 yılda çok sayıda paralel araştırma yapılmış ve böylece işlemsel bağışıklığında dâhil olduğu farklı alt sistemler oluşmuştur.

YBS birinci ve ikinci nesil algoritmalar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Birinci nesil algoritmalar ilham kaynağı olarak immünolojinin basit modellerini ele almışlardır. Bunlar negatif seçim algoritması, klonal seçim ve bağışık ağlar algoritmalarıdır. İkinci nesil algoritmalar ise, Dendritik Hücre Algoritması (DCA) gibi disiplinler arası modellerdir Şekil 6.'da yapay bağışıklık sisteminden ilham alınan modeller gösterilmektedir.



Şekil 6.1 Bir işlemsel zeka dalı olarak yapay bağışıklık sistemi (Dasgupta 2006)

İkinci nesil algoritmaların çoğu yeni algoritmalar olmasına rağmen, bazı uygulama alanlarında büyük umutlar sergilemektedirler.

Yapay bağışıklık sistemi, Burnett tarafından 1970'lerde klonal seçim algoritması ile ilgili yakınlık ölçümlerinin matematiksel olarak yapıldığı çalışmalara dayanmaktadır.

Bu modelle birlikte, Jerne'in idiyotipik ağ modeli, Farmer ve arkadaşları tarafından 1980'lerde resmileştirilmiş ve antikorlar arasındaki etkileşim matematiksel olarak kabul edilmiştir. Ağ modelinin hesaplamalar açısından yararlı özelliklere sahip olduğu görülmüş ve hem sinir ağları hem de genetik algoritmalarından farklı ağ tabanlı bir yaklaşım sağlamıştır. Model, Bersini ve Varela'nın sayısız iyileştirmeleri ile yorumlanmış ve bu iki yaklaşımın kombinasyonu, idiyotipik ağı özetleyen tüm YBS çalışmalarının temel taşı oluşturmuştur.

Benzer şekilde, Perelson ve arkadaşlarının Timusda oluşan T hücrelerinin seçilmesine ilişkin teorik bir modeli, negatif seçim algoritmasının gelişmesini sağlamıştır. Bu model, bir T-hücresi reseptörünün (TCR) kendinden olmayan antijeni tespit edilebilme uygunluğunu modellemek için (afinite ölçümlerine dayalı olarak) T-hücrelerinin seçimini irdelemiştir. Teorik immünolojiden YBS algoritmasına geçiş, Perelson ve Forrest arasındaki işbirliği sayesinde gerçekleşmiş, Forrest'ın makine öğrenimi üzerine uzmanlığını Perelson'un modelini geliştirmek için kullanmıştır.

Sonrasında, YBS teorik immünolojiden uzaklaşmış ve birincil algoritmalarla bir dizi hesaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Gelişmiş algoritmaların ilk performansları iyi olmasına rağmen, tekniklerin, seçilen problem açısından mevcutta bulunan en son teknolojik algoritmalarla karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar sağlamadığı anlaşılmıştır. Sonuç olarak; YBS araştırmacıları, geliştirilen algoritmaların insan bağışıklık sisteminin eski, basitleştirilmiş hesaplama modellerine dayandığını varsayarak, hem deneysel hem de teorik olarak temel immünolojiye geri dönmüşlerdir. Teorik immünoloji ise 1990 yıllarından beri ilerleme kaydetmiştir.

Cohen 2004 yılında yayınladığı "Tending Adam's Garden" adlı kitabında bağışıklık sistemini kompleks adaptif bir sistem olarak tanımlamıştır. Bağışıklık sisteminin sistematik anlayışı ile ilgili diğer benzer araştırmalar, YBS araştırmacılarının dikkatini çekmiş ve disiplinler arası yaklaşımlar ile bir arada ele alınmıştır. Bu sebeple, teorik immünologlar, deneysel immünoloji ve teorinin karmaşık ve dinamik dünyası arasında yorumlayıcı rolünü üstlenmişlerdir. YBS algoritmaları modern immünolojinin pek çok yeni fikrinin bir araya gelmesiyle gelişmiş ve eski sistemlerden daha iyi olacağını vadetmiştir.

Hesaplamalı ve teorik immünolojinin daha gelişmiş hale gelmesi, iki alan arasındaki kesin sınırların ortadan kalkacağını ve böylece daha da gelişmiş YBS algoritmalarının oluşacağını göstermiştir ( Greensmith, J. vd. 2010).

## **6.2 Yapay Bağışıklık Sisteminin Bileşenleri**

### **6.2.1 Temel çerçeve**

Evrimsel algoritmalarda, çoğalma, genetik çeşitlilik ve seleksiyon gibi süreçleri tekrarlayan birey popülasyonunu temsil eden bir yapay kromozom kümesi temsil edilir. Bu adaptif sürecin sonunda, evrimleşmiş bir yapay birey popülasyonu oluşur. Bu durumda popülasyondaki bireylerin genetik temsilde bir çerçeve kullanılır. Hesaplamalı bir algoritma tasarlamak için kullanılan bir çerçeve Şekil 6.2’de gösterilmiş olup, şu unsurları barındırmalıdır:

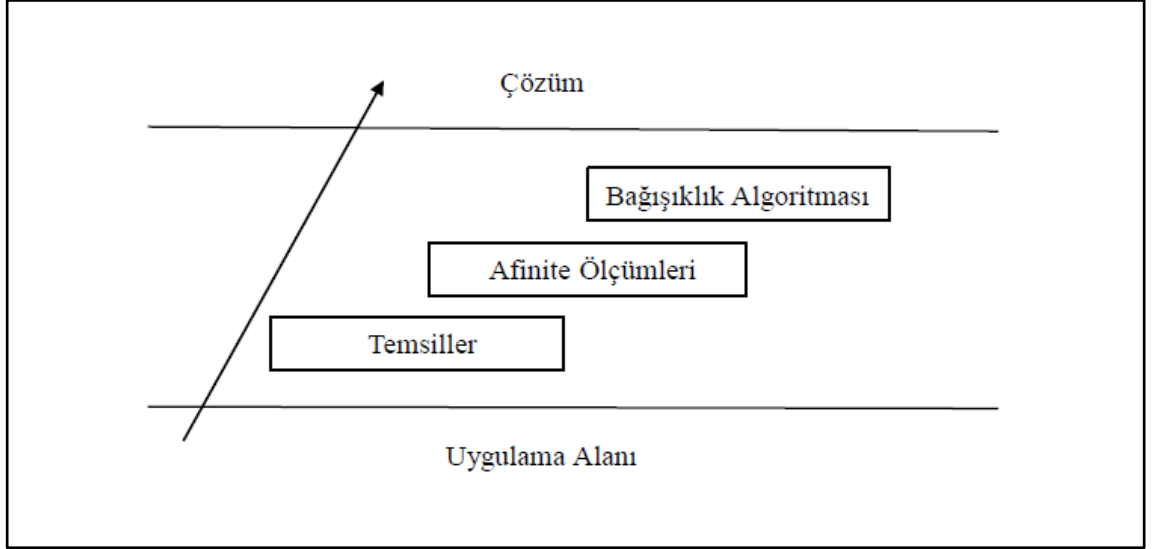
- Sistem bileşenlerinin temsil edilmesi
- Bireyler ve çevre arasındaki etkileşimi değerlendirme mekanizmaları
- Sistem dinamiklerini yöneten adaptasyon prosedürleri

Yapay bağışıklık sistemini açıklanması için önerilen çerçevede; bağışıklık organları, hücreleri ve molekülleri temsil eden modeller, yapay elemanların birbirleri ile etkileşiminin incelendiği afinite fonksiyonları ve YBS dinamiklerini yöneten genel amaçlı algoritmalar incelenmektedir (De Castro ve Timmis 2003) .

### **6.2.2 Şekil uzayı**

B hücreleri ve T hücreleri bağışıklık sisteminin en önemli hücreleri olarak tanımlanmışlardır. Hücrelerde, antijenlerin biçimlerini tamamlayan yüzey reseptör moleküllerini bulunur. Bu nedenle bağışıklık hücreleri ve moleküller yapay bağışıklık sisteminin oluşturulması için kullanılması gereken elemanlardır.

Perelson ve Oster (1979) tarafından şekil uzayı kavramı önerilmiştir. şekil uzayları, reseptör molekülleri ile antijenler arasındaki etkileşimi niceliksel olarak ifade eder. Biyolojik bağışıklık sisteminde olduğu gibi, bir reseptör ve antijen arasındaki bağlanma derecesi tamamlayıcı bölgeler üzerinden ölçülmektedir (De Castro ve Timmis 2003).



Şekil 6.2 YBS Çerçevesi ve katmanları

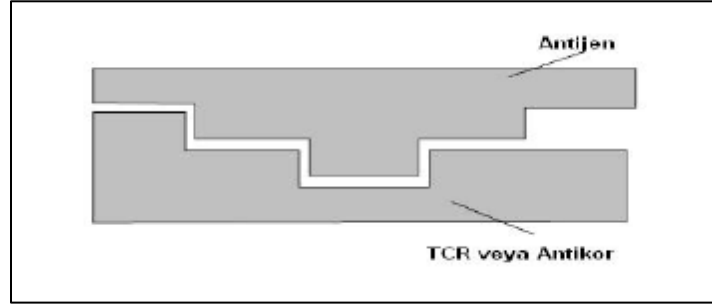
### 6.2.3 YBS çerçevesi ve katmanları

Tanıma bölgesindeki bir molekülün ilgili özelliklerini tanımlayan özellikler kümesine genelleştirilmiş şekil adı verilir. Bir antikorun genelleştirilmiş şekli  $L$  parametresi ile gösterilir. Bu nedenle,  $L$  boyutundaki şekil uzayında bulunan bir nokta,  $S^L$ , antijene bağlanma özellikleri açısından antikorun bağlanma bölgesinin genelleştirilmiş şeklini belirtir.

$N$  tane bireye sahip bir popülasyon,  $N$  adet nokta içeren  $V$  hacminde bir şekil uzayına karşılık gelir. Antikor ve antijen arasındaki bağ, basitçe bir anahtar ve kilit olarak düşünülebilir. Uygun bir tamamlayıcı anahtar kilidi açacaktır ancak kilidi açamayacak bir anahtar bulmak da olasıdır. Bu durumda, anahtar kilit bağlantısı tamamlanmaz ve



anahtar ve kilit arasında düşük bir afinite olur. Anahtar ve kilit arasındaki bağlantı şekil 6.3'de gösterilmiştir (Castro ve Timmis 2003).



Şekil 6.3 Tamamlayıcı bölgelerle tanıma

#### 6.2.4. Şekil uzayı ve afinite ölçümleri

Bir antikor ve bir antijeni modellemek için kullanılan şekil uzayı, antikor ve antijen arasındaki afinite ölçümlerinin hesaplanmasında kullanılır. Matematiksel olarak, bir antikor ( $Ab$ ) ya da bir antijen ( $Ag$ ) olan molekülün ( $m$ ) genelleştirilmiş şekli, nitelik serisi (koordinat kümesi) olarak gösterilir ve  $m = \langle m_1, m_2, \dots, m_L \rangle$ ,  $m \in S^L \subseteq R^L$  şeklinde ifade edilir.

Antikor antijen arasındaki afinite uzaklıkla ilgili olduğu için, Öklid, Manhattan veya Hamming mesafesi gibi iki dizi veya vektör arasındaki mesafe ölçümü yoluyla tahmin edilebilir. Eğer bir antikorun koordinatları  $Ab = \langle Ab_1, Ab_2, \dots, Ab_L \rangle$  ve bir antijenin koordinatları  $Ag = \langle Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_L \rangle$ , verilmişse, aralarındaki  $D$  mesafesi aşağıdaki gibi bulunur:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^L (Ab_i - Ag_i)^2} \quad (6.1)$$

$$D = \sum_{i=1}^L |Ab_i - Ag_i| \quad (6.2)$$

$$D = \sum_{i=1}^L d_i, \quad d_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } Ab_i \neq Ag_i \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (6.3)$$

Eşitlik 6.1 Öklid bağlantısı, Eşitlik 6.2 Manhattan bağlantılı ve Eşitlik 6.3 Hamming bağlantısı olarak tanımlanmaktadır (Castro ve Timmis 2003).

### 6.3 Klonal Seçim

Klon Seçim, antijenik bir uyarıya karşı gelişen bağışıklık tepkisinin temel özelliklerini açıklar. Antijeni tanıyan hücreler çoğalır ve antijeni tanımayan hücrelere karşı seçilir. (Dasgupta, D. 2006). Antijenleri tanıma kabiliyeti bağışıklık sisteminin yeteneğini tamamlar. Bir hayvanın lenfositleri tarafından üretilen T hücreleri ve antikorlar, yapay olarak sentezlenmiş olsa bile, her hangi bir yabancı molekül (veya kendi molekülünü) tanır (Castro ve Zuben. 1999).

Klon Seçim Teorisinin temel özellikleri şunlardır:

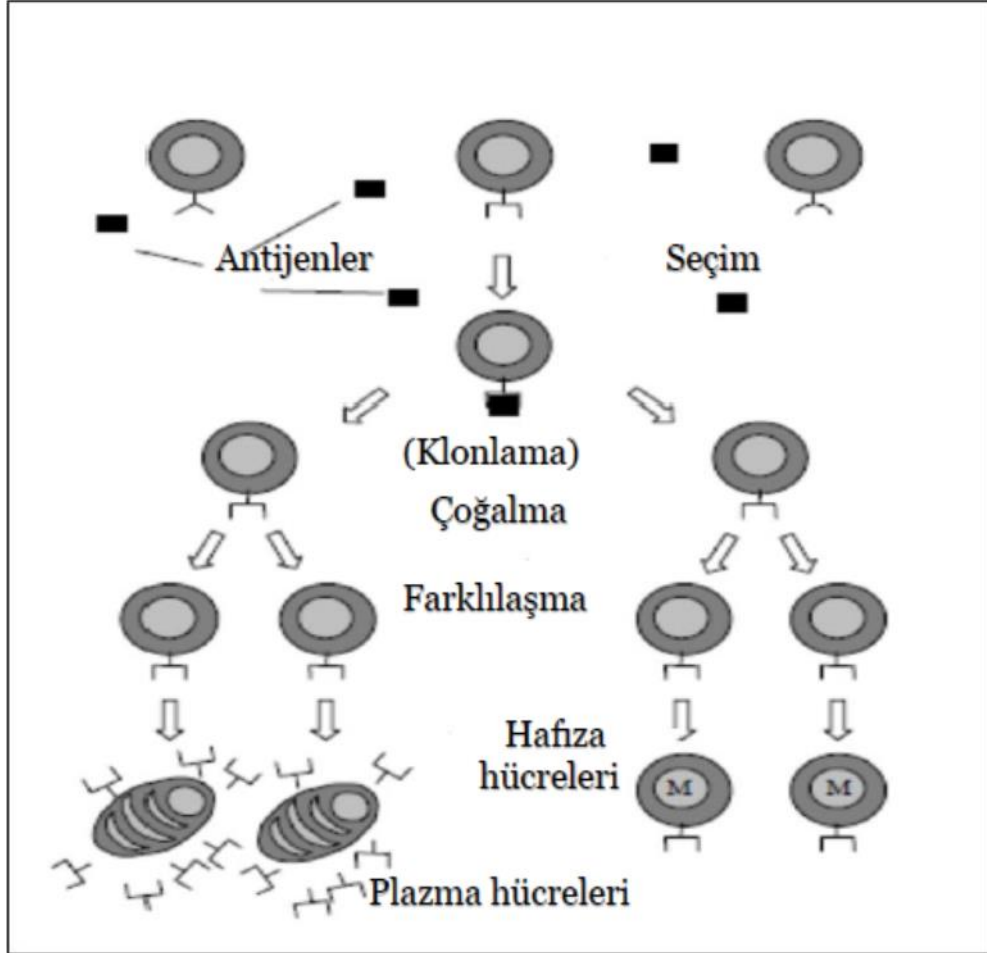
- Oluşan yeni hücreler, onları oluşturan hücrelerin kopyalarıdır (klon),yüksek oranda mutasyona (somatik hipermutasyon) maruz bırakılmışlardır.
- Kendinden reaktif reseptörler taşıyan farklılaşmış yeni lenfositlerin yok edilir.
- Antijenlerle temas kuran olgun hücrelerin farklılaşır ve çoğalır.

Klonal seçim algoritması, seçim ve olgunlaşma ilkelerine dayanır. Klonal seçim algoritması mutasyona dayalı evrimsel algoritmalara benzer ve ilginç özelliklere sahiptir. Bu özellikler: Populasyon boyutu dinamik olarak ayarlanabilir olması, arama alanlarının kullanılması ve araştırılması, çoklu optima yerleri, yerel optima çözümlerini koruma becerisi ve durdurma kriteridir (Dasgupta 2006).

#### 6.3.1 Klonal seçme prensibi

Bir antijen tespit edildiği zaman, antijeni en iyi tanıyan B-hücreleri uyarılır. B-hücreleri uyarılma ile birlikte klonlanarak çoğalırlar ve plasma hücreleri denilen bölünmeyen antikor salgılayan hücrelere dönüşürler. B-hücrelerinin klonlanarak çoğalması bölünme (mitoz) yoluyla olur ve kopya yavru hücreler oluşur. Antijeni en iyi tanıyan hücreler, daha az tanıyan hücrelere göre daha fazla çoğalırlar. Klonlanan hücreler somatik hipermutasyona uğrarlar. Bu hipermutasyon işlemi, oluşan yeni hücrelerin antijene daha çok uyum sağlamasını sağlar. B-hücreleri çoğalma ve/veya plasma hücrelerine dönüşmelerinin dışında uzun ömürlü hafıza hücrelerine de dönüşürler. Uyarılmamış

veya antijeni daha az tanıyan B-hücreleri ölürler ve yerlerine yeni hücreler üretilir. Sonuçta bağışıklık sistemi antijeni en iyi tanıyıp yok eden hücreleri geliştirmiş olur. Klonlama ve mutasyon işlemlerinin tamamına klonal seçme prensibi denir (Babayiğit ve Güney 2006). Klonal Seçim Prensibi Şekil 6.4 'te gösterilmektedir.



Şekil 6.4 Klonal seçim prensibi (Castro ve Zuben 2000)

### 6.3.2 Afinite olgunlaşması

Afinite olgunlaşması (affinity maturation) terimi, antijene bağlanan reseptörleri etkileyen mutasyon süreçlerini ve antijene daha iyi uyan hücrelerin hayatta kalmasını garantileyen kombinasyon süreçlerini ifade eder. Afinite, hücre reseptörünün antijene bağlanma miktarıdır. Antijene bağlanma ne kadar yüksek olursa afinite de o kadar kuvvetli olur, bağışıklığın tanınması ve yanıtı da o kadar iyi olur.

Bağışıklık sistemindeki lenfositler somatik hücre olduğu için, afinite olgunlaşması sırasında oluşan mutasyonda somatik mutasyon olarak adlandırılır. Ayrıca, klonlama (reproduction) sırasında oluşan mutasyon oranı oldukça yüksek olduğu için, terminolojide somatik hipermutasyon olarak ifade edilmesi önerilir. Somatik mutasyonun hücre afinitesi ile ters orantılı olduğu düşünülür, bir hücre reseptörünün bir antijenle olan afinitesi yüksekse, mutasyon oranı düşüktür ve antijenle olan afinitesi düşükse, mutasyon oranı yüksek olur. Bu, bağışıklık sisteminin yüksek afiniteli yavru hücreleri korumak için bulduğu bir stratejidir.

Somatik mutasyonun tersine bir hücrenin çoğalma hızı, hücrenin antijenle olan afinitesi ile doğru orantılıdır. Organizmaya bir antijen girdiğinde, bağışıklık hücreleri bu antijeni farklı afinite oranlarında tanır. Antijeni tanıyan hücreler klonal seçime ve olgunlaşmaya uğrar. Bir hücrenin sahip olduğu yavru hücre sayısı, antijen ile kurduğu afinite ile orantılıdır. Afinite ne kadar yüksek olursa o kadar çok yavru hücre meydana gelir ve afinite düşükse, düşük afiniteli yavru hücrelerin sayısı da az olur (De Castro ve Timmis 2003).

### **6.3.3 Bağışıklık hafızası**

Bağışıklık sisteminin koruyucu olması için antikorların antijenleri tanıması yeterli değildir. Bağışıklık sisteminin antijenlere karşı etkili bir tepki oluşturması için yeterli kaynağa sahip olması gerekir. Antijen miktarına bağlı olarak, antijene özgü lenfosit miktarı da enfeksiyonun sonucunu belirlemek için önemlidir. Bağışıklık sisteminde öğrenme, antijenleri tanıyan lenfositlerin miktarını ve afinitesini arttırmayı içerir. Bağışıklık sisteminde lenfositlerin sayısı düzenlendiği için, bazı klonların sayısı artarken, bazı klonların sayısı azalabilir. Bununla birlikte, toplam lenfosit sayısı sabit tutulmaz. Eğer bağışıklık sistemi sadece belirli bir lenfosit sayısı arttırmayı öğrenirse, önceden tanınan antijenleri unutması gerekir ya da rastgele oluşturulmuş repertuar bölümünü ve yeni antijenlere cevap vermekten sorumlu bölümü sürekli olarak azaltması gerekir.

Bağışıklık sisteminin normal evrim seyirinde, bir organizmanın belirli bir antijenle ömrü boyunca sık sık karşılaşması beklenir. Antijene ilk defa maruz kalma durumu adaptif bağışıklık sistemini uyarır ve her biri farklı afinite değerlerine sahip antikorlar üreten küçük bir B hücreleri klonu oluşur. Antijenle ilk karşılaşmada hücrelerin ürettiği bazı yüksek afiniteli antikorların saklandığı (hafıza hücreleri) için, sonraki karşılaşmalarda bağışıklık sistemi tepkisi daha kısa sürede ve daha etkili olur. Böyle bir strateji ile bağışıklık yanıtı her seferinde daha hızlı ve doğru olarak gerçekleşir (De Castro ve Zuben 1999).

#### **6.3.4 Somatik mutasyon**

Antijenle bağ kurmuş olan B hücreleri esasen iki şekilde çoğalır: Hipermutasyon ve reseptör düzenleme. Hafıza hücrelerindeki antikorların afinitesi birincil tepkideki antikorların afinitelerinden daha yüksektir. Bağışıklık tepkisini sınırlandıran bu olaya bağışıklık tepkisinin olgunlaşması adı verilir. Olgunlaşma için, ikincil bağışıklık tepkisindeki antikor moleküllerinin antijene bağlanma bölgelerinin, birincil yanıtta bağlanılan bölgelerden yapısal olarak farklı olmasını gerektirir.

Antijen antikor etkileşiminden sorumlu genlerde rastgele değişiklikler yapılır ve bazen böyle bir değişiklik antikorum afinitesinin artmasını sağlar. Daha sonra, bu yüksek afiniteli hücreler bellek havuzuna alınır. Hipermutasyonda sadece yüksek afiniteli repertuarlar oluşturulmaz, yüksek afiniteli reseptörleri olan nadir B hücreleri de bağışıklık tepkisine dâhil edilir. Somatik mutasyonun rastgele niteliğinden dolayı, mutasyona uğramış genlerin büyük bir miktarı işlevsiz hale gelir. Düşük afiniteli veya kendi kendine reaksiyona giren reseptörleri olan hücreler etkili bir şekilde yok edilir. Hafıza hücrelerinin havuzuna ise sadece yüksek afiniteli hücreler seçilir (De Castro ve Zuben 1999).

