

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**REVERBERATION CHAMBER METODU İLE HABERLEŞME
KABLOLARININ ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK
TESTLERİNİN YAPILMASI**

Muhammet Hilmi NİŞANCI

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yavuz CENGİZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
ISPARTA – 2008**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu alışma jürimiz tarafından ELEKTRONİK VE HABERLEşME ANABİLİM DALI'nda oybirliğı ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan:

ye:

ye:

ONAY

Bu tez .../.../2008 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri yeleri tarafından kabul edilmiştir.

.../.../2008

Prof. Dr. Fatma KOYUNCU
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Koaksiyel Kablolarda Ekranlamanın Gerekliliği.....	2
1.2. Koaksiyel Kablolarda Ekranlama Parametrelerinin Geliştirilmesi.....	3
2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER.....	6
2.1. Kaynak Özetleri.....	6
2.2.Kuramsal Temeller.....	8
2.2.1. Koaksiyel Kablolar (Coaxial- COMman AXIs cAbLe).....	8
2.2.2. Koaksiyel kabloların genel yapısı.....	8
2.2.3. Koaksiyel Kabloların Uygulama Alanları.....	12
2.2.4. Koaksiyel Kabloların Elektriksel Karakteristikleri.....	13
2.2.5. Kabuk Etkisi.....	18
2.2.6. Genel Test Metotları.....	19
2.2.6.1. Absorbing Clamp Test Metodu.....	20
2.2.6.2. Wire Injection Test Metodu.....	20
2.2.6.3. Close Field Probe Test Metodu.....	21
2.2.6.4. Reverberation Chamber Test Metodu	22
2.2.6.5. Anechoic Chamber, Far Field Test Method.....	23
2.2.7. Veri Madenciliği.....	24
2.2.7.1. Neden Veri Madenciliği?.....	26
2.2.7.2. Veri Madenciliğinin Gereksinimleri.....	27
2.2.7.3. Veri Madenciliğinin Adımları.....	27
2.2.7.4. Veri Madenciliğinin Amaçları ve Veri Madenciliğinde Karşılaşılan Problemler.....	28
2.2.7.5. Veri Madenciliğinde Kullanılan Yaklaşımlar.....	30
2.2.7.5.1. Sınıflandırma ve Tahmin.....	30
2.2.7.5.2. Kümeleme.....	30
2.2.7.5.3. Birliktelik Analizi ve Ardışık Analiz.....	31
2.2.7.6. Veri Madenciliği'nde Sınıflandırma Problemleri için Kullanılan Yöntemler.....	31
2.2.7.6.1. Karar Ağacı ile Sınıflandırma Yöntemi.....	32
2.2.7.6.2. Bayes ile Sınıflandırma Yöntemi.....	32
2.2.7.6.3. Naive Bayes ile Sınıflandırma Yöntemi.....	32
2.2.7.6.4. k- en Yakın Komşuluk ile Sınıflandırma Yöntemi.....	32
2.2.7.6.5. Vaka Tabanlı Nedenlesme ile Sınıflandırma Yöntemi.....	32
2.2.7.6.6. Kaba Küme Teorisi ile Sınıflandırma Yöntemi.....	33
2.8. Genetik Programlama.....	33
2.8.1 Genetik Programlamanın Bileşenleri.....	33
2.8.1.1 Terminal ve Fonksiyonlar.....	33
2.8.1.2 Uyumluluk (Fitness) Fonksiyonu.....	34

2.8.1.3 Genetik İşlemciler.....	34
2.8.1.3.1 Yeniden Üreme (Reproduction).....	34
2.8.1.3.2 Çaprazlama (Crossover).....	35
2.8.1.3.3 Mutasyon (Mutation).....	36
2.8.1.4 Genetik Programlamanın Aşamaları.....	36
2.8.1.4.1 Birey Havuzunun Oluşturulması.....	37
2.8.1.4.2 Uyumluluk (Fitness) Fonksiyonunun Belirlenmesi.....	39
2.8.1.4.3 Uyumluluk Fonksiyonunun Çesitleri.....	40
2.8.1.4.4 Seçim (Selection).....	40
2.8.1.4.5 Çaprazlama.....	40
2.8.1.4.6 Mutasyon.....	41
2.8.1.5 Genetik Programın Parametrelerinin Belirlenmesi.....	41
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
3.1. Materyal.....	44
3.1.1. Deney Düzenegi.....	44
3.1.1.1. Reverberation Chamberin ve Karıştırıcının (Stirrer) Tasarımı.....	44
3.1.1.2. Verici Antenlerin Tasarımı ve Reverberation Chamber İçindeki Lokasyonları.....	48
3.1.1.3. Alıcı Antenlerin (Çıkış Noktaların) Tasarımı.....	49
3.1.1.4. Simülasyonlar İçin Mesh Tanımı.....	51
3.1.1.5. Zaman Adımlarının Sayısı.....	55
3.1.1.6. Koaksiyel Kablonun Tasarımı.....	56
3.2. Yöntem	56
3.2.1. Reverberation Chamber Test Metodu (RCTM).....	56
3.2.2. Reverberation Chamber İçinde Oluşan Elektrik Alan Büyüklüklerinin Elde Edilmesi.....	58
3.2.3. Koaksiyel Kablo Uçlarında Sonlandırma Dirençleri Üzerinde Oluşan Akım Değerlerinin Elde Edilmesi.....	58
3.2.4. Reverberation Chamber İçinde Oluşan Maksimum ve Minimum Elektrik Alan Büyüklüklerinin Elde Edilmesi	59
3.2.5. Koaksiyel Uçlarında Sonlandırma Dirençleri Üzerinde Oluşan Maksimum ve Minimum Akım Değerleri	60
3.2.6. Karıştırıcının Dönme Oranı (KDO)	60
3.2.7. Yüzey Transfer Empedansının Hesaplanması.....	61
3.2.8. Ekranlama Etkinliğinin Hesaplanması.....	63
3.2.8.1. Martin Tarafından Önerilen EE Metodu.....	65
3.2.8.2. Hoeft Tarafından Önerilen EE Metodu.....	66
3.2.9. FSV Metodu	66
3.2.10. Chamber İçinde Oluşan Elektrik Alanın Karıştırıcının Konumuna Bağlı Olarak Modellenmesi.....	67
3.2.10.1 Verimadenciliği Yöntemi İle Elektrik Alanın Modellenmesi.....	67
3.2.10.1.1 ARFF Format	68
3.2.10.2. Genetik Programlama İle Elektrik Alanın Modellenmesi.....	69
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	72
4.1. Araştırma Bulguları.....	72
4.1.1. Reverberation Chamber İçinde Oluşan Elektrik Alan Büyüklükleri.....	72
4.1.2. Koaksiyel Kablo Uçlarında Sonlandırma Dirençleri Üzerinde Oluşan Akım Değerleri.....	73

4.1.3. Reverberation Chamber İçinde Oluşan Maksimum ve Minimum Elektrik Alan Büyüklükleri.....	75
4.1.4. Koaksiyel Kablo Uçlarında Sonlandırma Dirençleri Üzerinde Oluşan Maksimum ve Minimum Akım Değerleri	76
4.1.5. Elektrik Alan Değerlerinin (AV_{env} & AV_{max}) FSV Sonuçları	78
4.1.6. Yakın Uç Akım Değerlerinin (AV_{env} & AV_{max}) FSV Sonuçları.....	79
4.1.7. Karıştırıcının Dönme Oranı Değeri.....	80
4.1.8. Model-1 İçin Karıştırıcı Dönme Oranı Cevapları.....	82
4.1.9. Model -2 İçin Karıştırıcı Dönme Oranı Cevapları.....	84
4.1.10. Ekranlama Etkinliğinin Hesaplanması.....	86
4.1.11. Modelleme Sonuçları.....	89
4.1.11.1. Veri Madenciliği Yöntemi ile Modelleme Sonuçları.....	89
4.1.11.1.1. Veri Madenciliği Yöntemi ile Kaynak-1' in Modelleme Sonucu.....	89
4.1.11.1.2. Veri Madenciliği Yöntemi ile Kaynak-2' nin Modelleme Sonucu.....	91
4.1.11.1.3. Veri Madenciliği Yöntemi ile Kaynak-3' ün Modelleme Sonucu.....	92
4.1.11.1.4. Veri Madenciliği Yöntemi ile Kaynak-4' ün Modelleme Sonucu.....	94
4.1.11.2. Genetik Programlama Yöntemi ile Modelleme Sonuçları	95
4.1.11.2.1. Genetik Programlama Yöntemi ile Kaynak-1' in Modelleme Sonucu	95
4.1.11.2.2. Genetik Programlama Yöntemi ile Kaynak-2'n in Modelleme Sonucu	98
4.1.11.2.3. Genetik Programlama Yöntemi ile Kaynak-3' in Modelleme Sonucu	100
4.1.11.2.4. Genetik Programlama Yöntemi ile Kaynak-4' in Modelleme Sonucu	102
4.2. Simülasyonların Geçerlilikleri.....	105
5.SONUÇ.....	107
KAYNAKLAR.....	109
EKLER.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	115

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

REVERBERATION CHAMBER METODU İLE HABERLEŞME KABLOLARININ ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TESTLERİNİN YAPILMASI

Muhammet Hilmi NİŞANCI

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı

Jüri: Yrd. Doç. Dr. Yavuz Cengiz (Danışman)
Yrd. Doç. Dr. Adnan KAYA
Yrd. Doç. Dr. Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE

Tezde ilk olarak haberleşme kablolarının elektromanyetik yayılım ve duyarlılıklarını ölçmede kullanılan genel metotların bazıları incelenmiş ve bu genel metotların kullanımında karşılaşılan sorunlara değinilmiştir.

Daha sonra haberleşme kablolarının ekranlama etkinliğinin hesaplanması için bu test sistemlerinden Reverberation Chamber test metodunun kullanılmasına karar verilmiş ve simülasyonlar Transmission Line Matrix (TLM) modellemesi kullanılarak yansımali oda içerisinde 4 farklı kaynak lokasyonu ile yapılmıştır. Bu kaynak lokasyonlarının farklı kombinasyonları ile elde edilen test sonuçları Matlab programında derlenip, elde edilen değerler FSV programı ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında, haberleşme kablolarının elektromanyetik uyumluluk testleri için yeni test yöntemleri geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Ayrıca yansımali oda içerisinde farklı sayıda ki kaynakların farklı kombinasyonlarda kullanılması ile elde edilen basit yaklaşımın daha kapsamlı test setleri için bir örnek teşkil etmesi istenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sinyal Doğruluğu, Yansımali Oda, Elektromanyetik Uyumluluk, Ekranlama Etkinliği.

2008, 115 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY TESTING OF COMMUNICATION CABLES WITH REVERBERATION CHAMBER METHOD

Muhammet Hilmi NİŞANCI

Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences

Electronic and Communication Engineering Department

Thesis Committee: Asst. Prof. Yavuz Cengiz (Supervisor)
Asst. Prof. Adnan KAYA
Asst. Prof. Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE

First of all, in thesis some general methods for propagation and sensitivity of communication cables are analyzed. And these problems are considered.

Later on, for efficiency of communication cable shielding , Reverberation Chamber method is decided to be used. Simulations are done in Reverberation Chamber with 4 different source locations using Transmission Line Matrix (TLM) model. The results we got from different combinations of these source locations were compiled in Matlab and then these values are compared in FSV.

As a Result, in this thesis, developing new test methods for EMC in communication cables is aimed.

Also, we wanted the simple method, various numbered sources with different combinations in Reverberation Chamber to be used for comprehensive test sets as an example.

Key Words: Signal Integrity, Reverberation Chamber, Electromagnetic Compatibility, Shielding Effectiveness.

2008, 115 pages

TEŞEKKÜR

Bu Çalışmamda bana her konuda destek olan değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Yavuz CENGİZ'e (Süleyman Demirel Üniversitesi), karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli hocam Prof. Antonio ORLANDİ'e (L'Aquila Üniversitesi), tez çalışmamda modelleme için gerekli olan Automatic Problem Solver (APS) programının kullanılmasına imkan sağlayan Doç. Dr. Cengiz KAYACAN'a, programın kullanımında karşılaştığım problemlerin çözümünde tecrübelerinden yaralandığım değerli hocam Arş. Gör. Özlem SALMAN'a, karıştırıcının konumuna bağlı olarak reverberation chamber içinde oluşan alanın veri madenciliği modeli sonuçlarının değerlendirilmesinde büyük emeği olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ecir KÜÇÜKSİLLE'ye ve eğitim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarıma teşekkür ederim.

En zor anlarda karşılıksız destekleri ile daima yanımda olan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Muhammet Hilmi NİŞANCI
ISPARTA, 2008

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Koaksiyel kablo üzerindeki örgünün yapısı (Coates, 2004).....	3
Şekil 1.2. Ekranlama verimliliğinin tanımlanması.....	4
Şekil 1.3. Koaksiyel kablo üzerinde oluşan akım ve voltaj şeması.....	4
Şekil 2.1. Koaksiyel kablonun genel görünüşü (Wolff, 2008).....	8
Şekil 2.2. Esnek koaksiyel (Wolff, 2008).....	13
Şekil 2.3. Geri dönüş kaybı	17
Şekil 2.4. Kabuk etkisi (Wolff, 2008).....	18
Şekil 2.5. Absorbing clamp test metodu şeması.....	20
Şekil 2.6. Wire injection test metodu şeması.....	21
Şekil 2.7. Close field probe metodu şeması.....	21
Şekil 2.8. Reverberation chamber test metodu şeması.....	22
Şekil 2.9. Anechoic chamber metodu şeması (Joachim, 2007).....	24
Şekil 2.10. Bilgi keşfi süreci (Sıramkaya, 2005).....	25
Şekil 2.11. Veri madenciliği süreci (Aydoğan, 2008).....	26
Şekil 2.12. Veri madenciliği sürecine katkı sağlayan alanlar (Aydoğan, 2008).....	27
Şekil 2.13. Veri kümeleme (Aydoğan, 2008).....	31
Şekil 2.14. Bir bireyin ağaçsal yapısı (Arslan,2005).....	34
Şekil 2.15. Çaprazlama için seçilmiş iki birey ve bireylerin seçilmiş çaprazlama noktaları ile çaprazlama sonrası oluşan yeni bireyler (Arslan,2005).....	35
Şekil 2.16. Mutasyon için seçilmiş birey ve bireyin seçilmiş mutasyon noktası ve mutasyon sonrası oluşan yeni birey (Arslan,2005).....	36
Şekil 2.17. Büyüme yöntemi ile oluşturulmuş ağaç yapısı (Arslan,2005).....	38
Şekil 2.18. Doyurma yöntemi ile oluşturulmuş ağaç yapısı. Açıklaması	38
Şekil 2.19. Yarı-yarı Dağıtma yöntemiyle oluşturulmuş ağaç yapısı.....	39
Şekil 2.20. Genetik Programlamanın akış şeması (Arslan,2005).....	43
Şekil 3.1. RC'nin fiziksel görünüşü.....	45
Şekil 3.2. Karıştırıcının genel görünüşü.....	45
Şekil 3.3. Karıştırıcı şaftının genel görünüşü ve RC içindeki konumu.....	46
Şekil 3.4. Standart karıştırıcının genel görünüşü ve RC içindeki konumu.....	47
Şekil 3.5. Model tasarımındaki ihmaller.....	47
Şekil 3.6. Simülasyonlarda kullanılan kaynakların lokasyonları.....	48
Şekil 3.7. Model-1'in çıkış noktası, karıştırıcı ve kablonun konumları.....	50
Şekil 3.8. Test bölgesi ve karıştırıcının çevresinde bırakılması gereken boşluk.....	50
Şekil 3.9. Model-2'nin çıkış noktası, karıştırıcı ve kablo konumları.....	51
Şekil 3.10. Modelin mesh tanımı.....	51
Şekil 3.11. Hücre sayılarının zaman adımlarına bağlı değişimleri.....	53
Şekil 3.12. Koaksiyel kabloya ve tüm sisteme uygulanan mesh tanımı.....	54
Şekil 3.13. Farklı zaman adım sayıları için frekans domain cevapları.....	55
Şekil 3.14. RG 58 koaksiyel ve CPTM düzeneği.....	56
Şekil 3.15. Dış iletkenin eşdeğer devresi.....	61
Şekil 3.16. İç iletkenin eşdeğer devresi.....	61
Şekil 3.17. Dış iletkenin Thevenin eşdeğer devresi.....	62
Şekil 3.18. İç iletkenin thevenin eşdeğer devresi.....	62
Şekil 3.19. Transfer empedansının ve transfer admitansının tanımı.....	63
Şekil 3.20. APS Program aşamaları.....	67

Şekil 3.21. ARFF formatında EA verisi.....	68
Şekil 3.22. WEKA ile EA modelleme düzeneği.....	69
Şekil 3.23. Oluşturulan APS modeli.....	70
Şekil 3.24. APS ile EA modelleme düzeneği.....	71
Şekil 4.1. Model-1'in 1. kaynak için elde edilen AV_{env} EA değeri.....	72
Şekil 4.2. Model-1'in 1. ve 2. kaynaklar için AV_{env} EA değeri.....	72
Şekil 4.3. Model-1'in 1. ve 3. kaynaklar için AV_{env} EA değeri.....	73
Şekil 4.4. Model-1'in 1. ve 4. kaynaklar için AV_{env} EA değeri.....	73
Şekil 4.5. Model-2'nin 1. kaynak için AV_{env} akım değeri	74
Şekil 4.6. Model-2'nin 1. ve 2. kaynaklar için AV_{env} akım değeri.....	74
Şekil 4.7. Model-2'nin 1. ve 3. kaynaklar için AV_{env} akım değeri	74
Şekil 4.8. Model-2'nin 1. ve 4. kaynaklar için AV_{env} akım değeri	75
Şekil 4.9. 1. kaynak varken RC'de oluşan mak. ve min. elektrik alanlar.....	75
Şekil 4.10. 1. ve 2. kaynaklar varken RC'de oluşan mak. ve min. EA değerleri.....	76
Şekil 4.11. 1. ve 3. kaynaklar varken RC'de oluşan mak. ve min. EA değerleri.....	76
Şekil 4.12. 1. ve 4. kaynaklar varken RC'de oluşan mak. ve min. EA değerleri.....	76
Şekil 4.13. 1. kaynak varken koaksiyel kabloda oluşan mak. ve min. akım değerleri.....	78
Şekil 4.14. 1. ve 2. kaynaklar varken koaksiyel kabloda oluşan mak. ve min. akım değerleri.....	78
Şekil 4.15. 1. ve 3. kaynaklar varken koaksiyel kabloda oluşan mak. ve min. akım değerleri	78
Şekil 4.16. 1. ve 4. kaynaklar varken koaksiyel kabloda oluşan mak. ve min. akım değerleri.....	78
Şekil 4.17. a. Sadece 1.kaynak için. b. 1. & 2. Kaynaklar için FSV karşılaştırma sonuçları.....	79
Şekil 4.18. a. 1. & 3. Kaynaklar için b. 1. & 4. Kaynaklar için FSV karşılaştırma sonuçları.....	79
Şekil 4.19. a. sadece 1.kaynak için. b. 1. & 2. Kaynaklar için FSV karşılaştırma sonuçları.....	80
Şekil 4.20. a. 1. & 3. Kaynaklar için b. 1. & 4. Kaynaklar için FSV karşılaştırma sonuçları.....	80
Şekil 4.21. 2-100 stirrer adımları için KDO'ların karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.22. Karıştırıcının farklı açılardaki konumları.....	82
Şekil 4.23. Model-1'in 1. kaynak için RC'de oluşan KDO değeri.....	83
Şekil 4.24. Model-1'in 1. ve 2. kaynaklar için RC'de oluşan KDO değeri.....	83
Şekil 4.25. Model-1'in 1. ve 3. kaynaklar için RC'de oluşan KDO değeri.....	83
Şekil 4.26. Model-1'in 1. ve 4. kaynaklar için RC'de oluşan KDO değeri.....	84
Şekil 4.27. Model-1'in tüm kaynaklar için KDO değerlerinin karşılaştırması.....	84
Şekil 4.28. Model-2'nin 1. kaynak için RC'de oluşan KDO.....	85
Şekil 4.29. Model-2'nin 1. ve 2. kaynaklar için RC'de oluşan KDO.....	85
Şekil 4.30. 1 Model-2'nin 1. ve 3. kaynaklar için RC'de oluşan KDO.....	85
Şekil 4.31. Model-2'nin 1. ve 4. kaynaklar için RC'de oluşan KDO.....	86
Şekil 4.32. Model-2'nin tüm kaynaklar için KDO karşılaştırması.....	86
Şekil 4.33. 1. Kaynak için koaksiyel kablunun EE değeri.....	87
Şekil 4.34. 1. Ve 2. Kaynaklar için koaksiyel kablunun EE değeri.....	87
Şekil 4.35. 1. Ve 3. Kaynaklar için koaksiyel kablunun EE değeri.....	87
Şekil 4.36. 1. Ve 4. Kaynaklar için koaksiyel kablunun EE değeri.....	88

Şekil 4.37. EE değerlerinin karşılaştırılması.....	88
Şekil 4.38. Kaynak-1 için deneysel ve veri madenciliği yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki.....	90
Şekil 4.39. Kaynak-2 için deneysel ve veri madenciliği yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki.....	92
Şekil 4.40. Kaynak-3 için deneysel ve veri madenciliği yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki.....	93
Şekil 4.41. Kaynak-4 için deneysel ve veri madenciliği yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki.....	95
Şekil 4.42. Kaynak-1 için deneysel ve genetik programlama yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki.....	97
Şekil 4.43. Kaynak-1 için hesaplama testinin simulasyon ve GP cevabı.....	97
Şekil 4.44. Kaynak-2 için deneysel ve genetik programlama yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki.....	99
Şekil 4.45. Kaynak-2 için hesaplama testinin simulasyon ve GP cevabı.....	100
Şekil 4.46. Kaynak-3 için deneysel ve genetik programlama yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki.....	101
Şekil 4.47. Kaynak-3 için hesaplama testinin simulasyon ve GP cevabı.....	102
Şekil 4.48. Kaynak-4 için deneysel ve genetik programlama yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki.....	104
Şekil 4.49. Kaynak-4 için hesaplama testinin simulasyon ve GP cevabı.....	104
Şekil 4.50. Coates'ın 1. kaynak için model-1 EA grafiği.....	105
Şekil 4.51. Simulasyon sonuçlarında elde edilen model-1'in 1. kaynak için EA değeri.....	105
Şekil 4.52. Coates'ın 1. kaynak için model-1 EE değeri (Coates, 2003).....	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. İç iletken karakteristikleri (Thomas, 2008).....	8
Çizelge 2.2. İzolasyon karakteristikleri (Thomas, 2008).....	9
Çizelge 2.3. Dış iletken karakteristikleri (Thomas, 2008).....	10
Çizelge 2.4. Kılıf karakteristikleri (Thomas, 2008)	11
Çizelge 2.5. Dirence ve kullanılan dielektriğin cinsine bağlı olarak koaksiyelin kapasitansının değişimi (Thomas, 2008).....	13
Çizelge 2.6. Dielektrik özellikler (Thomas, 2008).....	14
Çizelge 2.7. Zayıflamanın kablo çapına ve kapasitans değerine bağlı değişimi (Thomas, 2008).....	16
Çizelge 3.1. Hücre boyutu ile hücre sayısının ve zaman adımlarının değişimi.....	52
Çizelge 3.2. Veri madenciliği programlama modelinde ele alınan parametreler.....	69
Çizelge 3.3. Genetik programlama modelinde ele alınan parametreler.....	70
Çizelge 4.1. KODO'nun karıştırıcı adımlarına bağlı olarak karşılaştırılması.....	81
Çizelge 4.2. Tipik ekranlama değerleri (E: EM alan, P: EM güç).....	89
Çizelge 4.3. Kaynak-1 için veri madenciliği programlama modelinde kullanılan parametreler.....	89
Çizelge 4.4. Kaynak-2 için veri madenciliği programlama modelinde kullanılan parametreler.....	91
Çizelge 4.5. Kaynak-3 için veri madenciliği programlama modelinde kullanılan parametreler.....	92
Çizelge 4.6. Kaynak-4 için veri madenciliği programlama modelinde ele alınan parametreler.....	94
Çizelge 4.7. Kaynak-1 için Genetik programlama modelinde kullanılan parametreler.	95
Çizelge 4.8. Kaynak-2 için Genetik programlama modelinde kullanılan parametreler.	98
Çizelge 4.9. Kaynak-3 için Genetik programlama modelinde kullanılan parametreler.	100
Çizelge 4.10. Kaynak-4 için Genetik programlama modelinde kullanılan parametreler.....	102

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACT	Absorbing Clamp Testi
AnCT	Anechoic Chamber Testi
CFPT	Close Field Probe Testi
CPTM	Current Probe Test Method
EA	Elektrik Alan
EE	Ekranlama Etkinliği
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk
EZ	Ekranlama Zayıflaması
FSV	Feature Selective Validation
GDM	Global Difference Measure
KE	Karakteristik Empedans
KODO	Karıştırıcının Ortalama Dönme Oranı
KDO	Karıştırıcının Dönme Oranı
RC	Reverberation Chamber
RCT	Reverberation Chamber Test
TLM	Transmission Line Matrix
WIT	Wire Injection Testi
YTE	Yüzey Transfer Empedansı

1.GİRİŞ

Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) problemleri her alanda olduğu gibi haberleşme kabloları içinde tasarımdan üretime dek göz önünde bulundurulması gereken problemlerin başında gelmektedir. EMC problemlerinin çözümleri tasarım aşamasına taşındığı oranda basitleşmekte ve ucuzlamaktadır.

Haberleşme kablolarındaki ekranlama performansının araştırılmasının gerekliliğinden dolayı birçok ölçme metodu geliştirilmiştir. Tezde ilk olarak haberleşme kablolarının elektromanyetik yayılım ve duyarlılıklarını ölçmede kullanılan genel metotların bazıları incelenmiş ve bu genel metotların kullanımında karşılaşılan sorunlara değinilmiştir.

Daha sonra haberleşme kablolarının ekranlama etkinliğinin hesaplanması için bu test sistemlerinden Reverberation Chamber test metodunun kullanılmasına karar verilmiştir. Simulasyonlar Transmission Line Matrix (TLM) modellemesi kullanılarak yansımali oda içerisinde 4 farklı kaynak lokasyonu ile yapılmış ve bu kaynak lokasyonlarının farklı kombinasyonları ile elde edilen test sonuçları Matlab programında derlenip, elde edilen değerler FSV programı ile karşılaştırılmıştır.

Daha sonra bu değerlerin verimadenciliği ve genetik programlama yöntemleri ile modellenip frekans ve karıştırıcı açısına bağlı olarak formülize edilmesinin olabirliliği araştırılmıştır. Bunun için kullanılan farklı paket program sonuçları değerlendirilmiş ve bu değerlerde elde edilen hesaplama testleri herbir kaynak için hesaplanıp gerçek değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında, haberleşme kablolarının elektromanyetik uyumluluk testleri için yeni test yöntemleri geliştirilmesi amaçlanmış ve reverberation chamber içerisindeki farklı sayıdaki kaynakların farklı kombinasyonlarda kullanılması ile elde edilen basit yaklaşımın daha kapsamlı test setleri için bir örnek teşkil etmesi istenmiştir.

Ayrıca bu yaklaşım sonuçlarının modellenmesi ile bu tür test sistemleri için gereksiz zaman kayıplarını minimuma indirmek amaçlanmıştır.

1.1. Koaksiyel Kablolarda Ekranlamanın Gerekliliği

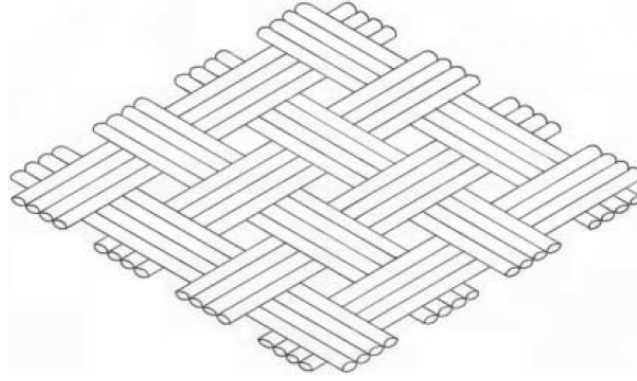
Modern elektronik aygıtlar, gerçekte birkaç elektronik elemanın hem kendileri ile hemde dış dünya ile etkileşim altında olacak şekilde birleştirilmesi ile oluşurlar. Bu sistemler genellikle birbirinden uzak mesafelerdedirler. Bundan dolayı bu sistemlerin iletim ve haberleşme kabloları uzundur ve bu kablolar anten gibi davranırlar (Coates, 2004).

Dolayısıyla bu antenler, diğer aygıtlar veya alıcılar için elektromanyetik gürültü (parazit) yayabilirler. Oluşan bu parazitleri engellemenin basit bir yolu kabloların ve diğer bileşenlerin iyi bir şekilde tasarlanıp yine iyi bir şekilde ekranlanmasıdır. İdeal olarak tüm kablolar mükemmel şekilde ekranlandığı takdirde hiç biri elektromanyetik parazitlere maruz kalmadıkları gibi çevrelerinede elektromanyetik parazitler yaymamış olacaktırlar ve dolayısıyla onların kullanımında hiçbir problemle karşılaşılmayacaktır. Fakat pratik hayatta kabloların mükemmel bir şekilde ekranlanması mümkün değildir. Çünkü kablonun her iki ucundaki konnektörler ile kablo bağlantısı arasında az da olsa parazit yayılmaktadır.

Genellikle kablolar esnek olmak zorundadırlar ve bu yüzden çok sert olmayan şerit biçiminde ekranlamalar kullanılır. Saç örgülü ekranlamalar genellikle daha esnek, daha dayanıklı ve daha sağlam olduğu için şerit ekranlamalardan daha çok tercih edilirler (Coates, 2004).

Bununla birlikte saç örgülü ekranlamada verilen sinyal, içteki iletkende yol alırken %60'dan %98'e kadar optical coverage sağlar.