#### **6.4 Öz-Yabancı Ayrımı**

Bağışıklık sisteminin bir amacı da vücudun içindeki bütün hücreleri, molekülleri tanımak ve bu hücreleri kendinden olan veya kendinden olmayan olarak

gruplandırmaktır. Bağışıklık sistemi, vücudun kendi hücrelerini yabancı antijenlerden (virüs, bakteri...) ayırt edebilmeyi evrimleşerek öğrenmiştir (Dasgupta 2006).

Eğer bağışıklık sistemi ayırt edebilme yeteneğine sahip olmazsa, bu durum vücudun kendi hücrelerine karşı bağışıklık tepkisi vermesine ve beraberinde otoimmün hastalıklara neden olur. Öz antijenlerine karşı tepki vermemek kendini tolare etme (self-tolerance) veya basit tolerans (simple tolerance) olarak ifade edilen bir olgudur.

Bir lenfosit ve bir antijen karşılaştıklarında, lenfosit hücreleri antijeni tanıyacak ve sonrasında klonal seçim yoluyla hücreler artmaya başlayacaktır. Ancak, lenfosit kendine özgü antijenlerde karşılaşmışsa, bu karşılaşma her zaman aralarında bir aktivasyon olacağı anlamına gelmez. Aralarındaki afinite miktarı düşükse, antijen etkilenmeden kalabilir ve antijenler lenfositleri apoptoz (hücre ölümü) veya anergy (güçsüz bırakma) yoluyla durdurabilirler. Bunu engellemek için vücudun kendine has antijen salgılamasını engelleyen negatif seçim mekanizmasının olması gerekir (De Castro ve Zuben 1999).

#### **6.4.1 Negatif seçim**

Negatif seçim, vücudu kendi kendine reaksiyona giren lenfositlere karşı koruyan bir mekanizmadır. Mekanizma, bağışıklık sisteminin antijen saptamadaki yeteneğini kullanırken, vücudun kendi hücreleri ile tepkimeye girmesini önler. T hücrelerinin oluşumu sırasında reseptörler rastgele bir genetik düzenleme işlemi ile yapılır. Daha sonra timüsta gerçekleşen negatif seçim denilen bir denetleme işleminden geçerler. Bu işlemde, kendi proteinlerine karşı tepki gösteren T hücreleri yok edilir ve sadece kendi proteinlerine bağlanmayan T hücrelerinin timüsten ayrılıp kan dolaşımına katılması sağlanır (Al-Enezi vd. 2010).

#### **6.5 Bağışıklık Ağı Teorisi**

Bağışıklık Ağı teorisi, Jerne (1974) tarafından önerilmiştir. Teorinin ana fikri, bağışıklık sisteminin, antijenleri tanımak için B hücreleri arasında geliştirdiği bir idiyotipik ağ

geliştirmesidir. B hücreleri ağın dengede kalmasını sağlamak için kendi aralarında belirli yollarla bağ kurarlar. İki B hücresinin kendi aralarındaki benzerlikleri, belirli bir eşik değerinin üzerindeyse aralarında bağ kurulur ve kurulan bağın gücü, paylaştıkları benzerlik ile doğru orantılıdır (Al-Enezi vd. 2010).

## **6.6 Yağay Bağışıklık Sistemi Uygulama Alanları**

Bazı temel uygulama alanlarında dört tip bağışıklık algoritması (klonal seçim, negatif seçim, sürekli ağ ve ayrık ağ modelleri) kullanılmakla birlikte, uygulama alanları bu dört bağışıklık tipi ile sınırlı kalmamıştır.

Klonal seçim algoritması, şekil tanıma ve optimizasyon konularında, negatif seçim algoritması anomali ve hata tespitinde, sürekli bağışıklık ağı modelleri kontrol, robotik, optimizasyon ve şekil tanıma konularında, ayrık bağışıklık ağı modeli şekil tanıma, veri analizi, makine öğrenimi ve optimizasyon uygulamalarında kullanılmaktadır (De Castro ve Timmis 2003).

## **6.7 Klonal Seçim Algoritması İle İlgili Güncel Çalışmalar**

Klonal Seçim Algoritması ile optimizasyon üzerine pek çok çalışma yapılmış olup, hem kompakt flüoresan lambanın kullanımının yakın geçmişte yaygınlaşmış olması hem de kullanılan algoritmanın güncelliğini koruması sebebiyle son 10 yılda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan araştırmada kompakt flüoresan lambaların elektromanyetik alan ölçümleri ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar dışında herhangi bir algoritma kullanılarak tahmin yürütmeye dayalı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu kapsamda Klonal Seçim Algoritması ile ilgili optimizasyon üzerine gerçekleştirilmiş güncel çalışmalar incelenmiştir.

Azadeh ve arkadaşları (2013) 16 ülkeden elde ettikleri 1980-2006 yıllarına ait verilerle klonal seçim algoritması kullanarak; yıllık elektrik enerjisi tüketimi tahmini yapmışlardır. Algoritmada, veri dağılımının düzensizliği (elektrik talep indikatörlerinin dalgalı oluşu) nedeniyle non-lineer eşitlikler kullanılmıştır. Veriler, test ve eğitim

verileri olarak ikiye ayrılmış, eğitim verileri algoritmada kullanılırken, test verileri ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) formülü kullanılarak hata değerinin bulunmasında kullanılmıştır. Aynı formül algoritma da amaç fonksiyonu olarak da kullanılmış böylece; gerçek verilerin tahmini verilerden farkı alınarak, her jenerasyonda minimum farka sahip birey elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, parametre olarak 16 ülkeye ait gayri safi yurtiçi hâsıla, nüfus bilgileri, 1980-2006 yılına ait yıllık tüketim bilgisi kullanılmıştır. Gerçek verilerden yola çıkarak tahmini veriler bulunmuş ve tahmini verilerin gerçek verilere ne kadar yakın olabileceği görülmüştür.

Liu ve arkadaşları (2009) çalışmalarında, epoksi kompozit yapılı hidrojen depolama tanklarının ağırlığını patlama basıncını aşmayacak şekilde optimize etmek için klonal seçim algoritması kullanmıştır. Ekonomik ve verimli hidrojen depolama teknolojisi hidrojen yakıt hücresi aracı gibi yeni enerji kullanımlarının dünya çapında hâkim olmasında büyük rol oynarken, dayanıklılık ve düşük yoğunluk gibi avantajları sayesinde epoksi kompozit daha hafif hidrojen depolama tanklarının geliştirilmesinde kullanılmıştır. Ancak, kompozit hidrojen tankları genellikle yüksek basınç ve yüksek sıcaklık gibi zorlu ortam şartlarına maruz kalabilmektedir. Bu durumda, kompozit tankların inşasında; sadece malzemenin ve tankın fiziksel ve mekanik performansı değil, uygun emniyet koşullarındaki tasarım ve düşük maliyet de göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmada klonal seçim algoritması ile kompozit hidrojen depolama tanklarının optimum tasarımı üzerine çalışılmıştır. Temel tasarım koşulları tankın çalışma basıncı, kapasitesi, kompozit katmanın kalınlığı ve tankın baş kısmının yarıçapıdır. Giriş verileri, ikili dizilim olarak hesaplamaya dâhil edilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Tasarımda kısıtlama problemiyle başa çıkabilmek için bir ceza işlevi uygulanmış; algoritmadan elde edilen optimizasyon sonuçları gerçek çözüme yaklaşımları açısından hem uygulanabilen hem de uygulanamayan sonuçları göstermiştir. Sonuçların her iki çözümü de kapsamı ceza işleminin etkisine bağlanmıştır.

Hsieh ve arkadaşları (2011) çalışmalarında, ağırlık, maliyet ve hacim gibi doğrusal olmayan kısıtlamalar altında güvenilirlik-fazlalık tahsis sorununu çözmek için bağımsızlık tabanlı iki fazlı yeni bir yaklaşım önermiştir. Yüksek güvenilirliğe sahip sistemlerde, uygulamada para ve zaman kaybını azaltarak sistem güvenilirliğini arttırmak için ya



bileşen güvenilirliğini arttırmak ya da bileşen seviyesindeki fazlalığı arttırmak gerekir. Doğrusal olmayan kısıtlı güvenilirlik optimizasyonu için bu iki seçenekten biri kullanılır. İlk aşamada tahsis sorununu çözmek için bağışıklık tabanlı bir algoritma geliştirilmiş, ikinci aşamada algoritma sonucu elde edilen çözümleri geliştirmek için yeni bir prosedür uygulanmıştır. Güvenilirlik-fazlalık problemlerine, yazılım güvenliği optimizasyonlarında karşılaşılmaktadır. Yazılımların yedek bileşenleri farklı insan grupları tarafından geliştirilen programlar olabilir ve bileşenler mutlaka birbiri ile bağlantılı, ilgili olmalıdır. Herhangi bir bileşenin güvenilirliği ek testlerle arttırılabilir. Güvenilirlik-fazlalık dağıtım problemleri; m adet aşamada oluşmuş ve her aşamada binary şekilde ifade edilmiş, çalışmada klonal seçim ve afinite olgunlaşması Castro ve Zuben'in tanımladığı gibi yapılmış ve ayrıca; durdurma kriteri olarak en yüksek iterasyon sayısı seçilmiştir. İki fazlı yaklaşımın performans araştırması için güvenilirlik-fazlalık problemlerinde temel olarak kullanılan 3 temel formül ele alınmış ve sonuçlar literatürdeki diğer tipik yaklaşımlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada, faz I ile elde edilen sonuçların faz II ile desteklenerek iyileştirildiği ve önceki araştırmalardan daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Taher ve arkadaşları (2014) çalışmalarında, güç kaybının azaltılması amacıyla DSTATCOM'un optimum konumu, boyutlandırılması ve dağıtım şebekelerinde akım ve gerilim profilinin iyileştirilmesi incelenmiştir. Algoritma ile DSTATCOM için en uygun yer ve boyut araştırması yapılmış, gerilim ve akım iyileştirmeleri için düşük kurulum maliyeti ve mümkün olan en düşük güç kaybı işleme dâhil edilmiştir. Çalışmada sadece reaktif güç değişimi göz önünde bulundurulmuş, şebekedeki aktif güç değişimleri üzerine çalışılmamıştır. Başlangıç popülasyonu olarak üç voltaj değeri ( üç yük seviyesi için hafif, orta ve tepe) oluşan rastgele bireyler üretilmiştir. Popülasyonda her antikor adayının amaç fonksiyonu ve yakınlık ilişkisini değerlendirmek için yük akışı gerçekleştirilmiştir. Algoritma, iki standart dağıtım ağına uygulanmıştır, dağıtım ağları 12.66 kV' de çalışmaktadır, 33 ve 69 veri yoluna sahiptir. Yıllık yük profilini modellemek için üç yük seviyesi seçilmiştir, her 3 yük seviyesinde de toplam yük, yükte kaldığı süre ve toplam güç kaybı kullanılmıştır. Algoritma, DSTATCOM'un hangi veri yoluna bağlandığında ne kadarlık güç kaybı olacağı konusunda optimum çözüm bulmak için kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım, genetik algoritma ile karşılaştırılmış ve minimum

boyut ve çalışma süresi elde edilmiştir. Toplam enerji maliyeti düşüşü 33 ve 69 veri dağıtım yolu için sırasıyla %10.89 ve %18 olarak hesaplanmıştır.

Ulutaş ve arkadaşları (2010) çalışmalarında, dinamik tesis yerleşimi problemlerinde klonal seçim algoritmasını kullanarak, her bir üretim dönemi için ayrı bir yerleşim planı oluşturulmasını ve yeniden yerleşim maliyetlerinin toplamını en aza indirmeyi amaçlamıştır. Algoritmada aynı alan maliyetlerine sahip olan makineler ve standart taşıma ekipmanları olduğu varsayılmakla birlikte, daha genel durumlarda kullanılabilir. Bu çalışmada mizanpaj serileri, her bir alt tabakanın belirli bir süre için bir mizanpaja karşılık geldiği T alt dizileri ile temsil edilmiş ve bu alt dizilerin N elemanlı gerçek değerleri hesaplamalara dâhil edilmiştir Böylece; dizgiler T periyotlu, N adet makine permütasyonundan oluşmuştur.  $N \times T$  uzunluğundaki diziler, antikorlara karşılık gelmekte, her mizanpaj, bir potansiyel çözümü, maliyet değerini ve afinite değerini ifade etmektedir. Amaç fonksiyonunda, afinite değeri maliyet ile ters orantılıdır. Buna göre; maliyetin azalması afinitenin daha fazla olmasını, antikorun seçim olasılığının artmasını ve mutasyon oranının azalmasını sağlar. Çalışmada literatürde konu ile ilgili bilinen 3 veri seti üzerinde durulmuş, makinelerin kapladıkları alan eşit olarak kabul edilmiştir. Veriler binary sistemde kullanılmış, mutasyon iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada oluşturulan kopya, ikinci aşamada antikorun orijinal hali ile karşılaştırılmış, kopyanın maliyeti orijinal antikordan fazla ise yeni dizilimli kopya sürece dâhil edilmiş aksi takdirde; ilk mutasyon aşamasına geri dönüş yapılmıştır. Önerilen algoritmanın performansı literatürden üç test problemi kullanılarak incelenmiş, eski çözümlerle karşılaştırıldığında, problemler için daha iyi çözümler bulmuş ayrıca; çözüm süreleriyle ilgili olarak mevcuttaki yöntemlerden daha iyi performans alınmıştır.

Panigrahi ve arkadaşları (2006) çalışmalarında; ekonomik yük tevzisinin çözümü için klonal seçim algoritması kullanarak bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşımla iletim kayıpları, dinamik çalışma kısıtlamaları (rampa hız limitleri), yasak bölgeler ve birden fazla yakıt kullanımından kaynaklı düzgün olmayan maliyet fonksiyonu göz önünde bulundurulmuştur. Algoritmada düzgün ve düzgün olmayan maliyet fonksiyonlarını optimize etmek için iki alternatif model hazırlanmıştır. Bunlardan biri üretici kısıtlamaları, güç kaybı ve rampa hızı sınırlamaları ile sınırlandırılmış bir ikinci dereceden maliyet fonksiyonu, diğeri de düzgün olmayan maliyet fonksiyonudur.

Algoritmada 3 üreteçli, 6 üreteçli, 15 üreteçli ve birden fazla yakıt kullanımı durumunda 10 üreteçli sistemler incelenmiştir. Her popülasyon 20 antikor olarak kabul edilmiş ve veriler ikili dizilimle kullanılmıştır. Maliyet fonksiyonu amaç fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir. Algoritma sonucu elde edilen değerler genetik algoritma ile karşılaştırılmış, üzerinde çalışılan her iki model içinde sistem çıkış gücü, toplam çıkış gücü ve toplam üretim maliyeti için en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Hetmaniok ve arkadaşları (2013) çalışmalarında, saf metal katılaşmasının ters problemlerini çözmek için klonal seçim algoritmasını kullanmışlardır. Ters problemler doğrudan ölçülemeyen değerleri belirlemek veya parametrelerin başlangıç değerlerinin, işlemin gerektiği gibi çalışmasını sağlayacak şekilde seçilmesi için kullanılmaktadır. Sorgulanan problemlerde, sınır koşullarda ortaya çıkan eksik parametrelerin ( ısı transfer katsayısı ve ısı akışı) belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Ters problem çözümünde bölgenin seçilen noktalarındaki sıcaklık ölçümleri kullanılmıştır. Algoritmanın başlangıç popülasyonu, sıvıdan katı hale geçen metalin ölçülen noktalardaki sıcaklığı (faz değişim sıcaklığı) , gizli katılaşma katsayısı ve donma cephesinin normal hızdaki hız vektöründen oluşur. Elde edilen en iyi sonuçlarda, amaç fonksiyonlarının değerleri ilk tekraralarda çok hızlı bir şekilde azalırken, daha sonrasında azalma miktarında düşüş gözlemlenmiştir. Karşılaştırma yapmak için alüminyumun katılaşmasında elde edilen deneysel veriler kullanılmıştır. Sonuçlar, uygulanan matematiksel modelin, ayrıntılı prosedürlerle bağlantılı olarak, deneysel verileri iyi bir şekilde yeniden oluşturduğunu göstermektedir.

Acılar ve Arslan (2010) çalışmalarında; klonal seçim algoritmasını kullanarak çoklu girdi-çıkı bulanık üyelik fonksiyonlarının optimizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmanın amacı, üyelik fonksiyonu çalışmasının yeni bir yönünü belirlemek ve üyelik fonksiyonlarının şeklini ayarlamaktır. Bulanık değişkenler açısından, üyelik fonksiyonlarının en uygun yerleşimi; kural tablosu ve üyelik şekli fonksiyonu daha önceden belirlenen bir bulanık sistemle verilmiştir. Üyelik fonksiyonunun şekli için herhangi bir kısıtlama bulunmamakla birlikte, üyelik fonksiyonlarından biri kullanılabilir ancak matematiksel fonksiyonun modeli bilinmelidir. Sonrasında belirlenen sonuçlar modeli tanımlayan parametrelerdir. Bu nedenle üyelik optimizasyon problemi parametre optimizasyon problemine indirgenebilir. Veri tanımlaması

yapılırken, düşünölen sistemin giriş ve çıkışı için iki farklı öyelik işlevi olduğunu ve şekillerinin dik üçgen olduğu varsayılmıştır ve algoritmadan beklenen dik üçgenin taban uzunluklarını bulmasıdır. Dik üçgen uzunlukları ikili dizilimle ifade edilmiş ve çıkış değerinin en yüksek değeri ve toplam hata değerlerinin farkı, amaç fonksiyonu değerini göstermektedir. Algoritmanın amacı, referans verilere karşılık gelen dik üçgenlerin taban uzunluklarını ve kesişme noktalarının bulmaktır, tanımlı aralıklarda girişlere karşılık gelen çıkış değerlerini elde etmektir. Sonuçların tesadüfen elde edilmediğini göstermek için 25 farklı popölasyon üretilmiştir ve her popölasyon 50 bireyden oluşturulmaktadır. Her popölasyonda 50 iterasyon kullanılmıştır. Sonuç olarak; genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu ile karşılaştırıldığında klonlama ve hipermutasyon mekanizmaları nedeniyle daha hızlı bir şekilde optimum çözüme ulaştığı görölmüştür ve klonal seçim algoritmasının bulanık öyelik fonksiyonlarının optimum değerini bulmak için avantajlı olduğu değerlendirilmiştir.

Wang ve arkadaşları (2016) çalışmalarında klonal seçim algoritmasını şantiye sahasının optimum bir şekilde planlamasında kullanmışlardır. Çalışmada geçici tesisler arasındaki mekânsal ve fonksiyonel ilişkiler tespit ederek bir şantiye sınırları içerisindeki geçici tesislerin yerlerinin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Amacı, çok sayıdaki alternatif çözümden optimal bir yerleşim düzeni belirlemek böylece; bölgeye özel kısıtlamaları yerine getirirken önceden belirlenmiş bir dizi tesisi yerleştirmektir. Çalışmada kullanılan veri kümeleri daha önceden genetik algoritma ile yapılmış bir çalışmada kullanılan veriler olup, sonuçlar daha önce yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır. Şantiye sahasındaki yerleri sabit olan iki kapı belirlenmiş ve çalışmanın kısıtları olarak kabul edilmişlerdir. Şantiye sahasının optimum yerleşimi ile üretim zamanı ve maliyeti en aza indirilecektir. Şantiye personelinin tesisler arasındaki toplam yolculuk mesafesi, sahadaki tüketimi göstermektedir. Amaç fonksiyonunda her toplam hareketlilikte elde edilen mesafe hesaplanmıştır. Buna göre mesafelerin birbiri ile yakınlığı amaç fonksiyonu değeri ile ters orantılıdır. Araştırmalarda popölasyon seviyesi olarak 4 adet popölasyon seviyesi (30 50 100 150) belirlenmiş buna göre, 100 ve 150 bireyli popölasyonlarda 30 ve 50 'ye göre daha iyi yakınsama sağlandığı görölmüştür. Birey sayısı fazla olan popölasyonları kullanmak hızlı bir yakınsama sağlamış ancak hesaplama sürelerini de uzatmıştır. Bu nedenle orta popölasyon büyüklüğü (100)

kaynakların tamamının kullanımı ve daha verimli çalışabilmesi açısından en uygun seçim olmuştur.

Hatata ve arkadaşları (2018), klonal seçim algoritmasını kullanarak güneş/rüzgâr/batarya hibrit güç sisteminin boyutlandırılması üzerine çalışmışlardır. Sistem optimum boyuttaki PV dizileri, rüzgar türbinleri ve bataryalar ile tasarlanmıştır. Böylece, en az dalgalanma ve maliyetle talep ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Algoritmada, güç kaynağı kayıp olasılığı, hibrit güç sistemlerinin güvenilirlik endeksi olarak kabul edilmiş ve optimizasyon işlemlerinde mümkün olan en az değerde olması beklenmiştir. Çalışmanın metodolojisinde rüzgâr hızı, solar radyasyon, yük talebi ve ekonomik değişkenler kullanılmıştır. Başlangıç popülasyonu, PV sayısı, rüzgâr türbin sayısı ve batarya sayısından oluşmaktadır. Amaç fonksiyonu; sistemin sabit maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri, yer değiştirme maliyetleri ve hurda değerinden oluşmaktadır. Algoritma sonuçları; Fransa ve Mısır'da bulunan iki vaka çalışmasına uygulanmış ve genetik algoritma ile karşılaştırılmıştır, sonuçlar klonal seçim algoritmasının daha iyi bir çözüm ürettiğini göstermiştir.

Baygın ve Karaköse (2011) çalışmalarında; klonal seçim algoritmasını kullanarak grup asansör kontrol mekanizması kurmuşlardır. Çalışmada, grup asansörlerin zamanlamasının kontrol eden bir algoritma geliştirilmiş, yolcuların ortalama bekleme süresi en aza indirilmeye çalışılmıştır. Başlangıç popülasyonu 10 adet bireyden oluşmaktadır, bireyler, hangi asansörün hangi kata gideceğini göstermek üzere gruplandırılmışlardır. Amaç fonksiyonu; asansörün bulunduğu kattan, gideceği kattan, asansörün iki kat arası ortalama geçiş süresinden ve asansör kapılarının açılış/kapanış sürelerinden oluşmaktadır. Algoritmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda, grup kontrollü asansörlerin tüm çağrılara cevap verme süresinin %20 oranında azaldığı görülmüştür.

Atay ve Kozad (2014), klonal seçim algoritmasını kullanarak atölye tipi üretim problemlerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Dünyadaki birçok şirkette ortak üretim tipinin atölye tipi üretim olduğu görülmüştür. İleri teknoloji ve artan standartlara rağmen; atölye tipi üretim tüketici talepleri, ürün çeşitliliği ve şirketlerde yaşanan yüksek orandaki değişiklikler nedeniyle önemli bir optimizasyon problemidir. Atölye

tipi üretimin üç temel unsuru üretim, kaynak ve zamandır. İş atölyesi Çizelgeleme problemleri birçok açıdan karışık bir yapıya sahiptir. Atölye planlamasında, her bir sipariş farklı işlerdir, makinelerin kendi içlerinde süreçleri ve işlem sırası bulunmaktadır. Bu işlemleri, belirli bir sıraya göre düzenlemek için bazı kısıtlamalar göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmada, antikorlar iş, süreç, zaman ve makine unsurlarından oluşmaktadır. Çizelgeler antikorla, afinite değeri üretim süresiyle ifade edilmiştir. Probleme özgü çalışmada klonal seçim algoritmasında farklı mutasyon ve seçim mekanizmaları oluşturulmuş, geliştirilen sistemde, mutasyon oranı, klonlama çarpanı, klonlama oranı ve en iyi seçim oranı olmak üzere 4 farklı seçim parametresi kullanılmıştır. Sonuç olarak; çalışmada mutasyon mekanizmasında ve klonların seçiminde değişiklik yapılarak atölye tipi üretime sahip şirketler tarafından kullanılabilir bir uygulama geliştirilmiştir.

Batista ve arkadaşları (2009) çalışmalarında, elektromanyetik tasarım optimizasyonunda kullanılmak üzere gerçek kodlu dağıtılmış klonal seçim algoritması önermiştir. Algoritmada, klonların mutasyona uğraması için farklı olası dağılım türleri kullanılmıştır. Gerçek kodlu klonal seçim algoritmasının gelişmiş bir versiyonu olan dağıtılmış klonal seçim algoritmasında lokal ve evrensel aramayı dengelemek amacıyla popülasyonda farklı olasılık dağılımları kullanılmıştır. Verilen bir popülasyonda klonlanacak popülasyon üyeleri amaç fonksiyonu aracılığı ile seçilmiştir. Amaç fonksiyonundan elde edilen afinite değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır sonrasında bu sıralama dört ana gruba ayrılır. Gauss dağılımı kullanılarak klonlama ve mutasyon için seçilen popülasyon birey sayısı, uniform dağılım kullanılarak klonlama ve mutasyon için seçilen popülasyon birey sayısı, kaotik dağılım kullanılarak klonlama ve mutasyon için seçilen popülasyon birey sayısı, son gruptaki seçilmeden kalan bireyler ise rastgele üretilen yeni bireylerle yer değiştirmiştir. Bu yer değiştirme araştırma uzayında yeni araştırma alanlarının keşfedilmesi ve çeşitliliğinin devamı açısından önemlidir. Bu dağılımlar sonucu elde edilen bireylerden oluşmuş gruplara klonlama ve mutasyon işlemleri uygulanır ve her alt gruptan en iyi bireyler seçilir. Bu uygulama kısıtsız test fonksiyonu (Restrigin) uygulanmış ve 30 'a yakın birey sayısına sahip popülasyonlarda düşük hesaplama maliyet ve %70'e varan yakınsama görülmüştür. Önerilen uygulama bir süper iletken manyetik enerji depolama cihazından belirli bir

mesafede kaçak manyetik akı yoğunluğunu en aza indirilmesi ile ilgili olarak kullanılmış ve test edilen cihaz üzerinde uygulanan bütün çözümlerde %0.1 ve % 2.3 hata alınmıştır. Sonuç olarak; bu yöntemle makul bir hesaplama maliyetiyle birden fazla optimal çözüm belirlenmesi sağlanmıştır bu da algoritmanın, gerçek elektromanyetik problemlerin çözümü için iyi bir araç olduğunu göstermektedir.

İncelenen çalışmalar özel bir problemden yola çıkarak kendi konusu içindeki benzer problemlere çözüm bulmayı amaçlayan, genele odaklı optimizasyon problemleridir. Klonal seçim algoritmasının doğası gereği; kendi konusu özelinde giriş verileri olarak gerçek sayılar ya da ikili sistemler kullanılmış, problemin çözüm bulmak istediği konunun teşkil ettiği parametreleri baz alarak antikor seçimi, klonlama ve mutasyon sistemleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamalar, konunun kendine has daha önceki incelemelerinden bilinen test fonksiyonlarıyla, farklı algoritma örnekleriyle ya da hata hesaplama yöntemleriyle test edilmiştir.

Tez konusu çalışmada elde edilen sonuçlar, gerçek sayılardan oluşan veri kümeleri, elektrik alan ve manyetik alan hesaplamasında kullanılan formüllerin bir uyarlaması olan uygunluk fonksiyonları, birden fazla parametreyi göz önünde bulunduran hipermutasyon işlemi ve verilerin gerçeğe yakınlığı en küçük kareler metodu (EKKM) ile farklı bir yöntem izlenerek elde edilmiştir.

## 7. ELEKTROMANETİK ALANLARIN KLONAL SEÇİM ALGORİTMASI İLE TAHMİNİ

### 7.1 Klonal Seçim Algoritması

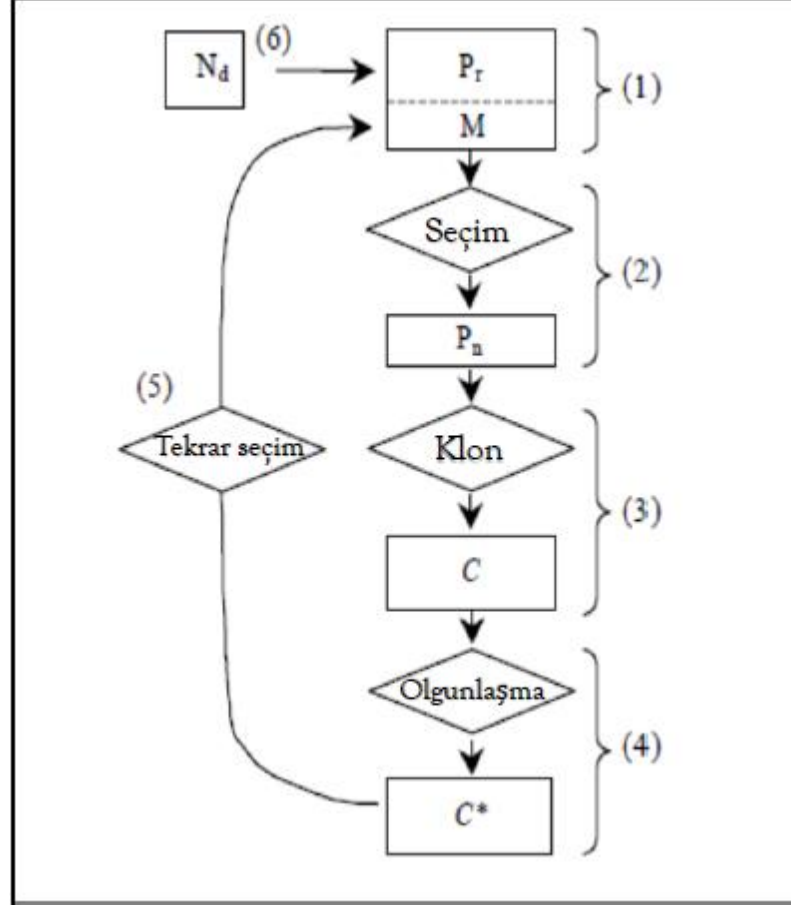
Klonal Seçim algoritmasının dayanağı klonal seçim konusu önceki bölümde kısaca anlatılmıştır. Buna göre bağışıklık sisteminin temel fonksiyonları, hafıza hücrelerinin geliştirilmesi, uyarılmış hücrelerin klonlanması (kopyalanması) ve seçimi, uyarılmayan (afinite değeri düşük) hücrelerin yok edilmesi, afinitenin olgunlaştırılması, afinite değeri yüksek hücrelerin tekrar seçilmesi, yavru hücrelerin ve çeşitliliğin korunmasıdır. Şekil 7.1'de Klonal Seçim Algoritmasının çalışmasını anlatan diyagram bulunmaktadır (Castro ve Zuben 2000).

Şekil 7.1'deki diyagrama göre 6 adımdan oluşan algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir:

1. Hafıza hücrelerinin alt kümesi ( $M$ ) ve antikor kümesinin kalan elemanlarından oluşan ( $P_r$ ) kümesi birleştirilerek aday çözümlerini oluşturan bir  $P = M + P_r$  kümesi oluşturulur.
2.  $P_n$  popülasyonunun en iyi  $n$  adet bireyi afinite ölçümlerine göre seçilir.
3. Seçilen  $n$  adet afinitesi en iyi birey tekrar üretilir (klonlanır) ve geçici bir  $C$  klon popülasyonu oluşturulur. Klon miktarı, antijenle olan afinite değerine göre artan bir fonksiyondur.
4. Antikoru antijenle olan afinitesiyle doğru orantılı olarak,  $C$  klon popülasyonuna hipermutasyon işlemi uygulanır.  $C$  klon popülasyonundan olgunlaşmış antikor popülasyonu  $C^*$  oluşturulur.
5.  $C^*$  popülasyonundaki olgunlaşmış bireyler seçilerek  $M$  hafıza kümesini oluşturur.  $P$  kümesinin bazı elemanları,  $C^*$  kümesinin diğer gelişmiş bireyleri ile yer değiştirir.



6. Çeşitliliği sağlamak için popülasyondaki düşük afiniteli  $d$  adet antikor, yeni üretilen bireyler değiştirir.



Şekil 7.1 Klonal seçim algoritması diyagramı

## 7.2 Optimizasyon

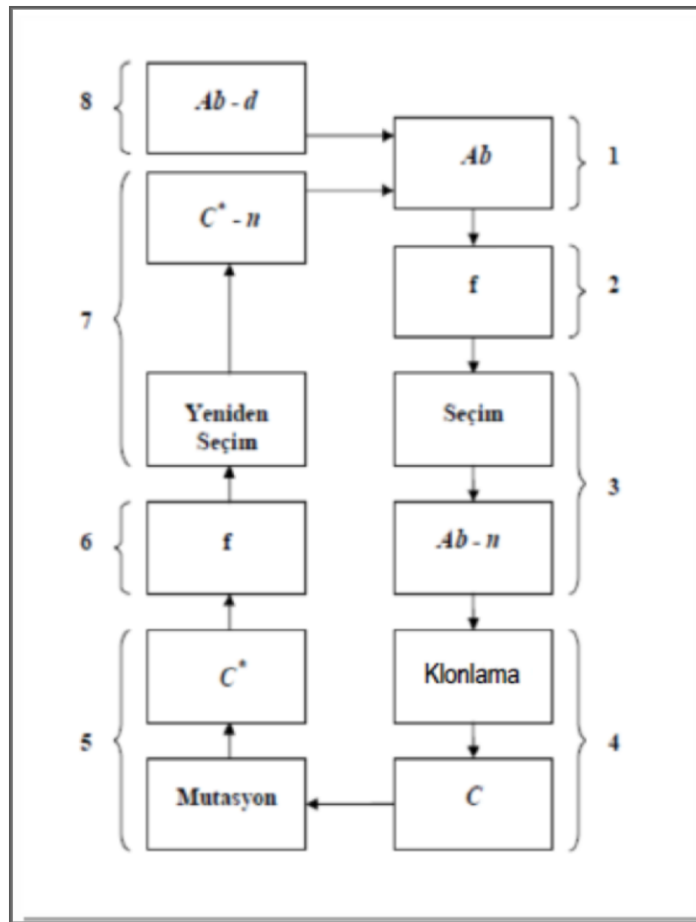
Yukarıdaki klonal seçim algoritmasını optimizasyon amaçlı kullanımı için algorithmada birkaç değişiklik yapılması gerekmektedir. Buna göre algoritma Şekil 7.2’de gösterilen halini almaktadır.

Algoritmanın adımları aşağıda belirtildiği gibidir (Engin ve Döyen 2004):

1. Bir antikorun benzerlik değeri, antikor için hesaplanan amaç fonksiyonunun değeridir. Burada optimize edilecek bir amaç fonksiyonu ( $f$ ) bulunmaktadır. Her  $Ab_i$  antikoru, giriş verilerinden oluşan ( $Ab$ ) kümesinin bir elemanıdır.

Antikorların afinite değerleri henüz hesaplanmakta olduğu için burada hafıza hücreleri bulunmamaktadır.

2. Her antikor ( $Ab_i$ ) için amaç fonksiyonu ( $f$ )'nin değeri (benzerlik değeri) hesaplanır.
3. Afinitesi (antijen ile olan benzerliği) en yüksek olan  $n$  tane antikor girdi kümesinden seçilir ve seçilen antikorlarla yeni bir ( $Ab_n$ ) kümesi oluşturulur.



Şekil 7.2 Optimizasyon uygulamaları için klonal seçim algoritmaları diyagramı (Castro ve Zuben, 2001)

4. Seçilen  $n$  tane antikor birbirinden bağımsız olarak afinite değerleri ile doğru orantılı olarak klonlanır (kopyalama) ve yavru hücreler oluşturulur. Elde edilen yavru hücrelerden (klonlardan)  $C$  klon kümesi oluşturulur. Seçilen  $n$  adet antikorun her biri için oluşturulan klon sayısı afinite değeri ile orantılıdır. Afinite

değeri daha yüksek olan (daha yüksek uygunluk değeri) antijenin daha fazla klonu bulunmaktadır.

5. C klon kümesi afinite ile tes orantılı olarak hipermutasyona (olgunlaşma süreci) uğratılır. Bu süreçte olgunlaşmış klonların oluşturulduğu  $C^*$ , mutasyona uğramış klonlar, kümesi oluşturulur. Kopyaların mutasyona uğrama oranı benzerlik değerleriyle ters orantılıdır. Afinite değeri yüksek olan klon daha az mutasyona uğratılır, afinite değeri düşük olan klon daha fazla mutasyona uğratılarak antijenle olan uyumu arttırılmaya çalışılır.
6. Mutasyona uğramış  $C^*$  klonların afinite değerleri (f) amaç fonksiyonu vasıtasıyla tekrar hesaplanır.
7. En yüksek afinite değerine sahip n adet antikor tekrar seçilir ve Ab kümesine seçilen antikorlar eklenir.
8. Ab kümesinde en düşük afinite değerine sahip d adet antikor, kümeden çıkarılır (Ab-d).

### 7.2.1 Antikorların oluşturulması

Dördüncü bölümde bahsedildiği gibi belirtilen frekans aralıklarında deney düzeneğinde ölçümü yapılan her elektrik alan veya manyetik alan değeri, ölçüm yapılan nokta ile birlikte antikor olarak ifade edilmektedir. Bu durumda elimizde ikisinde de eşit miktarda veri olan iki tane antikor kümesi, ölçüm noktası ve elektrik alan veya ölçüm noktası ve manyetik alan bulunmaktadır. Antikor kümesi aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$Ab(x,y) = \{Ab(x_1,y_1), Ab(x_2,y_2), \dots, Ab(x_{i-2},y_{i-2}), Ab(x_{i-1},y_{i-1}), Ab(x_i,y_i)\} \quad (7.1)$$

$Ab(x,y)$  : elektrik alan ve ölçüm noktası veya manyetik alan ve ölçüm noktalarından oluşan ikili antikor kümesi

$i$  : toplam ikili antikor sayısı olarak ifade edilir.

### Uygunluk fonksiyonu (amaç fonksiyonu):

Antikor kümesi oluşturulduktan sonra uygunluk (fitness) fonksiyonu kullanılarak kümedeki her ikili antikora ait afinite değeri hesaplanır. Uygunluk fonksiyonu, ikinci bölümde verilen elektrik alan ve manyetik alan formülleri ile paralelliğin sağlayabilmesi açısından;

$$fit (Ab(x,y))= E \cdot y^2 \quad (7.2)$$

$$fit (Ab(x,y))= H \cdot y \quad (7.3)$$

olarak seçilmiştir.

$fit (Ab(x_i,y_i))$  : her ikili antikor için uygunluk fonksiyonunu

$E$  : elektrik alan şiddeti

$H$  : manyetik alan şiddet

$y$  : ölçümün yapıldığı noktanın kaynağa uzaklığını ifade eder.

İlk adımda, antijen popülasyonunun tanımlanmadığı durumlarda, amaç fonksiyonu optimize edilecektir. Böylece, bir antikorun afinitesi, amaç fonksiyonunda hesaplanmış sayıya karşılık gelir. Ayrıca, antijen popülasyonunun bulunmadığı durumlarda, bütün hafıza kümesini antikor popülasyonunun tamamı oluşturur, ayrı bir hafıza kümesi oluşturmaya gerek kalmaz (Castro ve Zuben 2001).

Her antikor çifti için hesaplanan uygunluk fonksiyonu değeri, antikora ait afinite değerine karşılık gelir. Uygunluk fonksiyonunun optimizasyonu, fonksiyonun minimize veya maksimize edilmesi olup, uygunluk fonksiyonu maksimize edilecekse, popülasyondaki en yüksek afinite değeri, popülasyona ait antikorlar için elde edilen afinite değerlerinin en büyüğü, eğer uygunluk fonksiyonu minimize edilecekse, popülasyona ait antikorlar için elde edilen afinite değerlerinin en küçüğü, popülasyondaki en yüksek afinite değeri olarak kabul edilir (Castro ve Zuben 2001). Burada, optimize edilmiş afinite değerlerini hesaplamak için, antikorların uygunluk fonksiyonu değerleri bulunmuş ve bulunan her değer en yüksek uygunluk değerine bölünmüş, böylece hesaplanan en yüksek afinitenin 1'e eşit olması, optimize edilmiş

uygunluk fonksiyonu değerlerinin (0,1) arasında dağılımı yapılarak, elde edilen değerlerin daha dengeli ve doğru hesaplanması sağlanmıştır.

$$\text{norm}(f) = \text{fit}(\text{Ab}(x_i, y_i)) / \text{Ab}(x_{\max}, y_{\max}) \quad (7.4)$$

$\text{norm}(f)$  : optimize edilmiş uygunluk fonksiyonu değerleri

$\text{Ab}(x_{\max}, y_{\max})$  : Uygunluk değeri en yüksek olan antikör çifti

Antikörler, afinite değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır.

### 7.2.2 Antikörlerin klonlanması

Klonlama işlemi, afinitesi en yüksek olan antikörün en çok, afinitesi en düşük olan klonun en az sayıda klonu olacak şekilde gerçekleştirilir (Babayiğit ve Güney 2006). Optimizasyon işleminde, iki parametrelili tek bir antikör popülasyonu üzerinde çalışılmaktadır,  $i=n$  olarak seçilmiştir ve antikör popülasyonundaki bütün antikörler, klonlama işlemine dâhil edilir (Castro ve Zuben 2001).

Yukarıdaki açıklama kapsamında, elektrik alan ve manyetik alan ölçümü yapılan noktalar arasında kalan, ölçüm yapılmayan noktalara ait elektrik alan ve manyetik alan değerlerinin tahmin edilmesi amaçlandığı için, antikör popülasyonundan sadece yüksek afiniteli antikörler seçilmemiş olup, bütün antikör popülasyonu hesaplamalara dâhil edilmiştir.

Popülasyondaki  $n$  tane antikörün her biri için hesaplanan klon sayısı:

$$N_i = \sum_{i=1}^n \text{round}\left(\frac{\beta x n}{i}\right) \quad (7.5)$$

ile bulunur.

$N_i$  = popülasyondaki her bir antikörden üretilen klon sayısı

$\beta$  = klonlama katsayısı (klon sayısına etki eden parametre)

$n$  = toplam antikör sayısını

round = bulunan klon miktarını en yakın sayıya yuvarlamak için kullanılan operatör

### 7.2.3 Antikorların hipermutasyona uğratılması

Hipermutasyon operatörünün, her klon üzerinde, klonun değerini değiştiren bir etkisi olmaktadır. Bu etki popülasyonun çeşitliliğini artırır. Hipermutasyon operatörünü uygulamanın birkaç yolu olmasına rağmen, her zaman ters orantılı strateji temel alınır (Zhang vd. 2016).

$$\alpha_i = \exp(-\rho \cdot f^*(X_i)) \quad (7.7)$$

Buradaki eşitlik oluşturulan algoritmaya göre düzenlenip, aşağıdaki gibi değiştirilmiştir.

$$\alpha_i = \exp(-\rho \cdot \text{norm}(f_i)) \quad (7.8)$$

Burada;

Normalize edilmiş uygunluk fonksiyonu  $\text{norm}(f)$   $[0,1]$  aralığında değer alır.

$\rho$  : bozulma sabitidir, mutasyon miktarının oranını belirler.

$\alpha_i$  : antikor  $i$ 'nin mutasyon oranıdır.

Elde edilen hipermutasyon oranının antikorlara uygulanışı:

Düzenli olmayan hipermutasyon (non-uniform hypermutation), klonlanmış yavru antikorları a sürekli olarak değiştirir ve olgunlaştırır.

Yapılan deneyde belirli aralıklarla elektrik alan ve manyetik alan değeri ölçülmüş ve ölçüm yapılmayan noktalardaki elektrik alan ve manyetik alan değerleri bu algoritma vasıtasıyla tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Arka arkaya ölçüm yapılan iki nokta arasındaki bilinmeyen değerleri bulabilmek için, ölçüm yapılan iki nokta alt sınır ve üst sınır olarak kabul edilmiş, iki sınır arasındaki bilinmeyen değerler mutasyon oranı hesaba katılarak tahmin edilmiştir (Çunkaş, 2006),

$Ab(x,y)$ , elektrik alan ve ölçüm noktası veya manyetik alan ve ölçüm noktasını oluşturan ikili antikor kümesi olmak üzere,  $x$ ; ölçülen elektrik alan veya manyetik alan değerini,  $y$  ölçüm yapılan noktayı (lambda ile ölçüm yapılan nokta arasındaki uzaklık) ifade

etmektedir. Bu durumda belirli bir frekans aralığında tek bir lambda için yapılan ölçümde, ölçüm yapılan toplam nokta sayısı  $i$  adet ise;  $Ab(x_1, y_1)$  ve  $Ab(x_2, y_2)$ ; ölçüm yapılan iki nokta yani iki tane iki parametrelili antikordur. Klonlama işlemi ile elde edilen klonlar mutasyona uğratılır.

Mutasyon işleminde, He ve Jian'ın (2007) çalışmasında olduğu gibi algoritmanın yerel arama kabiliyetini arttıran mutasyon işlemi eşitlik 7.10 'da olduğu gibi uygulanır. Buna göre; afinite değerinin (antikor benzerliği) yüksek olması araştırma bölgesini daraltırken, afinite değerinin azalması araştırma bölgesini genişletir.

Burada sırasıyla;  $Ab(x_2, y_2)$  üst sınır,  $Ab(x_1, y_1)$  alt sınır değeri,  $Ab_i^j(x)$  mutasyona uğratılacak olan klonu,  $[Ab(x_2, y_2), Ab(x_1, y_1)]$  aralığı tanımlanan arama bölgesini,  $A(g)$  mutasyon oranının formülde uygulanma şeklini ifade etmektedir.

Eğer  $((Ab(x_1) \leq Ab_i^j(x) \leq Ab(x_2)) \wedge (Ab(y_1) \leq Ab_i^j(y) \leq Ab(y_2)))$  ise;

$$(A(g)) = (my^{\alpha_i}) \quad (7.9)$$

Eşitlik 7.9, Eşitlik 7.10 'da ve Eşitlik 7.11'de yerine yazılır.

$$Ab_i'^j(x) = \begin{cases} Ab_i^j(x) + (Ab(x_2) - Ab_i^j(x)) \cdot (A(g)), & \text{eğer } my < 1 \\ Ab_i^j(x) - (Ab_i^j(x) - Ab(x_1)) \cdot (A(g)), & \text{eğer } my \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (7.10)$$

$$Ab_i'^j(y) = \begin{cases} Ab_i^j(y) + (Ab(y_2) - Ab_i^j(y)) \cdot (A(g)), & \text{eğer } my < 1 \\ Ab_i^j(y) - (Ab_i^j(y) - Ab(y_1)) \cdot (A(g)), & \text{eğer } my \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (7.11)$$

$Ab_i'^j(x, y)$  : mutasyona uğramış yeni ikili antikor hücresi

$my$  : değeri  $[0,1]$  aralığında değişen rastgele bir sayı

#### 7.2.4 Hipermutasyona uğramış hücrelerin seçimi

Hipermutasyona uğramış antikorlar, artık başlangıç popülasyonunda bulunan antikorlardan farklıdır. Elde edilen yeni antikorlar, 1. adımda olduğu gibi tekrar uygunluk fonksiyonu kullanılır ve yeni antikorların afinite değerleri hesaplanır ve sonrasında uygunluk fonksiyonunun optimizasyonu yapılarak,  $norm(f)$  yeni antikorların optimize edilmiş uygunluk fonksiyonu değerleri bulunur ve yeni antikorlar başlangıç popülasyonuna eklenir (De Castro 2002).