Coverage sonuçlarındaki bu azalma elektriksel parazitlerde önemsenmeyecek kadar az bir azalmaya sebep olurken manyetik parazitlerde ise 5dB ile 30 dB arasında bir azalmaya sebep olur (Coates, 2003). Şekil 1.1 de saç örgünün dokumalı yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Koaksiyel kablo üzerindeki örgünün yapısı (Coates, 2004)

Farklı koşullardaki farklı parazitlenmelerin ekranın etkinliğinde yaratacağı farklılıkların önüne geçmek için, bu kabloların eksiksiz test edilmeleri gerekir.

1.2. Koaksiyel Kablolarda Ekranlama Parametrelerinin Geliştirilmesi

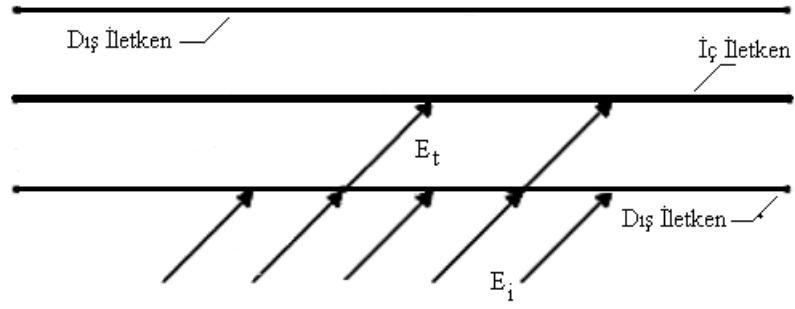
Kablo ekranlamalarda çok fazla önemli faktörlerin olmasından dolayı bir çok ekranlama parametreleri geliştirilmiştir. Genellikle kullanılan ekranlama parametrelerinden iki tanesi, Ekranlama Etkinliği (Shielding Effectiveness - SE) ve yüzey transfer empedansdır (Surface Transfer Impedance -STE). EE, elektrik veya manyetik alan büyüklüğünde ekranlamadan oluşan azalma ile hesaplanır ve birimi desibel (dB) olarak belirtilir.

Ekranlamanın EE'si dış iletken üzerindeki elektromanyetik alan ile iç iletken üzerindeki elektromanyetik büyüklüklerin oranı olarak hesaplanır. Ekranlama üzerindeki elektrik veya manyetik alan olayları Şekil 1.2'de şematik olarak gösterilmiştir, ayrıca EE eşitlik 1.2'de verilmiştir. Yüksek yani daha pozitif EE, ekranlamanın sinyal taşımada çok etkili olduğunu gösterir (Coates, 2004).

$$SE = -20 \log_{10} \left(\frac{E_t}{E_i} \right) \text{ (dB)} \quad (1.1)$$

Bu eşitlikte ; E_t = İç iletkene ulaşan elektrik (veya manyetik) alan.

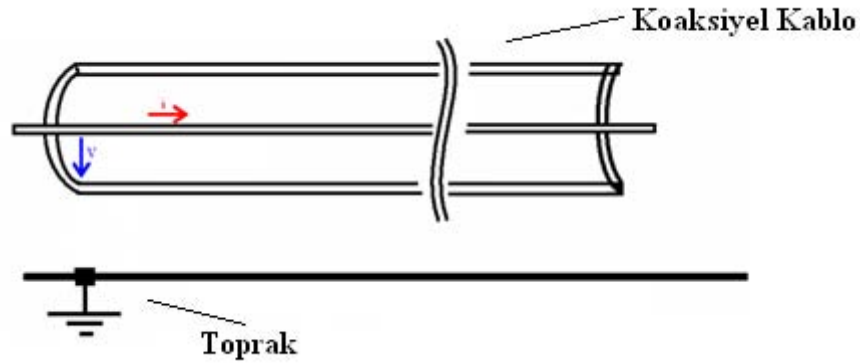
E_i = Ekran üzerine gelen elektrik (veya manyetik) alan.



Şekil 1.2. Ekranlama verimliliğinin tanımlanması

Bir iletken ekranına elektromanyetik alan etki yaptığı zaman, iletken üzerinde akım üretir. Bu akımlar (I) dış iletken ile iç iletken arasında kablonun uzunluğu (L) boyunca voltaja (V) neden olmaktadır. Ekranlamanın bu parametreleri, şematik olarak şekil 1.3. de gösterilmiştir. Ayrıca bu parametreler ekranın dışı ve ekranın içi arasındaki empedansın hesaplanmasında kullanılırlar. Bu empedans, eşitlik 1.2. deki gibi yüzey transfer empedansı olarak tanımlanır.

$$Z_T = \frac{V}{I L} (\Omega m^{-1}) \quad (1.2)$$



Şekil 1.3. Koaksiyel kablo üzerinde oluşan akım ve voltaj şeması

Ekranın üzerindeki akımın sebep olduğu yüksek voltaj, daha fazla parazitli alanın görüntüye nüfuz ettiğini gösterir. Bu akıma bağlı olan voltajdaki artış, yüzey transfer empedansını da artırır. Bundan dolayı yüzey transfer empedansının yüksek (daha pozitif) değeri, dış parazitlerin engellenmesinde ekranlamanın daha az etkili olduğunu gösterir. Kablo ekranlamanın yüzey transfer empedansı genellikle

ekranlamanın kalitesinin bir göstergesi olarak kullanılır, çünkü bu yöntem ölçmeye oranla daha kolaydır.

Kablo ekranlamasının EE'si, ekranlama malzemelerinin fiziksel özelliklerine, ekranlamanın geometrisel yapısına, yönüne, polarizasyonuna ve ekran üzerine gelen elektromanyetik alanının frekansına bağlıdır (Coates, 2004).

2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kaynak Özetleri

Kabloların kullanımının artmasıyla birlikte, kablolar ve konektörler üzerinde oluşan elektromanyetik uyumluluk problemi bu yönde de incelenmeye başlanmıştır.

1930'da Schelkunoff yüzey transfer empedansının kabloların ve konektörlerin ekranlama özelliklerini ifade ettiğini göstermiştir (S.A. Schelkunoff, 1934).

Başlangıçta Schelkunoff, sadece silindirik ekranları ele almıştır. Ayrıca Schelkunoff çalışmalarını delikli, boşluklu veya kusurlu ekranlar içinde geliştirmiştir.

1960'ların başında Zorzy ve Muehlberger çok yüksek frekanslarda konnektörlerin transfer empedanslarını ölçmek için Triaxial Test Fikstüre (TTF) kullanmışlar ve daha sonra kendi sonuçlarını ekranlama etkinliği veya ekleme kaybı şeklinde açıklamışlardır. Triaxial test fikstürü MIL-C-39012 ve MIL-C-38999 konnektörleri için ekranlama test prosedürünün temelini oluşturmaktadır (J. Zorzy, 1961).

1970'te Knowles ve Olsen kablo ekranının yüzey transfer empedansını ölçerken (E.D. Knowles, 1974), Meadle ise ekranlama ölçüm metotlarını geliştirip yenilerini eklemiş ve yüzey empedansının ölçümü için birkaç test fikstürü önermiştir (P.J. Madle, 1975).

Bu zaman periyodu esnasında Casey ve Vance'de delikli ve deliksiz silindir şeklindeki ekranlar için birçok metod geliştirmişlerdir (E.F. Vance, 1975) (K.F. Casey, 1976).

1978'de Vance yüzey transfer empedans teori ve uygulamalarını ayrıntılı olarak kendi kitabında yer vermiştir (E.F. Vance, 1978).

Daha önceden geliştirilen metotlarda kullanılan parametrelerin hesaplanmasının zorluğundan dolayı 1982'de Martin yaptığı deney sonuçlarına bağlı olarak daha kolay bir test metodu önermiştir (Martin, 1992).

1988'de ise Lothar O. Hoeft yaygın olarak kullanılan kablo ve konnektörlerin elektromanyetik ekranlama performansını incelemiştir.

1991’de, Eicher, Matched Triaxial Method (IEC 169-1-3 modified), RCT ve Line Injection Metod larla yaptığı ölçüm sonuçlarını karşılaştırmıştır (Bernard Eicher, 1991).

Bu testlerin her ikisi içinde esnek kablolar kullanmış ve genelde bu 2 metod için esnek kabloların testinde bazı uyuşmalar bulunabilir sonucunu çıkarmıştır.

Bir yıl sonra Eicher, Boillot ile birlikte yüzey transfer empedansı, reverberation chamber ekranlama etkinliği arasında matematiksel bir bağıntı önermiştir (Laurent Boillot, 1992).

1993’te Hill, Crawford, Kanda ve Wu, yansımali oda içinde ölçüm yaparak koaksiyel hatların ekranlama etkinliği için bağıntı elde etmişlerdir (David A Hill, 1993).

Onlar teorilerinde geliş açısı ile polarizasyon üzerindeki ortalamaı kullanmış ve reverberation chamber’de tek delikli koaksiyel hatların hesaplamalarını karşılaştırmışlardır. Onların ekranlama kalitesinin teorik ve ölçüm karşılaştırmaları frekansa bağıli olarak nitel uyuşmalar göstermiştir. Yani genel olarak, teori ve ölçümler için elde ettikleri sonuçlar +/- 10 dB civarında uyuşmuştur. Geliştirdikleri bu teori yüzey transfer empedansı ile RC ekranlama etkinliğinin karşılaştırılmasında oldukça kullanışlıdır.

Özellikle Eicher ve Boillot’ın tek nokta sızıntıları arasındaki ilişkiyi incelemeleri 2002 yılında Hoeft’in kendi EE dönüşümünü ortaya çıkmasını sağlamıştır (Coates, 2004).

2004 yılında Coates tarafından hazırlanan Haberleşme Kablolarının Elektromanyetik Uyumluluk Testleri adlı Doktora Tezinde, testleri yapılacak haberleşme kabloları için reverberation chamberin optimizasyonu yapılmış ve daha sonra bu değerlere bağıli kalınarak tasarlanan reverberation chamber bu testler için kullanılmıştır.

Yapılan testler sonucu, test alanındaki sistem, dış çevredeki rastgele değişken bir manyetik alandan etkilenmemeli ve kablonun maruz kaldığı manyetik alan, kablo boyunca düzenli dağılmış olmalıdır sonucuna varılmıştır (Coates, 2002).

Yapılan testlere dayanılarak önerilen bütün bu bağıntılar biraz komplekstirler. Şimdi ki çabalar ise bu bağıntıların daha kolay kullanılabilmesini sağlamak içindir.

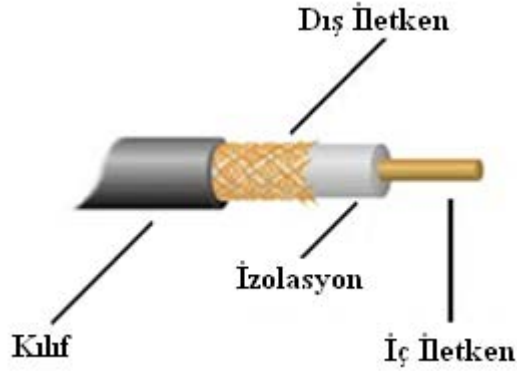
2.2.Kuramsal Temeller

2.2.1. Koaksiyel Kablolar (Coaxial- COMman AXIs cAbLe)

Koaksiyel kablo elektromanyetik kirliliğin yoğun olduğu ortamlarda düşük güçteki sinyalleri iletmek için geliştirilmiştir. Koaksiyel kablo geniş bir kullanım alanına sahiptir. Koaksiyeller genellikle ses ve video iletiminde kullanılır ve çok değişik tiplerde karşımıza çıkarlar.

2.2.2. Koaksiyel kabloların genel yapısı

Koaksiyel kablolar, merkezde iletken kablo (iç iletken), kablounun dışında yalıtkan bir tabaka, onun üstünde dış iletken (ekran) ve en dışta yalıtkan dış yüzeyden oluşurlar.



Şekil 2.1. Koaksiyel kablounun genel görünüşü (Wolff, 2008)

İç İletken

İç iletken som, bükülü kalaylı, saf bakır, bakır kaplı çelik veya gümüş kaplı bakır tellerden uygun ölçülerde yapılır ve kullanılan malzemenin cinsine bağlı olarak kablounun karakteristik değerleri de değişir.

Çizelge 2.1. İç iletken karakteristikleri (Thomas, 2008)

	İÇ İLETKENLER					
	YUMUŞAK BAKIR	KALAYLI YUMUŞAK BAKIR	GÜMÜŞ KAPLI BAKIR	NİKEL KAPLI BAKIR	KALAYLI BRONZ	BAKIR KAYNAK

Çizelge 2.1. (devam)

Maksimum işlem sıcaklığı °C	150	150	200	250	150	200
Özdirenç 20°C,ohms - circular mil / ft.	10.371	11.133	10.371	12.5	11.92	25.928
Ortalama Gerilme Kuvveti psi (1,000)	37	37	37.5	37.5	45	130
Esneklik	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	İyi	İyi

İzolasyon

İzolasyon solid veya köpüklü polietilenin iletken üzerine ekstrüzyon yoluyla kaplanmasıyla yapılmaktadır.

Çizelge 2.2. İzolasyon karakteristikleri (Thomas, 2008)

	İZOLASYON				
	Polietilen (PE)	Köpüklenmiş Polietilen (PE)	Florinlenmiş Propilen Etilen (FEP)	Cıvalı Tetrafluoroetilen (PTFE)	Kauçuk
Maksimum işlem sıcaklığı °C	-65 / 80	-65 / 80	-65 / 200	-65 / 260	-40 / 80
Ortalama Gerilme Kuvveti	1.9	2.2	3.6	2.7	1.1

Çizelge 2.2. (devam)

psi (1,000)					
Esneklik	İyi	İyi	Mükemmel	İyi	Mükemmel
Kesme Direnci	İyi	Kötü	İyi	Orta	Mükemmel
Suya karşı dayanıklılık	Mükemmel	Kötü	Mükemmel	Mükemmel	İyi
Organik çözücülere karşı dayanıklılık	Kötü	Kötü	Mükemmel	Mükemmel	İyi
Aside karşı dayanıklılık	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	İyi

Dış İletken

Dış iletken dâhili ve harici tesisatlarda kullanılan kablolar üzerine tüp şeklinde bakır, polyester kaplamalı bakır, polyester kaplı alüminyum (AL-PES), her ikitarafı alüminyum kaplı polyester (AL-PES-AL) ile birkaç kat bakır veya kalaylı bakır tellerden meydana getirilmiş örgüden oluşur.

Çizelge 2.3. Dış iletken karakteristikleri (Thomas, 2008)

	DIŞ İLETKEN				
	YUMUŞAK BAKIR	KALAYLI YUMUŞAK BAKIR	GÜMÜŞ KAPLI BAKIR	ALÜMİNYUM TÜP	BAKIR TÜP
Maksimum işlem sıcaklığı °C	200	150	200	-	-

Çizelge 2.3. (devam)

Esneklik	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Zayıf	Zayıf
----------	----------	----------	----------	-------	-------

Kılıf

Dâhili tesisatlarda kullanılan kabloların kılıfları PVC veya halojensiz-alev geciktirici özelliğe sahip bileşiklerden ekstrüzyon yoluyla yapılmıştır. Dış tesisat kablolarının kılıfları polietilendir. Askıtellı koaksiyel kablolarda, koaksiyel özü ile galvanizli çelik tellerden bükülerek veya yalın tellerden yapılmış askı ile birlikte "8"şekli verilmiştir. Her ikisi de polietilen ile kaplanarak korunmuş ve birbirine bağlanmıştır.

Çizelge 2.4. Kılıf karakteristikleri (Thomas, 2008)

	KILIFLAR					
	POLİETİL EN	Tetrafluoroethy- lene (TFE)	Florinlenmiş Propilen Etilen (FEP)	PVC	NEOPRENE ®	CAM KORDON
Maksimum işlem sıcaklığı °C	80	260	200	105	90	260
Ortalama Gerilme Kuvveti psi (1,000)	1.9	3.5	2.7	2.5	3.2	-
Esneklik	İyi	İyi	İyi	İyi	Mükemmel I	Mükemmel
Organik çözücülere karşı dayanıklılık	Zayıf	Mükemmel	Mükemmel	Zayıf	İyi	Mükemmel
Aside karşı	Mükem	Mükemmel	Mükemmel	fair	İyi	Mükemmel

Çizelge 2.4. (devam)

dayanıklılık	mel					
Yanmaya karşı dayanıklılık	Yavaş yanıcı	Yanıcı değil	Yanıcı değil	söndürülebilir	söndürülebilir	Yanıcı değil

2.2.3. Koaksiyel Kabloların Uygulama Alanları

Koaksiyel kablolar, elektrik sinyallerini bir noktadan diğer bir noktaya dağıtım ağı yoluyla taşıma amacı ile kullanılır. Haberleşme kabiliyetlerine göre iki çeşit koaksiyel kablo tipi vardır.

a) Dar Bandlı Koaksiyel Kablolar.

b) Geniş Bandlı Koaksiyel Kablolar.

Artık günümüzde dar bandlı kabloların kullanım alanı çok fazla gelişmemektedir. Buna karşılık geniş bandlı kabloların band genişliği pazar talebine paralel olarak hızla artmaktadır.

Geniş Bandlı Koaksiyel Kablolar aşağıdaki kullanım alanları için daha fazla avantaj sağlamaktadırlar;

- Kablo TV ve yayımı
- Video sistemleri
- CATV genel ve bireysel TV sistemleri
- MATV, SATV, CTV gibi Uydu TV, Kablo TV, Radyo

Haberleşme Sistemleri,

- Telefon Haberleşmesi
- Evden Alışveriş / Evden Bankacılık
- Bilgisayar / Belgegeçer haberleşmesi
- Ödemeli TV

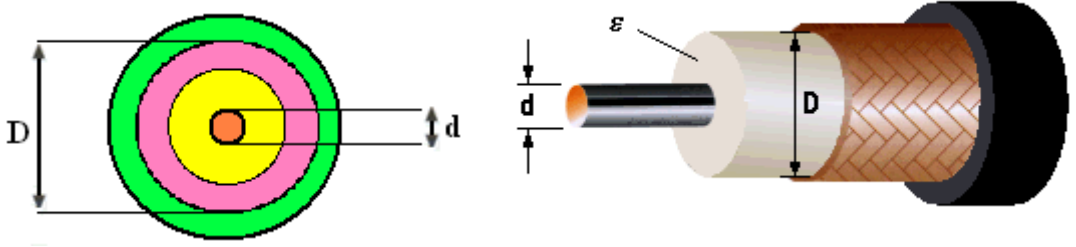
Diğer taraftan geniş band uygulamalarının noktasal projelerde fiber optik kablolarla birleşik olarak kullanılabilecekleri anlaşılmıştır. Fiber optik kabloların

yaygınlaşmaya başlaması ile koaksiyel kablo kullanımı gelecekte çok daha fazla olacaktır.

2.2.4. Koaksiyel Kabloların Elektriksel Karakteristikleri Kapasite

İç ve dış iletken arasındaki yalıtkan malzemenin biriktirdiği elektrik enerjisi olup iletken ve izolasyon boyutları ile yalıtkan malzemenin dielektrik sabitine bağlıdır. Koaksiyellerde kapasitans değerinin hesaplanması için kullanılan eşitlik denklem 2.1 ile verilmiştir.

$$C = \frac{1}{18} \frac{\Sigma_r}{\ln \frac{D}{d}} \times 10^3 \text{ (pF/m)} \quad (2.1)$$



Şekil 2.2. Esnek koaksiyel (Wolff, 2008)

Bu eşitlikte d İç iletken çapı (mm), D izole üstü çapı (mm) ve Σ_r relatif dielektrik sabitini göstermektedir.

Çizelge 2.5. Dirence ve kullanılan dielektriğin cinsine bağlı olarak koaksiyelin kapasitansının değişimi (Thomas, 2008)

RG or M17	Kablo Empedansı (ohms)	Dielektrik Tip	Kapasitans (pF/ft)
RG 8A/U	50	PE	29.5
RG 231A/U	50	Köpük PE	25.0
RG 188A/U	50	Katı TFE	29.0
M17/6	75	PE	20.6
RG 306A/U	75	KöpükPE	16.5

Çizelge 2.5. (devam)

RG 140	75	Katı TFE	21.0
M17/90	93	Hava Boşluklu PE	13.5
M17/56	95	PE	17.0
M17/95	95	Katı TFE	15.4
RG 24A/U	125	PE	12.0
RG 114A/U	185	Hava boşluklu PE	6.5

Karakteristik Empedans (Z_0)

Karakteristik empedans kablo tasarımı, kablo boyutları ve yalıtkan malzemeye bağlıdır. Yayın frekans bandı içinde kablo boyunca düzenli olmalıdır. KE her bir değişiklik yansımaları sebep olur. Alıcıda maksimum güç elde edebilmek için kablo ile alıcının aynı empedansa sahip olması gerekir. Genel olarak kabloların KE değerleri aşağıdaki gibidir (Wolff, 2008).

50 Ω : Radyo Haberleşme- RG 8A/U.

75 Ω : CATV, MATV, CTV, Video kabloları- RG 11A/U.

93 Ω - 105 Ω : Yerel ağ ve veri haberleşme- RG 22B/U 95.

$$Z_0 = \left(\frac{138}{\sqrt{E}} \right) \log_{10} \left(\frac{D}{d} \right) \quad (2.2)$$

burada E dielektrik sabitini (hava için 1) ifade etmektedir (Çizelge 2.6.).

Çizelge 2.6. Dielektrik özellikler (Thomas, 2008)

Dielektrik Materyal	Dielektrik Sabiti (E)	Güç Faktörü (p)
Hava	1.00	
Köpük hücreli polietilen (PE)	1.40 - 2.10	0.0003

Çizelge 2.6. (devam)

Katı polietilen (PE)	2.3	0.0003
Cıvalı Tetrafluoroetilen (PTFE)	2.1	0.0002
Hücreli Cıvalı Tetrafluoroetilen (PTFE))	1.4	0.0002
Florinlenmiş Propilen Etilen (FEP)	2.1	0.0007
Hücreli Florinlenmiş Propilen Etilen (CFEP)	1.5	0.0007
Kauçuk	3.1	-
Silikon kauçuk	2.08 - 3.50	0.007 - 0.01

İnduktans

Yüksek frekanslarda indüktans değeri yaklaşık olarak:

$$L = 2.101^{-4} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \text{ H/km (Newton)} \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanır (Wolff, 2008).

Faz Sabiti (β)

Propagasyon sabitinin imajiner bileşeni olup, hattan akan akım veya gerilimin birim uzunluktaki faz değişimini gösterir.

$$\beta = \sqrt{\left(\frac{R\omega C}{2}\right)} \text{ radyan/km (1 radyan} = \left(\frac{180}{\pi}\right) = 57.3^\circ) \quad (2.4)$$

Denklem 1.4'te R hattın direncini, ω açısal hızı ($\omega: 2\pi f$), f frekansı ve C ise efektif kapasiteyi ifade etmektedir.

Zayıflama

Koaksiyel kabloların zayıflaması aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\alpha = \alpha_1\sqrt{f} + \alpha_2\sqrt{f} \text{ (dB/100)} \quad (2.5)$$

α = toplam zayıflama, α_1 = resesif kayıplar, α_2 = dielektrik kayıplar

Çizelge 2.7. Zayıflamanın kablo çapına ve kapasitans değerine bağlı değişimi
(Thomas, 2008)

ÇAPI D	ZAYIFLAMA C = 45nF/km α_{800}	ZAYIFLAMA C = 45nF/km α_{elf}	ZAYIFLAMA C = 50 nF/km α_{800}	ZAYIFLAMA C = 50 nF/km α_{elf}
0.40	1.54	1.69	1.62	1.78
0.50	1.24	1.29	1.31	1.36
0.60	1.03	1.03	1.08	1.08
0.90	0.68	0.61	0.72	0.65

Koaksiyelerde zayıflamanın başlıca nedeni frekansın kare kökü oranında artan resesif kayıplardır (α_1), dielektrik zayıflama (α_2) yalıtkan malzemenin kalite ve miktarına bağlıdır. Toplam zayıflamadaki payı frekansla artar. Bu iki zayıflmayı karşılaştırdığımızda resesif kayıpların değeri dielektrik kayıpların değerinden çok daha büyüktür ($\alpha_1 \gg \alpha_2$). Bu durumda $\alpha = \alpha_1\sqrt{f}$ alınabilir.

Kablodaki giriş ve çıkış sinyali voltaj değerlerinin değişimine bağlı olarak ise zayıflamayı aşağıdaki gibi ifade edilebiliriz;

$$\alpha = 20 \log_{10} \left(\frac{U_1}{U_2} \right) \text{ (dB/m)} \quad (2.6)$$

yukarıda ki eşitlikte U_1 giriş voltajını U_2 ise çıkış voltajını belirtir.

Bunlara ilaveten her 1 °C sıcaklık zayıflamayı yaklaşık % 0,2 artırır. Yani sıcaklığın artması ile zayıflama da artar. Belirtilen zayıflama değerleri formüllerde 20 °C için verilen değerlerdir.

Geri dönüş Kaybı

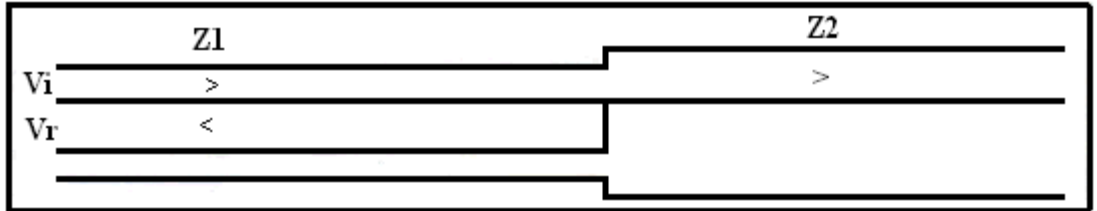
Koaksiyel kablonun boyutları, yalıtkan malzemesi ve döşeme esnasındaki hatalar KE'yi etkiler. Her düzensizlik veya hata yansımalarla sebep olur. Geri dönüş kaybı belirli bir frekansta kablo boyunca ve uçtaki, KE değişimlerinin etiketlerini toplar. Koaksiyel kablonun yakın ucunda ölçülen bütün bu yansımaların vektörel toplamı ile gönderilen sinyalin oranı geri dönüş kaybını verir. Yansımaların miktarı yansıma sabiti (yansıma faktörü) ile belirlenir.

$$p = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (2.7)$$

V_i = gönderilen sinyal

V_r = sinyalin yansıyan bölümü

p = yansıma sabiti



Şekil 2.3. Geri dönüş kaybı

Elde edilen yansıma sabiti ile geri dönüş kaybı

$$A_r = 20 \log \frac{1}{|p|} \text{ (dB)} \quad (2.8)$$

veya;

$$A_r = 20 \log \left| \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right| \text{ (dB)} \quad (2.9)$$

Şeklinde hesaplanır.

Yayılma Hızı (V)

Elektrik akımının dış düzeyden akma özelliği sebebiyle yayılma hızı frekansa bağlıdır. Frekans azaldıkça hızda azalır. Yani yayılma hızı düşük frekanslarda frekansla doğru orantılı olarak değişir. Ancak çok yüksek frekanslarda yayılma hızı dielektrik sabitine bağlıdır ve eşitlik 2.10'da görüldüğü şekilde hesaplanır.

$$V_r = \frac{c}{\sqrt{\Sigma_r}} \quad (2.10)$$

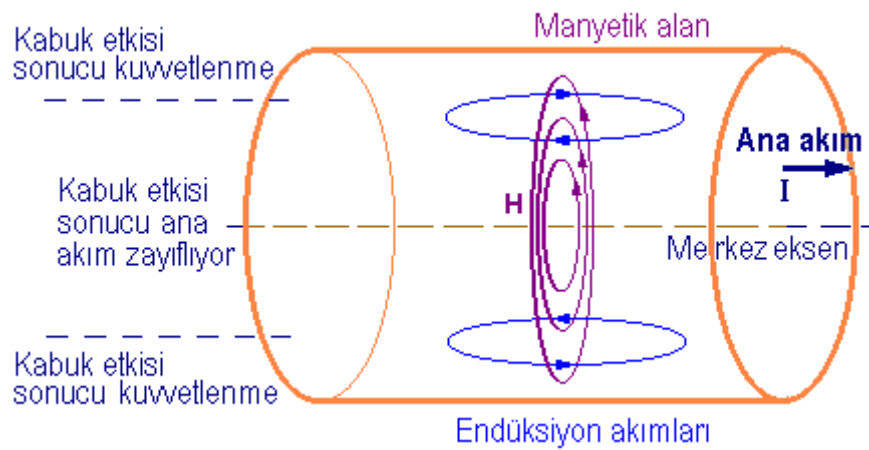
(C ışık hızı (3×10^8 m/sn))

Örneğin koaksiyel kabloda kullanılan yalıtkan malzeme katı polietilen ise ($\Sigma_r=2,28$), yayılma hızı 0,66 (66%) dır, veya yalıtkan malzeme köpüklü polietilen ise ($\Sigma_r=1,64$), o zaman yayılma hızı 0,78 (78%) olarak elde edilir (Wolff, 2008).

2.2.5. Kabuk Etkisi

İçinden akım akan bir iletkenin etrafında manyetik alanın oluştuğunu biliyoruz. Keza iletkenin içinde de yönü periyodik olarak değişen bir manyetik alan meydana gelir. Bu manyetik alan çizgilerini saracak şekilde, halka biçimli burgaç akımları (Fouccault current/ eddy current) meydana gelir. Ana akım, bu nedenle iletkenin eksenine doğru zayıf kalır, fakat dış çepere doğru daha kuvvetlenir.

Oluşan bu burgaç akımları nedeniyle, ana akım iletkenin dış yüzeyine doğru toplanır. Bu olaya kabuk etkisi (skin effect) adı verilir.



Şekil 2.4. Kabuk etkisi (Wolff, 2008)

Kabuk etkisi frekansla birlikte kuvvetlenir. Kabuk etkisi iletkenin kullanılan etken kesitini küçültür. Akım iletkenin dış yüzeyine yakın ince bir tabakada yoğunlaşır ve yüzeyden uzaklaştıkça azalır.

İletkenin, etken kesitinin küçülmesi nedeniyle, direnci frekansa bağımlı olacaktır. Bu frekansa bağlı direnç aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$R_{\omega} = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r \omega}{4\pi\sigma}} \quad (2.11)$$

Burada ℓ iletkenin uzunluğunu, r ise iletkenin yarıçapını göstermektedir (Wolff, 2008).