#### 7.2.5. Algoritmada kullanılan değişken parametreler

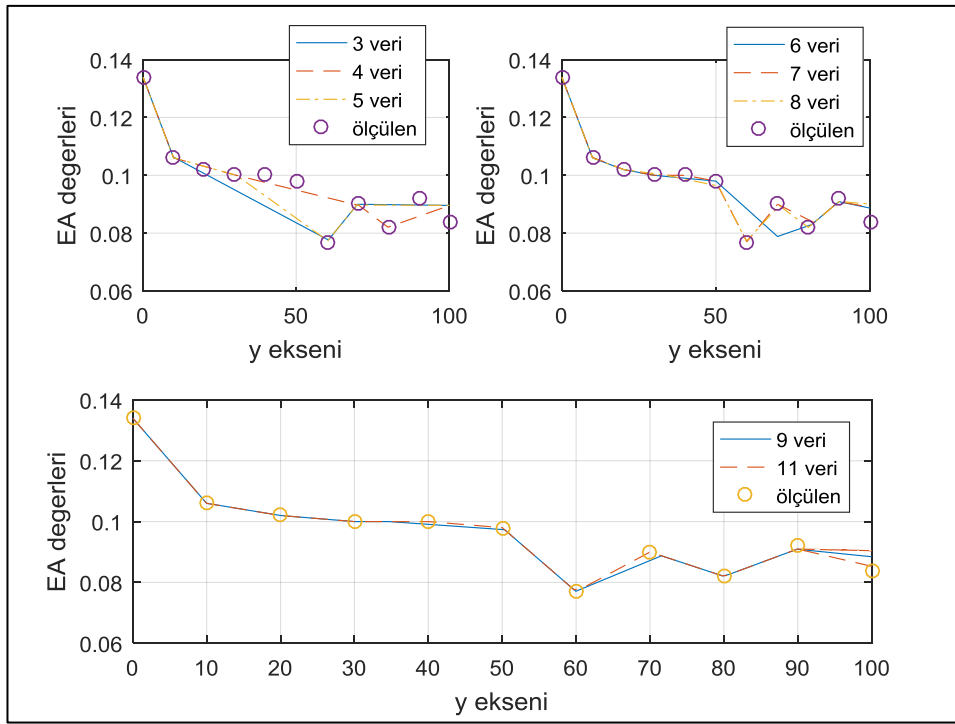
Optimizasyon problemlerinde kullanıcı tarafından seçilmesi gereken 3 tane parametre vardır. Bunlardan birincisi; klonlaması yapılacak antikor sayısı,  $n$  ile gösterilmiştir ve antikor kümesini tamamının klon sayısı oluşturulmuştur. Antikor sayısının doğru tahmini sonuçlara ulaşma konusundaki etkisini incelemek için farklı eleman sayısında veri setleri de oluşturulmuş ( 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 11 eleman içeren veri setleri) ve ölçüm yapılan nokta sayısı arttıkça daha az hatalı tahmini sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür İkincisi parametre, her klondan elde edilecek klon sayısı, Eşitlik 7.6'da gösterilen  $\beta$  değişkeni hesaplamada 1 olarak alınmıştır. De Castro (2002) çalışmasında  $\beta$  değerinden 1 ya da 2 olarak bahsedilmiştir,  $\beta$  değeri 2 olarak alındığında, elde edilen tahmini veri sayısı fazla miktarda hesaplanmış; 11 elemanlı veri setlerinde 11 bin civarında veri elde edilmiştir ancak;  $\beta$  değeri 1 seçildiğinde 11 elemanlı veri setlerinde veri sayısı 1.500 civarında hesaplanmıştır. Üçüncüsü  $d$  sayısı; hipermutasyona uğramış hücreler, kümeye dâhil edildikten sonra, kümeden çıkacak olan düşük afiniteli antikorların sayısıdır. Burada araştırma bölgesini kapsamlı bir şekilde incelemek için düşük afiniteli antikorlar algoritmadan çıkartılmamıştır. Hücrelerin tamamı, tahmin mekanizmasında gerekli olduğu için düşük afiniteli antikorlar algoritmadan dışarı çıkarılmamış, hesaplamalara dâhil edilmiş ve arama uzayı geniş tutulmaya çalışılmıştır.

Hesaplamaların birden fazla defa yapılmasını sağlayan döngü sayısı durdurma kriteri olarak değerlendirilmiştir ve her hesaplama 50 döngüde son bulmuştur. 30, 50, 100, 200 ve 300 döngü üzerinde yapılan incelemede; 30 döngü sonucunda 00:24.86 sürede 800 veri, 50 döngü sonucunda 01:00.81 sürede 1500 veri, 100 döngü sonucunda 15:23.05

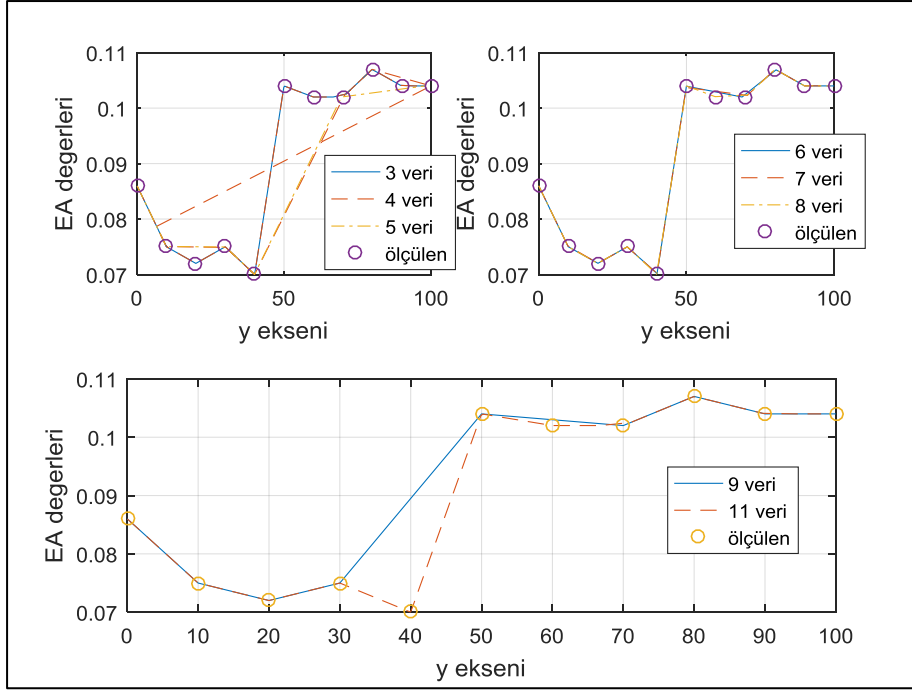


sürede 3000 veri, 200 döngü sonucunda 31:42.00 sürede 5600 veri ve 300 döngü sonucunda 53:33.60 sürede 8400 veri elde edilmiştir. Döngü sayısının artması tahmin edilen veri sayısını arttırırken hesaplama süresini de arttırmış, bu sebeple; veri sayısının yeterli ve hesaplama süresinin kısa olduğu 50 döngü ile algoritmaya devam edilmiştir.

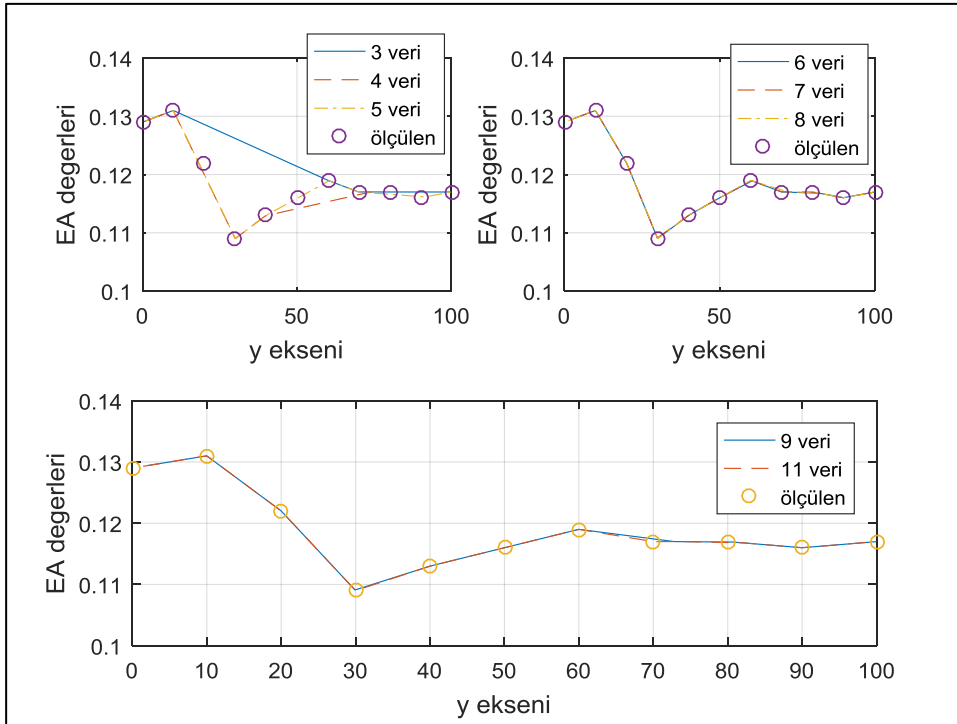
Algoritma sonucu elde edilen tahminler; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 11 elemanlı veri kümeleri ile oluşturulmuştur, her veri kümesi için elde edilen tahmini değerler excel dosyası halinde depolanmıştır. Tahmini değerler grafiklerle ifade edilmiş olup; tahmini sonuçlara ait grafikler 7.3-7.31 arasında gösterilmektedir.



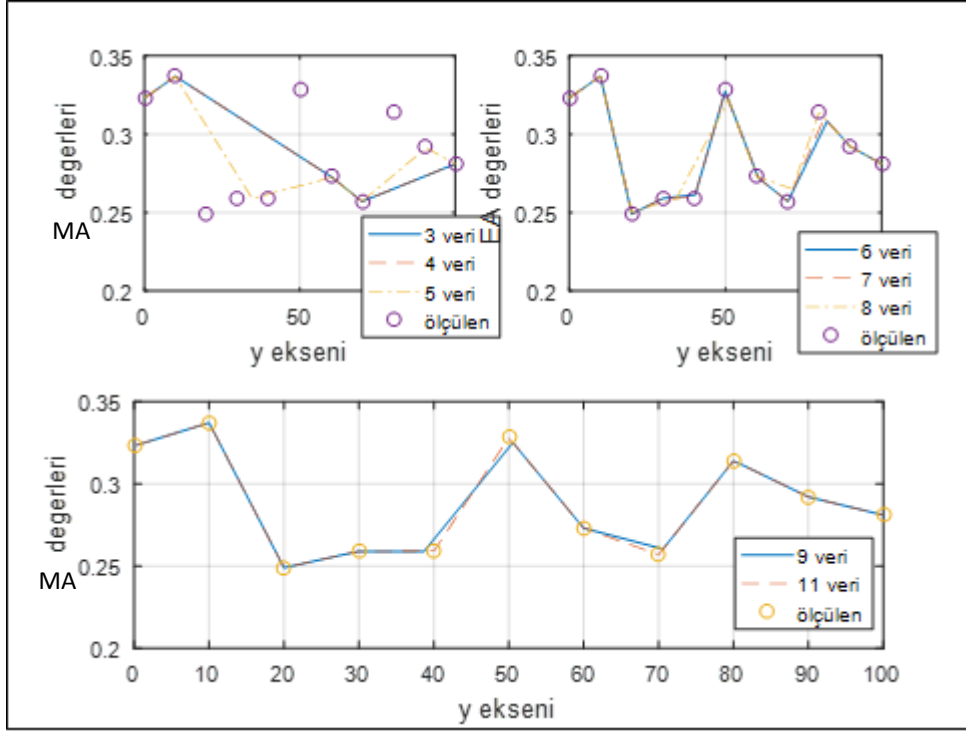
Şekil 7.3 8 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



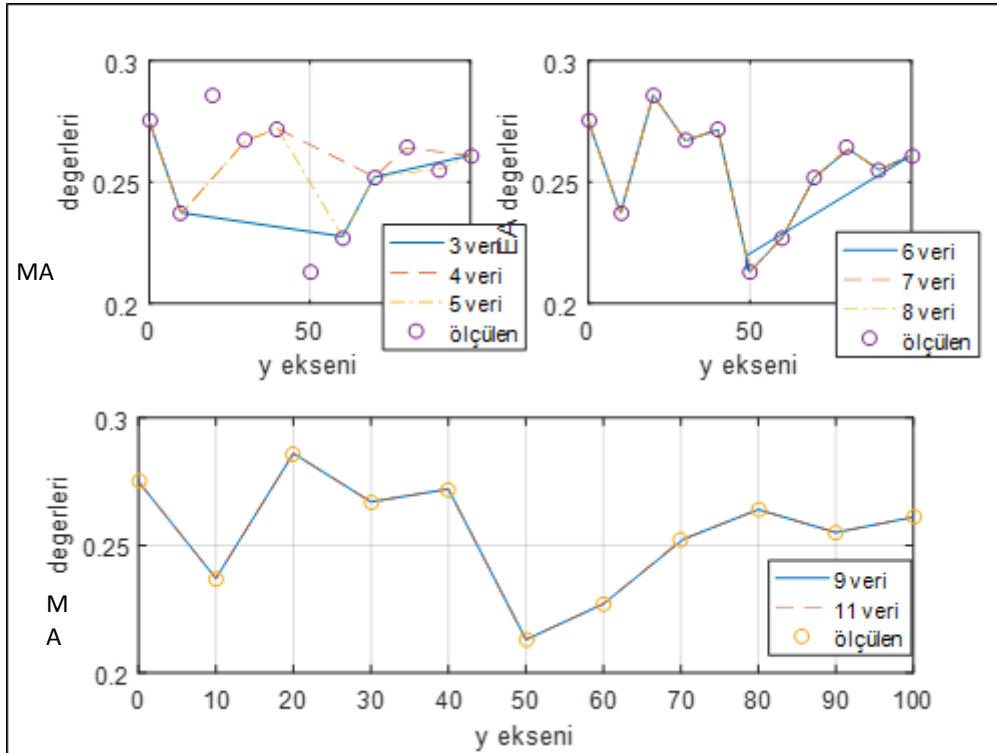
Şekil 7.4 8 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



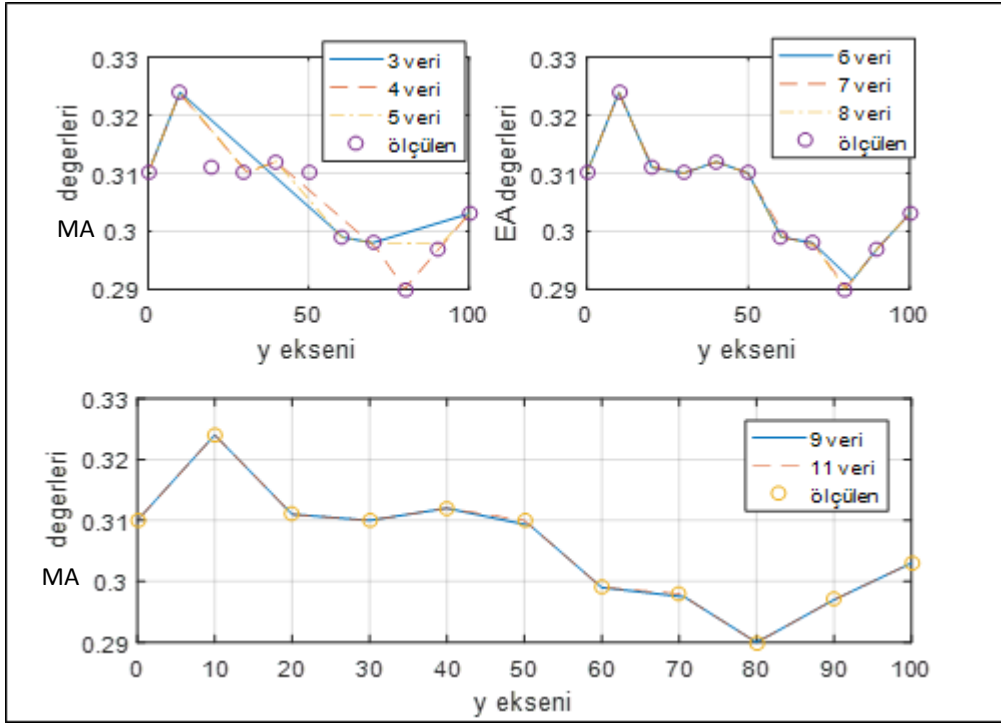
Şekil 7.5 8 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



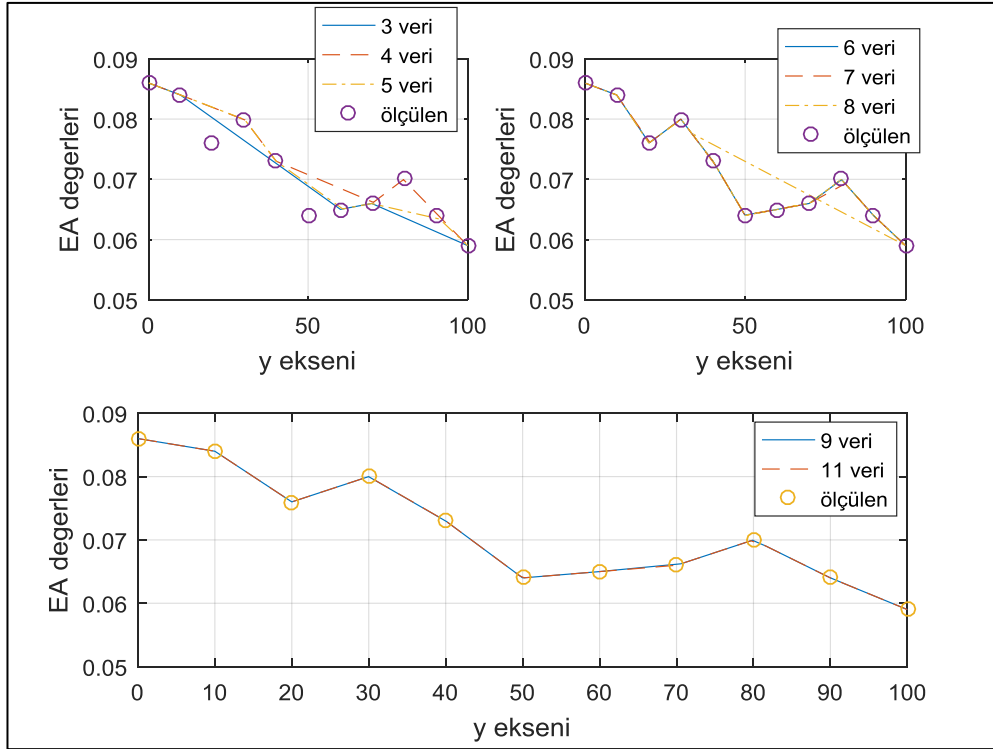
Şekil 7.6 8 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



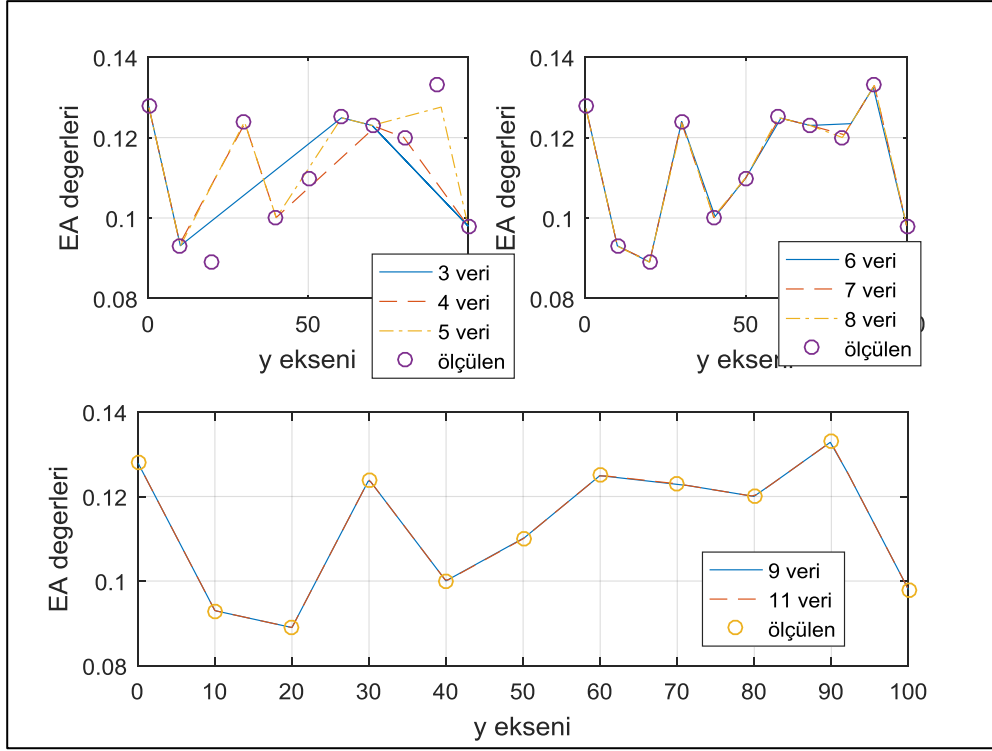
Şekil 7.7. 8 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