Yüksek frekans tekniğinde kabuk etkisini azaltmak için olabildiğince daha büyük yüzeyli iletkenler kullanılır (yüksek frekans kordonları, bant iletkenler vb.).

2.2.6. Genel Test Metotları

Günümüzdeki elektronik cihazlarda artan veri oranları ve yüksek frekans uygulamaları tam ekranlamayı EMC sistem tasarımlarının önemli bir parçası yapmıştır.

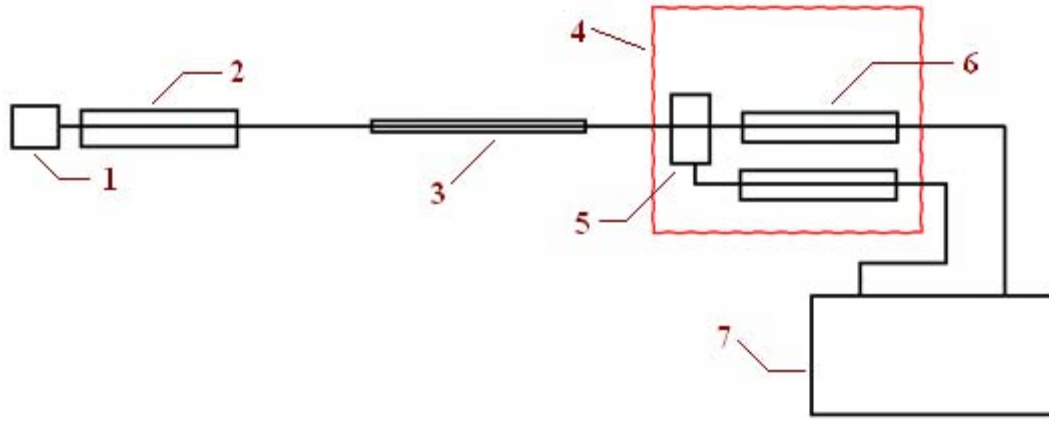
Bir kablounun ekranlama performansı ekranın topraklanmasına ve ekranlamanın zayıflatma özelliğine bağlıdır. Bir fiziksel özellik olan ekranlama zayıflaması (Screening Attenuation-SA) kablo ekranındaki manyetik enerjide oluşan zayıflamayı dB cinsinden tanımlar. Ekranlama zayıflaması, ekranlama etkinliği terimine bir alternatif olarak kullanılır.

Kabloların ekranlama performansı karakteristiği endüstrilerde birçok test yöntemlerinin uygulanmasıyla elde edilir. Farklı test metotlarının birbiri ile ilişkisi yoktur. Sonuçlar test performansına bağlıdır. Bu durum data sheetlerde belirtilmiş olan performans seviyelerinden farklı değerler elde etmeye neden olur. Yani uygulanan test metotlarının birbirlerine göre farklılıkları da vardır (Joachim, 2007).

Çoğunlukla ekran zayıflaması ölçümleri 100 MHz in üzerindeki frekanslarla sınırlandırılmıştır. Günümüzdeki elektronik cihazlardaki yüksek frekans bileşenlerinden dolayı yüksek frekansta ölçüm gerekliliği doğurmuştur.

2.2.6.1. Absorbing Clamp Test Metodu

Absorbing Clamp Test Method metodu (ACT) ekranlama zayıflığının direkt olarak ölçülmesini sağlar. ACT metodunun test kurulumunun güvenilir kalibrasyonun kritik olması ve ayrıca yüzey dalgalarının kesin bir ölçüm için yeterli düzeyde emilim gerektirmesi en önemli dezavantajlarından biridir. Bu metodun avantajı ise özel biçimlere, PCB board içeren sistemlere ve özel topraklama ekranlamalara kolaylıkla uygulanabilmesidir.



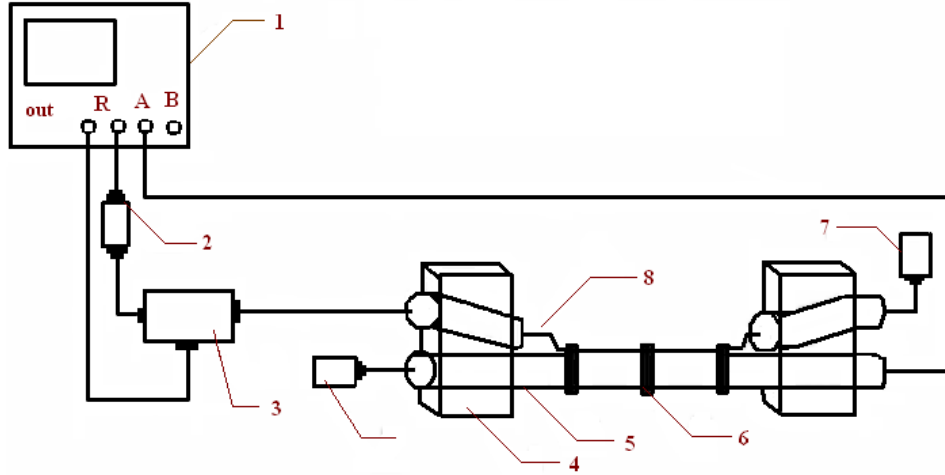
1.Sonlandırıcı 2.Emici 3. Kablo 4.Absorbing Clamp 5.Akım Probu 6.Emici 7.VNA

Şekil 2.5. Absorbing clamp test metodu şeması

2.2.6.2. Wire Injection Test Metodu

Wire Injection Test Metodu (WIT) kabloların transfer empedansını ölçer (Hoeft, 1997).

Transfer empedansı ekranlama zayıflamasının hesaplanmasında kullanılır. WIT metodunun avantajı metodun kurulumunun esnekliğinden dolayı birçok farklı geometrideki kablolarla uygulanabilir olmasıdır. Ayrıca transfer empedansı kablonun iç ve dış faz sabiti arasındaki farktan bağımsızdır. Bu bize daha sağlam kablo ekranlama performansı karakteristiği sağlar (Joachim, 2007).



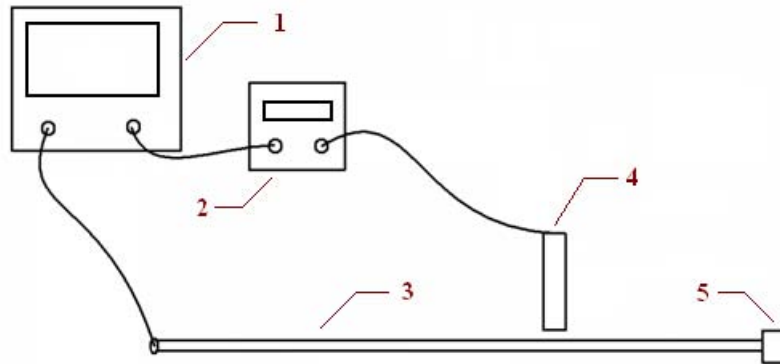
1.Network analizör 2.Azaltıcı 20 dB 3Güç Dağıtıcısı 4.Uygun Tampon 5.Kablo 6.Yapışkan bant
7.Sonlandırma Direnci 8.Injection wire

Şekil 2.6. Wire injection test metodu şeması

2.2.6.3. Close Field Probe Test Metodu

Close Field Probe Test Metodu (CFPT) kablo ekranı ile kapalı sonda arasındaki ikili mekanizmayı temel almaktadır. Bu test metodu yalnızca nitel karşılaştırma amaçlı kullanılmaktadır. Kablo ekranı ve sonda ikilisi operatöre ve probun kabloya göre pozisyonuna bağlı olduğu için kontrol edilemez. Kablo ekranı ve sonda arasındaki toplam transfer fonksiyonu tanımsızdır.

Bu metot uluslararası komitelerce kablo ekranlama test metodu olarak kabul görmemiştir (Joachim, 2007).

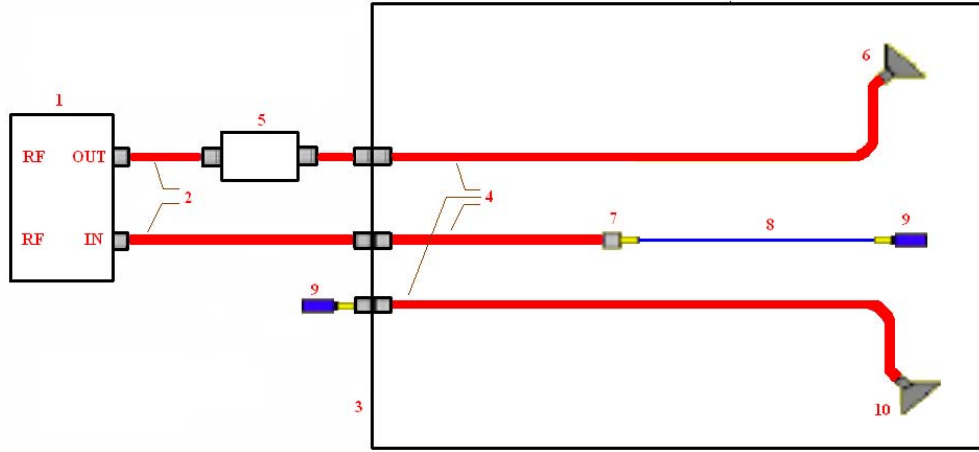


1.VNA 2.Yükseltici 3.Kablo 4.Kapalı Alan Probu 5.Sonlandırıcı

Şekil 2.7. Close field probe metodu şeması

2.2.6.4. Reverberation Chamber Test Metodu

Reverberation Chamber Test Metodu (RCT), yeri kesim frekansa bağılı ve zamana göre değişim göstermeyen bir yayılma alanı içerir. Bu yayılma alanı bir alıcı ve bir verici anten kullanılarak ayarlanır. Alıcı anten kurulduktan sonra spektrum çözümleyici kablo görüntüsünün harcadığı gücü ölçer. Ayarlama sırasında harcanan güç ile test sırasında harcanan güç arasındaki oran kablo ekranının zayıflığını gösterir.



1.Spektrum analizör 2.Kablo 3.Reverberation Chamber 4.Koaksiyel kablo 5.Rf yükseltici
6.Verici anten 7.Adaptör 8.Test speoimen 9.yük 10.Alıcı anten

Şekil 2.8. Reverberation chamber test metodu şeması

RCT metodunda 3 boyutlu kapalı bir boşluk, duran dalga örnekleriyle ve birçok yankılanma modlarıyla farklı modlarda üretilebilir.

Bu kapalı boşluk içindeki sınır koşullarını değiştirmek için sisteme uygun olarak tasarlanmış (panellerin alanları, yerden yüksekliği ve adım sayısı optimizasyonu yapılmış) karıştırıcı (stirrer) yerleştirilir. Bu değişimde alan büyüklüğünü maksimal ve minimal aralıkta hareket ettirir (International Electrotechnical Commission, 61000-4-21).

Dikdörtgen boşluğun rezonans (çınılama) frekansı;

$$F_{mnp} = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2} \quad (2.12)$$

ile verilir.

‘a’, ‘b’ ve ‘d’ duvarların boyutlarını, ‘m’ , ‘n’ ve ‘p’ ise tamsayıları temsil etmektedir. ‘m’ , ‘n’ ve ‘p’ den sadece bir tanesi sıfır olabilmektedir. 3 dB bant genişliğindeki eşzamanlı modların sayıları N_s ise;

$$N_s = \frac{8\pi V}{Q} \left(\frac{f}{c}\right)^3 \quad (2.13)$$

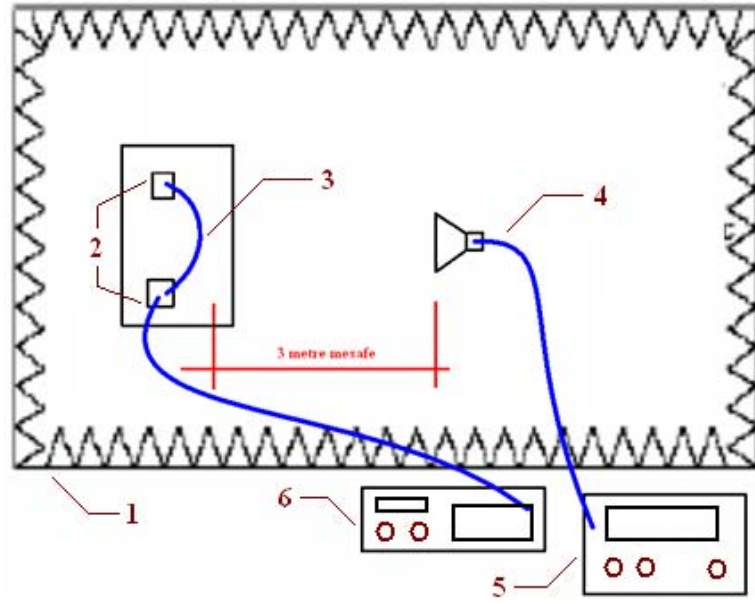
eşitliği ile verilir.

Modların sayıları büyük çıkarsa (tipik olark > 60) ve ölçümlerin ortalaması karıştırıcının pozisyonlarının sayısının üzerindeyse, RC’deki manyetik alan hacime ortalama olarak düzenli yayılmıştır denebilir. Böylece her yön ve polarizasyonda eşit enerji üretilmiştir (Joachim, 2007).

2.2.6.5. Anechoic Chamber, Far Field Test Method

The Anechoic Chamber Test Metodu (AnCT) birçok alan ölçümünde kullanılır. Bu test ortamında görüntülü kablo kullanıcıları, ürünlerine uygun ayarları test edebilmektedir. Bu yöntem bütün kablo ekranlama test metotları ve uygun EMC testleri için bir kıstas olarak görülebilir. Testler 3m anten uzaklığında uygulanır (Joachim, 2007).

Bir sentezleyici (synthesizer), iyi ekranlanmış bir kabloya ve metal kutuya sinyal göndermede kullanılır. N- tip konektörlerde konektör arayüzündeki sızıntılardan kaçınmak için çelik tel yumakları ekranlamada kullanılır. Test edilen kablo iki metal kutunun önüne bağlanır. Kutuların toprak bağlantıları oda zeminine bağlanmışlardır. Test altındaki kablonun, bir ucu 50 ohm luk dirençle sonlandırılmış diğer ucu (uzakta olanı) kutuya bağlıdır.



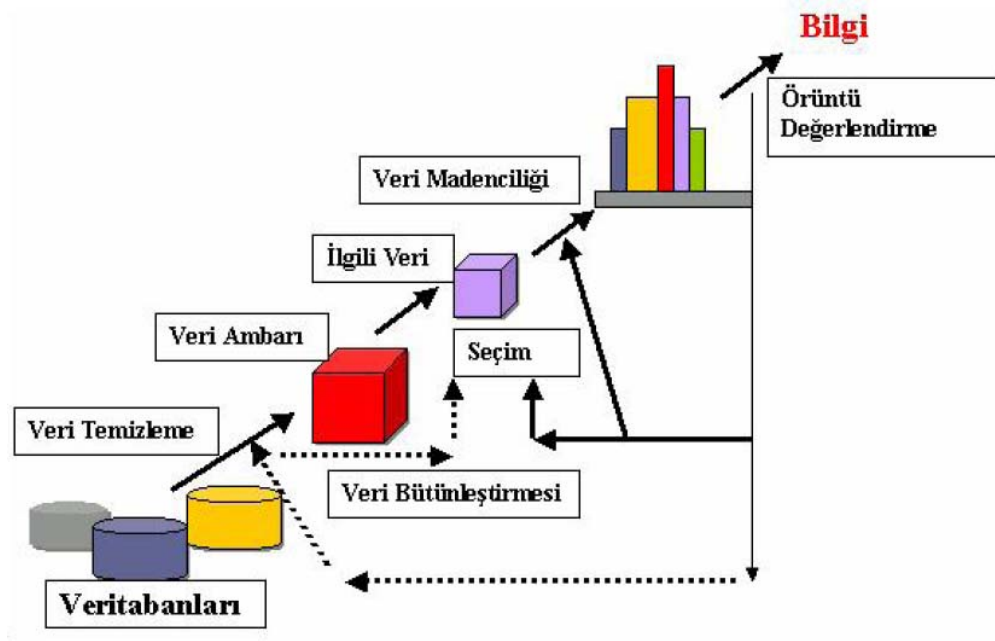
1.Anechoic Chamber 2.sonlandırma Dirençleri3.Kablo 4.Horn Anten 5.Koaksiyel kablo
6.Sentezleyici 7.Spectrum Analyser

Şekil 2.9. Anechoic chamber metodu şeması (Joachim, 2007)

2.2.7. Veri Madenciliği

Bilgi keşfi; önceden bilinmeyen, kapalı ve potansiyel olarak yararlı bilginin veriden çekilmesidir. Bilgi keşfi sürecinin adımları Şekil 2.10’de verilmektedir. Bilgi keşfi sürecinin bir parçası olan veri madenciliği, özellikle yararlı örüntülerin ve ilişkilerin bulunması için istatistiksel analizler ve modelleme tekniklerinin uygulandığı alandır.

Veri madenciliği, geniş veritabanlarından prediktif bilginin otomatik olarak çekilme sürecidir. Gelecek trendlerini tahmin eder ve uzmanların gözden kaçırdığı davranışları bulur (Han, 2001).

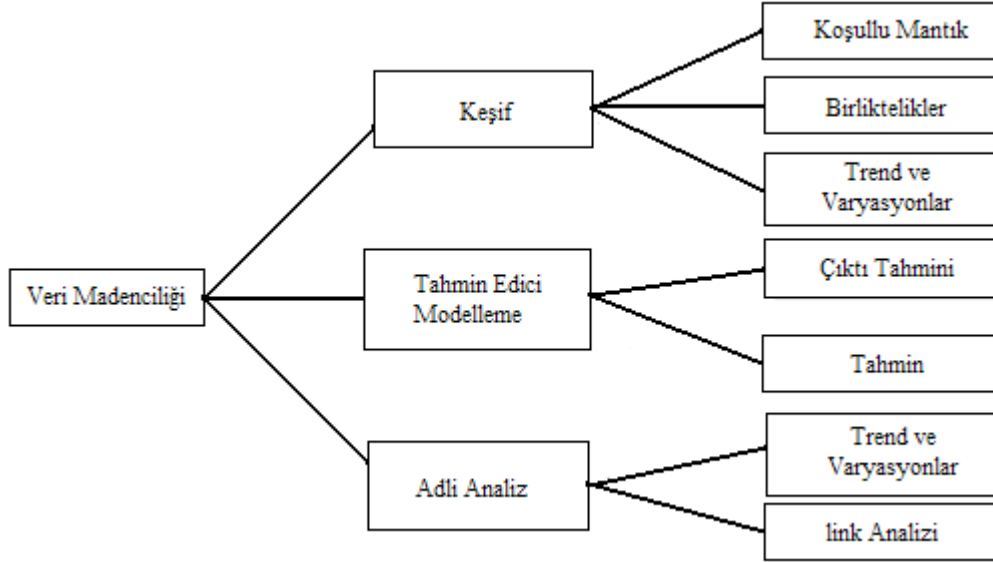


Şekil 2.10. Bilgi keşfi süreci (Sıramkaya 2005)

Fayyad'a göre veri tabanlarından bilgi keşfi sürecinde yer alan adımlar şu şekilde sıralanmaktadır (Fayyad ve ark., 1996):

- *Veri seçimi:* Bu adım, veri kümelerinden, keşfin gerçekleştirileceği uygulama alanına uygun örneklem kümesinin seçilmesidir.
- *Veri temizleme ve ön işleme:* Seçilen örneklem kümesinde yer alan hatalı tutanakların çıkarıldığı ve eksik nitelik değerlerinin nasıl ele alınacağını belirlenerek, değiştirildiği aşamadır. Bu aşama keşfedilen bilginin kalitesini artırır.
- *Veri indirgeme:* Seçilen örneklemde ilgisiz niteliklerin atıldığı ve tekrarlı kayıtların ayıklandığı adımdır. Bu aşama seçilen veri madenciliği sorgusunun çalışma zamanını iyileştirir.
- *Veri madenciliği:* Kullanılacak veri madenciliği algoritmasının (sınıflandırma, kümeleme vb.) belirlenerek uygulanmasıdır.
- *Değerlendirme:* Veri madenciliği sonucunda keşfedilen örüntülerin geçerlilik, yenilik, yararlılık ve basitlik kıstaslarına göre değerlendirilmesi aşamasıdır.

Veri madenciliği, verideki bilgi örüntülerinin arandığı karar destek sürecidir. “Örüntü” ile anlatılmak istenen “Verideki ilişkiler” dir. Veri madenciliğinin süreci Şekil 2.11’de verilmektedir.



Şekil 2.11. Veri madenciliği süreci (Aydoğan, 2008)

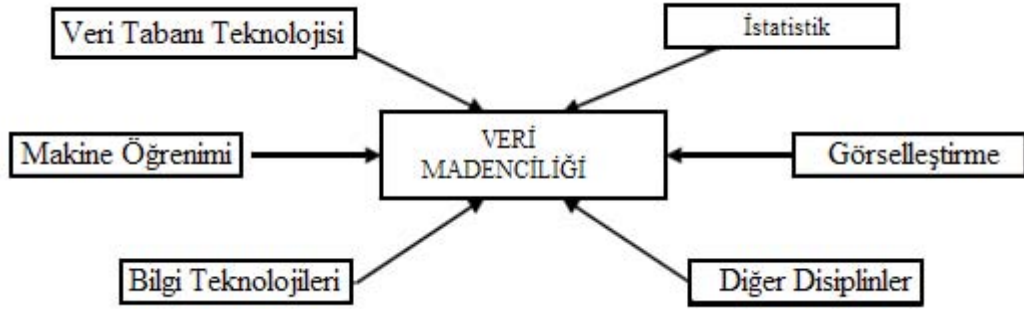
2.2.7.1. Neden Veri Madenciliği?

Veri madenciliği aşağıdaki 3 teknoloji tarafından desteklenir:

- Kitlesel veri toplama,
- Güçlü çok işlemcili bilgisayarlar,
- Veri madenciliği algoritmaları.

Sayısal makinelere olan ihtiyaç, düşük maliyetli ve paralel çok işlemcili bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde karşılanmıştır. Veri madenciliği teknolojisi, istatistik, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi tekniklerdeki araştırmalar ile uzun bir süredir gelişme içerisinde. Günümüzde bu tekniklerin olgunlaşması, yüksek performanslı veritabanı araçları ve veri entegrasyon çalışmaları sayesinde. Bunlar aynı zamanda bu teknolojileri veri madenciliğine uygun hale getirmiştir (Buntine, 1996).

Bilgi teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak hesaplama gücü önemli ölçüde artmış, veri toplama ve veri yönetimi daha kolay hale gelmiştir. Şekil 2.12’de veri madenciliğine katkı sağlayan alanlar gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Veri madenciliği sürecine katkı sağlayan alanlar (Aydoğan, 2008)

2.2.7.2. Veri Madenciliğinin Gereksinimleri

Genel olarak veri madenciliği, bir veri ambarına ve bir yazılım paketine gereksinim duyar. Diğer temel gereksinimleri aşağıdadır:

- Veriye erişilebilirlik,
- Etkin erişim yöntemleri,
- Veri problemlerinde dinamiklik,
- Etkin algoritmalar,
- Yüksek performanslı uygulama sunucusu (server),
- Sonuç dağıtımında esneklik,
- Verinin temizlenmesi.

Bir veri ambarını etkin olarak kurmadan önce verinin ne için kullanılacağı planlanmalıdır. Doğru veri bulunmaz ve verinin sınırları bilinmezse, veri madenciliği analiz işlemleri zorlaşır (Han, 2001).

2.2.7.3. Veri Madenciliğinin Adımları

Veri madenciliğinin başarılı olabilmesi için bir araçlar kümesinden ziyade bir süreç olarak kabul edilmelidir. Bu süreçte başarılı olabilmek için aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

Adım 1: Hem istatistiksel hem de görsel olarak incelenebilecek bir veri örneği olmalıdır. Yani; toplanacak ve işlenecek veri tanımlanmalıdır.

Adım 2: En anlamlı tahmin edici ölçütlerin seçimi ve dönüştürülmesi için istatistik ve görselleştirme teknikleri kullanılmalıdır.

Adım 3: Çıktıları tahmin etmek için ölçütler modellenmelidir. Bu adımda eğilimler için hem görsel hem de nümerik olarak incelenir.

Adım 4: Modelin doğruluğundan emin olmak için sonuçlar test edilmelidir.

Adım 5: Gerektiğinde seçilen / toplanan veri model seçim sürecine odaklanmayı kolaylaştırmak için değiştirilebilir. Bazı durumlarda, boş alanların doldurulması ya da silinmesi söz konusu olabilir (Aydoğan, 2008).

Veri madenciliğinin iteratif bir süreç olduğu unutulmamalı ve bu adımlar sürekli tekrarlanmalıdır (Han, 2001).

2.2.7.4. Veri Madenciliğinin Amaçları ve Veri Madenciliğinde Karşılaşılan Problemler

Veri madenciliğinin amaçları öngörü, tanıma, sınıflandırma ve en iyileme olarak dört başlık altında toplanabilir (Yarimağan, 2000).

Öngörü, hangi ürünlerin hangi dönemlerde, hangi koşullarda, hangi miktarlarda satılacağına ilişkin öngörülerde bulunmak gibi tanımlanabilir.

Tanıma, aldığı ürünlerden bir müşterinin tanınması veya kullanıldığı programlar ve yaptığı işlemlerden bir kullanıcının tanınması gibi ifade edilebilir.

Sınıflandırma, bir çok parametrenin birleşimi kullanılarak, örneğin ürünlerin, müşterilerin ya da öğrencilerin sınıflandırılması olarak tanımlanabilir.

En iyileme, belirli kısıtlamalar çerçevesinde zaman, yer, para ya da ham madde gibi sınırlı kaynakların kullanımını en iyileme ve üretim miktarı, satış miktarı ya da kazanç gibi değerleri büyütme olarak tanımlanabilir (Aydoğan, 2008).

Veri madenciliğinde karşılaşılan problemleri işe şu şekilde sıralayabiliriz:

- *Veri tabanı boyutu:* Örneklemin büyük olması, örüntülerin gerçekten var olduğunu göstermesi açısından bir avantajdır, ancak bu durumda elde edilen örüntü sayısı çok büyümektedir. Bu yüzden veri tabanı boyutu veri madenciliği sistemleri için önemli problemlerden biridir. Bu sorunu çözmek için uygulanabilecek yöntemlerden bazıları: veri madenciliği sisteminin

sezgisel/buluşsal bir yaklaşımla arama uzayını taraması, örneklemin yatay ve dikey boyutta indirgenmesi olarak sayılabilir (Oguz, 2000).

- *Gürültülü veri:* Veri girişi ya da veri toplanması sırasında oluşan sistem dışı hatalara gürültü adı verilir. Eğer veri kümesi gürültülü ise sistem bozuk veriyi tanımalı ve ihmal etmelidir. Quinlan'ın gürültünün sınıflama üzerindeki etkisini araştırmak için yapmış olduğu çalışma sonucunda, etiketli öğrenmede etiket üzerindeki gürültü, öğrenme algoritmasının performansını doğrudan etkileyerek düşmesine neden olmuştur (Quinlan, 1986).
- *Eksik veri:* Örneklem kümesindeki kayıtların eksik olması ya da bazı kayıtlar için bazı niteliklerin veya nitelik değerlerinin olmamasıdır. Bu eksiklik; hatalı ölçüm araçlarından, veri toplama sürecinde deneyin tasarımında yapılan değişiklikten ya da birbirine benzer ancak özdeş olmayan veri kümelerinin birleştirilmesinden kaynaklanıyor olabilir.
- *Artık veri:* Örneklem kümesi, eldeki probleme uygun olmayan, gereksiz nitelikler içerebilir, bunlara artık veri denir. Artık nitelikleri elemek için geliştirilmiş algoritmalar özellik seçimi olarak adlandırılır. Özellik seçimi, hedef bağlamı tanımlamak için yeterli ve gerekli olan niteliklerin küçük bir alt kümesinin seçilmesidir. Özellik seçimi yalnızca arama uzayını küçültmekle kalmayıp, sınıflama işleminin kalitesini de artırır (Almuallim ve Dietterich, 1991).
- *Null değerler:* Niteliğin bilinmeyen ve uygulanamaz bir değere sahip olduğunu gösterir. Veri kümelerinde yer alan null değerleri için çeşitli çözümler söz konusudur. Bunlar; null değerli kayıtlar tamamıyla ihmal edilebilir, null değerler yerine olası bir değer atanabilir. Bu değerler o nitelikteki en fazla frekansa sahip bir değer veya ortalama bir değer olabilir, varsayılan bir değer olabilir, null değerın kendisine en yakın değer olabilir (Quinlan, 1986).
- *Dinamik veri:* İçeriği sürekli olarak değişen veri tabanlarına dinamik veri tabanları denir. Bu veri tabanlarında veri madenciliği örüntüleri elde edildikten sonra değişen verilerin örüntülere yansımaları gerekmektedir. Bu işlem, veri madenciliği uygulamasının ürettiği örüntüleri değişen veriye göre, gereken yerlerini güncleme yeteneğine sahip olmasını gerektirir.

2.2.7.5. Veri Madenciliğinde Kullanılan Yaklaşımlar

Veri madenciliğinde sınıflandırma ve tahmin, kümeleme, birliktelik analizi ve ardışık analiz olmak üzere üç tür yaklaşım kullanılmaktadır.

2.2.7.5.1. Sınıflandırma ve Tahmin

Sınıflandırma, önceden belirlenen veri sınıflarına göre model geliştirilip bu modelin sınıflandırma için kullanıldığı iki adımlı bir süreçtir. Veri kümeleri önceden tanımlanmış bir sınıfa göre etiketlenmiştir. Bu veri kümeleri eğitim ve test veri kümesini oluşturmak üzere ikiye ayrılır. Eğitim veri kümesinden hareket edilerek test veri kümesindeki verilerin hangi sınıfa ait olduğu bulunur.