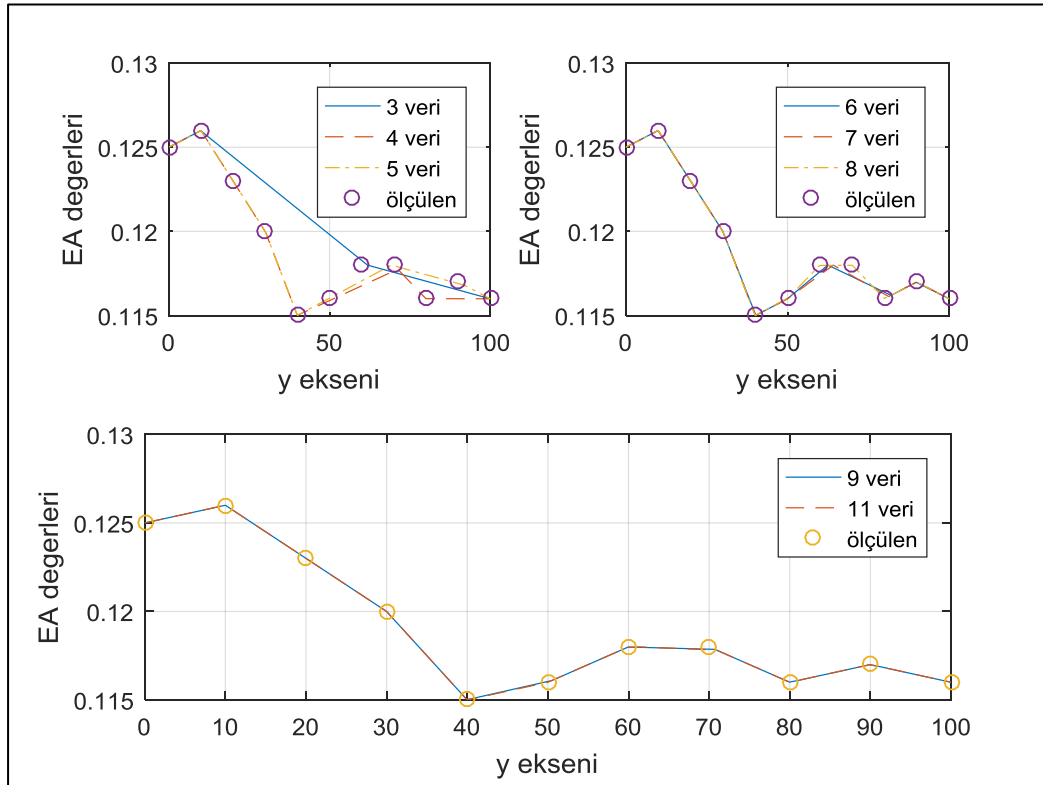
Şekil 7.8. 8 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



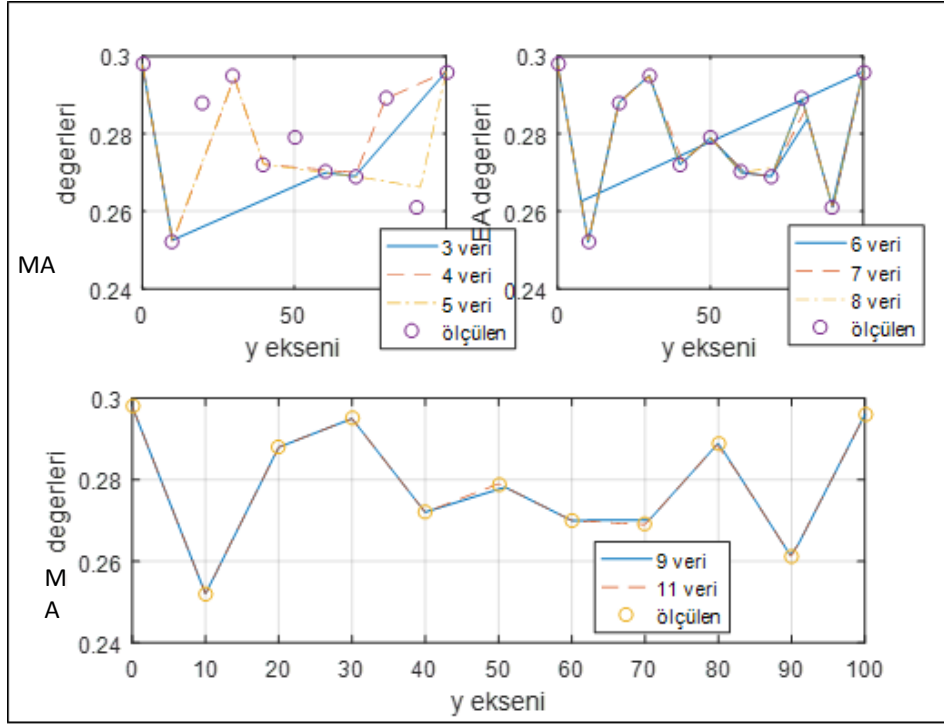
Şekil 7.9 15 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



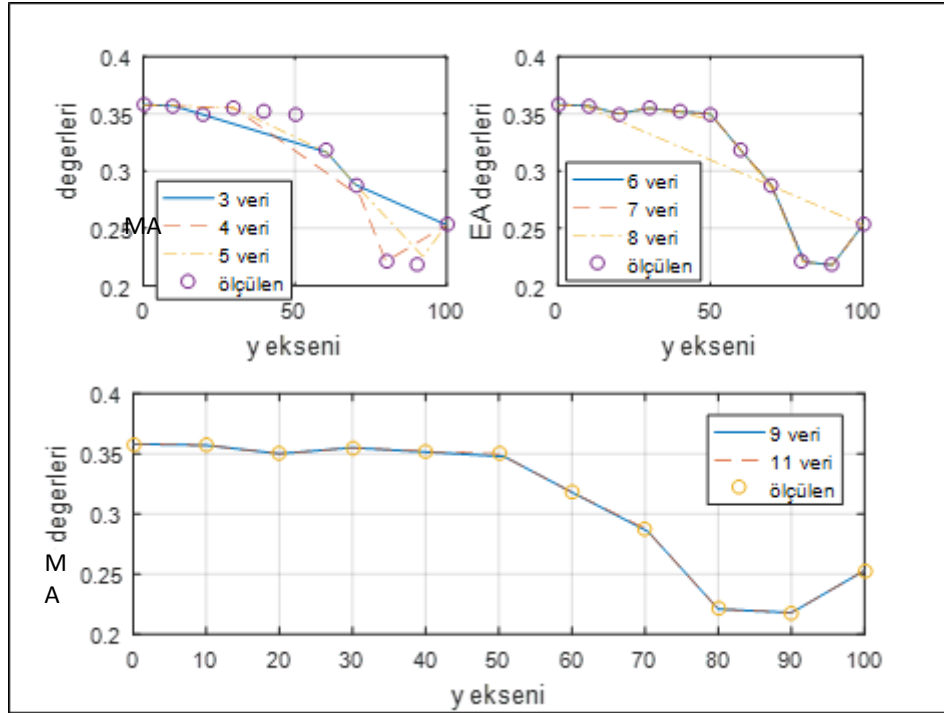
Şekil 7.10 15 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



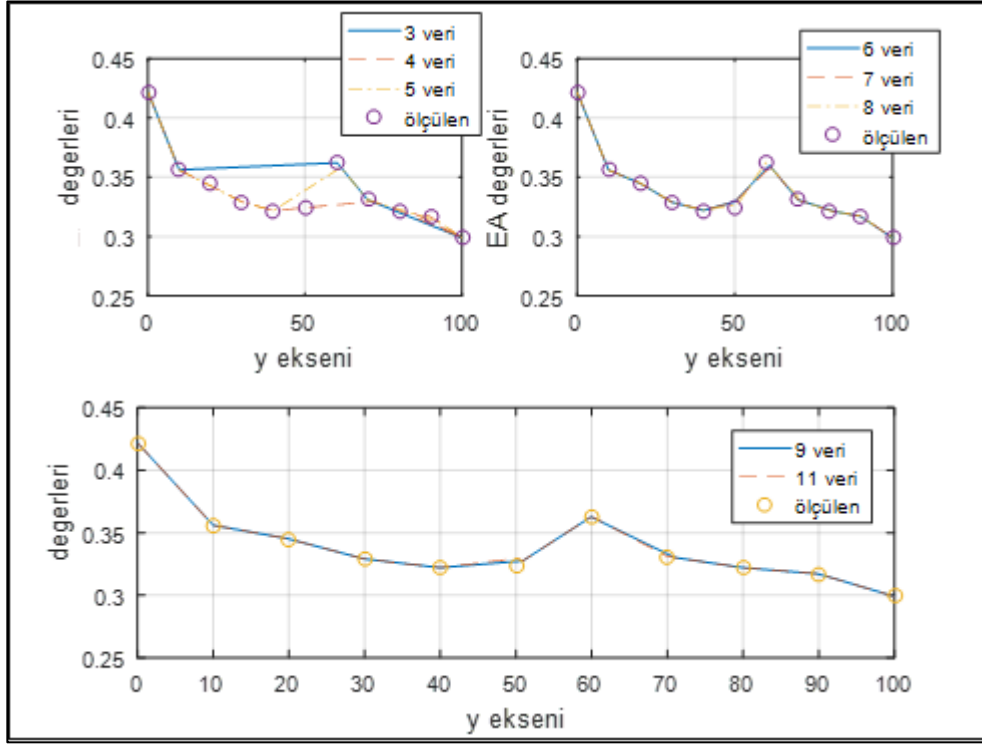
Şekil 7.11 15 w KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



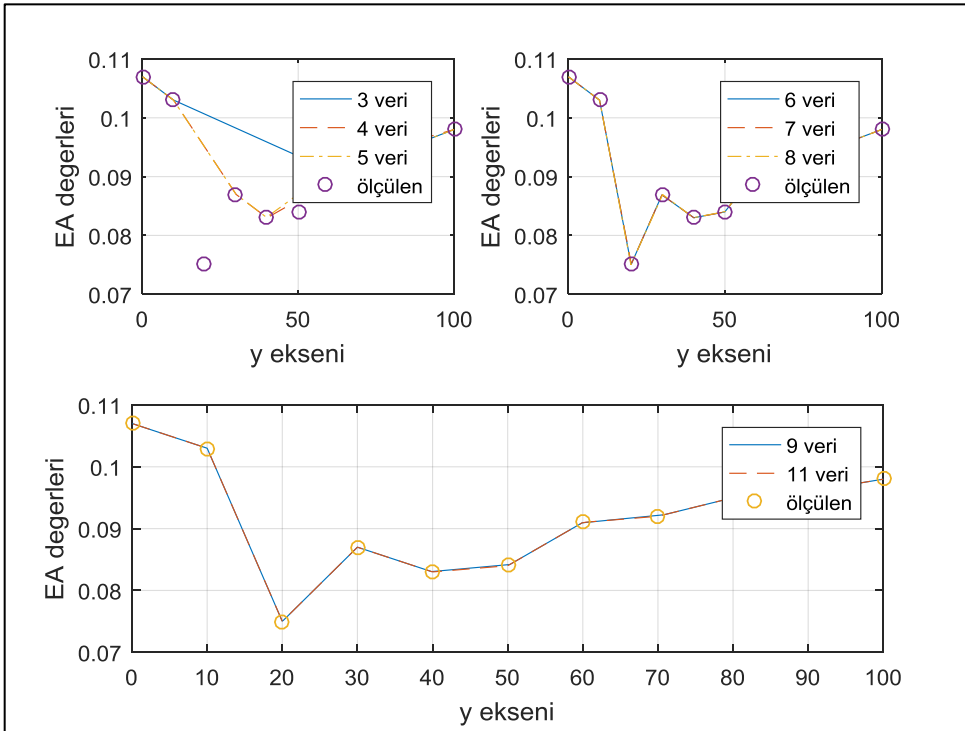
Şekil 7.12 15 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



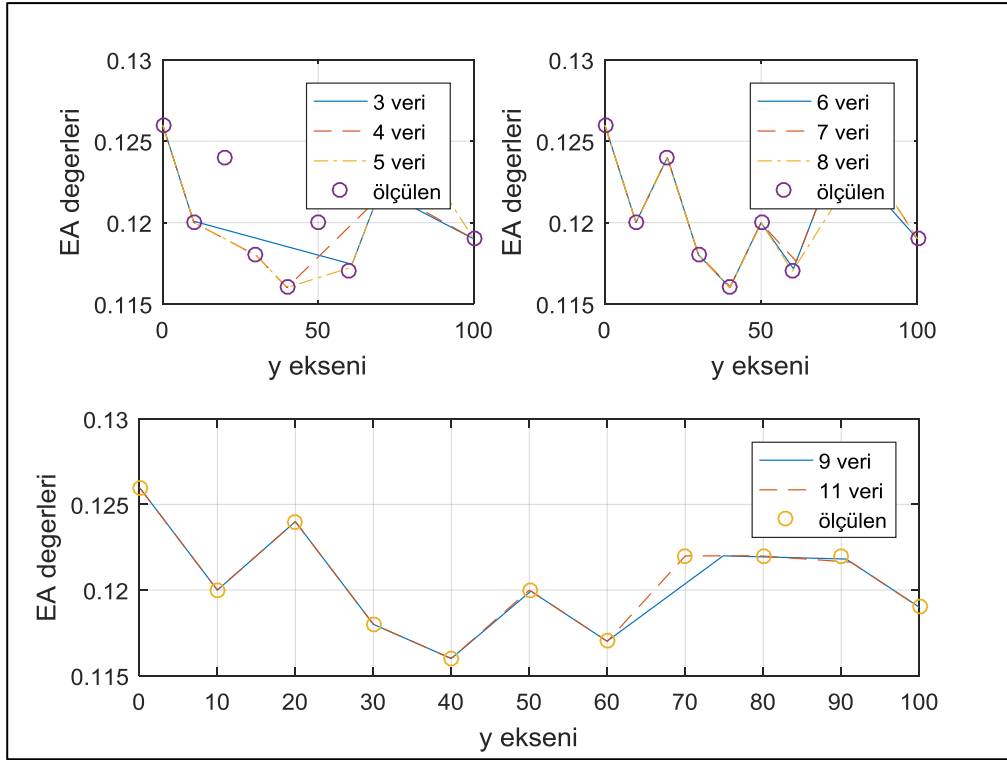
Şekil 7.13 15 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



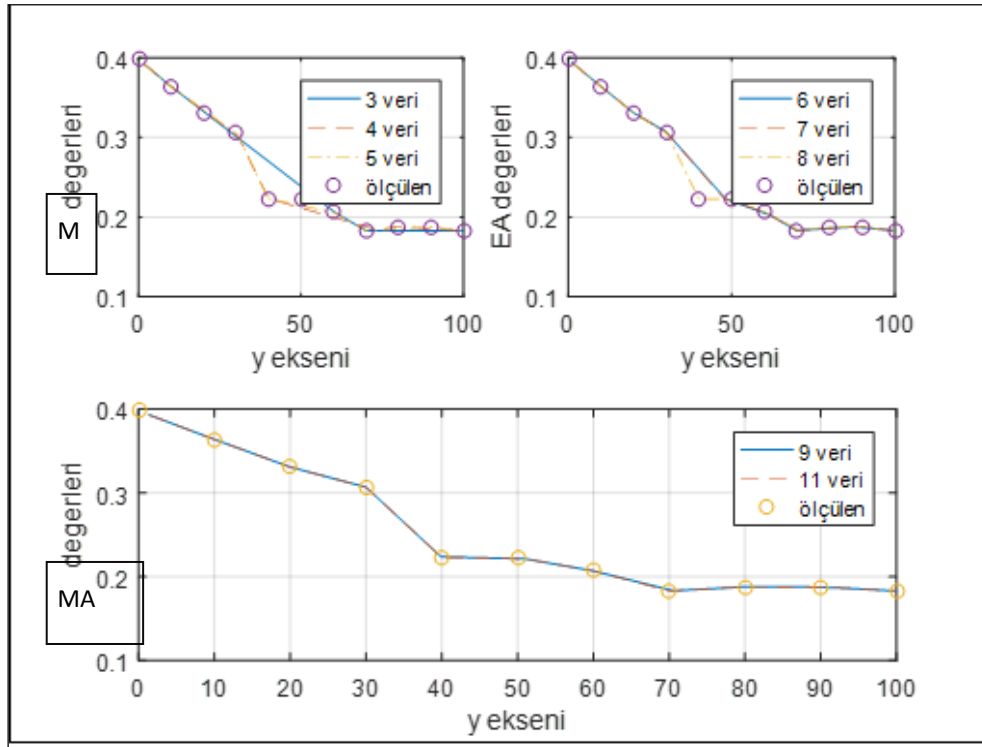
Şekil 7.14 15 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



Şekil 7.15 30 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları

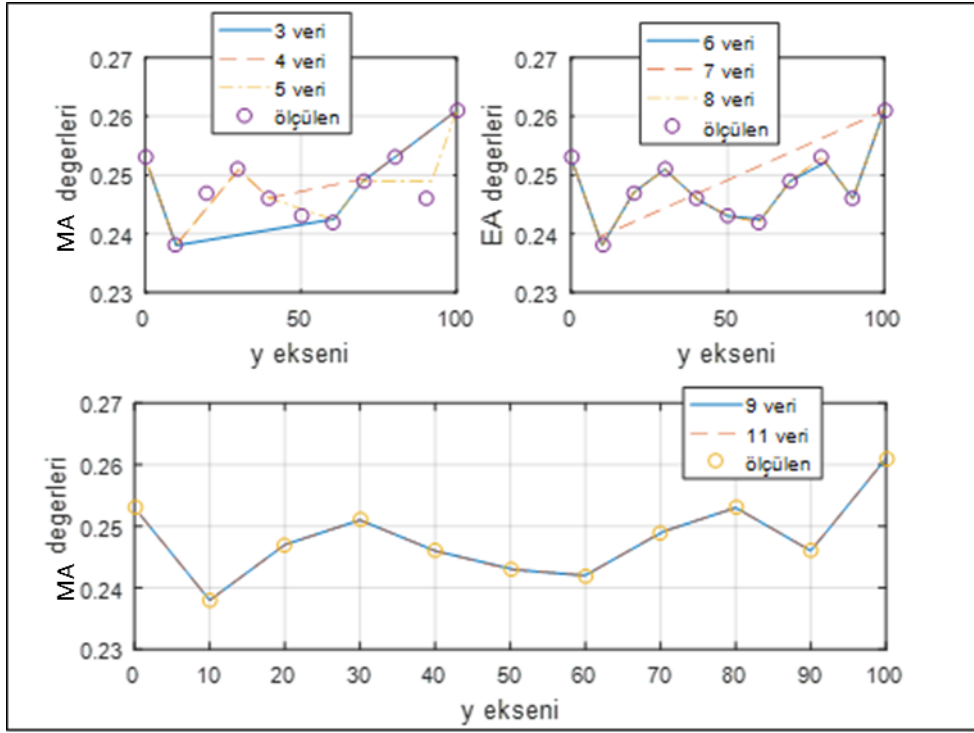


Şekil 7.16 30 W KDL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları

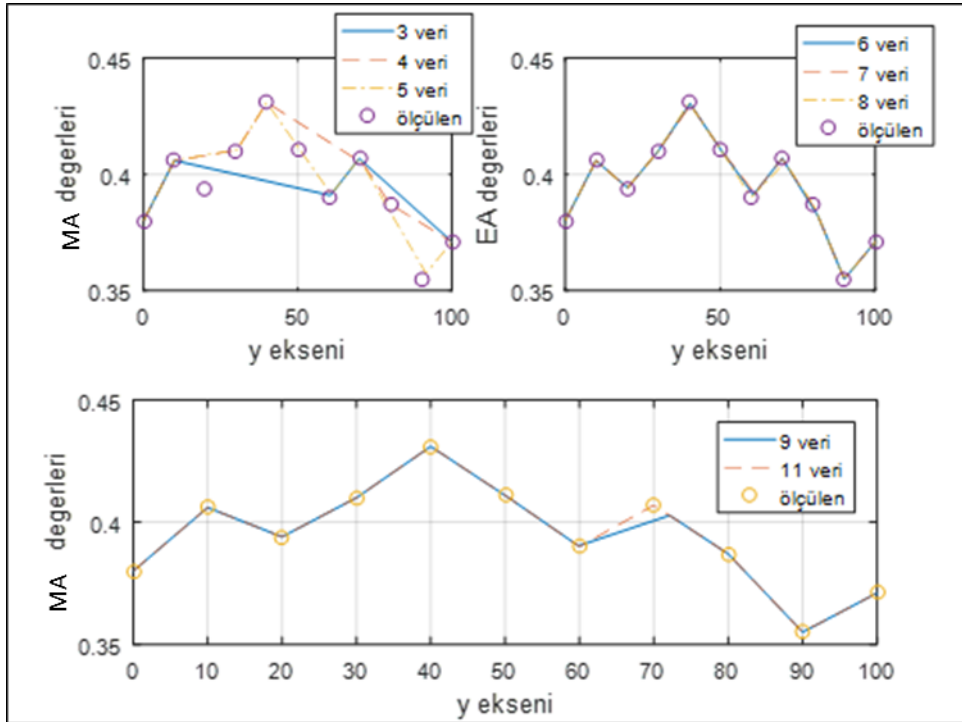


Şekil 7.17 30 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları

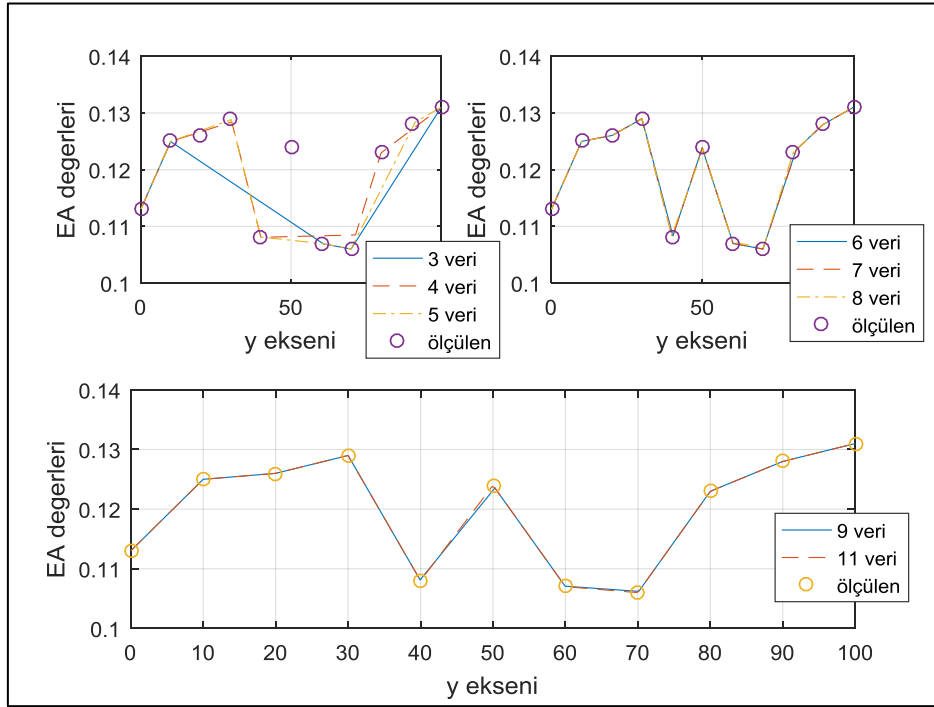




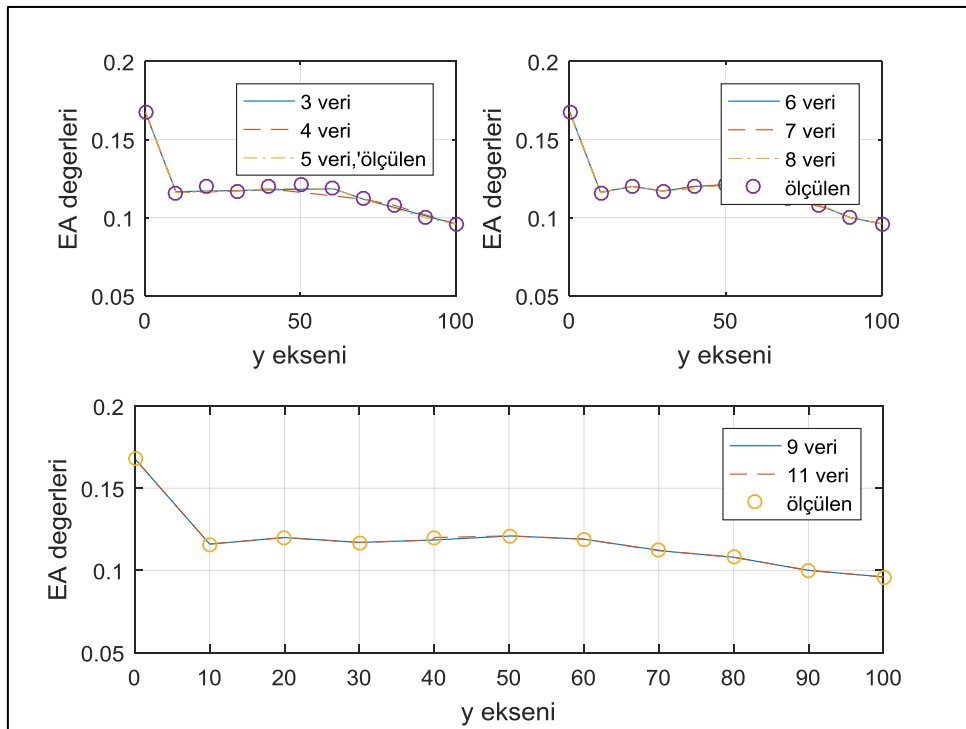
Şekil 7.18 30 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