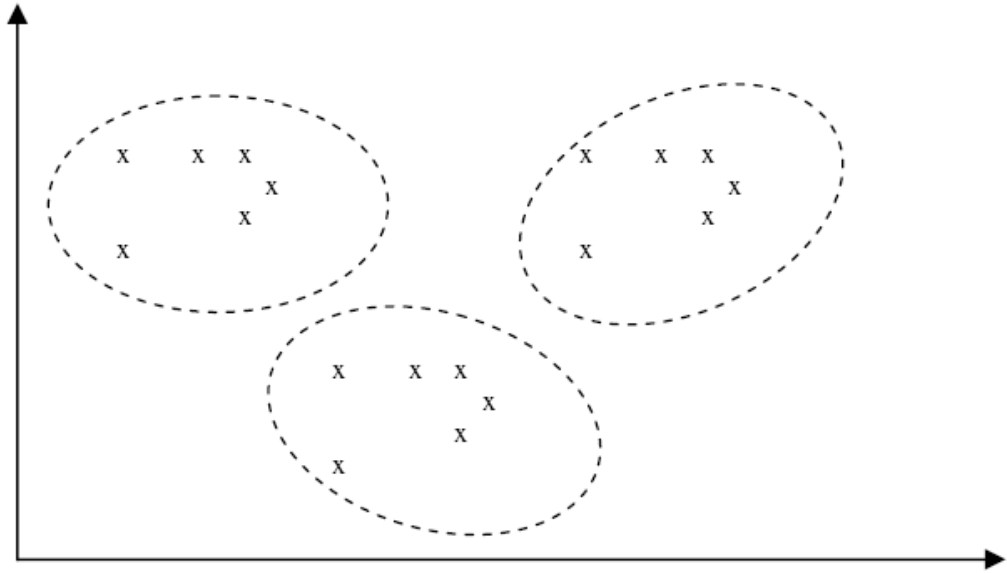
Sınıflandırma ve tahmin yöntemlerinde aşağıdaki karşılaştırma kriterleri önerilmiştir (Han, 2001):

- *Tahmin doğruluğu (Predictive Accuracy)*: Modelin yeni ya da daha önceden bilinmeyen bir verinin sınıf etiketinin doğru olarak tahmin edilme yeteneğidir.
- *Hız (speed)*: Modelin genelleştirilmesindeki hesaplama maliyetine karşılık gelir.
- *Sağlamlık (Robustness)*: Modelin, gürültülü ya da kayıp veri verildiğinde doğru tahmin yapma yeteneğidir.
- *Ölçeklendirilebilirlik (Scalability)*: Büyük miktarlarda veri verildiğinde, modeli etkin bir şekilde kurma yeteneğidir.
- *Yorumlanabilirlik (Interpretability)*: Model tarafından sağlanan anlaşılma seviyesidir.

2.2.7.5.2. Kümeleme

Kümeleme, nesneleri, benzer nesne sınıflarına gruplandırma işlemidir. Kümeleme algoritması, birbirine benzer nesnelerin aynı kümede, birbirinden farklı nesnelerin ayrı kümelerde yer almasıyla gerçekleştirilir (Chen, 2001).

Sınıflamanın tersine kümeleme önceden tanımlanacak hedef bir değişkene gereksinim duymaz. Şekil 2.13’de örnek bir kümeleme görülmektedir.



Şekil 2.13. Veri kümeleme (Aydoğan, 2008)

2.2.7.5.3. Birliktelik Analizi ve Ardışık Analiz

Birliktelik analizi, bir veri kümesindeki kayıtlar arasındaki bağlantıları arayan yönlendirilmemiş veri madenciliği şeklidir. Nitelikler arasındaki bütün kombinasyonlar çıkarılarak, her niteliğin bütün değerleri bütün kombinasyonlarda denenerek örüntüler keşfedilmeye çalışılır (Ağrawal ve ark., 1993).

Birliktelik analizi, pazar sepet analizi, katalog tasarımı, mağaza ürün yerleşim planı vb. alanlarda yaygın olarak kullanılır.

Ardışık analiz ise birbirleri ile ilişkisi olan ancak birbirini izleyen dönemlerde gerçekleşen ilişkilerin tanımlanmasında kullanılır (Akpınar, 2000).

Bazen ayrı bir veri madenciliği operasyonu olarak değerlendirilebilir.

2.2.7.6. Veri Madenciliğinde Sınıflandırma Problemleri için Kullanılan Yöntemler

Veri madenciliğinde sınıflandırma operasyonları bir dizi teknik ya da yöntem kullanılarak gerçekleştirilir. Her teknik için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda tanımlanmıştır.

2.2.7.6.1. Karar Ağacı ile Sınıflandırma Yöntemi

Karar ağacı, her iç düğümün (internal node) bir nitelik üzerindeki testini ve her dalın bu testin çıktısını gösterdiği, her yaprak düğümünün (leaf node) işe sınıfları ya da sınıf dağılımlarını temsil ettiği ağaç yapılı akış şemasıdır. En üstteki düğüm işe kök düğüm (root node) olarak adlandırılır (Han, 2001).

Tahmin edici ve tanımlayıcı özelliklere sahip olan karar ağaçları, veri madenciliğinde aşağıdaki sebeplerden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Han, 2001) :

- Kuruluşlarının ucuz olması,
- Yorumlanmalarının kolay olması,
- Veri tabanı sistemleri ile kolayca entegre edilebilmeleri,
- Güvenilirliklerinin daha iyi olması vb. nedenleri ile sınıflandırma modelleri içerisinde en yaygın kullanıma sahiptir.

2.2.7.6.2. Bayes ile Sınıflandırma Yöntemi

Bayes sınıflandırıcılar istatistikseidir. Verilen bir üyeliğin belli bir sınıfa ait olup olmaması gibi sınıf üyeliği olasılıklarını tahmin ederler.

2.2.7.6.3. Naive Bayes ile Sınıflandırma Yöntemi

Naive Bayes; hem tahmin edici hem de tanımlayıcı bir sınıflama tekniğidir. Her ilişkide koşullu bir olasılık türetmek için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi analiz eder.

2.2.7.6.4. k- en Yakın Komşuluk ile Sınıflandırma Yöntemi

En yakın komşuluk (k-NN), sınıflama modelleri için uygun olan tahmin edici tekniklerden biridir.

Modelde yeni bir vaka ortaya çıktığında; algoritmanın tüm veriyi inceleyerek buna en çok benzeyen vakaların bir altkümelerini oluşturduğu ve onları çıktığı tahmin etmek için kullandığı benzerlik ile öğrenmeye dayanan bir yöntemdir.

2.2.7.6.5. Vaka Tabanlı Nedenlesme ile Sınıflandırma Yöntemi

Sınıflandırmak için yeni bir vaka verildiğinde, vaka tabanlı nedenleyici benzer bir eğitim vakasının olup olmadığını kontrol eden, bulduğunda aynı çözüm uygulayan,

böyle bir vaka bulunamazsa, yeni vakanın bileşenlerine benzeyen eğitim vakalarını araştıran bir yöntemdir (Han, 2001).

2.2.7.6.6. Kaba Küme Teorisi ile Sınıflandırma Yöntemi

Kaba küme teorisi sınıflandırmada, kesin olmayan ya da gürültülü veri içindeki yapısal ilişkileri keşfetmek için kullanılmaktadır. Kesikli değerli niteliklere uygulanır. Sürekli değerli nitelikler, kaba küme uygulanmadan önce kesiklileştirilmelidir (Pawlak, 1982).

2.8. Genetik Programlama

2.8.1 Genetik Programlamanın Bileşenleri

Genetik Programlama, ele alınan problemin yapı taşlarından oluşturulan muhtemel ilkel çözüm tarzlarının belli bir uyum kriterine göre çevrilerek mükemmelleşmesini amaçlayan bir Evrimsel Algoritma tekniğidir (Koza, 1992; Koza, 1994).

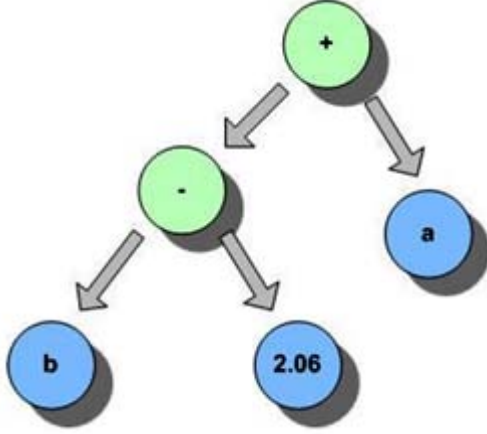
2.8.1.1 Terminal ve Fonksiyonlar

Teknik, ele alınan problemi çözmeye yönelik bir nesil ilkel yapının rastgele oluşturulması ile başlar. Bu yapılara kromozom (birey) da denir. Bireyleri oluşturabilmek için iki farklı sınıftan gelen nesneler kullanılır. Bu nesneler terminaller ve fonksiyonlardır. Terminaller problemin kurulmasına yarayan ve problemin tanımlanmasında doğrudan etkin olan değişkenler veya sabitlerdir. Örneğin; bir karıncanın besin bulma probleminde, karıncanın yaşamını devam ettirmesi için bulması gereken besinin, problemin tanımlı olduğu evrendeki konumu veya karıncanın bu evrendeki konumu besin bulma probleminde birer terminaldirler. Her problemim kendine has terminal yapısı vardır ve terminallerin seçimi konusunda kesin kurallar yoktur. Problemi Genetik Programlamaya uyarlayan kişiler bunları belirlerler (Ege, 2004).

Fonksiyonlar ise terminalleri belli bir işlem mantığına göre birleştirmeye yarayan nesnelerdir. Fonksiyonlar ve terminallerin hiyerarşik bir anlayış içinde anlamlı bir yapı oluşturacak şekilde birleştirilmesi sonucunda kromozomlar oluşur.

Genetik Programlamada kullanılan kromozomların yapısı şekil olarak bir kaynaktan çıkan ve daha sonra dallanıp budaklanan bir ağaca (tree) benzer. Terminaller ağaçsal

yapının dallanıp budaklanarak sonlandığı noktalara yerleştirilir. Fonksiyonlar ise bu uç noktalardan ağacın kaynağına kadar olan diğer bütün kısımlarda yer alırlar. Şekil 2.14’de matematiksel Terminal ve Fonksiyonlardan oluşturulmuş bir kromozomun ağaçsal yapısı gösterilmektedir



Şekil 2.14. Bir bireyin ağaçsal yapısı (Arslan,2005)

2.8.1.2 Uyumluluk (Fitness) Fonksiyonu

Nesildeki bireyler ele alınan problemin tipine ve tanımına göre matematiksel ya da işlevsel sonuçlar verirler. Bu sonuçlar, tanımlanmış bir prosedüre göre uyum diye adlandırılan, bireyin problemi çözebilme yeteneğini gösteren bir tür sayısal niceliğe çevrilirler ve bu niceliğe göre sıralanırlar. Sıralanan bireylerin bir kısmı, yine çoğu kez uyumlarına dayanan bir prosedüre (Genetik İşlemciler) göre seçilirler. Bu temel genetik işlemciler;

Yeniden Üreme, Çaprazlama ve Mutasyon olarak özetlenebilir (Arslan,2005).

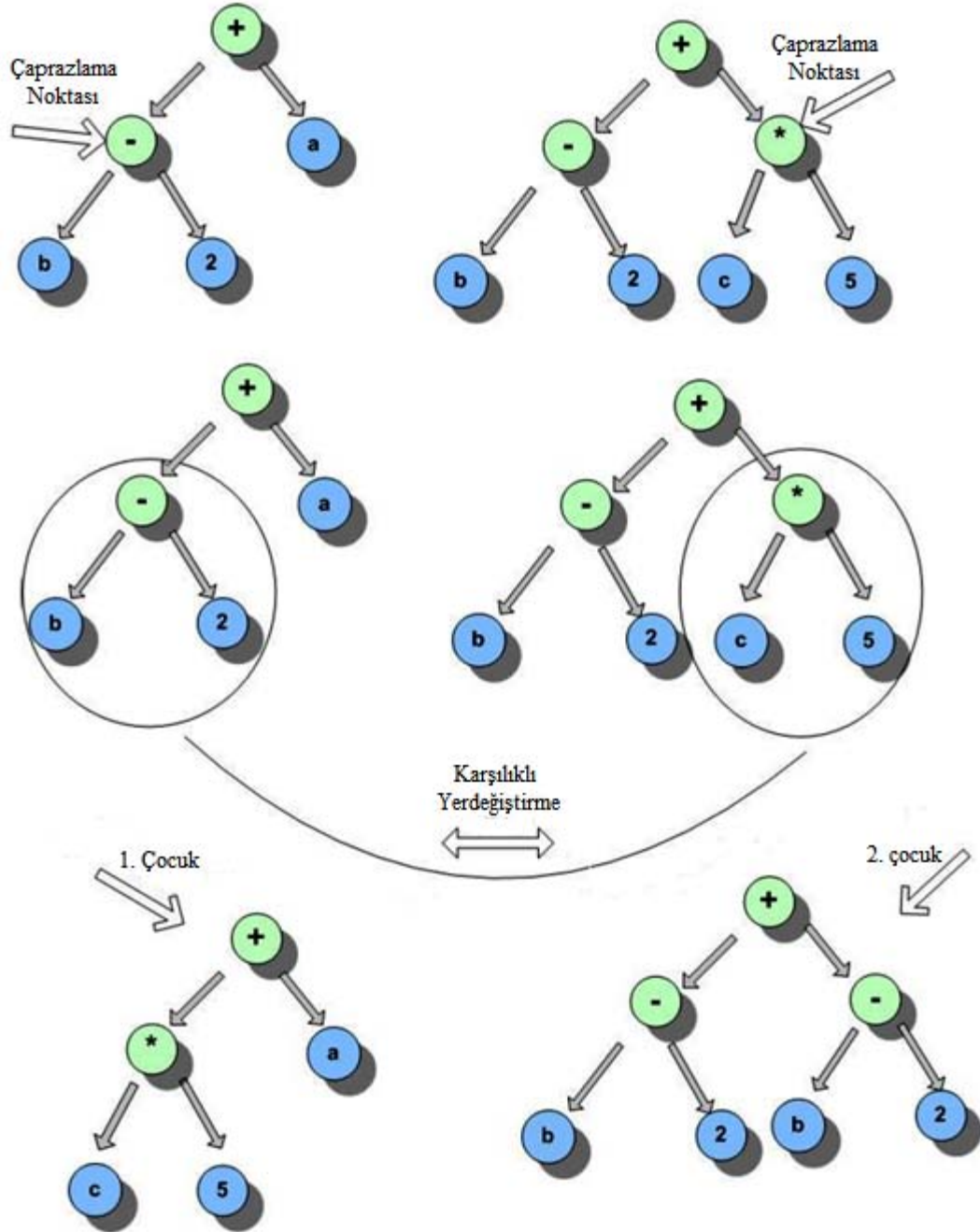
2.8.1.3 Genetik İşlemciler

2.8.1.3.1 Yeniden Üreme (Reproduction)

Seçilen bireylerden bazıları gelecek nesile doğrudan aktarılır (yeniden üreme). Bir kısmı da gelecek nesile bazı farklılaşma işlemlerinden geçirilerek yeni bir birey olarak girerler (Arslan,2005).

2.8.1.3.2 Çaprazlama (Crossover)

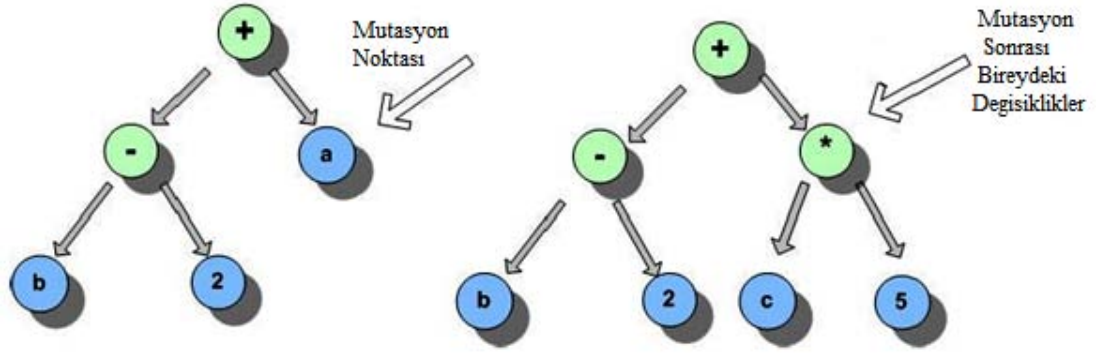
Çaprazlama bu farklılaşmayı sağlayan işlemlerden biridir. Seçilmiş iki birey onları oluşturan ağaçsal yapıların herhangi bir noktasından ikiye parçalanır. Ayrılan parçalar çapraz olarak yer değiştirirler. Şekil 2.15’de çaprazlama öncesinde varolan iki birey ve bu çaprazlama sonrası oluşan iki yeni birey örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.15. Çaprazlama için seçilmiş iki birey ve bireylerin seçilmiş çaprazlama noktaları ile çaprazlama sonrası oluşan yeni bireyler (Arslan,2005)

2.8.1.3.3 Mutasyon (Mutation)

Mutasyon seçilen bir bireyin ağaç yapısının herhangi bir noktadan kırılması ve kırılan noktanın altında kalan bölgeye yeni bir ağaçsal yapı eklenmesi ile yeni bir birey elde edilmesi işlemidir. Şekil 2.16'da mutasyon için seçilen bir birey ve bireyden mutasyon sonucu elde edilen yeni birey gösterilmektedir (Arslan,2005).



Şekil 2.16. Mutasyon için seçilmiş birey ve bireyin seçilmiş mutasyon noktası ve mutasyon sonrası oluşan yeni birey (Arslan,2005)

Çaprazlama yeniden üreme ve mutasyon işlemlerin belli bir oranda uygulanması sonucu eski nesilden yeni bir nesil elde edilir. Bu yeni nesil de yukarıda anlatılan işlevlerden geçirilerek başka nesillerin oluşmasını sağlayacaktır. Ne zaman herhangi bir nesilde elde ettiğimiz bireylerden bir tanesi istediğimiz sonuca ulaşırsa Genetik Programlama yöntemi o zaman sonlandırılır. Yöntem bu en iyi sonuç veren bireyi problemin çözümü olarak sunar.

2.8.1.4 Genetik Programlamanın Aşamaları

Genetik Programlamanın aşamaları şu şekilde sıralanabilir;

Birey havuzunun (popülasyonunun) rastgelelikten de yararlanarak oluşturulması. Bir durma koşulu sağlanıncaya kadar aşağıdaki eylem dizisini yinelemesi:

- Havuzda oluşan bireylerin herbirisinin kodladığı problem çözümünün kalitesinin değerlendirilmesi.
- Bu değerlendirmenin ışığında evrimsel işlem yapıcılar (işlemciler) uygulayarak havuzu değişikliğe uğratması.

Seçim (selection) : Değişikliğe uğramış bir havuzdan bir sonraki kuşağa hangi bireylerin aktarılacağını seçimidir.

Yeniden Üretim : Seçilen bireylerden hangilerinin diğer hiçbir genetik operatör tarafından değişikliğe uğramadan (çaprazlama, mutasyon) yeni nesile aktarılmasının seçimine denir.

Çaprazlama : Havuzdaki bireylerden bazılarının eşleştirilmesi ve bu ata olarak adlandırılan bireylerin gen bilgilerini içeren, çocuk olarak adlandırılan, yeni kromozomların üretilmesidir. Böylece her çocuğun her bir geni atalarından birisi ile aynı olacaktır.

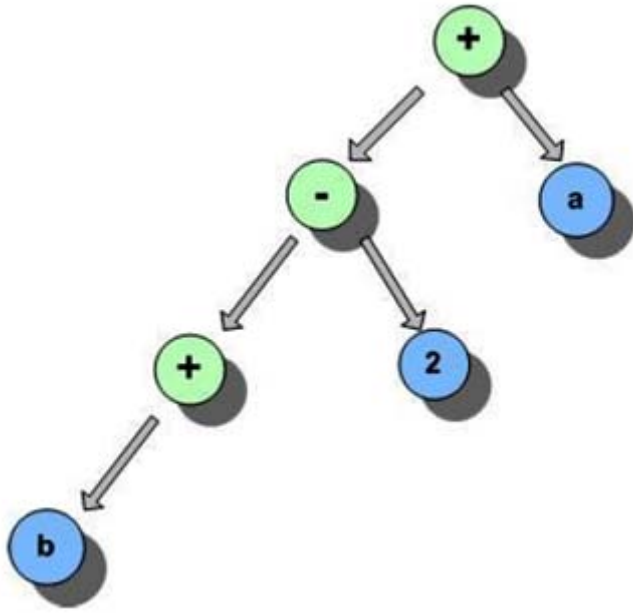
Mutasyon : Doğadakine pek benzer olarak, havuz bireylerinin arasından rasgele seçilenlerinin bazı gen değerlerinin rasgele değiştirilmesidir.

2.8.1.4.1 Birey Havuzunun Oluşturulması

Genetik programlarda başlangıç popülasyonları problem çözümüne ulaşmada çok önemli bir etkidir. Bu nedenle probleme uygun "başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemi" seçilmelidir. Bu yöntem deneme yanılma yöntemi ile aşağıda listelenmiş bazı başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemleri arasından seçilebilir.

Büyüme Yöntemi (Grow Method)

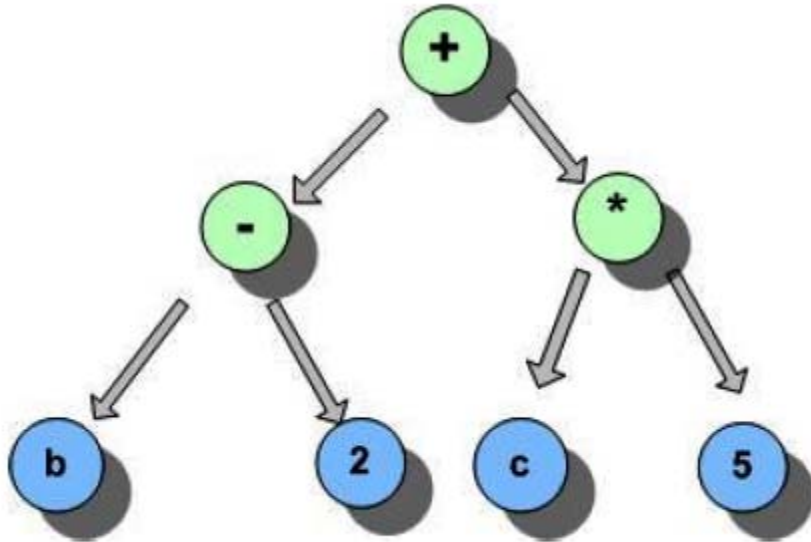
Bu yöntem ile oluşan bireyler m derinliğine sahip ağaçlardır. Algoritması; ağacın kökünden (root) başlayarak, yapraklar (node) rastgele seçilen fonksiyon yada terminallerle doldurulur. Burada bir kökün yapraklarının aynı derinlikte olması gerekmez farklı farklı derinliklerde olabilirler. Sekil 2.17’de Büyüme yöntemi ile oluşturulmuş ağaç yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Büyüme yöntemi ile oluşturulmuş ağaç yapısı (Arslan,2005)

Doyurma Yöntemi (Full Method)

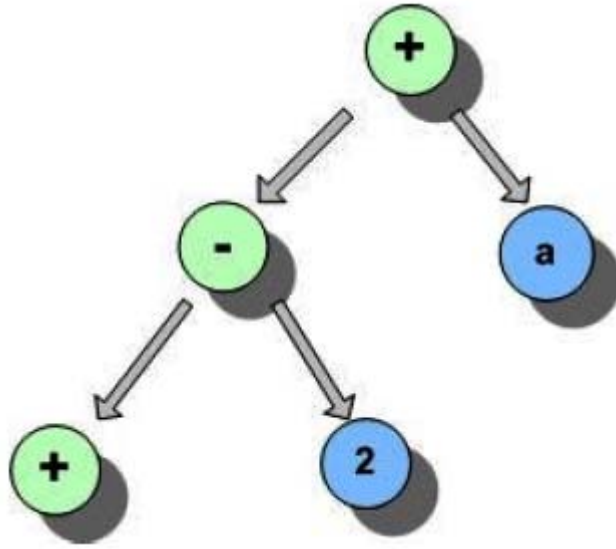
Bu yöntem Büyüme yöntemine çok benzer fakat burada kökün bütün yapraklarının aynı uzunlukta olması ve ağacın maksimum derinliğine (m) eşit olması gerekir. Şekil 2.18’de Doyurma yöntemi ile oluşturulmuş ağaç yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Doyurma yöntemi ile oluşturulmuş ağaç yapısı. Açıklaması (Arslan,2005)

Yarı-Yarı Dağıtma Yöntemi (Ramped Half-And-Half Method)

Bu yöntem Koza'nın (1992) ortaya çıkarttığı yukarıda bahsedilen iki popülasyon oluşturma tekniğini de kapsayan bir yöntemdir. Buna göre kökün bir yaprağı büyüme yöntemi ile oluşturulurken bir yaprağı doyurma yöntemi ile oluşturulur. Şekil 2.19'da Yarı-yarı Dağıtma yöntemiyle oluşturulmuş ağaç yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.19. Yarı-yarı Dağıtma yöntemiyle oluşturulmuş ağaç yapısı (Arslan,2005)

2.8.1.4.2 Uyumluluk (Fitness) Fonksiyonunun Belirlenmesi

Uyumluluk fonksiyonu popülasyondaki bireylerin, problem gözönüne alındığında ortama olan uyumlarını ölçmekte kullanılan bir fonksiyondur. Uyumluluk fonksiyonu da tıpkı terminal ya da fonksiyonlar gibi probleme göre ve Genetik Programlama modelleyicisine göre değişiklik gösterecektir ve uyumluluk fonksiyonunun seçiminde kesin kurallar yoktur. Uyumluluk fonksiyonu, popülasyondaki her bir bireyi parametre olarak alan ve bu bireylerin ortama uyumluluklarını karşılaştırabilmemizi sağlayacak şekilde uyumluluk değerlerini oluşturup geri döndüren ve gerçekleştirimi problemden probleme ve Genetik Programlama modelleyicisinden diğer Genetik Programlama modelleyicisine değişen bir fonksiyondur.

2.8.1.4.3 Uyumluluk Fonksiyonunun Çesitleri

Hata Tabanlı (Error-based): Uyumluluk fonksiyonunun hata bazlı olması toplam hataya göre ters orantılı olmasıdır.

Maliyet Tabanlı (Cost-based): Uyumluluk fonksiyonunun kullanılan kaynakla ters orantılı olması (zaman, yer, para, kullanılan materyal, ağacın yapraklarının sayısı) dır.

Fayda Tabanlı (Benefit-based): Uyumluluk fonksiyonunun alınan faydayla doğru orantılı olmasıdır.

Cimrilik Tabanlı (Parsimony-base): Uyumluluk fonksiyonun bireylerin sadeliği ile doğru orantılı olmasıdır.

Enropy Tabanlı (Entropy base): Uyumluluk fonksiyonunun bir bireyler topluğunun istatistiksel doğruluğuna doğru ya da ters orantılı olmasıdır.

2.8.1.4.4 Seçim (Selection)

İşlemlerin uygulanacağı bireylerin seçiminde kullanılan yöntemi ifade eder. Problem tipine göre seçim yöntemlerinden biri seçilir. Herbirinin kendine has avantaj ve dezavantajları vardır (Hancock, 1994).

Aşağıda seçim yöntemlerinden birkaçı sıralanmıştır (Maza and Tidor, 1991).

Turnuva Seçimi (Tournament Selection)

Uyum-Oranlı Seçimi (Fitness-Proportionate Selection)

Sigma Skalalı Seçimi (Sigma Scaling Selection)

Sıralama Seçimi (Ranking Selection)

2.8.1.4.5 Çaprazlama

Havuzdaki bireylerden bazılarının eşleştirilmesi ve bu ata olarak adlandırılan bireylerin gen bilgilerini içeren, çocuk olarak adlandırılan, yeni kromozomların üretilmesidir. Böylece her çocuğun her bir geni atalarından birisi ile aynı olacaktır. Çaprazlamaya aynı zamanda sexual reproduction da denir. Çaprazlamada havuzdaki bireylerden rastgele iki birey seçilir. Bu bireylerden birincisine, birinci ata ikincisine, ikinci ata denir. Bu bireylerden yine rastgele bir çaprazlama noktası işaretlenir. Bu

noktaya çaprazlama noktası (crossover point) denir. Bu çaprazlama noktası kökün dışında her yerde olabilir. Sonrasında birinci atanın çaprazlama noktasının altında kalan alt ağaç ile ikinci atanın çaprazlama noktasının alt ağacı karşılıklı yer değiştirilir. Oluşan yeni ağaçlara birinci çocuk ve ikinci çocuk denir. Genellikle çaprazlama oranı 0.5-0.9 arasında alınır (Arslan,2005).

2.8.1.4.6 Mutasyon

Mutasyonda havuzdaki bireylerden rastgele bir tanesi seçilir. Bu seçilen bireyden rastgele bir nokta belirlenir. Bu belirlenen noktaya mutasyon noktası (mutation point) denir. Seçilen noktanın alt ağacındaki bütün terminaller silinerek yerlerine aynı terminal setinden rastgele seçilen yeni terminaller girilir. Aynı şekilde alt ağaçta bulunan bütün fonksiyonlar silinerek aynı fonksiyon setinden bulunan rastgele seçilen yeni fonksiyonlar girilir. Mutasyon bizi Genetik Programlamada zaman zaman rastladığımız local minimum yada local maksimumlardan kurtulmamızı sağlar. Genellikle mutasyon oranı 0.01-0.05 arasında alınır (Arslan,2005).

2.8.1.5 Genetik Programın Parametrelerinin Belirlenmesi

Genetik parametrelerin belirlenmesi problemin türüne göre değişiklik arzeder. Hangi probleme hangi değişkenlerin daha uygun olduğunu ya daha önce yapılmış doğruluğu ispatlanmış deney sonuçlarından ya da deneme yanılma yöntemini kullanarak bulunur.

Popülasyonun boyutu (Population Size): Genetik programda her bir nesilde oluşturulacak bireylerin sayısını ifade eder.

Çaprazlama olasılığı (Crossover Probability): Bir sonraki nesilde yaşamını sürdürecektir bireylerin belirlenmesi işleminde çaprazlama operatörünün kullanılma olasılığını ifade eder. Genellikle 0.5 ile 0.9 arasında değişen oranlarda seçilir.

Mutasyon olasılığı (Mutation Probability): Bir sonraki nesilde yaşamını sürdürecektir bireylerin belirlenmesi işleminde mutasyon operatörünün kullanılması olasılığını ifade eder. Genellikle 0.01 ile 0.1 arasında alınır.

Birey seçim yöntemi (Individual Selection Method): Bir sonraki nesilde yaşamını sürdürecektir bireylerin belirlenmesi işleminde çaprazlama ve mutasyon gibi işlemlerin uygulanacağı bireylerin seçiminde kullanılan yöntemi ifade eder.

Sonlandırma kriteri (Termination Criterion): Genetik programın sonlandırılması gerekip gerekmediğini belirleyen kriterdir. Örneğin, Genetik Programlama modelleyicisi belli bir süre sonunda genetik programın sonlandırılması gerektiğini düşünüyorsa programı bu süre kriterine göre tasarlayabilir. Maksimum nesil sayısı da (aşağıda açıklanacak) bir sonlandırma kriteri olabilir. Programın herhangi bir bireyin aranan uygunluk aralığına ulaştığını tespit etmesi de bir sonlandırma kriteri olabilir.

Maksimum Nesil Sayısı (Maximum Number of Generations) : Genetik Programda üretilcek maksimum nesil sayısını ifade etmektedir. Program maksimum nesil sayısına ulaştığında sonlandırılır.

Çaprazlama sonrasında oluşacak program ağaçlarının maksimum derinliği (Maximum Depth of Tree After Crossover) : Çaprazlama sonrasında çok büyük programların oluşması engellenmek istenirse, bu parametre ile oluşacak programların boyutları sınırlandırılabilir.

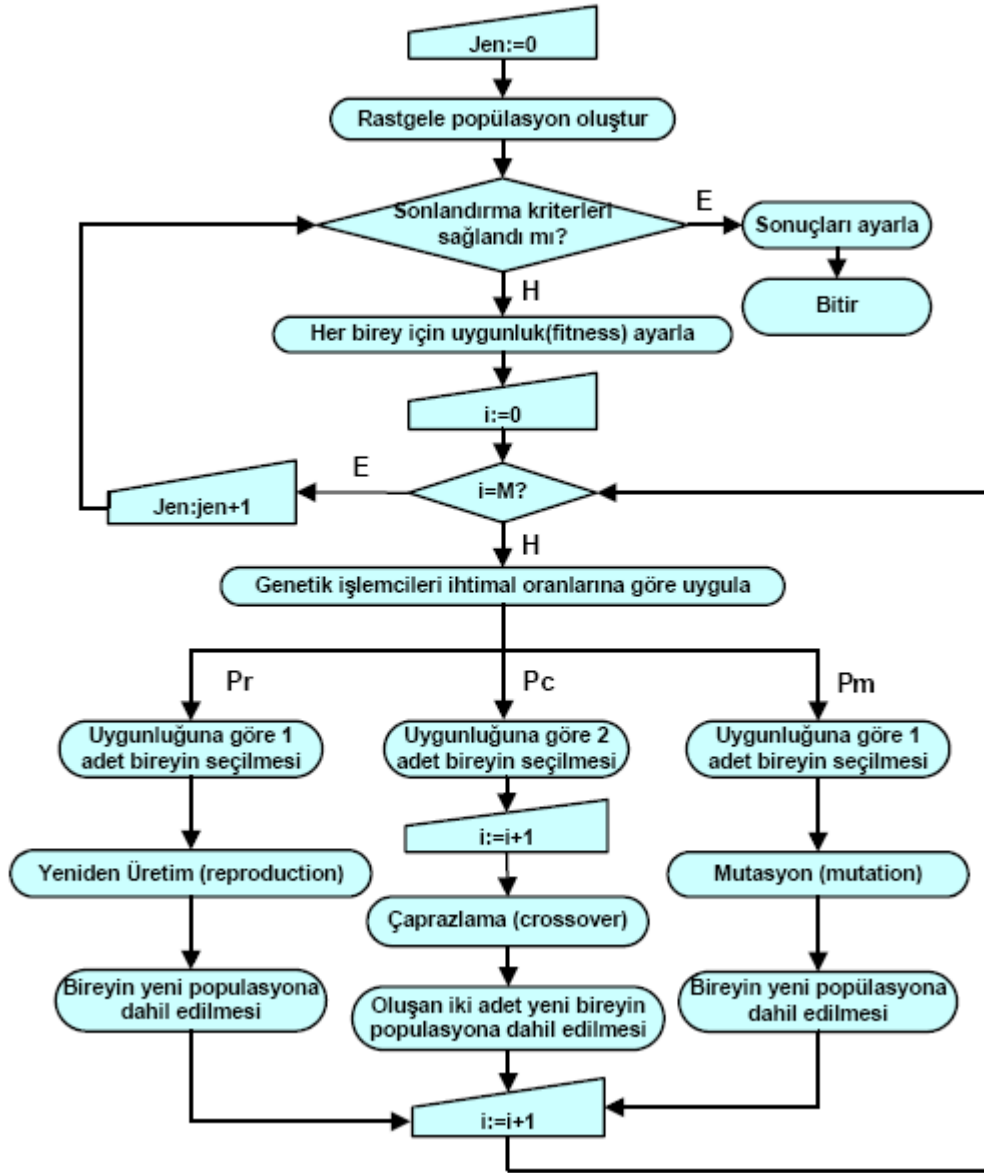
Mutantların (Mutasyon sonrasında) maksimum derinliği (Maximum Mutant Depth) :

Mutasyon sonrasında çok büyük programların oluşması engellenmek istenirse, bu parametre ile oluşacak programların boyutları sınırlandırılabilir.

Baslangıç popülasyonu oluşturma yöntemi (Population Initialization Method) :

Genetik programlarda başlangıç popülasyonları problem çözümüne ulaşmada çok önemli bir etkidir. Bu nedenle probleme uygun "başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemi" seçilmelidir.

Şekil 2.20’de Genetik Programlamanın akış şeması görülmektedir;



Şekil 2.20. Genetik Programlamanın akış şeması (Arslan,2005)

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Proje kapsamında haberleşme kablolarının elektromanyetik uyumluluk testleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Haberleşme kablolarının EMC testlerinin yapılması için seçilen metot ‘Mode Stirrer Reverberation Chamber Metodu’dur (MSRCM). Bu çalışma için De Monfort Univeritesi (Leicester / İngiltere) EMC gurubu tarafından testleri yapılacak kablolar için tasarlanan RC’nin fiziksel standartları kullanılmıştır. Bu testler için gereken düzeneğin (spektrum analizör, yansımali oda vb.) maliyetinin fazla olmasından dolayı ölçümlerin bilgisayar ortamında simülasyonlarla yapılmasına karar verilmiştir. Simülasyonlar için kullanılmak üzere Computer Simulation Technology (CST) tarafından geliştirilen MicroStripes 7.5 programı seçilmiş ve daha sonra simülasyonlardan elde edilen sonuçların Matlab 7.1 programında derlenip, L’Aquila üniversitesi UAq EMC laboratuvarı tarafından geliştirilen Feature Selective Validation (FSV) tool programı ile sonuçların karşılaştırılmasına karar verilmiştir.

3.1.1. Deney Düzeneği

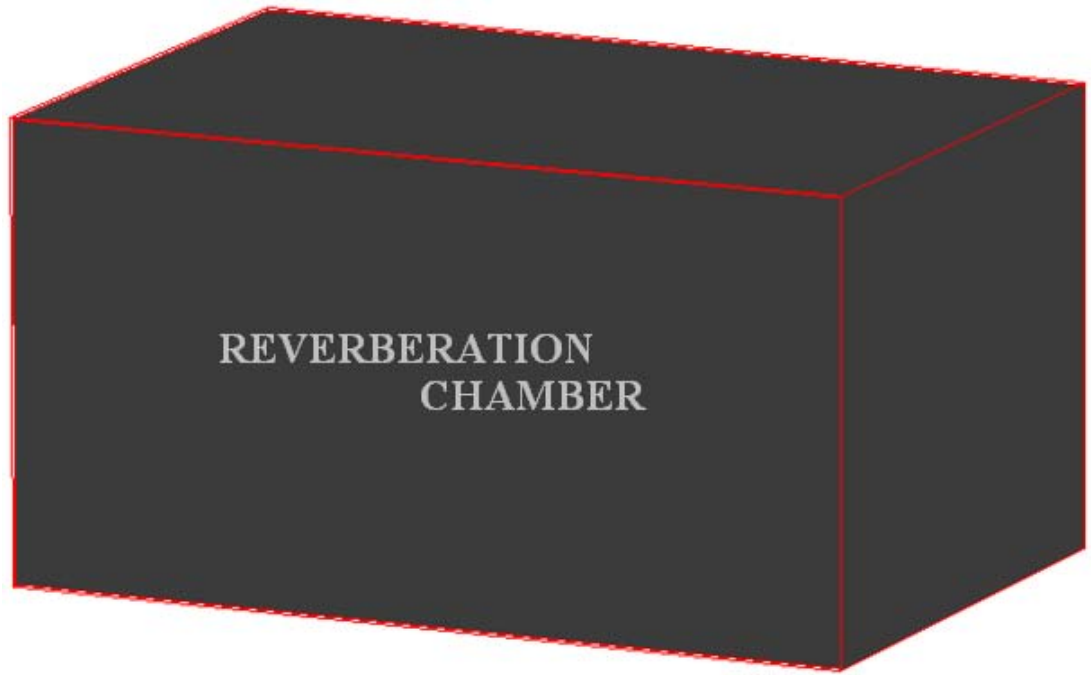
Daha önceden de belirtildiği gibi proje kapsamında haberleşme kablolarının elektromanyetik uyumluluk testleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu testler temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır.

- 1- RC içinde oluşan alan değerlerinin ölçülmesi (Model-1).
- 2- Koaksiyel kablonun uçlarında ki sonlandırma dirençleri üzerinde oluşan akım ve gerilim değerlerinin elde edilmesi (Model-2).

Model-1 ile model-2 fiziksel olarak aynı olmalarına karşın aralarında bazı değer farklılıkları vardır. Bu farklar daha sonraki kısımlarda ele alınacaklardır.

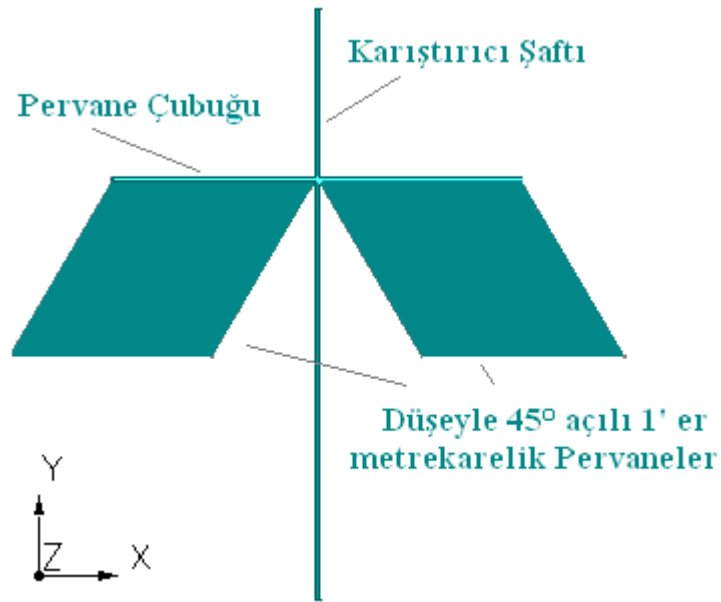
3.1.1.1. Reverberation Chamberin ve Karıştırıcının (Stirrer) Tasarımı

RC boyutları gerçek hayatta var olanıyla (De Monfort Üniversitesi Leicester / İngiltere) tamamen aynı boyutlarda (5 m uzunluk 2.36m yükseklik 2.95 m genişlik) tasarlanmıştır (Şekil 3.1).



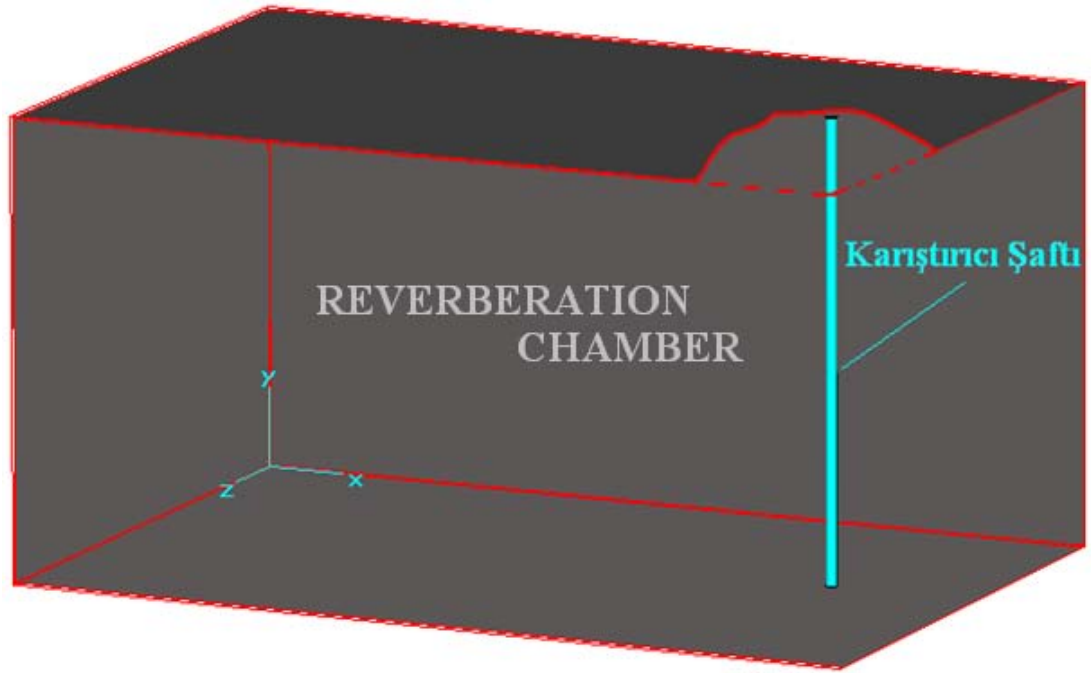
Şekil 3.1. RC'nin fiziksel görünüşü

Daha sonra RC içinde uniform alan elde etmek amacı ile kullanılacak karıştırıcının tasarlanması aşamasına geçilmiştir. Simülasyonlarda standart karıştırıcı boyutları esas alınmıştır (Standart karıştırıcı 2 tane 1'er m²'lik alüminyum levhalardan yapılmış olup bu levhalar düşeyle 45° lik açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır).



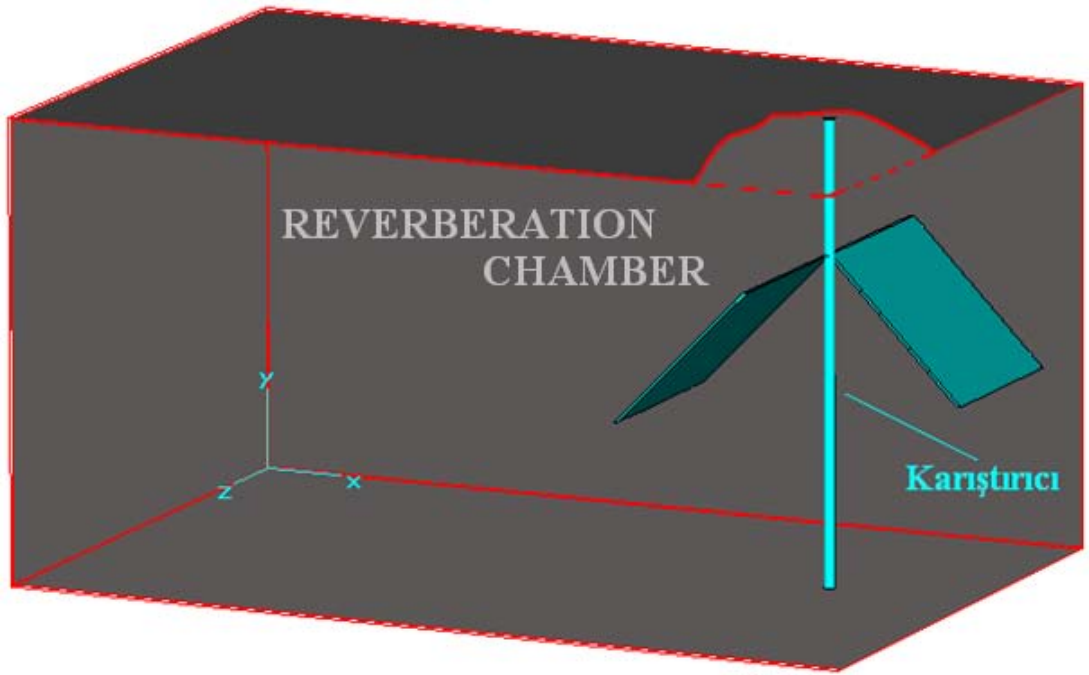
Şekil 3.2. Karıştırıcının genel görünüşü

Karıştırıcının tasarlanmasına ilk olarak karıştırıcı şaftından başlanmıştır. Karıştırıcı şaftı gerçeği ile aynı konum ve doğrultularda tasarlanmıştır.



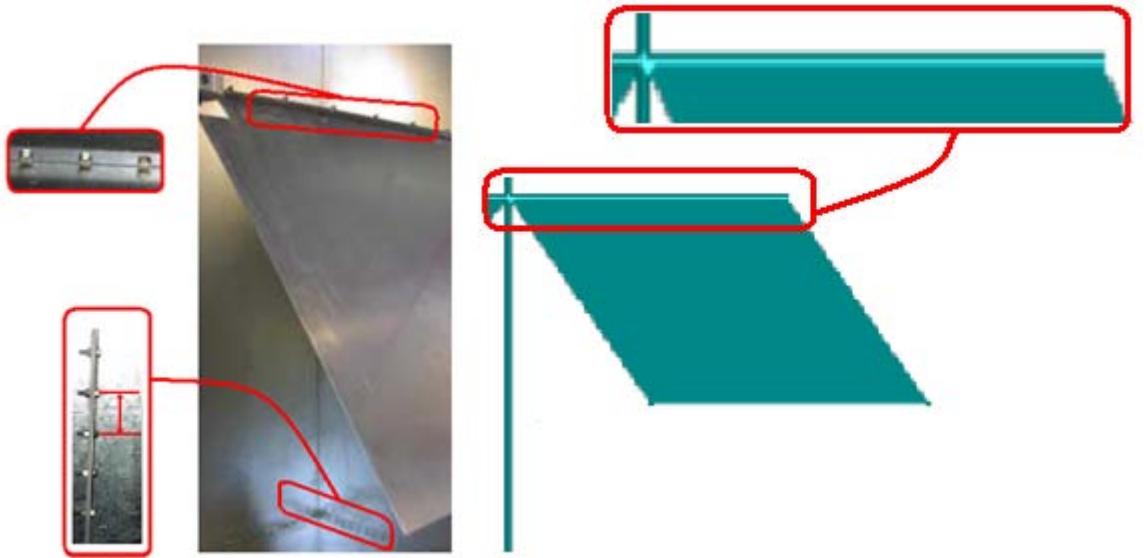
Şekil 3.3. Karıştırıcı şaftının genel görünüşü ve RC içindeki konumu

Daha sonra karıştırıcının geri kalan kısımları (pervane çubuğu, pervane vb) ayrı ayrı modellenip birleştirilmiş ve böylelikle simülasyonlar ve rotasyonlar arasında karıştırıcının açısının değiştirilebilmesi sağlanmış olunmuştur (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Standart karıştırıcının genel görünüşü ve RC içindeki konumu

Tüm bu tasarımlar esnasında pervane çubukları üzerindeki 5 cm’lik kenarlar, simülasyonun içinde karışıklığa sebep olmaması ve boyutlarının küçüklüğünün sonuçlara etkisinin çok az olmasından dolayı ihmal edilmişlerdir (Şekil 3.5.). Daha sonra tasarlanan sistemin metalik özellikleri RC için çelik, karıştırıcı için ise alüminyum malzemeler olarak tanımlanmıştır.



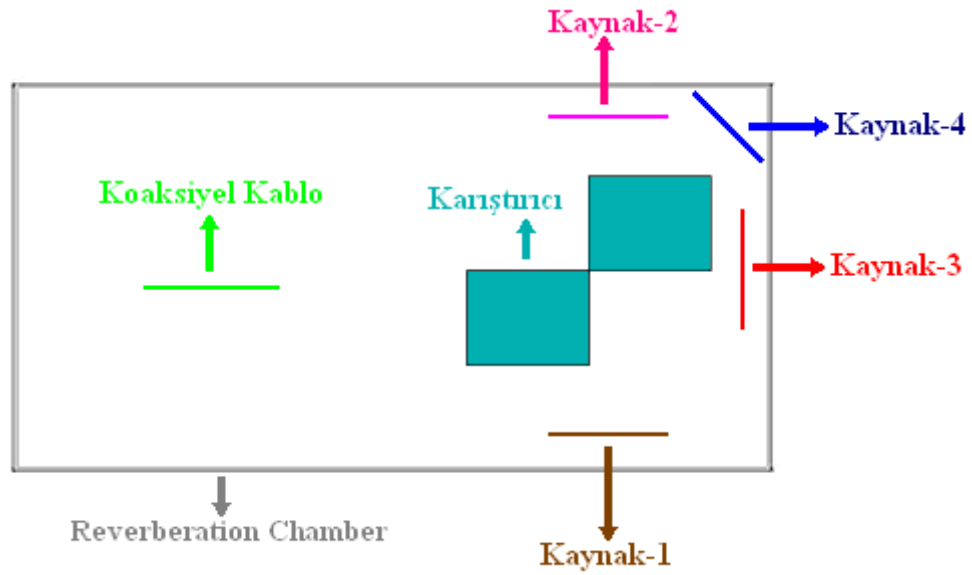
Şekil 3.5. Model tasarımındaki ihmalller

3.1.1.2. Verici Antenlerin Tasarımı ve Reverberation Chamber İçindeki Lokasyonları

Yapılan ölçümler için minimum çalışma frekansı RC'nin minimum çalışma frekansının ($\cong 180$ MHz) oldukça altında olacak şekilde düşük frekanslar seçilmiş ve bu simülasyonların amacının bir parçası da bu minimum çalışma frekansını belirlemektir. Tüm simülasyonlar için 50-500 MHz frekans aralığı kullanılmıştır.

RC içinde elektromanyetik alan verici antenler kullanılarak oluşturulmuştur (Bu antenler 30 MHz – 2000 MHz frekans aralığında emisyon ve immunité testlerinde kullanılırlar).

Simülasyonların asıl amaçlarından bir tanesi de RC içine kaynağın farklı pozisyon veya konumlarda yerleştirilerek, koaksiyel kabloların testlerinin yapıp farklı kaynak kombinasyonları ile test metotlarının geliştirilmesini sağlamaktır. Bu amaçla tüm simülasyonlarda RC içinde kullanılan verici anten için 4 farklı pozisyon seçilmiştir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Simülasyonlarda kullanılan kaynakların lokasyonları

Kaynakların lokasyonları;

Kaynak-1 için: $X_{\min}=3.2$ $Y_{\min}=1.18$ $Z_{\min}=2.775$, $X_{\max}=4.2$ $Y_{\max}=1.18$ $Z_{\max}=2.775$.

Kaynak-2 için: $X_{\min}=3.2$ $Y_{\min}=1.18$ $Z_{\min}=0.175$, $X_{\max}=4.2$ $Y_{\max}=1.18$ $Z_{\max}=0.175$.

Kaynak-3 için: $X_{\min}=4.825$ $Y_{\min}=1.18$ $Z_{\min}=0.975$, $X_{\max}=4.825$ $Y_{\max}=1.18$ $Z_{\max}=1.97$.

Kaynak-4 için: $X_{\min}=4.0$ $Y_{\min}=1.18$ $Z_{\min}=0$, $X_{\max}=5.0$ $Y_{\max}=1.18$ $Z_{\max}=1.0$.

Kaynak 1, 2 ve 4 ile yapılan testlerde verici anten ile test altındaki cihazın birbirlerini direkt olarak görmelerinden kaçınmak için verici anten RC'nin köşelerine yerleştirilmiş ve tüm kaynaklar için uygun yayılım yönleri seçilmiştir (Petirsch, M., Sottriffer, I., ve Schwab,1999).

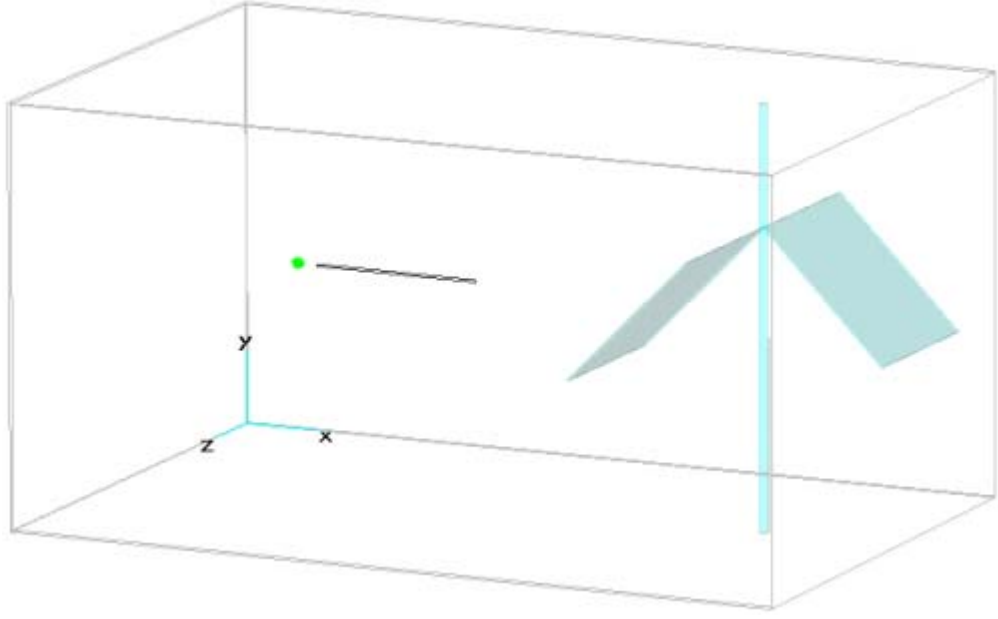
Antenlerin bu yolla düzenli bir şekilde yerleştirilmeleri ile potansiyel yayılım yollarının sayısı ve bununla birlikte sistemin de randomnessı artırılmış olmuştur.

3.1.1.3. Alıcı Antenlerin (Çıkış Noktaların) Tasarımı

Gerçek hayattaki uygulamalarda reverberation chamber metodunda sonuçların üretilmesi için verici antenin ve alıcı antenin (veya test altındaki cihazın) network analysera bağlı olması gerekir. Network analyserın çıkışı RC içinde elektromanyetik alan oluşturan verici antene bağlanmalıdır. Daha sonra network analyserın girişine alıcı anten veya test altındaki cihaz bağlanmalıdır. Network analyser RC'nin dışına yerleştirilmeli ve bu bağlantıların duvar geçiş konektörleri ile yapılması gerekmektedir. Ayrıca RC'nin içindeki ve dışındaki bağlantı kabloları için de, ölçüm sinyallerinde gürültü oluşturmamasını engellemek için daha iyi ekranlanmış kablolar kullanılmalıdır.

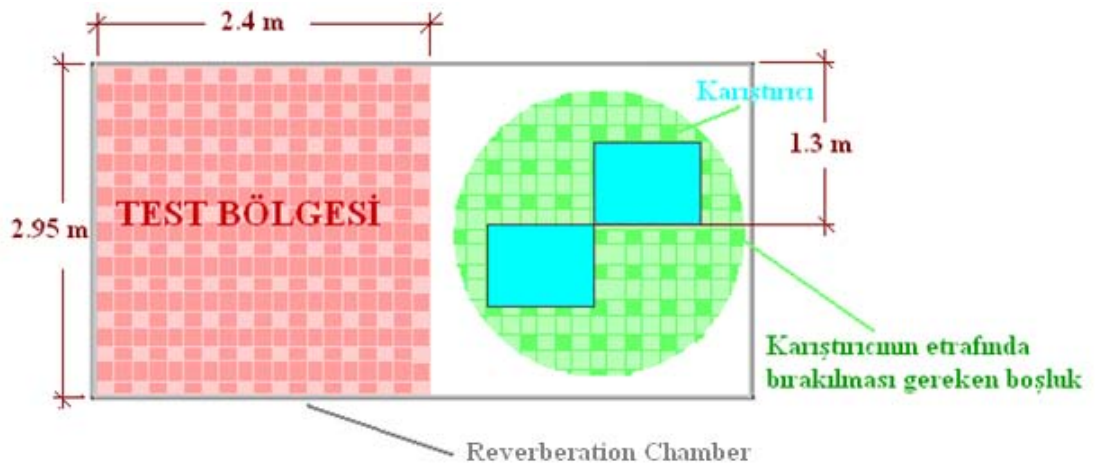
Simülasyonlarda ise RC içinde oluşan alan büyüklükleri ile gerilim ve akım değerlerinin elde edilmesi için alıcı anten görevi gören çıkış noktaları (output points) kullanılmıştır. Bu çıkış noktaları ölçülmek istenen değerlere (RC içindeki alan büyüklüğü ve kablo uçlarında ki sonlandırma dirençlerinde oluşan akım ve gerilim değerleri) bağlı olarak model-1 ve model-2 için farklı şekilde konumlandırılmışlardır.