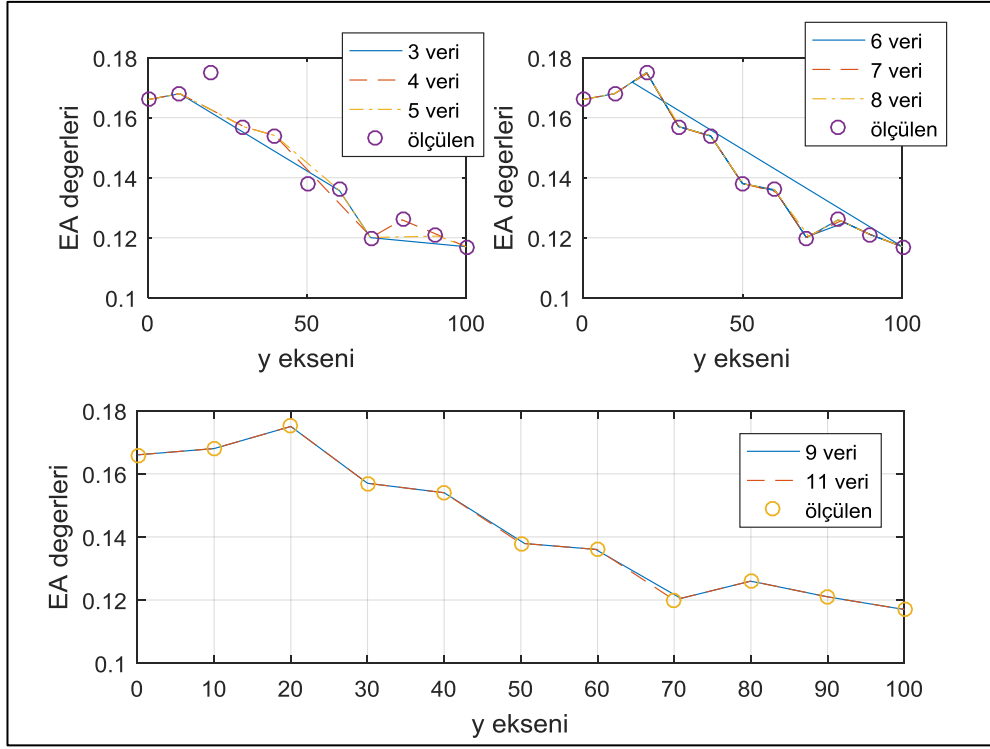
Şekil 7.19 30 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçlar



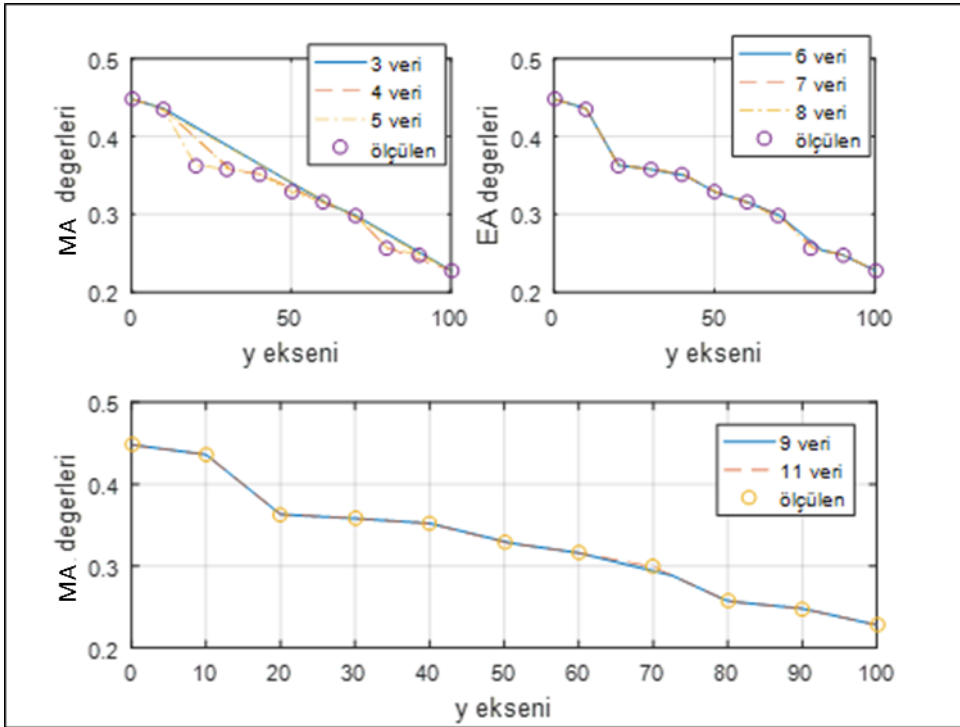
Şekil 7.20 50 w KFL için 50-301 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



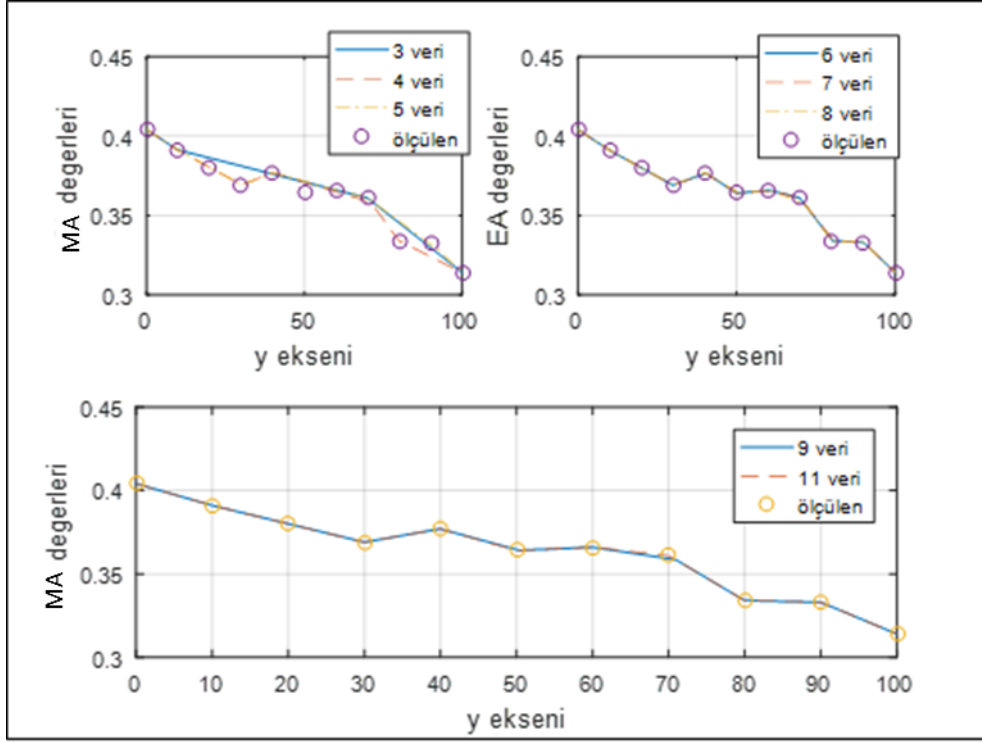
Şekil 7.21 50 W KFL için 300-601 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



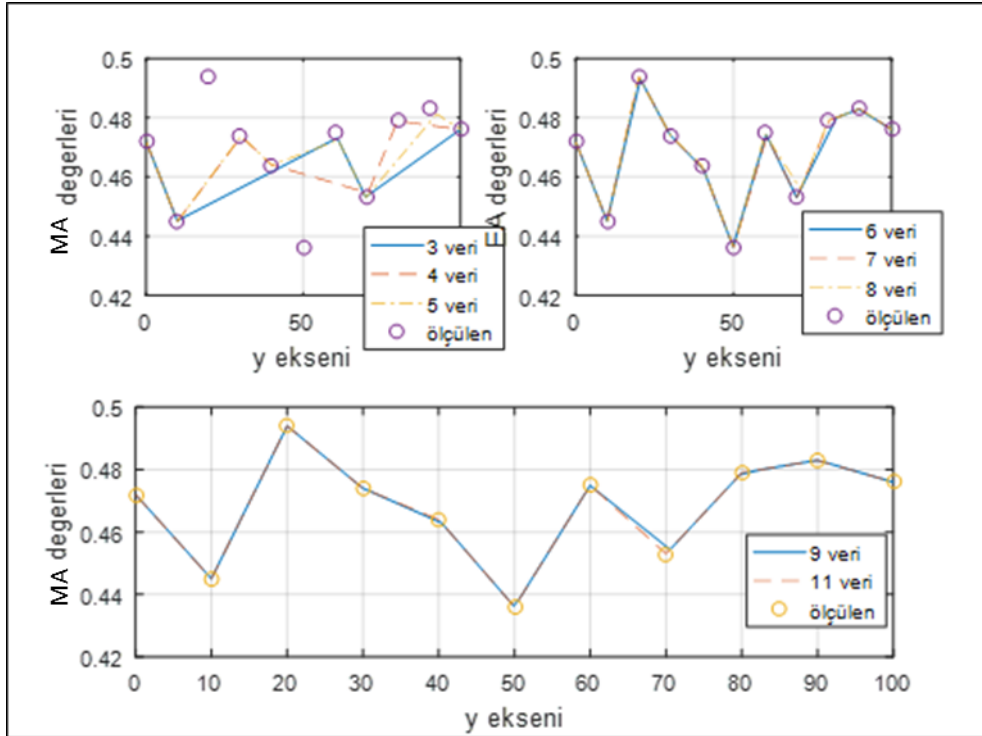
Şekil 7.22 50 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



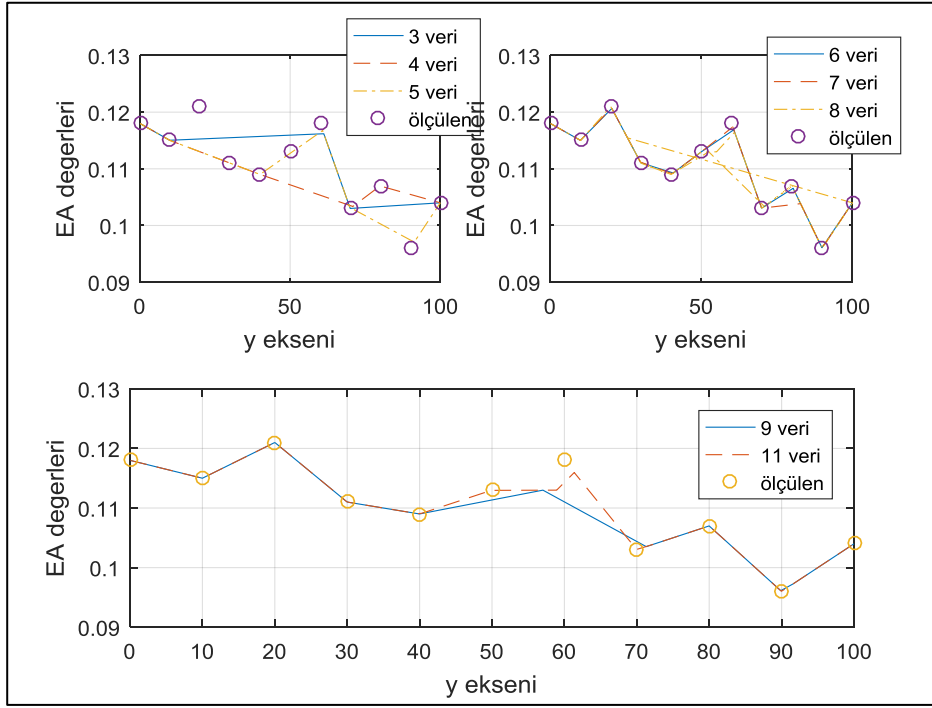
Şekil 7.23 50 W KFL için 50-301 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



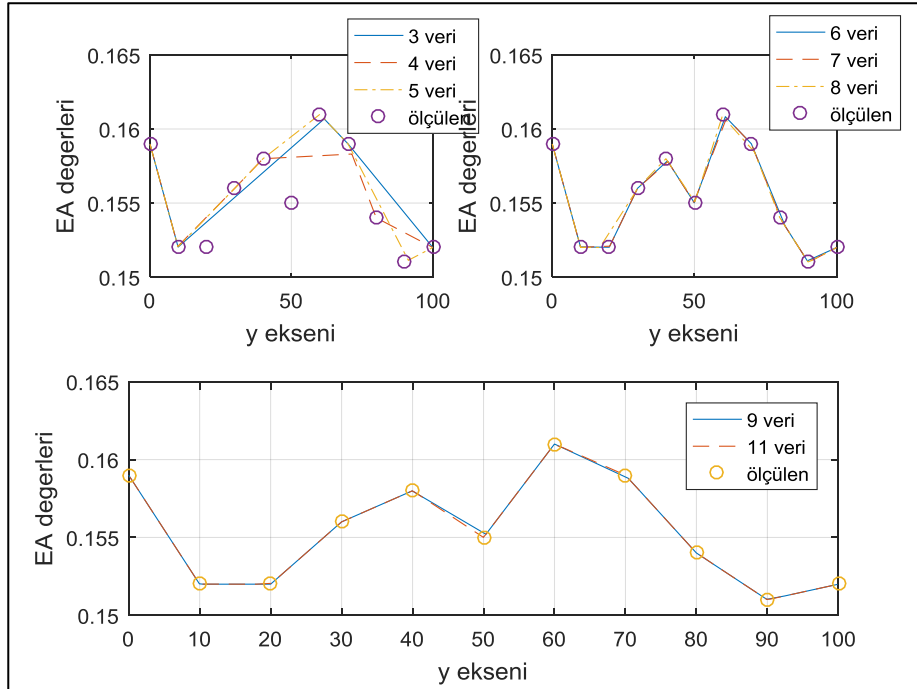
Şekil 7.24 50 W KFL için 300-601 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



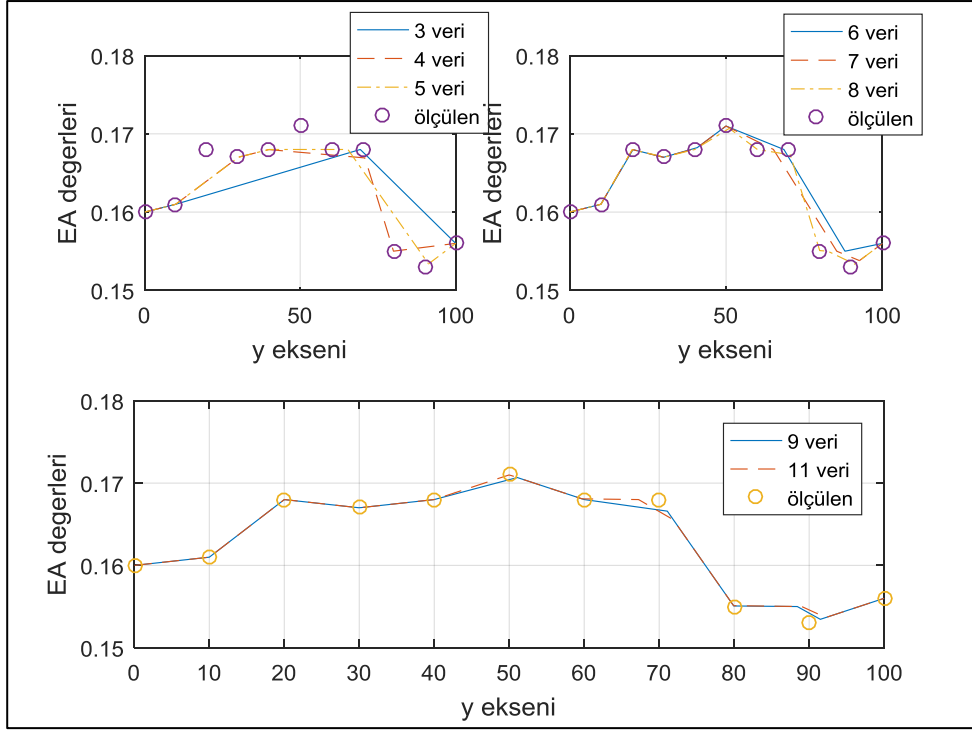
Şekil 7.25 50 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



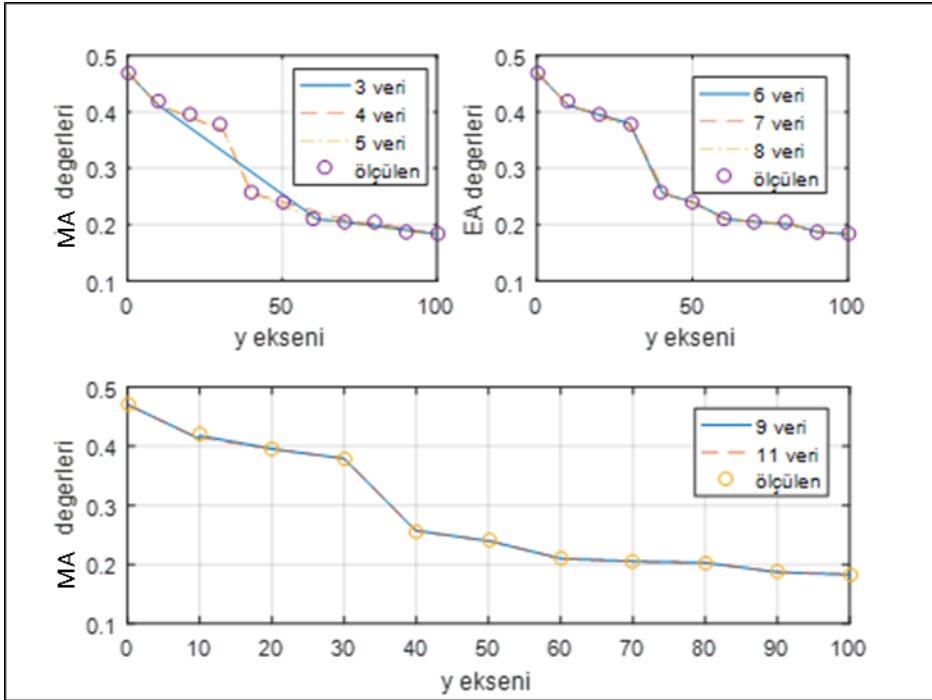
Şekil 7.26 73 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



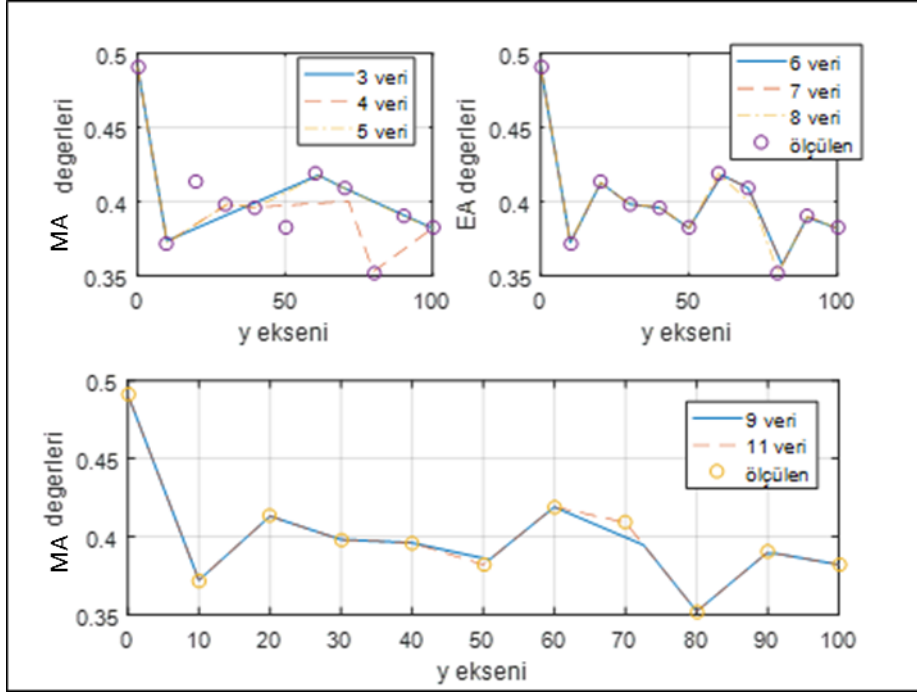
Şekil 7.27 73 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



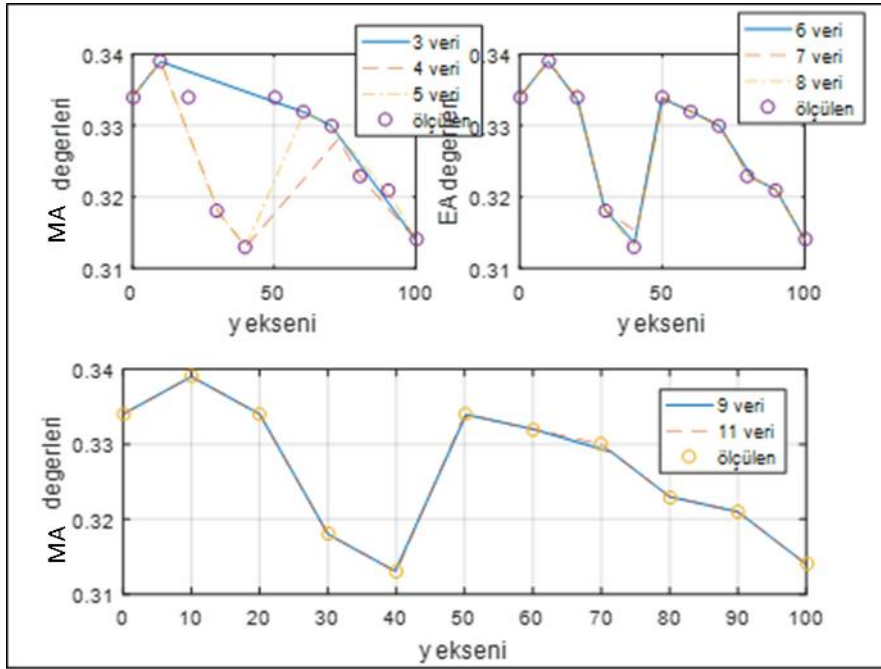
Şekil 7.28 73 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçları



Şekil 7.29 73 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



Şekil 7.30 73 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları



Şekil 7.31 73 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan tahmini sonuçları

### 7.2.6 Hata analizi

Tahmini değerlerin hata analizi ortalama mutlak hata yöntemi ile yapılmıştır. Hata esas olarak gerçek değer ile hesaplanan yaklaşık değer arasındaki farktır. Gerçek değer ile hesaplama sonucu bulunan yaklaşık değer arasındaki farka mutlak hata denir (Karagöz 2001). Mutlak hatanın terim sayısına oranı ile ortalama mutlak hata (MAE) bulunur. Burada, terim sayısı antikor sayısını ifade etmektedir. Mutlak Hata Eşitlik 7.13'te, Ortalama Mutlak Hata Eşitlik 7.14'te verilmiştir.

$$e_r = |x_r - x_n| \quad (7.13)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (e_r) \quad (7.14)$$

$x_r$  : gerçek elektrik alan veya manyetik alan

$\widehat{x}_n$  : hesaplanan elektrik alan veya manyetik alan

$e_r$  : mutlak hata

N : antikor sayısı

Hata analizinde gerçek değerler ile tahmini değerler ortalama mutlak hata yöntemi ile karşılaştırılmıştır. N= 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 11 için veri setleri oluşturulmuş ve her veri seti için hata miktarı hesaplanmıştır. Bu şekilde, hata miktarının veri sayısına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ölçüm sayısı arttıkça hata miktarı da azalmaktadır. Veri sayısı-hata miktarı karşılaştırmasını gösteren grafikler, 7.32-7.60 arasında gösterilmektedir.





Şekil 7.32 8 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



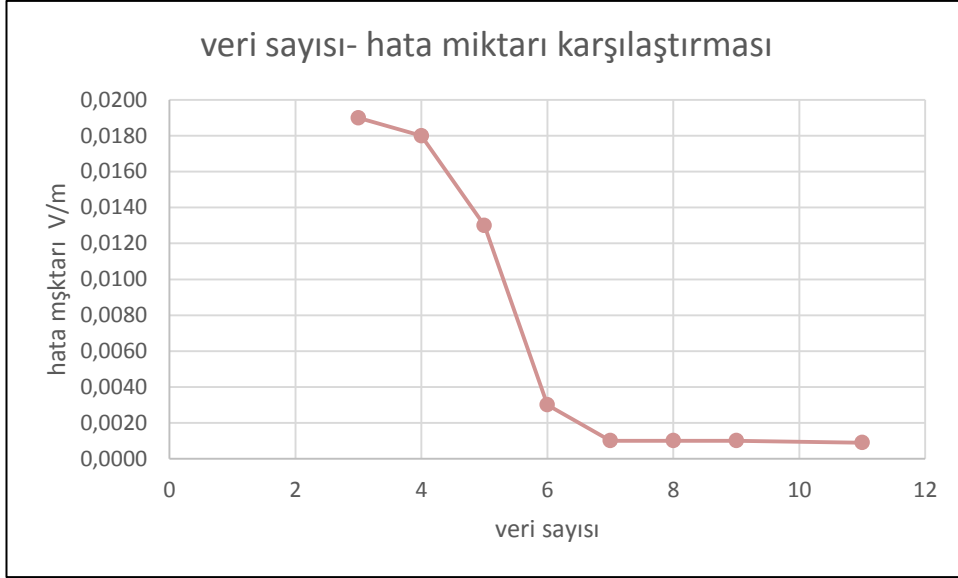
Şekil 7.33 8 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.34 8 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.35 8 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.36 8 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7. 37 8 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.38 15 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.39 15 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.40 15 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.41 15 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.42 15 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.43 15 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.44 30 W KFL 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.45 30 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektirik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.46 30 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.47 30 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısının hata miktarı karşılaştırması





Şekil 7.48 30 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.49 50 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.50 50 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.51 50 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.52 50 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.53 50 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.54 50 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.55 73 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.56 73 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 5.57 73 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.58 W 73 W KFL için 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 5.59 73 W KFL için 301-600 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması



Şekil 7.60 73 W KFL için 601-900 frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı hata miktarı karşılaştırması

Yukarıdaki grafiklerde de görüldüğü gibi en yüksek hata miktarları 3 veri ile yapılan tahminlerde hesaplanırken, en düşük hata miktarları ise 8, 9, ve 11 veri ile yapılan tahminlerde hesaplanmaktadır. En yüksek hata miktarı 15 W'lık kompakt flüoresan lambanın 50-300 MHz frekans aralığındaki manyetik alan hesaplamalarında 3 elemanlı veri setinde; en düşük hata miktarları 8 ve 15 W'lık kompakt flüoresan lambanın 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan hesaplamalarında 11 elemanlı veri setinde ortaya çıkmıştır.

Hata hesaplamalarında kullanılan veri sayısı arttıkça, hata miktarında veri sayısı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Buna göre; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 11 veri kullanılarak yapılan tahminlerde 11 adet veri ile elektrik alan tahmini sonuçlarında en düşük 0,0001, manyetik alan tahmini sonuçlarında en düşük 0,0003 hata ile yeterli doğrulukta kestirimler yapılabilmektedir.

## 8. ELEKTROMANYETİK ALAN MARUZİYETİNE YÖNELİK YASAL DÜZENLEMELER

Günümüzde, elektronik cihazların yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte uluslararası ve ulusal platformlarda elektromanyetik radyasyon ve etkileri üzerine eğilim artmıştır. 2. Bölümde belirtildiği gibi elektromanyetik radyasyon maddeye olan etkisine göre iyonlaştıran ve iyonlaştırmayan olarak iki şekilde incelenir. İyonlaştıran radyasyonla ilk kez İkinci Dünya Savaşında nükleer radyasyon ile karşılaşmış olup; on binlerce insanın ölümüne sebebiyet verdiği tanıklık edilmiştir. İyonlaştırmayan radyasyon ise; duyularımızla algılanamayacak şekilde ortamda varlığını devam ettirir (Türkkan vd. 2012)

İyonlaştırmayan radyasyonun insan sağlığına etkisi, genel kamu sağlığı ve elektromanyetik radyasyona çalışma koşulları nedeniyle maruz kalanlar açısından iki şekilde değerlendirilmiş, bu konu üzerine çalışan uzmanlar iyonlaştırmayan radyasyonun insan sağlığına etkisini incelerken yaptıkları çalışmalar sonrası çeşitli standartlar, standartlar kapsamında radyasyona ilişkin limit değerler belirlemişlerdir. Avrupa Birliği'ne üye ülkeler ve ABD'de dâhil olmak üzere her ülke kendi yasal mevzuatlarını standartlardaki sınır değerlere göre düzenlemiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde, FCC (Federal İletişim Komisyonu) tarafından 1997 yılında kabul edilen Maksimum İzin Verilen Maruz Kalma Sınırları (MPE), genel olarak Ulusal Radyolojik Koruma ve Ölçüm Kriterleri Konseyi'nin (NCRP) "Radyo Frekanslı Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri ve Maruziyet Sınırları" adlı 86 numaralı raporuna dayanmaktadır (OET Bull 1997).

Kanada'da, Kanada Sağlık Bakanlığı Tüketici ve Klinik Radyasyondan Korunma Bürosu tarafından 2015 yılında hazırlanan bir yönetmelikte; radyasyon yayan cihazların güvenli kullanımı veya radyasyona maruz kalınması durumunda uyulması gereken sınır değerler belirtilmiştir. Yönetmelikte ICNIRP'nin 1998 yılında hazırladığı Zamanla Değişen Elektrik, Manyetik ve Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalma Limitleri Kılavuzu'nda bulunan referans değerler baz alınmıştır (Branch, C. S. 2009).



Avrupa Birliği, 2013 tarihinde yayımladığı, 2013/35/EU sayılı alışanların Fiziksel Maddelerden Kaynaklanan Risklere (Elektromanyetik Alanlar) Maruziyeti ile İlgili Asgari Sağlık ve Güvenlik Őartları” na ilişkin direktifte ICNIRP’nin “Zamanla Değişen Elektrik, Manyetik ve Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalma Limitleri Kılavuzu” n da bulunan referans değerlerini baz almıştır (Parliament E. 2013).

Türkiye’nin konu ile ilgili çalışmalarına baktığımızda 27651 sayılı Resmi Gazete’de mülga evre ve Orman Bakanlığı tarafından yayımlanan ancak, günümüzde evre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen “İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden evre ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik” ile iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun olumsuz etkilerine karşı insan sağlığının ve çevrenin korunması konu ile ilgili halkın bilgilendirilmesi amaçlamıştır.Yönetmelik kapsamında halk sağlığı açısından referans değerler; ICNIRP’nin “Zamanla Değişen Elektrik, Manyetik ve Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalma Limitleri Kılavuzu” na göre düzenlenmiştir (Resmi Gazete 2010).

Yaygın olarak kullanılan maruziyet sınırlamalarına baktığımızda NCRP ve ICNIRP’ nin hazırladığı kılavuzlar kullanılmaktadır.

### **8.1 ICNIRP (Uluslararası İyonlaşmamış Radyasyondan Korunma Komisyonu) alışmaları**

Dünya Sağlık rgt (WHO) tarafından da tanınan bağımsız bir kuruluş olarak 1992 yılında kurulan ICNIRP, 1998 yılında yayımladığı Zamanla Değişen Elektrik, Manyetik ve Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalma Limitleri Kılavuzunda; iyonlaştırıcı olmayan radyasyonu, elektromanyetik spektrumda maddede iyonlaşma sağlayacak yeterli enerjiye sahip olmayan tüm radyasyonlar ve alanlar olarak tanımlamaktadır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonda foton başına düşen enerji; 12 eV' dan daha azdır, dalga boyu 100 nm' den daha yüksek ve frekansı  $3 \times 10^{15}$  Hz' den daha düşüktür.

Geniş frekans aralığı hazırlanan çalışma, 1998 yılında hazırlanan Zamanla Değişen Elektrik, Manyetik ve Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalma Limitleri Kılavuzu olup; bu kılavuzda 1 Hz-300 GHz frekans aralığı için kamu sağlığı ve çalışma koşulları

açısından iyonlaştırıcı olmayan radyasyona maruz kalma sınırları belirtilmiştir. Sonrasında elektrik alan, manyetik alan ve elektromanyetik alanla ilgili yayımlanan bir dizi çalışmanın yanı sıra ultraviyole ve lazer uygulamalarını da kapsayan kılavuzlar yayımlanmıştır.

1998 yılında yayımlanan kılavuzun yerini alabilecek nitelikte; 2010 yılında 1 Hz-100 kHz frekans aralığı için bir kılavuz ve 2018 yılında 100 KHz-300 GHz frekans aralığı için taslak olarak bir kılavuz yayımlanmıştır. Taslak kılavuzun 1998 yılındaki kılavuzda radyo frekans aralığının yerini alması planlanmıştır.

Hazırlanan yayınların amacı, elektromanyetik alanların sağlığı olumsuz etkileyen bilinen etkilerine karşı, maruziyet sınırlarını belirleyebilmektir. Maruziyet sınırları, mesleki ve kamuya maruz kalma sınırları olarak iki şekilde değerlendirilmektedir. Temel kısıtlamalar; zamanla değişen elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlara maruz kalmaya ilişkin belirlenmiş sağlık etkilerine dayanan kısıtlamalardır. Alanın frekansına bağlı olarak bu kısıtlamalar, akım yoğunluğu, özgül soğurma değeri (SAR) ve güç yoğunluğu ile belirlenir. Referans seviyeleri ise; temel kısıtlamaların aşılmayacağı belirleyen maruziyet seviyeleridir. Maruziyet seviyeleri çeşitli deneysel ölçümler ve matematiksel hesaplamalar sonucu elde edilmektedir (ICNIRP, 1998). SAR (özgül soğurma değeri veya Özgül enerji emilim oranı), bütün vücudun ya da vücudun belirli uzuvları üzerinde, dokular tarafından emilen ortalama enerjinin birim kütle başına oranı demektir. SAR genel olarak radyo frekans (RF) etki değerleriyle ilişkilendirilip, yaygın olarak kabul gören bir orandır (OET Bull 1997).

Tez konusunda çalışılan frekans aralığı 50 MHz -900 MHz olması itibariyle; 1998 yılı kılavuzunda belirtilen temel kısıtlamalar ve maruziyet değerleri Çizelge 8.1 ve Çizelge 8.2 ve 8.3' de henüz taslak aşamasında olmasına rağmen 2018 yılı kılavuzunda yer alan temel kısıtlamalar Çizelge 8.4 ve Çizelge 8.5 'de ve maruziyet değerleri ise Çizelge 8.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 8.1 10 GHz'e kadar elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar temel kısıtlamalar (1998)

Maruziyet tipi	Frekans aralığı	Baş ve vücut için akım yoğunluğu ( mA/ m <sup>2</sup> ) (rms)	Bütün vücudun ortalama SAR değeri (W/kg)	Bölgesel SAR değeri (baş ve vücut) (W/kg)	Bölgesel SAR değeri (kol ve bacaklar) (W/kg)
Mesleki maruziyet	1 Hz'e kadar	40	-	-	-
	1-4 Hz	40/f	-	-	-
	4 Hz-1 kHz	10	-	-	-
	1-100 kHz	f/100	-	-	-
	100 kHz-10 MHz	f/100	0.4	10	20
	10 MHz-10 GHz	-	0.4	10	20
Genel kamu maruziyeti	1 Hz'e kadar	8	-	-	-
	1-4 Hz	8/f	-	-	-
	4 Hz-1 kHz	2	-	-	-
	1-100 kHz	f/500	-	-	-
	100 kHz-10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 MHz-10 GHz	-	0.08	2	4

Çizelgedeki f, belirtilen aralıktaki frekans değerlerini Hz cinsinden ifade eder. “-” hücrenin temel kısıtlamalarla ilgili olmadığını göstermektedir.

Çizelge 8.2 Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için mesleki sınır değerler (1998)

Frekans aralığı	Elektrik alan (V/m)	Manyetik alan (A/m)
1Hz'e kadar	-	1.63x10 <sup>5</sup>
1-8 Hz	20000	1,63x10 <sup>5</sup> /f
8-25 Hz	20000	2x10 <sup>4</sup> /f
0.025-0.82 kHz	500/f	20 /f
0.82-65 kHz	610	24.4
65 kHz-1 MHz	610	1.6/f
1 -10 MHz	61/f	1.6/f
10 -400 MHz	61	0.16
400-2000 MHz	3/f <sup>1/2</sup>	0.008/f <sup>1/2</sup>
2-300 GHz	137	0.36

Çizelge 8.3 Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için genel kamu sınır değerleri (1998)

Frekans aralığı	Elektrik alan (V/m)	Manyetik alan (A/m)
1Hz'e kadar	-	$3.2 \times 10^4$
1-8 Hz	10000	$3.2 \times 10^4/f^2$
8-25 Hz	10000	$4000/f$
0.025-0.8 kHz	$250/f$	$4/f$
0.8-3 kHz	$250/f$	5
3-150 kHz	87	5
150 kHz -1 MHz	87	$0.73/f$
1 -10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$
10-400 MHz	28	0.037
400-2000 MHz	$1.375/f^{1/2}$	$0.0037/f^{1/2}$
2-300 GHz	61	0.16

Çizelge 8.4 Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlara 6 dakika ve daha fazla süreli maruziyet için temel kısıtlamalar (2018)

Maruziyet Tipi	Frekans aralığı	Bütün vücut için ortalama SAR değeri (W/kg)	Baş ve gövde için (W/kg)	Kol ve bacaklar için (W/kg)
Mesleki maruziyet	100kHz-6 GHz	0.4	10	20
	>6 GHz-300 GHz	0.4	-	-
Genel kamu maruziyeti	100kHz-6 GHz	0.08	2	4
	>6 GHz-300 GHz	0.08	-	-

Çizelge 8.5 Elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlara 6 dakikanın altındaki maruziyet için temel kısıtlamalar (2018)

Maruziyet Tipi	Frekans aralığı	Bölgesel SA (J/kg)	Bölgesel $H_{tr}$ kJ/m <sup>2</sup>
Mesleki maruziyet	100kHz-6 GHz	0.4	10
	>6 GHz-300 GHz	0.4	-
Genel kamu maruziyeti	100kHz-6 GHz	0.08	2
	>6 GHz-300 GHz	0.08	-

Çizelgede gösterilen SA; 10 gramlık biyolojik dokuda kütle başına soğurulan ortalama enerjidir.  $H_{tr}$ ; 4 cm<sup>2</sup> (> 6-30 GHz) veya 1 cm<sup>2</sup> (> 30 GHz) başına etki eden enerjiyi, “-” ise hücrenin temel kısıtlamalarla ilgili olmadığını göstermektedir.

Çizelge 8.6 Bütün vücudun 100 kHz-300 GHz aralığında elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için sınır değerler (2018)

Maruziyet Tipi	Frekans aralığı	Elektrik alan (v/m)	Manyetik (A/m <sup>2</sup> )
Mesleki maruziyet	0.1-20 MHz	1220/f	4,9/f
	>20-30 Mhz	61	4,9/f
	>30-400 Mhz	61	0.16
	>400 Mhz-2 GHz	3f <sup>1/2</sup>	0.008f <sup>1/2</sup>
	>2-300 GHz	-	-
Genel kamu maruziyeti	0.1-20 MHz	560/f	2,2f
	>20-30 Mhz	28	22f
	>30-400 Mhz	28	0.073
	>400 Mhz-2 GHz	1.375f <sup>1/2</sup>	0.0073f <sup>1/2</sup>
	>2-300 GHz	-	-

Çizelgedeki f, belirtilen aralıktaki frekans değerlerini MHz cinsinden ifade eder

## 8.2. Maksimum İzin Verilen Maruz Kalma Sınırları (MPE) Çalışmaları

Amerika Birleşik Devletleri'nde, FCC (Federal İletişim Komisyonu) tarafından 1997 yılında kabul edilen Maksimum İzin Verilen Maruz Kalma Sınırları (MPE), NCRP' nin "Radyo Frekansı Elektromanyetik Alanlar için Biyolojik Etkiler ve Maruziyet Kriterleri" raporu ve IEEE' nin 1992 yılında yayınladığı "Radyo Frekansı Elektromanyetik Alanlara İnsan Maruziyetine İlişkin Güvenlik Seviyeleri" standartları baz alınarak hazırlanmıştır (OET Bull 1997).

ABD 'de kullanılan MPE sınırlarını gösteren Çizelgeler aşağıdaki gibi Çizelge 8.7 ve Çizelge 8.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 8.7 Mesleki maruziyet sınırları

Frekans aralığı (MHz)	Elektrik alan (V/m)	Manyetik Alan (A/m)
0.3-3.0	614	1.63
3.0-30	1842/f	4,89/f
30-300	61.4	0.163
300-1500	-	-
1500-100.000	-	-

Çizelge 8.8 Genel kamu maruziyet sınırları

Frekans aralığı (MHz)	Elektrik alan (V/m)	Manyetik Alan (A/m)
0.3-3.0	614	1.63
3.0-30	824/f	2.19/f
30-300	27.5	0.073
300-1500	-	-
1500-100.000	-	-

### 8.3 Sınır Değerlerle Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelgelerle ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında; ICNIRP'nin 1998 yılında yayınlanan raporunda elektrik alan için mesleki maruziyet sınırları 10-400 MHz ve 400-2000 MHz frekans aralığında 61-137 V/m; genel kamu maruziyet sınırları 28-61 V/m aralığında verilmiştir (ICNIRP 1998). 2018 yılı taslak raporunda ise; elektrik alan için mesleki maruziyet sınırları 30-400 MHz ve 400 MHz-2 GHz frekans aralığında 61-137 V/m olarak; genel kamu maruziyet sınırları 30-400 MHz ve 400 MHz-2 GHz 28-61 V/m aralığında verilmiştir (ICNIRP 2018). NCRP tarafından hazırlanan rapora göre; elektrik alan için mesleki maruziyet sınırları 30-300 MHz ve 300-1500 MHz frekans aralığında; 61,4 V/m, genel kamu maruziyet sınırları 27,5 V/m olarak verilmiştir (OET Bull 1997).

Deneysel olarak; 50-900 MHz aralığında yapılan ölçümlerde kompakt flüoresan lambalarda oluşan elektrik alan değerlerine bakıldığında; en yüksek elektrik alan değeri, 800, 860 ve 900 MHz frekans değerlerinde 50 W'lık kompakt flüoresan lambada, lambaya 20 cm uzakta 0,175 V/m olarak gözlenmiştir.

Manyetik alan değerleri incelendiğinde; ICNIRP'nin 1998 yılında yayınlanan raporda mesleki maruziyet sınırları 10-400 MHz ve 400-2000 MHz frekans aralığında 0,16-0,36 A/m; genel kamu maruziyet sınırları 0,037-0,16 A/m aralığında verilmiştir (ICNIRP 1998). 2018 yılı taslak raporunda ise; mesleki maruziyet sınırları 30-400 MHz ve 400 MHz-2 GHz frekans aralığında 0,16-0,36 V/m olarak; genel kamu maruziyet sınırları 30-400 MHz ve 400 MHz-2 GHz 0,073-0,33 V/m aralığında verilmiştir (ICNIRP 2018). NCRP tarafından hazırlanan rapora göre; mesleki maruziyet sınırları 30-300 MHz ve

300-1500 MHz frekans aralığında; 0,163 V/m, genel kamu maruziyet sınırları 0,073 V/m olarak verilmiştir(OET Bull 1997).

Deneylerde, 50-900 MHz aralığında yapılan ölçümlerde kompakt flüoresan lambalarda oluşan manyetik alan değerlerine bakıldığında; en yüksek manyetik alan değeri, 380, 420 ve 460 MHz frekans değerlerinde 73 W'lık kompakt flüoresan lambada, lambaya en yakın mesafe olan 0 cm uzakta 0,491 mA/m olarak gözlenmiştir.

Uluslararası çalışmalarla yapılan karşılaştırmalarda kompakt flüoresan lambalardan yayılan elektrik alan ve manyetik alanın belirtilen frekans aralığında, sınır değerlerin çok altında kaldığı ve maruziyet sınırları kapsamına girmediği görülmüştür.

## 9. SONUÇ

Bu çalışmada farklı güç değerindeki kompakt flüoresan lambaların dışarıdan sinyal geçirmeyen bir laboratuvarında elektrik alan ve manyetik alan ölçümleri yapılmıştır.