Model-1 için çıkış noktasının birinci ayarı, tüm frekans aralığında (50-500 MHz) test bölgesinin merkezinde elektrik ve manyetik alan kuvvetlerinin elde edilmesi için yapılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Model-1'in çıkış noktası, karıştırıcı ve kablounun konumları

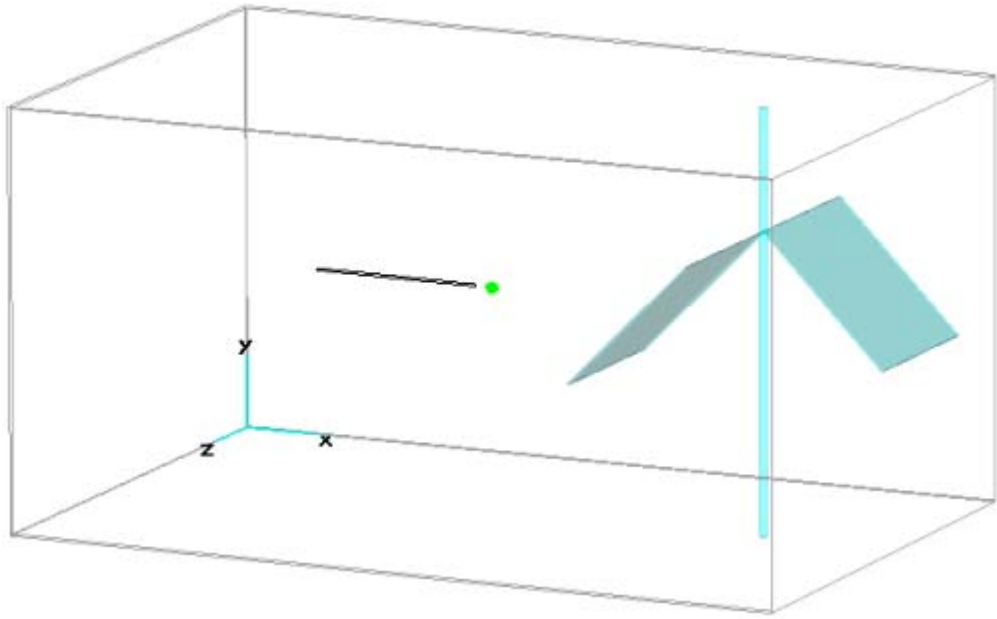
Test bölgesinin merkezinin seçilmesinin sebebi, test altındaki aygıtı RC'deki objelerden mümkün olan maksimum uzaklıkta tutmak içindir. Bundan dolayı test altındaki cihazın, test bölgesinin merkezine yerleştirilmesi gerekir. Böylece test altındaki aygıtta oluşan elektrik ve manyetik alanları doğru elde etmiş oluruz. Bu sonuçlardan, tüm frekans aralığı için RC'nin cevabı incelenebilir. Şekil 3.8. test bölgesi ile karıştırıcının çevresinde bırakılması gereken gerekli boşluğu göstermektedir.



Şekil 3.8. Test bölgesi ve karıştırıcının çevresinde bırakılması gereken boşluk

Ayrıca Model-1 in özel frekanslardaki (100MHz, 200MHz, 300MHz, 400MHz, 500MHz) elektrik ve manyetik alan cevaplarının elde edilmesi için çıkış noktasının ikinci ayarı yapılmıştır. Bu ikinci ayarın kullanılmasının nedeni, RC'nin tüm hacmi içindeki maksimum alan kuvveti yoğunluğunun hesaplanması içindir.

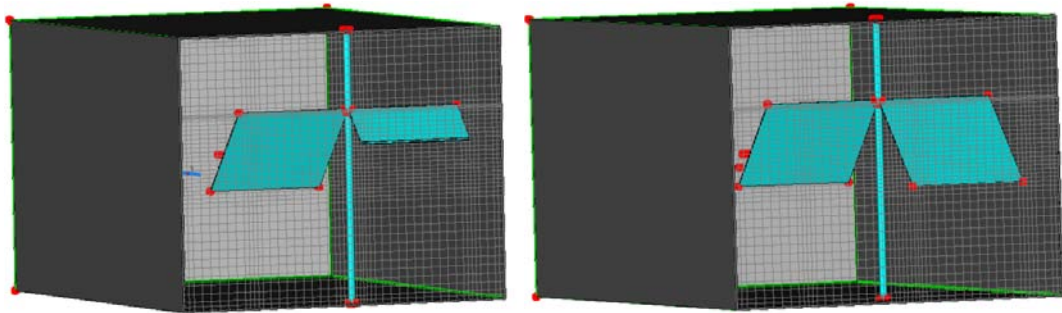
Model-2 için ise çıkış noktasının birinci ayarı, tüm frekans aralığında (50-500 MHz) koaksiyel kabloun uçlarında ki sonlandırma dirençleri üzerinde oluşan akım ve voltaj değerlerinin elde edilmesi için tasarlanmıştır (Şekil 3.9)



Şekil 3.9. Model-2'nin çıkış noktası, karıştırıcı ve kablo konumları

3.1.1.4. Simülasyonlar İçin Mesh Tanımı

Transmitting Line Matrix (TLM) programını çalıştırmak için chamber hacmi hücrelere bölünmelidir (CST kullanma kılavuzu).



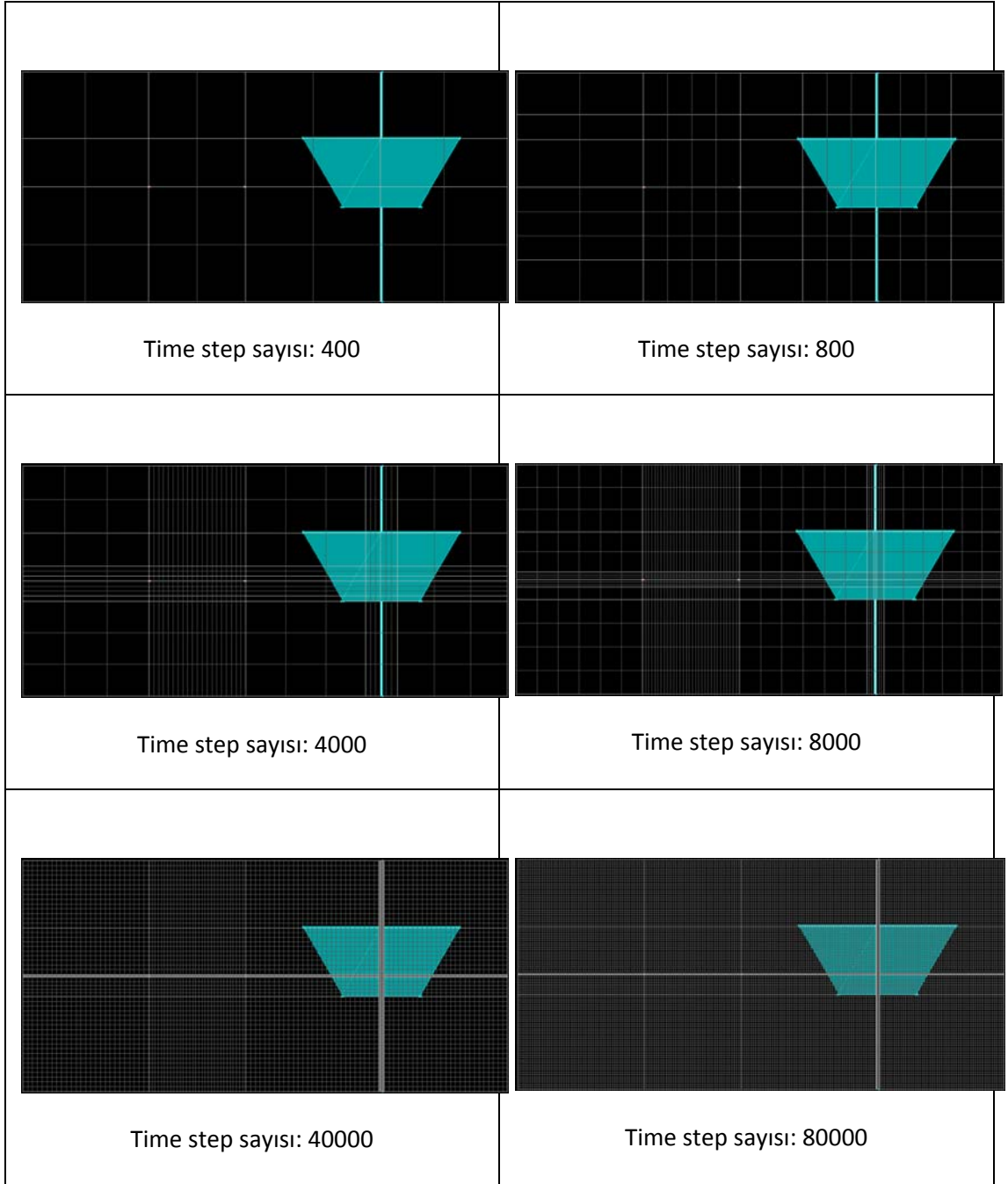
Şekil 3.10. Modelin mesh tanımı

RC'nin hücrelere bölünmesinin nedeni her zaman adımında, her bir hücre içerisindeki alanların komşuluktaki hücreler içerisine yayılmasını görmek içindir. Ayrıca RC boyunca yayılacak olan alanlar için gerekli zaman adım sayısı, model içerisindeki hücre sayısına bağlıdır ve kullanılan hücre sayısı ile simülasyonun çalışma süresi doğru orantılı olarak değişmektedir.

Çizelge 3.1'de maksimum hücre boyutu ile hücre sayısının değişimleri gösterilmiştir. Ayrıca bu değişimleri MicroStripe programında görsel olarak görmekte mümkündür (Şekil 3.11)

Çizelge 3.1. Hücre boyutu ile hücre sayısının ve zaman adımlarının değişimi

Maksimum hücre boyutu: 5 m	Minimum hücre boyutu: 0.5 m	Maksimum hücre boyutu: 2.5 m	Minimum hücre boyutu: 0.25 m
Hücre sayısı: 128		Hücre sayısı: 980	
Time step sayısı: 400		Time step sayısı: 800	
Maksimum hücre boyutu: 0.5 m	Minimum hücre boyutu: 0.05 m	Maksimum hücre boyutu: 0.25 m	Minimum hücre boyutu: 0.025 m
Hücre sayısı: 6825		Hücre sayısı: 22400	
Time step sayısı: 4000		Time step sayısı: 8000	
Maksimum hücre boyutu: 0.05 m	Minimum hücre boyutu: 0.005 m	Maksimum hücre boyutu: 0.025 m	Minimum hücre boyutu: 0.0025 m
Hücre sayısı: 516670		Hücre sayısı: 3136968	
Time step sayısı: 40000		Time step sayısı: 80000	



Şekil 3.11. Hücre sayılarının zaman adımlarına bağlı değişimleri

Bu hücrelerin maksimum boyutları sistem içinde bulunan cihazların boyutlarına göre seçilmelidir. Ayrıca simülasyon sonuçlarının daha doğru ve simülasyon süresinin kısa olması için seçilecek hücre boyutu optimum olmalıdır.

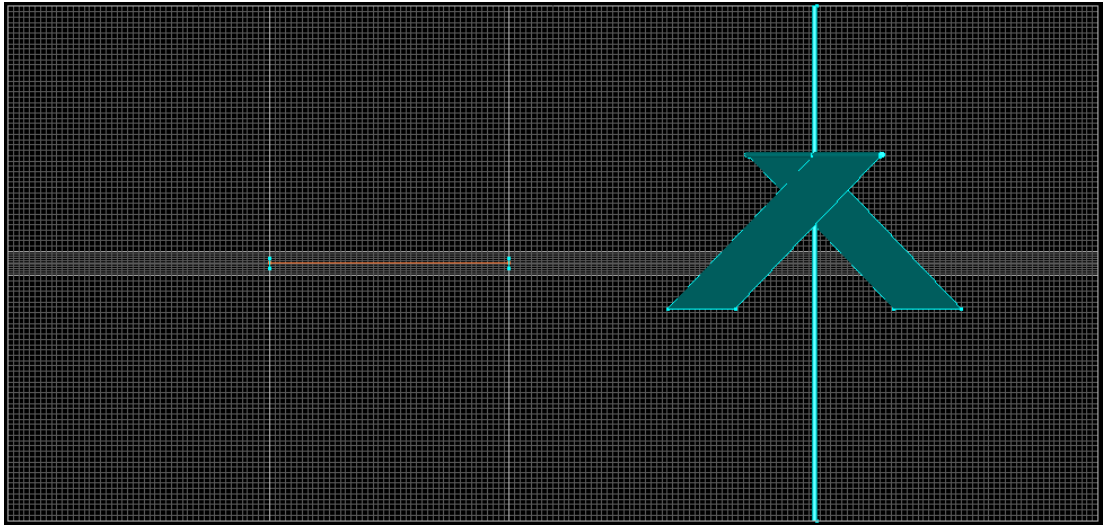
Modellerin (Model-1 ve Model-2) maksimum hücre boyutları 0.025 m seçilirken minimum hücre boyutları yapılan simülasyonların amaçlarına bağlı olarak her bir model için farklı seçilmiştir.

Yani chamberin elektromanyetik alanının hesaplandığı simülasyonlarda minimum hücre boyutu 0,0025 m seçilmiştir (model-1 için). Bu durumda sistemin toplam hücre sayısı 2736950 olarak elde edilmiş ve bu simülasyonların çözümleri 2.66 GHz 3.81 GB RAM bilgisayarda yaklaşık olarak 475 dakika sürmüştür.

Koaksiyel kablonun uçlarındaki sonlandırma dirençleri üzerinde oluşan voltaj ve akım değerlerinin ölçümünde ise minimum hücre boyutu 0.00025 m seçilmiştir (model-2 için). Fazla simülasyon süresinden kaçınmak için minimum hücre boyutunun sadece koaksiyel kablonun üzerine Y ve Z doğrultularında uygulanmasına, sistemin diğer alanları için ise 0.0025 m minimum hücre boyutunun kullanılmasına karar verilmiştir.

Model-2’de koaksiyel kablo uçlarına uygulanan minimum hücre boyutu ile diğer alanlara uygulanan minimum hücre boyutları arasındaki fark şekil 3.12’de gösterilmiştir.

Bu son şekli ile sistemin toplam hücre sayısı 2595600 olarak elde edilmiş ve bu simülasyonların çözümleri 2.21 GHz 2.00 GB RAM bilgisayarda 142 dakika sürmüştür.



Şekil 3.12. Koaksiyel kabloya ve tüm sisteme uygulanan mesh tanımı

3.1.1.5. Zaman Adımlarının Sayısı

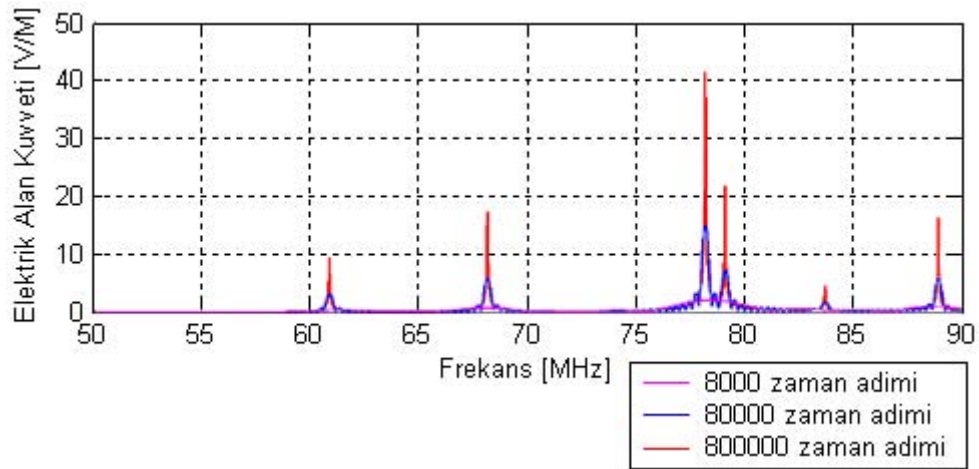
3.1.1.4'te de belirtildiği gibi simülasyonları çalıştırmak için gerekli olan toplam zaman uzunluğu mesh hücrelerin sayısına bağlıdır. Simülasyon sonuçlarının doğru ve geçerli olması için çok sayıda kısa periyotlu testler yapılmıştır. Dolayısıyla karıştırıcının farklı açılarında yapılan testler sonucu üretilen sonuçların hızlı bir şekilde karşılaştırılması ve incelenmesi amacıyla her simülasyon mümkün olan minimum zamanda tamamlanmış ve böylece küçük zaman adımlarının kullanılıp kullanılamayacağına karar verilmiştir.

Standard RC ve karıştırıcı düzeninin bu karşılaştırmayı sağlaması ve zaman adımlarının sayısının artırılıp azaltılmasının gerçek etkisini görmek için simülasyonlar 8000 – 80000 - 800000 zaman adımlarında yapılmıştır.

Daha sonra merkez çıkış noktası için zaman domeninde elde edilen sonuçlar fourier transformu ile frekans domenine çevrilmiştir.

Elde edilen sonuçlar şekil 10'da görüldüğü gibi frekans aralıklarına göre karşılaştırılmışlardır.

Şekil 3.13'den modların (elektrik alan kuvvetindeki pikler) karalılıklarının yüksek zaman adımlarında daha iyi olduğu açıkça görülmektedir. Ancak simülasyon sonuçlarını elde etmek için kullanılan yüksek zaman adımları aşırı hesaplama zamanı ve aşırı işlem gücü gerektirmektedir. Bundan dolayı tüm simülasyonlar için en uygun zaman adımlarının seçilmesi gerekmektedir.



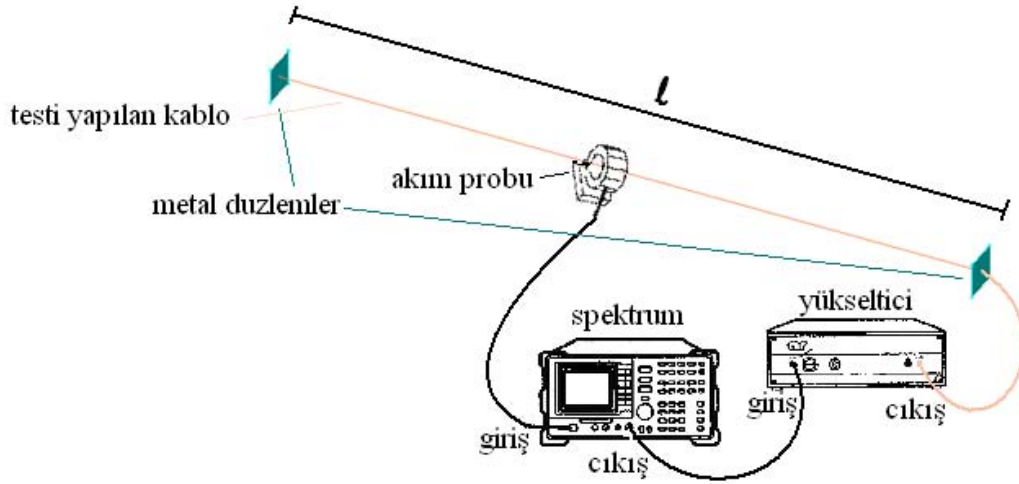
Şekil 3.13. Farklı zaman adım sayıları için frekans domain cevapları (Coates, 2004)

Simülasyonların zaman adımına bağlı sonuçları incelendiği takdirde en uygun değerlerin model-1 için 80000 model-2 için ise 20000 olmasına karar verilmiştir.

3.1.1.6. Koaksiyel Kablonun Tasarımı

Proje amaçlarından biri de RG 58 koaksiyel ekranlama etkinliği testlerinin yapılmasıdır. Bu testler için RG 58 standartlarında tasarlanan kablonun uzak ve yakın uç akım ve gerilim değerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu değerlerin elde edilmesinde kullanılan en geçerli test metodu Curent Probe Test Metodudur. CPTM'nin geometriksel yapısı Şekil 3.14. te gösterilmiştir.

CPTM düzeneğinde iç iletken hattı bir yükseltici ile beslenerek spektrum analysera bağlanır ve iç iletken hattının uçları, karakteristik empedans değeri ile sonlandırılırlar (genellikle 50 ohm). Daha sonra iç iletkenin ekranlanmasını sağlayan dış iletken uçları, toprak hattına metal iletken düzlemlerle kısa devre sonlandırması elde etmek amacı ile bağlanır. Böylelikle dış koruma akımlarının transfer parametreleri akım problemleri tarafından spectrum analyserın giriş uçlarında elde edilebilir.



Şekil 3.14. RG 58 koaksiyel ve CPTM düzeneği

3.2. Yöntem

3.2.1. Reverberation Chamber Test Metodu (RCTM)

Sistemlerin elektromanyetik uyumluluklarını (Elektromagnetic Compatibility) yanlışsız ölçmek için bazı metotlar geliştirilmiştir. Bununla birlikte bu metotların birçoğunun havadaki dış kaynaklardan etkilenmeleri yönünden büyük dezavantajları vardır. Bu problemlerin çözümü için test düzeneğinin ekranlanmış odalara taşınması ve testlerin buralarda yapılması gerekir.

Daha önceden de belirtildiği gibi yüksek frekanslarda yüksek derecede elektromanyetik izolasyon sağlaması için tasarlanmış metalik elektriksel iletken duvarlı (tabanlı ve zeminli) Faraday kafesi gibi çevrilmiş sistemlere Reverberation Chamber denir.

Bu odalarda RC'nin dışındaki elektromanyetik alanın RC içindeki test düzeneğine, benzer şekilde RC'nin içinde üretilen bazı alanların RC'nin dışındaki elektromanyetik spektruma ve diğer cihazlara etkisi olmaması sağlanır. Çünkü RC'nin içindeki tüm yüzeyler yüksek derecede iletkenidir. Bu sebeple oda boşluk gibi davranır. Bu da RC'nin iyi tanımlanmış homojen olmayan elektrik alan içerdiğini gösterir (Staelin,1994).

RC içindeki test altındaki cihazın testlerinin farklı doğrultularda ve farklı konumlarda yapılması gerekir, bunun için cihazın sürekli hareket ettirilip tekrar ölçümleri yapılmalıdır.

Bu hareket ve tekrarlanan ölçümler, testin devam ettirilmesi için gerekli olan zamanı ve ayrıca test operatörünce harcanan eforu ve bundan dolayı maliyeti arttırırlar. Bununla birlikte RC içindeki maksimaların ve minimaların kesin lokasyonu görülmediği için sonuç, ölçüm değerlerinin kesinliği açısından her zaman bir derece kararsız olacaktır.

Bu tekrarlanan hareket ve tekrar testlere alternatif, RC içindeki sınır durumlarını değiştirmek ve böylece RC'nin içerdiği elektromanyetik alandaki maksima ve minimaların lokasyonlarını hareket ettirmektir. Bu sınır durumlarının değişimi RC'nin içine büyük, dönen ve elektromanyetik yansıtıcı özellik gösteren yüzeylerin yerleştirilmesi ile sağlanır. Bu yansıtıcıların (karıştırıcı) tam tur dönmesi ile maksimaların ve minimaların konumlarında, büyüklüklerinde ve doğrultularında değişiklikler meydana gelir.

3.2.2. Reverberation Chamber İçinde Oluşan Elektrik Alan Büyüklüklerinin Elde Edilmesi

Simülasyonlarda her farklı stirrer açısı (Q_j) için chamber içinde oluşan alanların değerleri bulunduktan sonra 1. kaynağın referans ölçüm değerlerini elde etmemizi sağlaması açısından eşitlik 3.2 ve 3.3 geliştirilmiştir.

Bu eşitliklerde f_c merkez frekans değerini ifade etmektedir. Tüm simülasyonlar için maksimum frekans 500 MHz ve minimum frekans ise 50 MHz değerleri seçilmiştir. Bu değerlerden merkez frekansı 275 MHz olarak elde edilir (Eşitlik 3.1).

$$f_1 = f_c = \frac{f_{max} + f_{min}}{2} \quad (3.1)$$

Q_j stirrer açısını göstermek üzere ($Q_j: Q_{min} < Q_j < Q_{max}$) herhangi bir frekanstaki elektrik alan değeri ($E_{env}(f_i)$) eşitlik 3.2 deki gibi elde edilir.

$$E_{env}(f_i) = MAX\{|E(f_i, \theta_j)|\} \quad (3.2)$$

$$AV_{E-env}(f_i) = \frac{|E_{env}(f_c, \theta_j) + E_{env}(f_i, \theta_j)|}{2} \quad (3.3)$$

Eğer RC içerisindeki elektrik alan değerleri farklı kaynak kombinasyonlarına bağlı olarak hesaplanmak istenirse yukarıda ifade edilen eşitlik 3.3 eşitlik 3.4 şekline dönüştürülür. Burada $AV_{E-env(s-1)}(f_i)$ f_i frekans değerindeki 1. Kaynak ile s inci kaynağın RC içerisinde oluşturdukları alan değerini ifade etmektedir.

$$AV_{E-env(s-1)}(f_i) = \frac{|E_{env-1}(f_c, \theta_j) + E_{env-s}(f_i, \theta_j)|}{2} \quad (3.4)$$

Yukarıda ki eşitlikte 1. Kaynak merkez s'inci kaynak ise süpürülen veya daha açık bir ifade ile referans alınan kaynakları belirtir.

3.2.3. Koaksiyel Kablo Uçlarında Sonlandırma Dirençleri Üzerinde Oluşan Akım Değerlerinin Elde Edilmesi

Her farklı stirrer açısı (Q_j) için koaksiyelin yakın uç sonlandırma direnci üzerindeki akım değerleri bulunduktan sonra 1. Kaynağın referans ölçüm değerlerini elde etmemizi sağlaması açısından eşitlik 3.5 ve 3.6 geliştirilmiştir.

$$I_{env}(f_i) = MAX\{|I(f_i, \theta_j)|\} \quad (3.5)$$

$$AV_{I-env}(f_i) = \frac{|I_{env}(f_c, \theta_j) + I_{env}(f_i, \theta_j)|}{2} \quad (3.6)$$

Elektrik alan değerlerinin hesaplanması kısmında da belirtildiği gibi RC içerisindeki akım değerleri farklı kaynak kombinasyonlarına bağlı olarak hesaplanmak istenirse yukarıda ifade edilen eşitlik 3.6 eşitlik 3.7 şekline dönüştürülür. Burada $AV_{I-env(s-1)}(f_i)$ f_i frekans değerindeki 1. Kaynak ile s inci kaynağın koaksiyelinde yakın ucunda oluşturdukları akım değerini ifade etmektedir.

$$AV_{I-env(s-1)}(f_i) = \frac{|I_{env-1}(f_c, \theta_j) + I_{env-s}(f_i, \theta_j)|}{2} \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte de aynı şekilde 1. kaynak merkez s'inci kaynak ise süpürülen veya daha açık bir ifade ile referans alınan kaynakları belirtir.

3.2.4. Reverberation Chamber İçinde Oluşan Maksimum ve Minimum Elektrik Alan Büyüklüklerinin Elde Edilmesi

RC içerisinde oluşan maksimum ve minimum alan değerlerinin elde edilmesi için tüm karıştırıcı pozisyonlarında (Q_j) her frekans (f_i) değeri için $AV_{E-env}(f_i, \theta_j) = \left(\frac{|E(f_c, \theta_j) + E(f_i, \theta_i)|}{2} \right)$ eşitliğinin maksimum ve minimum değeri hesaplanmalıdır. Yani her $f_i: f_{min} < f_i < f_{max}$ ve her $Q_j: Q_{min} < Q_j < Q_{max}$ için

$$AV_{E-max}(f_i) = \text{MAX} \left\{ AV_{E-env}(f_i, \theta_j) = \frac{|E(f_c, \theta_j) + E(f_i, \theta_i)|}{2} \right\} \quad (3.8)$$

$$AV_{E-min}(f_i) = \text{MIN} \left\{ AV_{E-env}(f_i, \theta_j) = \frac{|E(f_c, \theta_j) + E(f_i, \theta_i)|}{2} \right\} \quad (3.9)$$

değerlerinin hesaplanması gerekir.

Sisteme ikinci bir kaynak yerleştirildiğinde RC içinde oluşan AV_{max} 'ın ve AV_{min} 'in hesaplanması için 1. kaynak “süpürülen” (sweeping), 2. kaynak ise “merkez” (central) olarak seçilir. Her $f_i: f_{min} < f_i < f_{max}$ ve karıştırıcının her pozisyonu için $Q_j: Q_{min} < Q_j < Q_{max}$;

$$AV_{E-max(s-1)}(f_i) = \text{MAX} \left\{ AV_{E-env(s-1)} = \frac{|E_{env-1}(f_c, \theta_j) + E_{env-s}(f_i, \theta_j)|}{2} \right\} \quad (3.10)$$

$$AV_{E-min(s-1)}(f_i) = \text{MIN} \left\{ AV_{E-env(s-1)} = \frac{|E_{env-1}(f_c, \theta_j) + E_{env-s}(f_i, \theta_j)|}{2} \right\} \quad (3.11)$$

şeklinde hesaplanır.

3.2.5. Koaksiyel Uçlarında Sonlandırma Dirençleri Üzerinde Oluşan Maksimum ve Minimum Akım Değerleri

Koaksiyelin yakın ucunda oluşan maksimum ve minimum akım değerinin elde edilmesi için tüm karıştırıcı pozisyonlarında (Q_j) her frekans (f_i) değeri için $AV_{I-env}(f_i, \theta_j) = \left(\frac{|I(f_c, \theta_j) + I(f_i, \theta_j)|}{2} \right)$ eşitliğinin maksimum ve minimum değerleri hesaplanmalıdır. Yani her f_i : $f_{\min} < f_i < f_{\max}$ ve karıştırıcının her pozisyonu için Q_j : $Q_{\min} < Q_j < Q_{\max}$;

$$AV_{I-\max}(f_i) = \text{MAX} \left\{ AV_{I-env}(f_i, \theta_j) = \frac{|I(f_c, \theta_j) + I(f_i, \theta_j)|}{2} \right\} \quad (3.12)$$

$$AV_{I-\min}(f_i) = \text{MIN} \left\{ AV_{I-env}(f_i, \theta_j) = \frac{|I(f_c, \theta_j) + I(f_i, \theta_j)|}{2} \right\} \quad (3.13)$$

değeri hesaplanmalıdır.

Sisteme ikinci bir kaynak yerleştirildiğinde koaksiyelin yakın ucunda oluşan $AV_{\max}$ 'ın ve $AV_{\min}$ 'in hesaplanması için 1. kaynak “süpürülen” (sweeping), 2. kaynak ise “merkez” (central) olarak seçilir. Her f_i : $f_{\min} < f_i < f_{\max}$ ve karıştırıcının her pozisyonu için Q_j : $Q_{\min} < Q_j < Q_{\max}$;

$$AV_{I-\max(s-1)}(f_i) = \text{MAX} \left\{ AV_{I-env(s-1)} = \frac{|I_{env-1}(f_c, \theta_j) + I_{env-s}(f_i, \theta_j)|}{2} \right\} \quad (3.14)$$

$$AV_{I-\min(s-1)}(f_i) = \text{MIN} \left\{ AV_{I-env(s-1)} = \frac{|I_{env-1}(f_c, \theta_j) + I_{env-s}(f_i, \theta_j)|}{2} \right\} \quad (3.15)$$

şeklinde hesaplanır.