Deneilerin doğru bir şekilde gerçekleşmesi için öncelikle kompakt flüoresan lambaların elektromanyetik alanlarının ölçümlerinin yapıldığı önemli çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalar ışığında 50-300 kHz frekans aralığında düşey eksen boyunca 0-25-50-75-100 cm için 8, 15, 30, 50 ve 73 W değerindeki kompakt flüoresan lambaların manyetik alan ve elektrik alan ölçümünün yapıldığı deneylerde; incelenen çalışmalarda da belirtildiği gibi manyetik alan ve elektrik alan kaynaktan uzaklaştıkça azalırken, alan değerleri frekansa göre de değişmektedir. Frekans değerleri yükseldikçe, alan değerleri azalmaktadır. Ayrıca; elektrik alanın değeri kaynağın ışık çıkışının başladığı yerden itibaren kaynaktan uzaklaştıkça, değerlerdeki azalma oldukça hızlı olup; mesafe arttıkça hızla kayıplara uğramaktadır. Manyetik alan değerleri ise kaynağın ışık çıkışının başladığı yerden itibaren kaynaktan uzaklaştıkça azalmakta ancak sonrasında uzaklık artmasına rağmen elektrik alan değerlerindeki gibi belirgin farklarda azalma göstermemektedir. Bu gözlem; deney ortamının sağlıklı bir şekilde gerçekleştirildiğini, incelenen çalışmalarla yapılan deneylerin paralellik gösterdiğini ve deneyde kullanılan ölçüm cihazının doğru bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Sonraki deneyde; 50-300, 301-600, 601-900 MHz frekans aralıklarında 8, 15, 30, 50 ve 73 W değerindeki kompakt flüoresan lambaların, kompakt flüoresan lambaya en yakın noktadan lambanın yüksekliği boyunca yere doğru, 0-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100 cm'de her lamba için manyetik alan ve elektrik alan ölçümü yapılmıştır. Deney sonuçlarında ölçüm cihazı, belirlenen frekans aralığında ölçülen en yüksek üç alan değerini göstermektedir. Aynı ölçüm noktasına, frekans aralığında ölçüm cihazının gösterdiği farklı frekans değerlerinde, aynı elektrik alan ve manyetik alan değeri ölçülmüştür. Ayrıca, kaynaktan uzaklaşılmasına rağmen, ölçüm değerleri arasında büyük bir fark görülmemiştir ve kaynağa olan uzaklık arttıkça, ölçümlerde belirgin bir azalma olmamıştır. Üç farklı frekans aralığında yapılan ölçümler göz önünde bulundurulduğunda, frekans arttıkça elektrik alan ve manyetik alan değerleri



beklenildiği gibi mesafeye bağlı olarak azalmamakla birlikte, ölçümler arasında büyük farklar da bulunmamaktadır.

Alçak, orta ve yüksek frekanslarda; bir kaynaktan yayılan elektrik alan ve manyetik alan kaynaktan uzaklaştıkça, daha düşük değerler de olur ve mesafe uzadıkça alan değerlerinin düşeceği ya da belirli bir uzaklıkta sabit kalacağı tahmin edilebilir bir durumdur. Ancak, çok yüksek frekans ve ultra yüksek frekans değerlerinde durum böyle olmamaktadır. Elektrik alan ve manyetik alan değerleri, mesafeye belirgin bir şekilde bağlı kalmadan azalıp artmaktadır; fakat eğilimi tahmin edilemeyen bu değerler arasında büyük farklar olmamaktadır.

Ölçümler sonucu elde edilen değerler yapay bağışıklık sistemi algoritmasında kullanılarak, ölçüm yapılmayan noktalardaki değerlerin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.

Belirli sınırlamalar kapsamında; bilinmeyen değerlerin bulunması, bir optimizasyon problemi olarak görülmektedir. Kesin çözümü ifade etmese bile, kesin çözümü bulma konusunda işlemin bir parçası olarak kabul gören, önceden tanımlı kısıtlamalar ve bilgisayar metotları ile belirli bir hedefe ulaşmaya çalışan yöntemlere sezgisel algoritmalar denir. Yapay Bağışıklık Algoritmaları, sezgisel algoritmalar alanında, Genetik Algoritma, Karınca Koloni Algoritması, Tabu Araştırma Algoritmaları gibi diğer sezgisel algoritmalara göre; daha yakın zamanda ortaya çıkan, güncel algoritmalarıdır (Karaboğa 2014). Yapay bağışıklık sistemleri, teorik immünolojiden, bağışıklık fonksiyonları, prensipler ve modellerinden ilham alınarak oluşturulmuştur ve probleme göre uyarlanabilen adaptif sistemlerdir (Cisar, 2014 ). Problemin tipine göre farklı mekanizmalar gelişmiştir. İmmün Ağ Modelleri dinamik ortamlarla başa çıkmak için kullanılırken, Klonal Seçim İlkesine dayanan algoritmalar optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılır. Negatif Seçim Stratejisi ise anomali tespitinde uygulanmaktadır. Her mekanizma kendi içinde ayrı araştırma alanları oluşturmuştur (De Castro 2000).

Tez kapsamında, Klonal Seçim İlkesi temelinde oluşturulmuş, Yapay Bağışıklık Sistemlerinin ana algoritmalarından olan Klonal Seçim Algoritması ile çalışılmıştır.

Klonal Seçim Algoritması genel olarak, CLONALG şeklinde adlandırılır (Azadeh vd. 2014). Tez konusu olan problem kendi özelinde, mevcuttaki verilerden yola çıkarak ölçümü yapılmayan noktaların tahmin yöntemiyle bulunmasıdır. Bu açıdan problemin çözümünde güncelliğini koruyan sezgisel bir optimizasyon yöntemi olan Klonal Seçim Algoritması seçilmiştir.

Yapılan detaylı araştırmada Klonal Seçim Algoritmasının, diğer sezgisel optimizasyon tekniklerine olan üstünlükleri de incelenmiştir Lou ve Lin (2017) çalışmalarında, Klonal Seçim Algoritması'nın bazı problemlerde çözümlerin doğruluğu ve gerekli değerlendirme sayısı bakımından, diğer evrimsel algoritmalara göre belirgin bir avantaja sahip olduğunu belirtmiştir. Liu ve arkadaşları (2009) çalışmalarında, Klonal Seçim Algoritmasını, Genetik Algoritma ile karşılaştırmış ve Genetik Algoritma'da seçim, çaprazlama (crossover) ve mutasyon operatörü bulunurken, Klonal Seçim Algoritması'nda sadece seçim ve hipermutasyon operatörü bulunduğunu, daha az operatörle işlem gerçekleştirildiğini belirtmiştir. Başlangıç popülasyonundaki veri sayısının üzerinde durmuş, Genetik Algoritma'ya göre Klonal Seçim Algoritması'nın yakınsamasını daha üstün görmüş, küçük bir antikör kümesi ile az sayıda kopyalama yaparak başarılı çözümler yapıldığını belirtmiştir. Acılar ve Arslan (2010) çalışmasında, Klonal Seçim Algoritması'nı, Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu ile kıyaslamış, klonlama ve hipermutasyon operatörleri sayesinde çözüme daha kısa sürede ulaştığını belirtmiştir. Wang ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, Klonal Seçim Algoritması'nı, aynı konuda Genetik Algoritma ile yapılan bir çalışma ile karşılaştırmış ve daha az iterasyon sayısı ile daha yüksek afinite değerlerine ulaştığını belirtmiştir.

Klonal seçim Algoritmasının işlem yaptığı üç ana operatör; seçim, klonlama ve hipermutasyon operatörü, daha yüksek afinite değeri olan (benzerliği fazla olan) antikörlerin elde edilmesini, elde edilen afinitesi yüksek yeni antikörlerin hafıza hücresi olarak seçilmesini ve yeni mutasyonlar geliştirmede başarılı olmasını sağlamaktadır. Hafıza hücreleri ile araştırma uzayı daha detaylı incelenmektedir. Algoritmada kullanılan hipermutasyon operatörü; alt ve üst sınırlamalar kapsamında seçilen antikörler arasındaki işlemler ile yeni antikörlerin elde edilmesini ve popülasyonun çeşitlilik kazanmasını sağlamıştır.

Kullanılan algoritma sonucu elde edile tahmini veriler ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında popülasyonundaki veri sayısı arttıkça hata miktarlarının azalma olduğu gözlemlenmiştir.

8 W KFL'nin 50-300, 301-600 ve 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçlarının hata miktarlarına bakıldığında; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları sırasıyla 0,0053, 0,0056, 0,0050 çıkarken; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları 0,0004, 0,0001, 0,0001 hesaplanmıştır. Aynı KFL'nin manyetik alan tahmini sonuçları incelendiğinde; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları sırasıyla 0,0346, 0,0190, 0,0048; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları; 0,0011, 0,0010, 0,0005 olarak hesaplanmıştır.

15 W KFL'nin 50-300, 301-600 ve 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçlarının hata miktarlarına bakıldığında; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları sırasıyla 0,0003, 0,0003, 0,0001 çıkarken; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları 0,0003, 0,0003, 0,0001 hesaplanmıştır. Aynı KFL'nin manyetik alan tahmini sonuçları incelendiğinde; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları sırasıyla 0,0436, 0,0339, 0,0160; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları; 0,0015, 0,0010, 0,002 olarak hesaplanmıştır.

30 W KFL'nin 301-600 ve 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçlarının hata miktarlarına bakıldığında; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları sırasıyla 0,0076, 0,0018 çıkarken; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları 0,0001, 0,0002 hesaplanmıştır. Aynı KFL'nin manyetik alan tahmini sonuçları incelendiğinde; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları sırasıyla 0,0125, 0,0053, 0,0124; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları; 0,0005, 0,0003, 0,0003 olarak hesaplanmıştır.

50 W KFL'nin 50-300, 301-600 ve 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçlarının hata miktarlarına bakıldığında; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları sırasıyla 0,0022, 0,0061, 0,0042 çıkarken; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları 0,0003, 0,0003, 0,0006 hesaplanmıştır. Aynı KFL'nin manyetik alan tahmini sonuçları incelendiğinde; 3 veri ile yapılan hata

hesaplamalarında hata miktarları sırasıyla 0,0154, 0,0033, 0,0177; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları; 0,0020, 0,0005, 0,0003 olarak hesaplanmıştır.

73 W KFL'nin 50-300, 301-600 ve 601-900 MHz frekans aralığındaki elektrik alan tahmini sonuçlarının hata miktarlarına bakıldığında; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları sırasıyla 0,0043, 0,0017, 0,0040 çıkarken; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları 0,0003, 0,0005, 0,0005 hesaplanmıştır. Aynı KFL'nin manyetik alan tahmini sonuçları incelendiğinde; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları sırasıyla 0,017, 0,0457, 0,006; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları; 0,0017, 0,001, 0,0002 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan deneyler, üzerinde çalışılan algoritma ve algoritma sonucu elde edilen tahmini verilerin doğruluğu incelendiğinde; her noktada ölçüm yapmak yerine daha az ölçüm sayısı ile daha kısa sürede ve daha az enerji harcayarak, kaynakları daha verimli kullanarak ve daha düşük maliyetle, fazla miktarda tahmini veri elde edilmiştir.

Söz konusu çalışmada, kompakt flüoresan lambaların radyo frekans aralığındaki elektrik alan ve manyetik alan değerleri ölçülmüş ve ölçüm yapılmayan noktalardaki değerleri tahmin etmek için Klonal Seçim Algoritması kullanılmıştır. Üzerinde durulan çalışma, gelecekte bu konu ile yapılması olası çalışmalara farklı frekans bantları üzerinde, farklı optimizasyon teknikleri kullanılarak, tek boyutta veya birden fazla boyutta elektromanyetik alan çalışılabilmesi açısından geniş bir bakış açısı sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- Acilar, A. M., & Arslan, A. (2011). Optimization of multiple input – output fuzzy membership functions using clonal selection algorithm. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1374-1381.
- Al-Enezi, J.R., Abbod, M.F. ve Alsharhan, S. 2010. Artificial Immune Systems-models, algorithms and applications, *IJRRAS* 3 (2).
- Anonim. 2011, Tmmob İzmir Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Elektromanyetik Alanların Etkileri, Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu, 2.
- Anonim 2015. Web Sitesi: [https://en.wikipedia.org/wiki/Non-ionizing\\_radiation](https://en.wikipedia.org/wiki/Non-ionizing_radiation) Erişim Tarihi: 22.12.2015.
- Anonim 2017. İmmün sistemin yapısı. Anadolu Üniversitesi. Web Sitesi <http://w2.anadolu.edu.tr/aos/kitap/EHSM/1213/unite13.pdf> Erişim Tarihi:15.05.2017
- Anonim 2019. Manual Spectran V4. Web Sitesi: <https://www.aaronia.com/downloads> Erişim Tarihi:21.03.2019.
- Anonymous. 1992. IEEE Standards Coordinating Committee 28, on Non - Ionizing Radiation Hazards. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300 GHz. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Incorporated.
- Atay, Y., & Kodaz, H. (2014). Optimization of job shop scheduling problems using modified clonal selection algorithm. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 22(6), 1528-1539.
- Azadeh, A., Taghipour, M., Asadzadeh, S. M., & Abdollahi, M. (2014). Artificial immune simulation for improved forecasting of electricity consumption with random variations. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55, 205-224.
- Babayiğit, B. Ve Güney, K. 2006. Klonal Seçme Algoritması Kullanarak Genlik Ve Faz Kontrolü İle Doğrusal Anten Dizi Diyagramında Sıfırların Üretilmesi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu.

- Bakos, J., Nagy, N., Juha'sz, P. and Thuro'czy, G. Curie, FJ. 2010. Spot measurements of intermediate frequency electric fields in the vicinity of compact fluorescent lamps. *Radiation protection dosimetry* 142.2-4 2010 354-357.
- Batista, L. D. S., Guimaraes, F. G., & Ramirez, J. A. (2009). A distributed clonal selection algorithm for optimization in electromagnetics. *IEEE Transactions on magnetics*, 45(3), 1598-1601.
- Baygın, M., & Karaköse, M. (2011). Adaptif Yapay Bağışık Sistem Tabanlı Grup Asansör Kontrol Algoritması.
- Bayram, O. 2017. Elektromanyetik ışınım ve insan sağlığına etkileri. Yüksek lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 4, Balıkesir.
- Bossche, M., Verloock, L., Aerts, S., Joseph, W. and Martens, L. 2014. In situ exposure assessment of intermediate frequency fields of diverse devices. *Oxford Journals Science & Mathematics Radiation Protection Dosimetry* Volume 164, Issue 3 Pp. 252-264.
- Camcioğlu, Y. 2013. Bağışıklık sistemi ve yetersizlikleri, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Sürekli Tıp Eğitim Etkinlikleri Sempozyum Dizisi No:80. 41-45.
- Čisar, P., Čisar, S. M., & Markoski, B. (2014). Implementation of immunological algorithms in solving optimization problems. *Acta Polytechnica Hungarica*, 11(4).
- Coca, E., Popa, V. and Buta, G. 2011. Compact fluorescent lamps electromagnetic compatibility measurements and performance evaluation. *EUROCON - International Conference on Computer as a Tool (EUROCON)*, IEEE.
- Code, S. (1999). 6, Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz. *Health Canada*.
- Costea, M., Băran, I., & Leonida, T. (2015, May). Different methods used to assess the radiated fields of economic lamps regarding human exposure. In *2015 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)* (pp. 331-336). IEEE.
- Çavuşoğlu, H., Çağlayan Yeğen, B., Aydın, Z. ve Alican, İ. 2001. Tıbbi Fizyoloji. Yüce Yayınları ve Nobel Tıp Kitabevleri, 402-411, Türkiye

- Çunkaş, M. (2006). Genetik Algoritmalar ve Uygulamaları Ders Notları. Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Konya.
- Dasgupta, D. 2006. Advances in Artificial Immune System, IEEE Computational Intelligence Magazine, 40-49.
- De Castro, L.N. ve Zuben, F. 1999. Artificial Immune System: Part I- Basic Theory and Applications, Technical Report, TR-DCA 01/99.
- De Castro, L. N., Von Zuben F. J. 2000. The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications, Proceedings of GECCO'00. Workshop on Artificial Immune Systems and Their Applications, pp. 36-37, Las Vegas, USA.
- De Castro, L. N., Von Zuben F. J. 2001. Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle, In the Special Issue on Artificial Immune Systems of the Journal IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2001.
- De Castro, L. N., Von Zuben F.J., 2002. Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Special Issue on Artificial Immune Systems, vol. 6, n. 3, pp. 239-251.
- De Castro, L. N. ve Timmis, J. I. 2003. Artificial immune systems as a novel soft computing paradigm, Soft Computing 7, Springer-Verlag, 526–544.
- De Castro, L. N., & Von Zuben, F. J. (2009). Technical report DCA - RT 02/00 February, 2000 artificial immune systems: part II. A survey of applications.
- Dinçkaya, E. 2000. İmmünoloji temel prensipler ders notları, Ege üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyokinya Bölümü.
- Draft Guideline, I. C. N. I. R. P. (2018). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health phys*, 74(4), 494-522.
- Düzgün, N. 2014. İmmün sistemin tanıtımı. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, İç Hastalıkları Anabilim Dalı, Romatoloji Bilim Dalı,111.
- Engin, O. ve Döyen, A. 2004. Artificial Immune System and Application in Industrial Problems, G.U. Journal of Science 17(1): 71-84.
- Fields, R. E. (1997). Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields. OET Bull, 65, 10.

- Guideline, I. C. N. I. R. P. (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health phys*, 74(4), 494-522.
- Güner, R. 2014. Elektromanyetik alanların çalışanların sağlık ve güvenliğine etkisi ve alınacak tedbirler, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, 5, Ankara.
- Güler, İ., Çetin, T., Özdemir, R. ve Uçar, N. 2010. Türkiye elektromanyetik alan maruziyet raporu, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Sektörel Araştırma ve Strateji Dairesi Başkanlığı,6, Ankara.
- Hatata, A. Y., Osman, G., & Aladl, M. M. (2018). An optimization method for sizing a solar/wind/battery hybrid power system based on the artificial immune system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27, 83-93.
- He, Y., & Jian, C. (2007, December). Clonal selection algorithm with adaptive mutation and roulette Wheel selection. In 2007 International Conference on Computational Intelligence and Security Workshop (CISW 2007) (pp.93-96). IEEE.
- Hetmaniok, E., Słota, D., & Zielonka, A. (2013). Experimental verification of immune recruitment mechanism and clonal selection algorithm applied for solving the inverse problems of pure metal solidification. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 47, 7-14.
- Hsieh, Y. C., & You, P. S. (2011). An effective immune based two-phase approach for the optimal reliability–redundancy allocation problem. *Applied Mathematics and Computation*, 218(4), 1297-1307.
- Julie Greensmith, J., Whitbrook, A, and Aickelin, U. 2010. Artificial immune systems. In: *Handbook of metaheuristics. International series in operations research & management science*, 2nd ed (146). Springer, Dordrecht, pp. 421-448.
- Karaboğa, D. 2014. Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları, Nobel akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., 135-136, Türkiye.
- Karagöz, İ. (2001). Sayısal analiz ve mühendislik uygulamaları. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı.
- Kurdal, M. 2008. Fotoferez işleminin immün sitokin profilinin çıkarılması, Yüksek lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İç Hastalıkları Anabilim Dalı, 21, Ankara.



- Kvasznicza, Z., Elmer, G. Radio Frequency Emissions of Public Lighting Devices.2006. 12th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC.
- Iagăr, A., Popa, G. N., & Diniş, C. M. (2017, May). Study of electromagnetic radiation produced by household equipment. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 200. No. 1, p. 012014). IOP Publishing.
- Letertre, T., Azoulay A., Destrez A., Gaudaire F. and Martinsons, C. 2009. Characterization of compact fluorescent lights RF emissions in the perspective of human exposuThe International Symposium on Electromagnetic Compatibility. July 20-24, Kyoto Japan.
- Li, J., Li, X., Wang, S., Li, J., Sheng, Q. Z. 2016. Advanced Data Mining and Applications. Springer International Publishing. 12th International Conference . Springer International Publishing. ADMA , Gold Coast, QLD, Australia, December 12-15, 2016.
- Liu, P., Xu, P., & Zheng, J. (2009). Artificial immune system for optimal design of composite hydrogen storage vessel. Computational Materials Science, 47(1), 261-267.
- Luo, W., & Lin, X. (2017, November). Recent advances in clonal selection algorithms and applications. In 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI) (pp. 1-8). IEEE
- Nadakuduti, J., Douglas, M., Capstick, M., Kühn, S., & Kuster, N. (2012). Application of an induced field sensor for assessment of electromagnetic exposure from compact fluorescent lamps. Bioelectromagnetics, 33(2), 166-175.
- Onaylıgil, S., Erkin, E., Güler, Ö. 2004. Kompakt Flüoresan Lambalarda (KFL) Ömür Maliyet İlişkisi. Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul.
- Panigrahi, B. K., Yadav, S. R., Agrawal, S., & Tiwari, M. K. (2007). A clonal algorithm to solve economic load dispatch. Electric Power Systems Research, 77(10), 1381-1389.
- Parliament, E. (2013). Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the council of 26 june 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)(20th individual Directive within the meaning of Article

16 (1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. Official Journal of the European Union L, 179.

Perdahçı, C. Ve Hanlı, U. 2009. Verimli aydınlatma yöntemleri, 3E Electrotech, 2010. 323-327.

Resmî Gazete, İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre Ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik, 24 Temmuz 2010 Sayı: 27651.

Sarıkahya, N. M. 2014. Yaygın Olarak Kullanılan RF Elektromanyetik Alan Kaynaklarının Elektromanyetik Kirlilik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 6, Ankara.

Schmidt, G. and Berta, I. 2011. Radiated Radiofrequency Emission from the Plasma of Compact Fluorescent Lamps. International Journal of Plasma Environmental Science & Technology, Vol.5, No.1, MARCH 2011.

Şahan, S. 2004. Yapay bağışıklıkta yeni algoritmalar, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 9-28, Konya.

Songu, M. ve Katılmış,. 2012. Enfeksiyonlardan korunma ve immün sistem, J Med Updates, 2(1):31-42.

Taher, S. A., & Afsari, S. A. (2014). Optimal location and sizing of DSTATCOM in distribution systems by immune algorithm. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 60. 34-44.

Türkkan, A., Çerezci, O., & Pala, K. (2012). Elektromanyetik Alan Ve Sağlık Etkileri.

Ulutas, B. H., & Islier, A. A. (2009). A clonal selection algorithm for dynamic facility layout problems. Journal of Manufacturing Systems, 28(4), 123-131.

Wang, X., Deshpande, A. S., Dadi, G. B., & Salman, B. (2016). Application of clonal selection algorithm in construction site utilization planning optimization. Procedia Engineering, 145, 267-273.

Yazgan, E., Turgut, G., Birinci, I., ve Öncü, E. 2013. Uygulamalı Elektromanyetiğin Temelleri, Nobel Akademik Yayıncılık Danışmanlık Tic. Ltd Şti, 12-16.

Yüce, D., Perdahçı, C. ve Ünsalan, H. 2014. Aydınlatmada Geleneksel Işık Kaynaklarından Led'e Kadar Uzanan Tarihçe, Litpa Aydınlatma ürünleri.

Zhang, W., Lin, J., J, Honglei ve Zhang, Q. 2016. A Novel Hybrid Clonal Selection Algorithm with Combinatorial Recombination and Modified Hypermutation Operators for Global Optimization. Hindawi Publishing Corporation, Computational Intelligence and Neuroscience Volume, Article ID 6204728, 14 pages.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yeliz TANIŞ

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 04.11.1984

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

### **Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)**

Lise : Ankara Çankaya İncesu Anadolu Lisesi (2002)

Lisans :Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği (2007)

Yüksek lisans :Ankara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik  
Mühendisliği (Ocak 2015- Haziran 2019)

Yüksek lisans :TODAİE (Türkiye ve Ortadoğu Amme İdaresi Enstitüsü (Ocak 2018-  
Temmuz 2018)

### **Çalıştığı Kurum/Kuruluşlar ve Yıl**

3 TAM Elektronik A.Ş. (2008-2009)

Transvaro Elektronik Aletleri A.Ş. (2009-2010)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2010- devam ediyor)

### **Uluslararası Kongre Sunumlar**

Analysis of Radio Frequency Electromagnetic Waves of Compact Flourescent Lamps for One Dimension Plane (International Conference on Innovative Engineering Applications, ICIEA, Sivas, 21.09.2018)

Analysis of Radio Frequency Electromagnetic Waves of Compact Flourescent Lamps For Three Dimensional Plane (International Conference on Innovative Engineering Applications, ICIEA, Sivas, 21.09.2018)