3.2.6. Karıştırıcının Dönme Oranı (KDO)

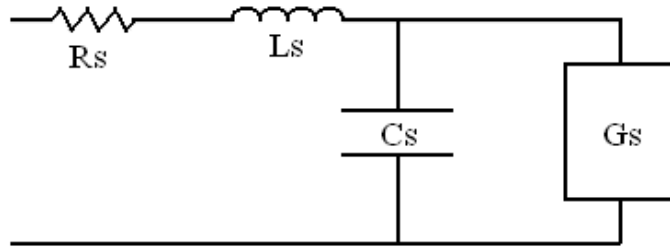
KDO karıştırıcının etkinliğini ölçmede kullanılan kullanışlı ve basit bir metottur. KDO karıştırıcının her bir adımı ile çıkış noktasında oluşan maksimum elektrik alan büyüklüğünün minimum elektrik alan büyüklüğüne oranı olarak hesaplanır (Eşitlik 3.16).

$$KDO = -20 \log_{10} \left(\frac{E_{\min}}{E_{\max}} \right) \quad (3.16)$$

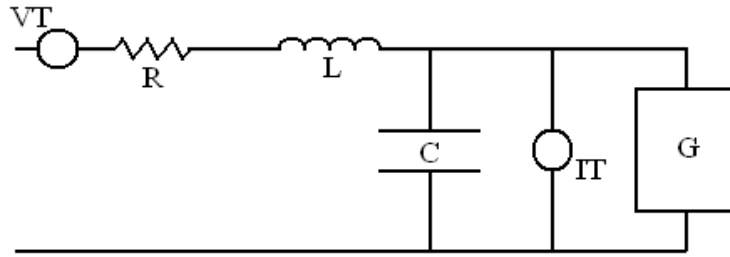
KDO, maksima ve minimaların oda içerisinde hareketleri sırasında karıştırıcının etkinliğini gösteren belirtiler üretir.

3.2.7. Yüzey Transfer Empedansının Hesaplanması

Bu simülasyon programı örgü indüktanslar tarafından hakim olunan ekranın frekans davranışını içerir. Bunu çözümlmek için tek boyutlu Transmission Line Matrix (TLM) modelini kullanır. Bu modelin kullanılmasının sebebi, yüzey transfer empedansının modellenmesi içindir. Dış iletken ve iç iletkenin yüzey transfer empedans etkileri, şekil 3.15. ve 3.16. da görüldüğü gibi ekran ve iç iletkenin eşdeğer devrelerinden hesaplanmaya başlanır.



Şekil 3.15. Dış iletkenin eşdeğer devresi



Şekil 3.16. İç iletkenin eşdeğer devresi

Şekil 3.15'deki eşdeğer devrede R_s ekran direncini, L_s ekran indüktans, C_s ekran kapasitansını ve G_s ise ekran iletkenliğini ifade eder.

Genellikle ekran iletkenliği (G_s) değerinin önemsiz olmasından dolayı ihmal edilir.

İç iletken devresinde (şekil 3.16) ise hat direnci (R), indüktans (L), iletkenlik (G), ve kapasitanstan (C) başka voltaj kaynağı (V_T) ve akım kaynağı (I_T) bulunmaktadır. Voltaj kaynağı (V_T) ve akım kaynağı (I_T) eşitlik 3.17 ve eşitlik 3.18'deki gibi elde edilirler.

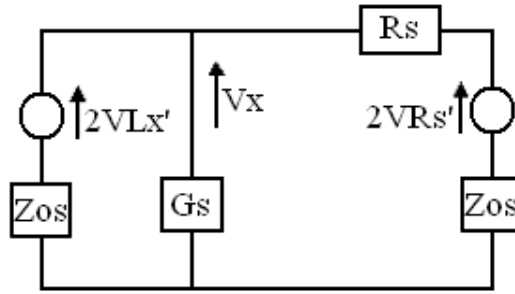
$$V_T = I_S \cdot Z_T \quad (3.17)$$

$$I_T = V_S \cdot Y_T \quad (3.18)$$

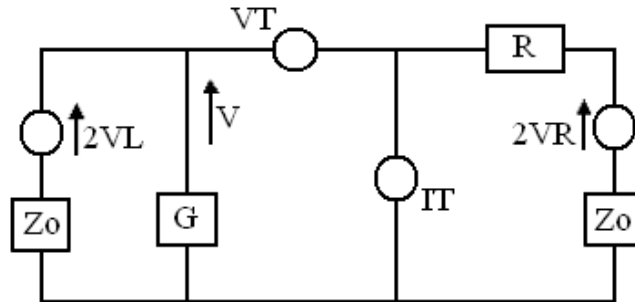
Yukarıda ki ifadelerde I_S ekran üzerinden akan akım, V_S ekran ile dış çevre arasındaki voltaj ve Y_T ise ekranın transfer admitansdır.

TLM'yi uygulamak için şekil 3.15 ile 3.16'daki devrelerin thevenin eşdeğer devrelerini elde etmek gerekir (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).

Buradan iç iletken ile dış iletken üzerindeki herhangi bir noktanın akım ve voltaj değerleri hesaplanabilir.



Şekil 3.17. Dış iletkenin Thevenin eşdeğer devresi



Şekil 3.18. İç iletkenin thevenin eşdeğer devresi

Uygun zaman adımı Δt eşitlik 3.19'dan hesaplanır. İç iletken ile dış iletken arasındaki zaman senkronizasyonunu elde etmek için dış iletken karakteristik empedansı eşitlik 3.20'den elde edilir. Bu ifade de yer alan L_S dış iletkenin indüktansını tanımlar. Ve daha sonra dış iletkenin kapasitansı (C_S) ise denklem 3.21'den elde edilir.

$$\Delta t = \sqrt{L \cdot C} \quad (3.19)$$

$$Z_{os} = \frac{L_S}{\Delta t} \quad (3.20)$$

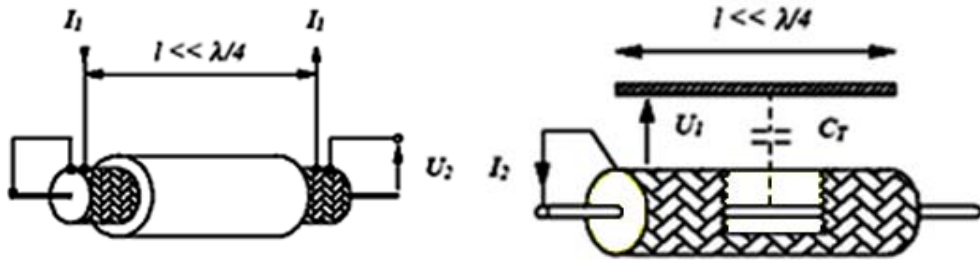
$$C_S = \frac{\Delta t^2}{L_S} \quad (3.21)$$

Sonuç olarak yüzey transfer empedansı (Z_T) iç iletken ile dış iletken arasındaki uzak uç gerilim değerinin (kVT_n) dış iletken üzerinde ki yakın uç akım değerine (kIS_n) oranı şeklinde elde edilir (eşitlik 3.22).

$$Z_T = \frac{kVT_n}{kIS_n} \quad (\Omega m^{-1}) \quad (3.22)$$

3.2.8. Ekranlama Etkinliğinin Hesaplanması

Koaksiyel kablo ekranlarının ekranlama kalitesini belirlemek için değişik tanımlar yapılmış olup, bunların içinde kabloyu çevreleyen ortama bağlı olmayan ve en çok kabul görmüş olan parametre transfer empedansıdır. Transfer empedansı (Z_T), koaksiyel kablolardaki manyetik alan kuplajını belirleyen temel parametredir. Elektrik alan kuplajı ise transfer admitansı (Y_T), ile belirlenmektedir (Şekil 3.19). Kablo dışındaki EM alan sebebiyle ekran üzerinden akan girişim akımları koaksiyel kablounun iç iletkeni ile dış iletkenin iç yüzü arasında bir gerilim indüklenmesine sebep olur. Bu gerilimin asgari olması ekranlama etkinliği kalitesinin bir göstergesidir. EE kalitesinin iyi olması için basitçe indüklenecek gerilimin düşürülmesi gerekir, bu da akım değeri sabit iken, transfer empedansının düşürülmesi ile sağlanır.



Şekil 3.19. Transfer empedansının ve transfer admitansının tanımı

$$Z_T = \frac{U_2}{I_1 \cdot l} \quad \text{ve} \quad Y_T = \frac{I_2}{U_1 \cdot l} = j\omega C_T \quad (3.23)$$

Bir anten ile oluşan alan eşitlik 3.24'de görüldüğü gibi yazılabilir. I anten üzerindeki referans noktasının akım değeri ve ζ_i ise hattın yansıma faktörünü göstermektedir.

$$E_i = \zeta_i \cdot I \quad (3.24)$$

Akım değerini hesaplamak için iç iletkene V gerilimi uygulandığını varsaydığımızda eşitlik 3.25 elde edilir.

$$I = \frac{V}{R_{ri}} \quad (3.25)$$

Bu eşitlikte R_{ri} hattın yansıma direncini ifade etmektedir. Eşitlik 3.25'i eşitlik 3.24'de kullanarak eşitlik 3.26 elde edilir.

$$E_i = \zeta_i \cdot \frac{V}{R_{ri}} \quad (3.26)$$

Benzer olarak ışıyan alan (E_t) ekranlanan kablodan elde edilir. Işıyan alan dış iletkenin içinden geçen iç iletken üzerinde oluşan alanı ifade etmektedir ve dış iletken üzerinde kompanse olmayan akım (I_{se}) olmak üzere eşitlik 3.27'deki şekilde ifade edilir.

$$E_t = \zeta_t \cdot I_{se} \quad (3.27)$$

Dış iletkenin (ekranın) voltaj düşümü (δV_{se}) ise yüzey transfer empedansı ve ekran üzerinden geri gelen akım (I_{si}) cinsinden eşitlik 3.28'deki gibi elde edilir.

$$\delta V_{se} = I_{si} \cdot Z_T \cdot dm \quad dm \text{ sabit.} \quad (3.28)$$

Eşitlik 3.28'de ekran üzerinden geri gelen akımı (I_{si}), iç iletkene uygulanan gerilim (V) ve ekranlanan hattın karakteristik empedansı (Z_0) olmak üzere eşitlik 3.29'da görüldüğü gibi elde edilir.

$$I_{si} = \frac{V}{Z_0} \quad (3.29)$$

Eğer eşitlik 3.29 eşitlik 3.28'de kullanılırsa eşitlik 3.30 elde edilir.

$$\delta V_{se} = \frac{V}{Z_0} \cdot Z_T \cdot dm \quad (3.30)$$

R_{rs} yansıma direncini göstermek üzere ekranın voltaj düşümü (δV_{se}) ekran üzerinde I_{se} akımını üretir. Bu akım değeri;

$$I_{se} = \frac{\delta V_{se}}{R_{rs}} \quad (3.31)$$

şeklinde hesaplanır.

Eşitlik 3.30 ve eşitlik 3.31 eşitlik 3.27'de kullanılırlarsa ışıyan alan (E_t) eşitlik 3.32'de görüldüğü gibi elde edilir.

$$E_t = \zeta_T \cdot \frac{1}{R_{rs}} \cdot \frac{V}{Z_0} \cdot Z_T \cdot dm \quad (3.32)$$

En genel anlamda EE'nin değeri, ışıyan alan ile dış iletken üzerinde oluşan alan değerlerinin oranı şeklinde elde edilir (Eşitlik 3.33).

$$SE = -20 \cdot \log_{10} \left(\frac{E_t}{E_i} \right) \quad (3.33)$$

Eşitlik 3.26 ve eşitlik 3.32'i eşitlik 3.33'te kullanırsak EE'nin değerini yüzey transfer empedansı cinsinden eşitlik 3.34'de görüldüğü şekilde elde edebiliriz.

$$SE = -20 \cdot \log_{10} \left(\frac{\zeta_s}{\zeta_i} \cdot \frac{R_{ri}}{R_{rs}} \cdot \frac{1}{Z_0} \right) - 20 \cdot \log_{10}(Z_T \cdot dm) \quad (3.34)$$

Maalesef δ_s , δ_i , R_{rs} , R_{ri} değişkenlerinin ölçülmesi çok zordur. Bundan dolayı EE'nin yüzey transfer empedansı kullanılarak hesaplanması için bazı metotlar geliştirilmiştir (Wallenberg, 1979).

Bunlardan en geçerli olanları Hoeft ve Martin tarafından önerilen metotlardır.

Bu metotların en avantajlı tarafları ekranlama kalitesinin sadece yüzey transfer empedansına bağlı olarak elde edilebilmesidir.

3.2.8.1. Martin Tarafından Önerilen EE Metodu

Martin tarafından önerilen dönüştürme metodu Eşitlik 3.35'de verilmiştir.

$$-20 \log(Z_T) = SE + 20 \log(L) - 10 \log(Z_{01} \cdot Z_{02}) - 20 \log(F) \quad (3.35)$$

Eşitlik 3.35'de L kablunun uzunluğudur. Z_{02} test altındaki kablunun karakteristik empedansı ve F ise test düzeneğinin yakın ve uzak uç yansıma katsayılarının bir fonksiyonudur. CPTM için, F'in değeri 1 olarak hesaplanabilir ve böylelikle $-20 \log_{10}(F)$ 'in değeri sıfır elde edilir. Z_{01} ise iletim hattının karakteristik empedansı olarak tanımlanır. Ayrıca 'd' kablo ekranının çapı ve 'h' ise kablunun topraklama hattına uzaklığı olmak üzere, Z_{01} eşitlik 3.36 kullanılarak hesaplanır.

$$Z_{01} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \cos^{-1} \left(\frac{2h}{d} \right) \quad (3.36)$$

Martin'in makalesinde koaksiyel kablo kullanılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen deney sonuçlarından EE, eşitlik 3.37'deki gibi hesaplanır.

$$SE = 36 - 20 \log_{10}(L) - 20 \log_{10}(Z_T) \quad (3.37)$$

Eşitlik 3.35 ve eşitlik 3.37'deki değerler ancak test fikstürünün boyutlarından hesaplanabilir. Bu ölçümler kablunun topraklama hattına uzaklığının 'h' 100 mm olduğunu göstermiştir. Pratik deneylerden (gözlemlerden) koaksiyel kablo ekran çapının 4mm olmasına karar verilmiştir. Martin dönüşüm eşitliği CPTM ile eşitlik 3.38 ve eşitlik 3.39 şeklinde sadeleştirilebilir (Martin, 1982).

$$SE(\text{coaxial}) = 41,40 - 20 \log_{10}(L) - 20 \log_{10}(Z_T) \quad (3.38)$$

$$SE(\text{UTP}) = 45,02 - 20 \log_{10}(L) - 20 \log_{10}(Z_T) \quad (3.39)$$

3.2.8.2. Hoeft Tarafından Önerilen EE Metodu

Eicher ve Boillot'ın tek nokta sızıntıları arasındaki ilişkiyi incelemeleri Hoeft SE metodun ortaya çıkmasını sağlamıştır (Eicher, 1992).

$$Z_T^2 + Z_F^2 = 2 Z_1 Z_2 10^{\frac{-SE}{10}} \quad (3.40)$$

Eğer koaksiyel kablo sonlandırma test fikstür kullanılarak test edilirse ölçüm sonuçları yüzey transfer empedansı (Z_T) ve kapasitif empedans (Z_F) empedanslarını birlikte içerir. Buradan ' $Z_T^2 + Z_F^2$ ' ifadesi ' Z_{TOTAL}^2 ' ile değiştirildiğinde, eşitlik 3.40 daha basit olarak eşitlik 3.41 şeklinde elde edilir.

$$SE = 10 \log_{10}(2 Z_1 Z_2) - 20 \log_{10}(Z_{TOTAL}) \quad (3.41)$$

Eşitlik 3.41'de, Z_2 iç sistemin karakteristik empedansıdır (koaksiyel kablolar için 50 Ω , ekranlanmamış ikili kablolar (UTP) için 100 Ω).

Geriye kalan Z_1 ise dış sistemin karakteristik empedansıdır ve her kablo çeşidi için eşitlik 3.36 kullanılarak hesaplanır. Hoeft'ın EE eşitliği, yüzey transfer empedansı ve EE arasındaki bağıntıyı eşitlik 3.42 ve 3.43 şeklinde verir (Hoeft, 2002).

$$SE(\text{coaxial}) = 44,41 - 20 \log_{10}(Z_{TOTAL}) \quad (3.42)$$

$$SE(\text{UTP}) = 48,03 - 20 \log_{10}(Z_{TOTAL}) \quad (3.43)$$

3.2.9. FSV Metodu

Kabloların EE test sonuç grafikleri genellikle çok fazla pik içermektedir. Bu grafiklerin görsel olarak karşılaştırılmaları çok zordur ayrıca bu görsel karşılaştırmanın güvenilirliği de zayıftır. EMC deki bu problemin çözümü için FSV metodu geliştirilmiştir.

FSV metodu gerçeklik fonksiyonu yaklaşımını kullanır. Fakat genel olarak görsel bakış açısı psikolojisine dayanmaktadır.

FSV metodu, farklı iki datayı genlik farkı ölçümü (Amplitude Difference Measure ADM) ve şekil farkı ölçümü (Feature Difference Measure FDM) olarak karşılaştırılmalarını temel alır ve bu karşılaştırmaların sonucunu Global Farklılıklar Ölçümü (Global Differences Measure GDM) grafiğinde verir.

FSV karşılaştırma sonuçlarını şekil olarak gösterdiği gibi tanımlama dilinde de grafiksel olarak “Harika, Çok İyi, İyi, Orta, Kötü, Çok Kötü” şeklinde ifade eder.

3.2.10. Chamber İçinde Oluşan Elektrik Alanın Karıştırıcının Konumuna Bağlı Olarak Modellenmesi

Chamber içinde uniform alan elde etmek için karıştırıcının belli açılarla belli sayıda döndürülmesi gerekmektedir. Daha önceden de açıklandığı gibi bu işlem cismin döndürülmesine oranla daha ekonomik ve pratiktir. Bu bölümde, veri madenciliği ve genetik programlama yöntemleri kullanılarak chamber içinde meydana gelen elektrik alanın karıştırıcının konumuna bağlı matematiksel fonksiyonunun tespiti ve elde edilen bu fonksiyonların karşılaştırılmaları ele alınacaktır.

3.2.10.1 Verimadenciliği Yöntemi İle Elektrik Alanın Modellenmesi

Veri madenciliği yöntemi ile elektrik alanın modellenmesinde WEKA 3.5 paket programı kullanılmıştır. WEKA programının yaptığı işlemler şekil 3.20’de gösterildiği gibi özetlenebilir. ARFF formatındaki veriler Java ortamında dizi tipindeki değişkenlere aktarılırlar ve artık bu şekilde temsil edilirler.

Ardından kod seviyesinde ağaç oluşturma ve diğer işlemler yapılır. En sonunda ortaya çıkan ağaç grafik ortamda ifade edilir ve yorumlanır.



Şekil 3.20. APS Program aşamaları

3.2.10.1.1 ARFF Format

Bu format makine öğrenmesinde kullanılan bir formattır. Waikato Üniversitesi tarafından “Weka Makine Öğrenmesi Projesi” için hazırlanmıştır. Verilerin daha düzenli ve daha sıralı olmasını sağlayan bu format aslında veritabanlarını metin tabanında taklit etmektedir. Bu format aracılığıyla okunan veriler programlama seviyesinde karakter dizileri (String Array) biçimde temsil edilirler. @relation, @attribute ve @data deyimleri aracılığıyla dosyanın yapısı belirlenir. @relation veri yığının genel amacını ya da ismini belirtir. @attribute verideki veri tabanında sütunlara karşılık gelen özellik isimlerini belirtmek için kullanılır. @data ham verilerin başladığı satıra işaret eder.

```
@relation,karıştırıcının konumuna bağlı olarak elektrik alanın değişimi

@attribute,frekans,real
@attribute,aci,real
@attribute,EA,real

@data
0,0,0.00057166
0.010698,0,0.00011185
0.014442,0,0.0013073
0.017384,0,2,61E-01
0.021664,0,0.0027979
0.023268,0,0.0025914
0.02728,0,0.0050528
0.030757,0,0.00063702
0.034234,0,0.0072796
0.036908,0,0.0011102
0.044664,0,0.059674
0.051351,0,0.0036402
0.058572,0,0.1113
0.065526,0,0.0065665
0.076224,0,0.055229
0.08184,0,0.018377
0.09548,0,0.07108
```

Şekil 3.21. ARFF formatında EA verisi

Şekil 3.21’de ARFF formatına uygun bir veri yığını gösterilmiştir. Görüldüğü gibi bu veri yığını @relation ile kendini tanımlamıştır. Verideki özelliklerin isimleri @attribute ile başlayan satırlara yazılır. Bu satırdaki real deyim o özelliğin sayısal olduğunu ifade eder. @data deyiminden hemen sonraki satırdan veriler @attribute deyimine ile sıralanan özelliklerin sırasını koruyarak ve virgüllerle ayrılarak yazılırlar. Her bir olay bir satıra karşılık gelir. Yukarıdaki veride ilk olay **0,0,0.00057166**

şekline verilmiştir. Bu ifade 0 MHz frekansta, 0 derece karıştırıcı açısında oluşan elektrik alanının **0.00057166** V/m olduğunu gösterir.

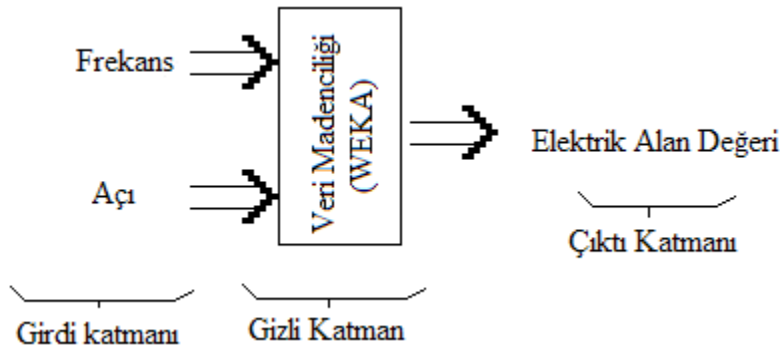
Örnekte (Şekil 3.21.) kurulan veri madenciliği modelinde ele alınan parametreler çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Veri madenciliği programlama modelinde ele alınan parametreler

Data	1490
Değişken	3
Test Yöntemi	Evaluate on training data
Sınıflandırma Modeli	Linear Regression Model

Bu parametrelere bağlı kalınarak yapılan modellemede $R^2 = 0,9415$ ’lik doğruluk değerine ulaşılmıştır.

Kurulan model Şekil 3.22’de gösterildiği şekildedir.

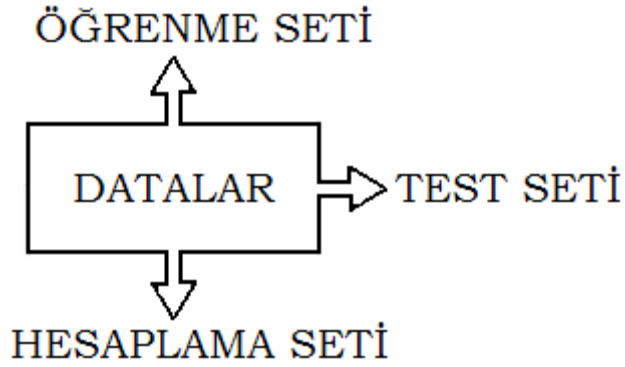


Şekil 3.22. WEKA ile EA modelleme düzeneği

3.2.10.2. Genetik Programlama İle Elektrik Alanın Modellenmesi

Bu problemin GP’de modellenmesi için simülasyonlar sonucu her bir karıştırıcı adımında elde edilen elektrik alan değerlerinin çokluğundan dolayı ilk olarak sadece pik noktalarının kullanılmasına karar verilmiştir. Böylelikle simülasyon sonucu elde edilen data sayısı 36700 den 1412’ye indirilmiş olunmuştur. Daha sonra bu datalar

%75'i öğrenme seti, %15'i test seti ve %5'i de hesaplama seti olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Oluşturulan APS modeli

Bu gruplardan öğrenme ve test setleri GEP programında sistemin eğitilmesinde kullanılmıştır.

Örnekte (Şekil 3.23.) kurulan genetik programlama modelinde ele alınan parametreler çizelge 3.3'de

verilmiştir. Bu model APS 2.0 hazır genetik programlama paket programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

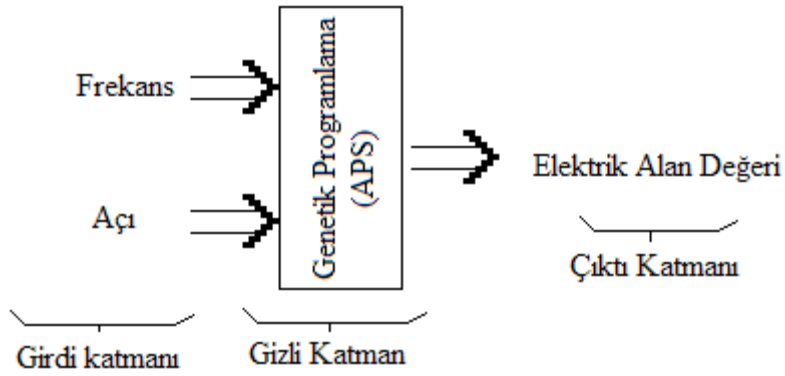
Çizelge 3.3. Genetik programlama modelinde ele alınan parametreler

Deneyisel Veriler:	Sayısal Değeri
Toplam Öğrenme Veri Sayısı	1114
Toplam Veri Test Sayısı	224
Toplam Hesaplama Test Sayısı	74
Kromozom Sayısı	50
Gen Sayısı	1

Çizelge 3.3. (devam)

Fonksiyon Değişken Sayısı	2
Mutasyon Oranı	0.044
İstenen Uygunluk Fonksiyonu	$R^2=1$

Geliştirilen modeldeki deneysel veriler 50 kromozoma bölünüp 0,044 mutasyon işlemine tabi tutularak, 17403 iterasyon sonucunda $R^2= 0,5318$ 'lik doğruluk değeri elde edilmiştir. Kurulan model Şekil 3.24'de gösterildiği şekildedir.



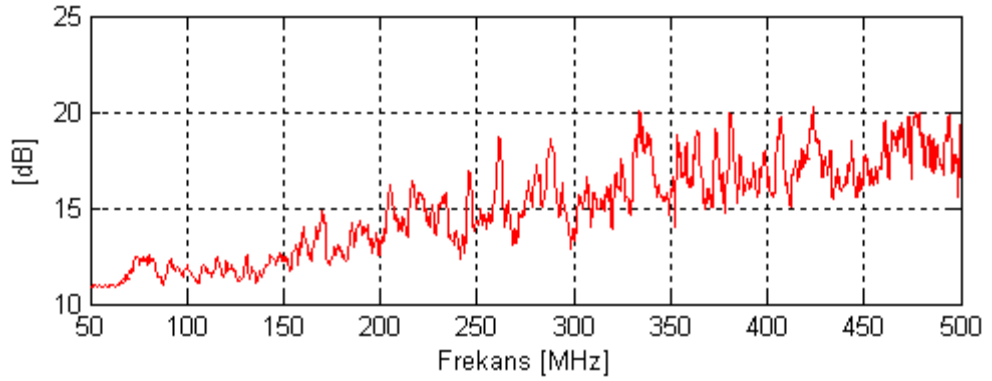
Şekil 3.24. APS ile EA modelleme düzeneği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

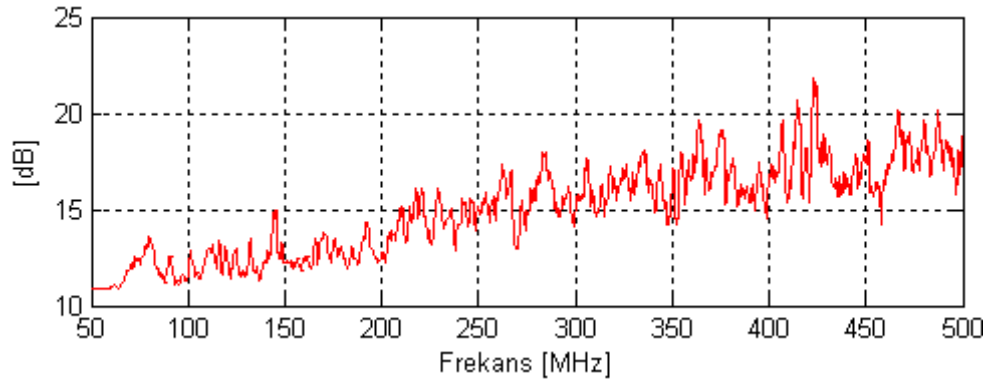
4.1. Araştırma Bulguları

4.1.1. Reverberation Chamber İçinde Oluşan Elektrik Alan Büyüklükleri

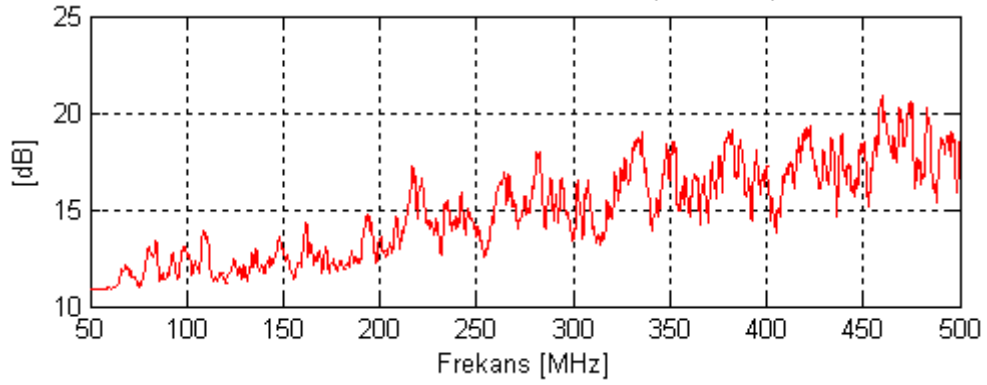
Simülasyonlar sonucu elde edilen txt uzantılı elektrik alan değerlerini içeren dosyalar ilk olarak Matlab programında kullanılarak AV_{env} grafikleri elde edilmiştir.



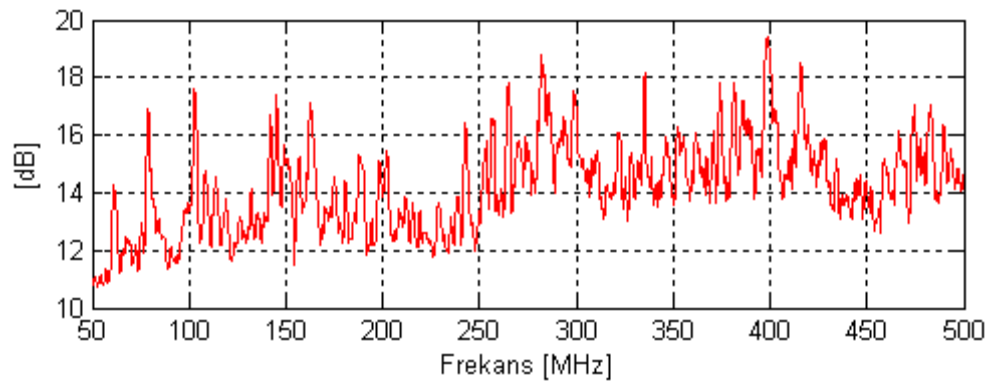
Şekil 4.1. Model-1'in 1. kaynak için elde edilen AV_{env} EA değeri



Şekil 4.2. Model-1'in 1. ve 2. kaynaklar için AV_{env} EA değeri



Şekil 4.3. Model-1'in 1. ve 3. kaynaklar için AV_{env} EA değeri

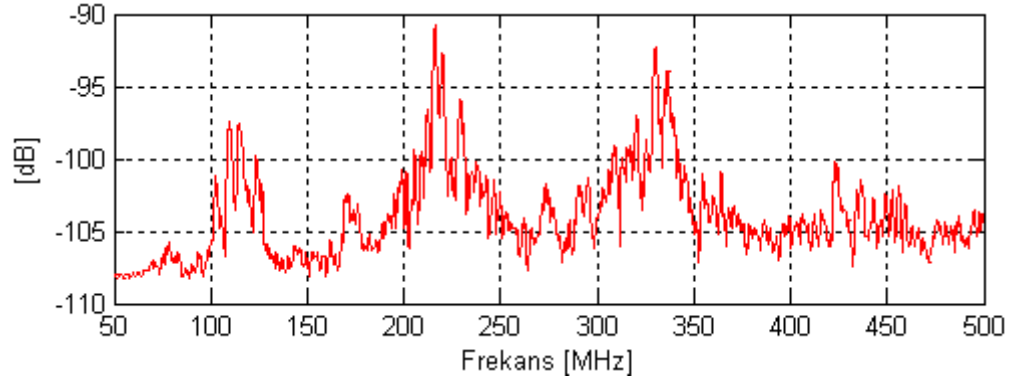


Şekil 4.4. Model-1'in 1. ve 4. kaynaklar için AV_{env} EA değeri

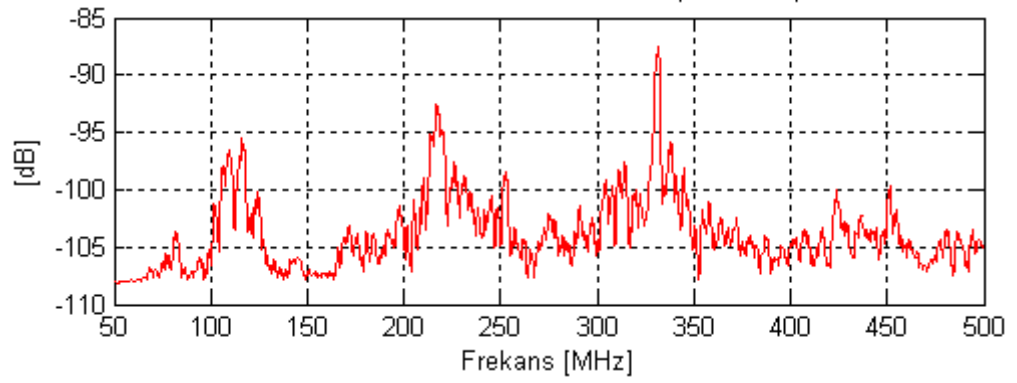
Düzenli bir alana sahip olan hacim içine kurulan bir kablo karıştırıcının pozisyonuna, kaynağın konumuna, yönüne ve sayısına bağlı olarak farklı elektrik alanlarına maruz kalmaktadır. Öyleki kablo bu hacmin dışında bir alana kurulursa, ölçümlerin geçerliliği için yeterli büyüklükte bir alan kuvvetine maruz kalmaz. Bu nedenle test süresince kablo olması gerektiği gibi test bölgesinin merkezinde olmalıdır.

4.1.2. Koaksiyel Kablo Uçlarında Sonlandırma Dirençleri Üzerinde Oluşan Akım Değerleri

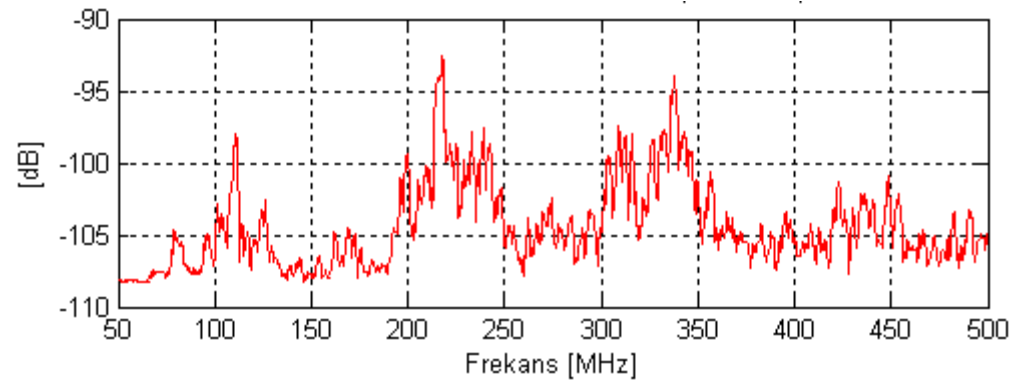
Simülasyonlar sonucu elde edilen txt uzantılı yakın uç sonlandırma dirençleri üzerinde oluşan akım değerlerini içeren dosyalar ilk olarak Matlab programında kullanılarak AV_{env} grafikleri elde edilmiştir.



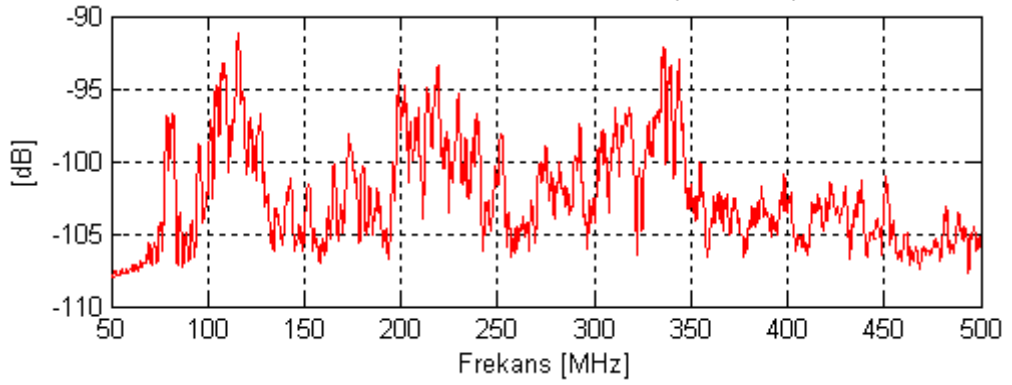
Şekil 4.5. Model-2'nin 1. kaynak için AV_{env} akım değeri



Şekil 4.6. Model-2'nin 1. ve 2. kaynaklar için AV_{env} akım değeri



Şekil 4.7. Model-2'nin 1. ve 3. kaynaklar için AV_{env} akım değeri

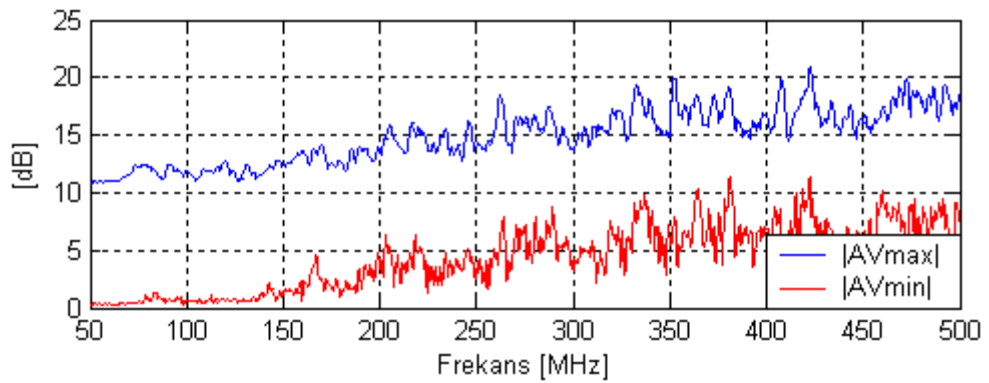


Şekil 4.8. Model-2'nin 1. ve 4. kaynaklar için AV_{env} akım değeri

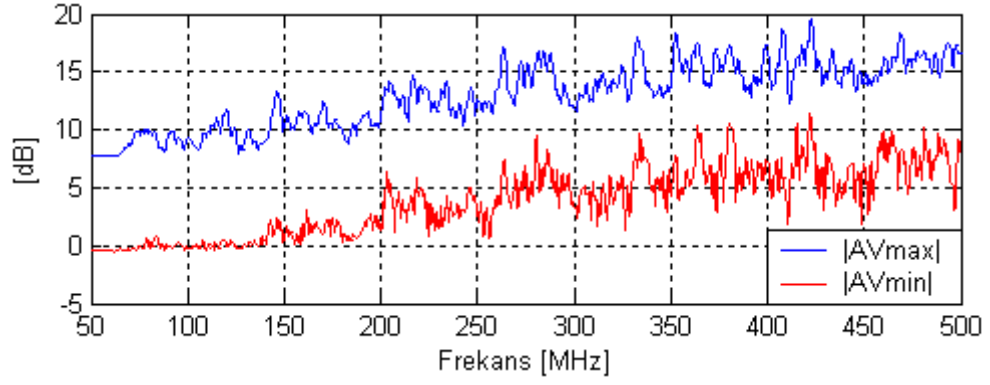
Yukarıda ki bulunan sonuçlara dayanarak düzenli bir alana sahip olan hacim içine kurulan bir kablonun sonlandırma dirençleri üzerinde karıştırıcının pozisyonuna, kaynağın konumuna, yönüne ve sayısına bağlı olarak farklı akım değerleri elde edilir sonucuna ulaşılmıştır.

4.1.3. Reverberation Chamber İçinde Oluşan Maksimum ve Minimum Elektrik Alan Büyüklükleri

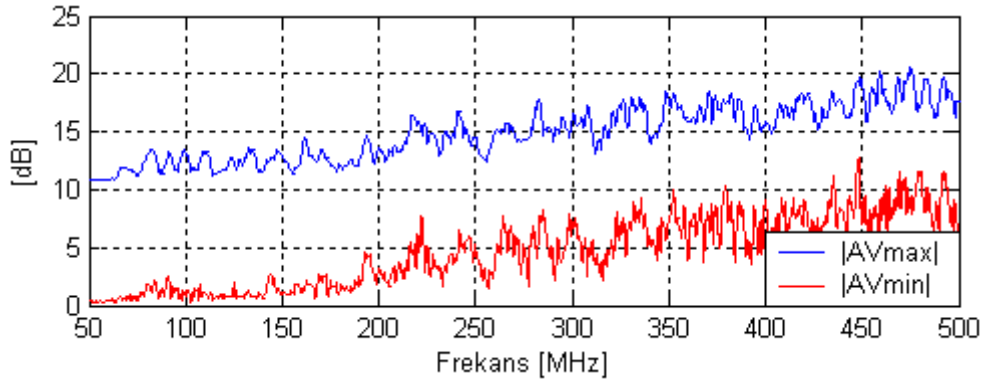
Simülasyonlar sonucu elde edilen txt uzantılı elektrik alan değerlerini içeren dosyalar daha sonra RC içindeki maksimum ve minimum alan (AV_{max} , AV_{min}) değer grafiklerinin elde edilmesi için kullanılmışlardır. Daha sonra her kaynak kombinasyonu için aşağıda verilen grafikler elde edilmiştir.



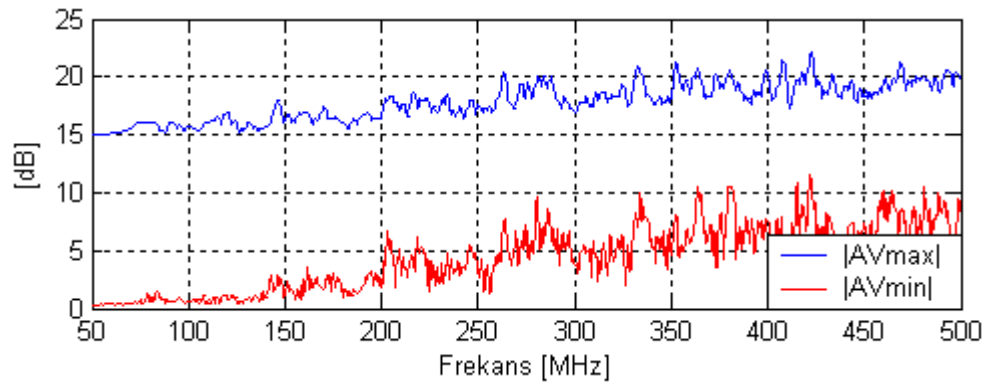
Şekil 4.9. 1. kaynak varken RC'de oluşan mak. ve min. elektrik alanlar



Şekil 4.10. 1. ve 2. kaynaklar varken RC’de oluşan mak. ve min. EA değerleri



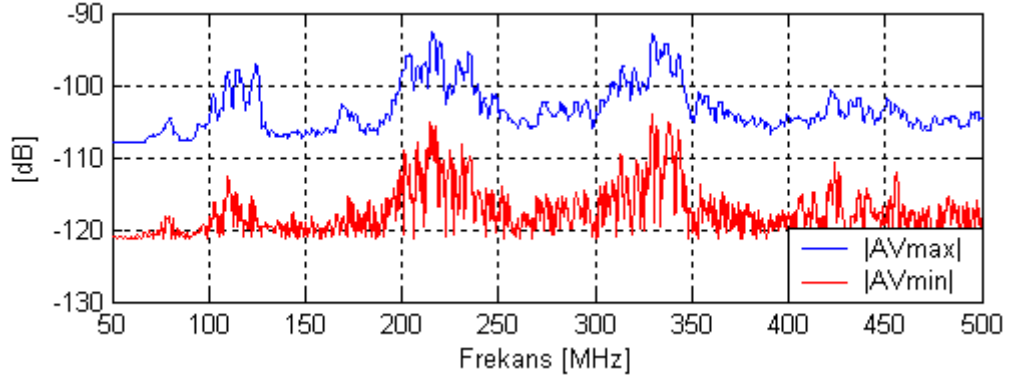
Şekil 4.11. 1. ve 3. kaynaklar varken RC’de oluşan mak. ve min. EA değerleri



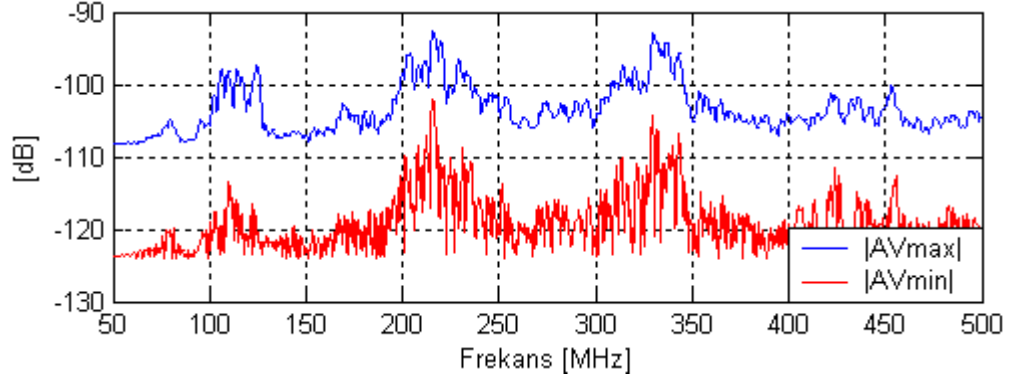
Şekil 4.12. 1. ve 4. kaynaklar varken RC’de oluşan mak. ve min. EA değerleri

4.1.4. Koaksiyel Kablo Uçlarında Sonlandırma Dirençleri Üzerinde Oluşan Maksimum ve Minimum Akım Değerleri

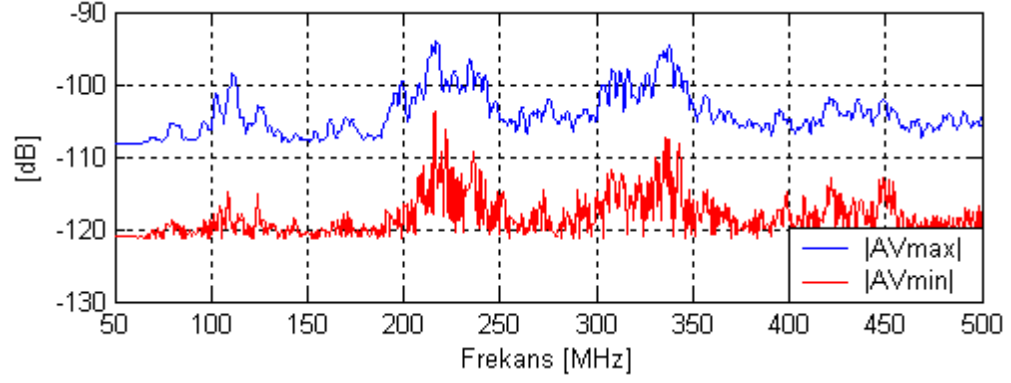
Yine aynı şekilde simülasyonlar sonucu elde edilen txt uzantılı yakın uç akım değerlerini içeren dosyalar bu sefer RC içindeki maksimum ve minimum akım (AV_{max} , AV_{min}) değer grafiklerinin elde edilmesi için kullanılmışlardır. Daha sonra her kaynak kombinasyonu için aşağıda verilen grafikler elde edilmiştir.



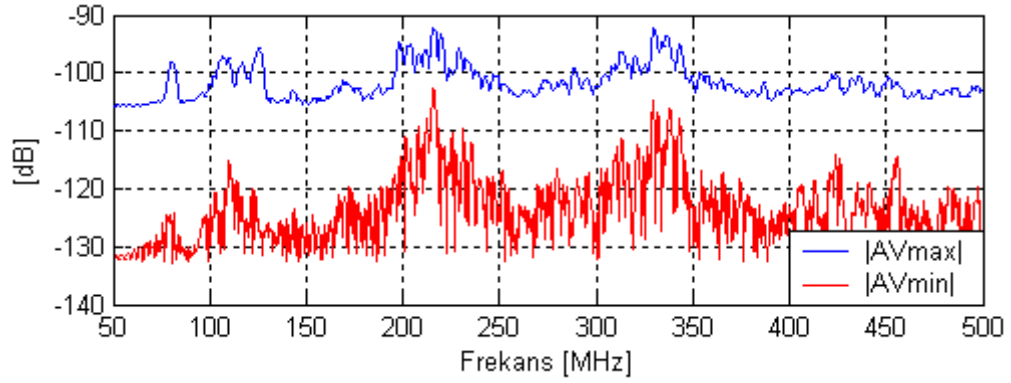
Şekil 4.13. 1. kaynak varken koaksiyel kabloda oluşan mak. ve min. akım değerleri



Şekil 4.14. 1. ve 2. kaynaklar varken koaksiyel kabloda oluşan mak. ve min. akım değerleri



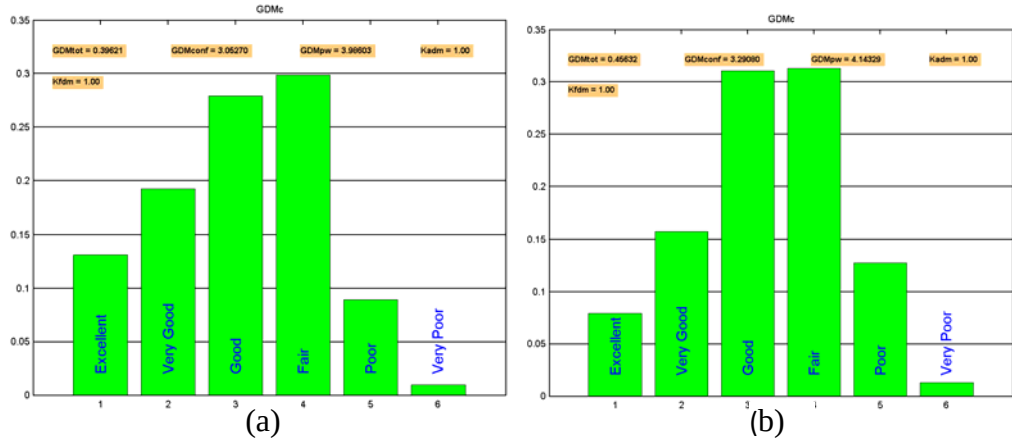
Şekil 4.15. 1. ve 3. kaynaklar varken koaksiyel kabloda oluşan mak. ve min. akım değerleri



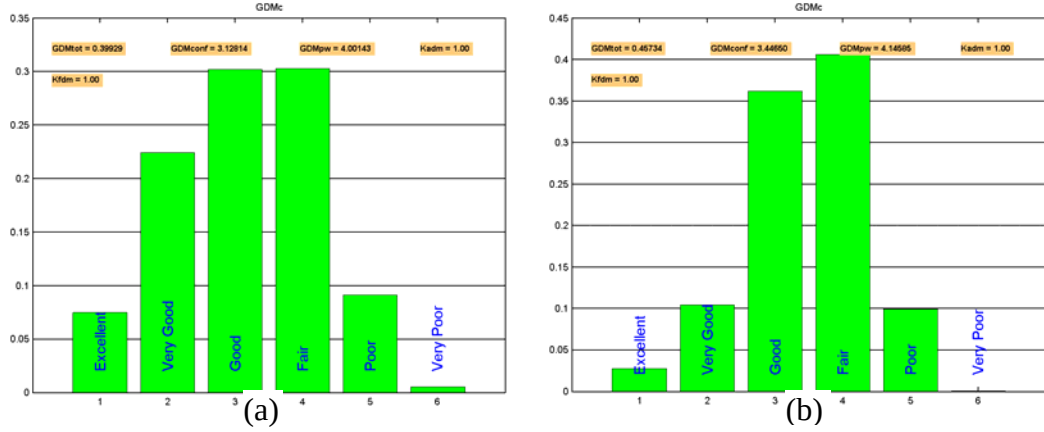
Şekil 4.16. 1. ve 4. kaynaklar varken koaksiyel kabloda oluşan mak. ve min. akım değerleri

4.1.5. Elektrik Alan Değerlerinin (AV_{env} & AV_{max}) FSV Sonuçları (GDMc)

Elde edilen AV_{env} ve AV_{max} alan değerleri FSV programı kullanılarak karşılaştırılmışlardır.



Şekil 4.17. a. Sadece 1.kaynak için. b. 1. & 2. Kaynaklar için FSV karşılaştırma sonuçları

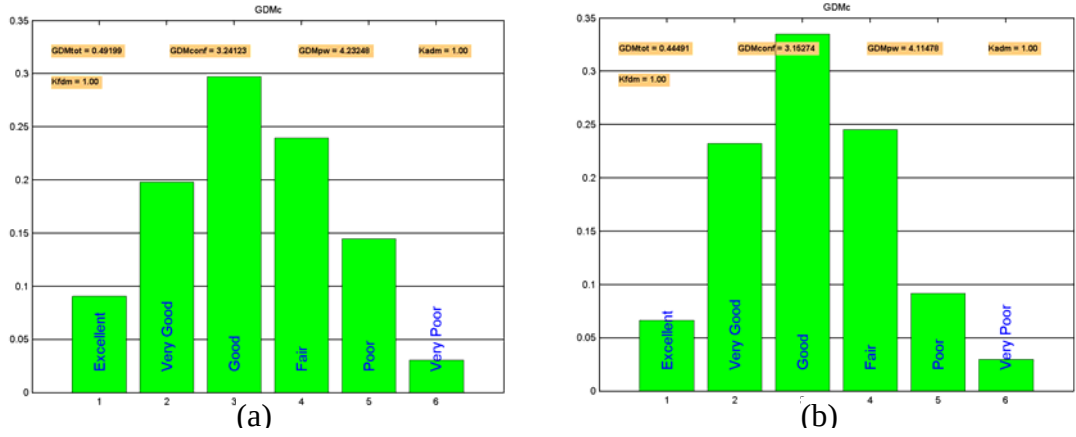


Şekil 4.18. a. 1. & 3. Kaynaklar için b. 1. & 4. Kaynaklar için FSV karşılaştırma sonuçları

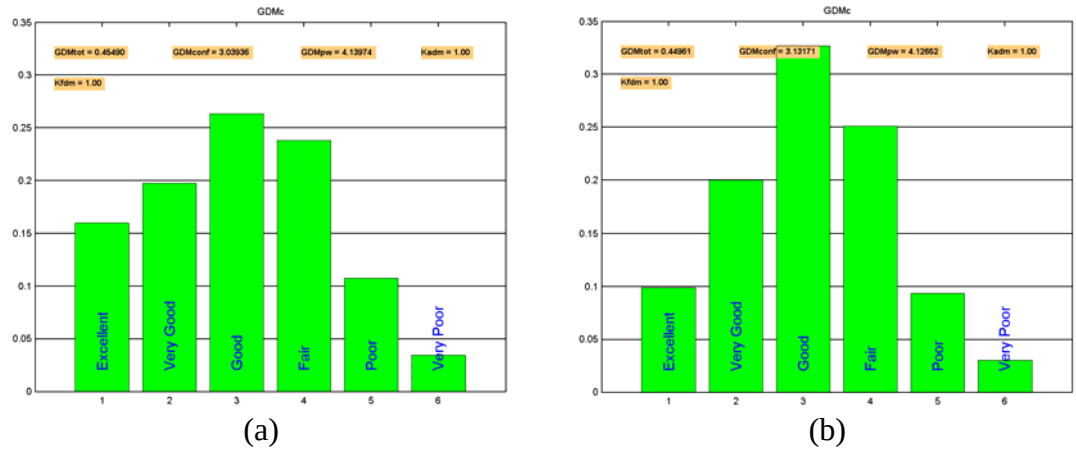
Karşılaştırma sonuçlarından rahatlıkla anlaşılabileceği gibi test FSV sonuçları normal değerlerde elde edilmiştir. Yani alan değerleri için geliştirilen test metotlarının cevapları birbirini destekler niteliktedir.

4.1.6. Yakın Uç Akım Değerlerinin (AV_{env} & AV_{max}) FSV Sonuçları (GDMc)

Sonlandırma dirençleri üzerinde elde edilen AV_{env} ve AV_{max} yakın uç akım değerleri FSV programı kullanılarak karşılaştırılmışlardır.



Şekil 4.19. a. sadece 1.kaynak için. b. 1. & 2. Kaynaklar için FSV karşılaştırma sonuçları



Şekil 4.20. a. 1. & 3. Kaynaklar için b. 1. & 4. Kaynaklar için FSV karşılaştırma sonuçları

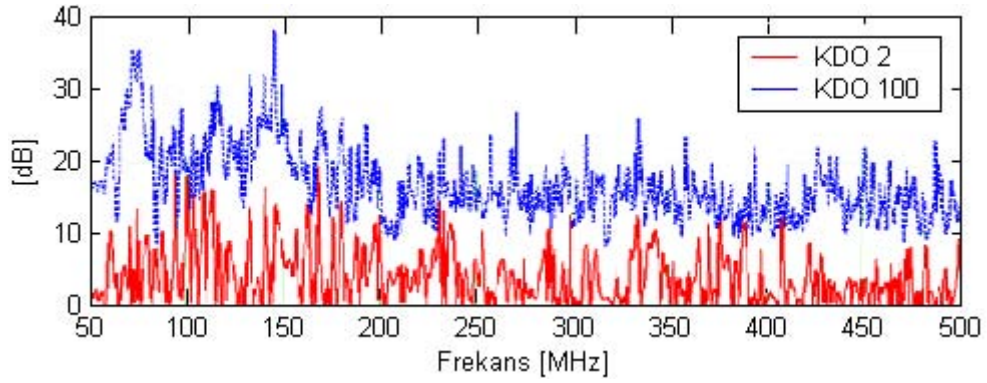
Karşılaştırma sonuçlarından rahatlıkla anlaşılabileceği gibi test FSV sonuçları normal değerlerde elde edilmiştir. Yani geliştirilen test metotlarının cevapları birbirlerini destekler niteliktedir.

4.1.7. Karıştırıcının Dönme Oranı Değeri

Optimum durum karıştırıcının dönme oranının RC'nin içindeki tüm noktalarda uniform olmasıdır. Bu da karıştırıcının, RC içindeki tüm maksima ve minimaları verimli ve eşit olarak karıştırdığının göstergesidir. Bu maksima ve minimaların karışma oranlarının karıştırıcının adım sayısına bağlı olarak incelenmesi için standart

karıştırıcı 360° de 100 adım döndürülerek her pozisyon için simülasyonlar yapılmıştır. 2-100 karıştırıcı adımları kullanılarak oluşturulan KDO'ların ortalama değerleri şekil 4.21. de gösterilmiştir.

Şekil 4.21'den adım sayıları arttıkça KDO'nun da bariz bir şekilde arttığı görülmektedir. Ayrıca bu artışın net bir şekilde anlaşılması için 200 MHz – 500 MHz frekans aralığında karıştırıcının dönüş adımlarına bağlı olarak KODO değerleri hesaplanıp çizelge 4.1 de karşılaştırılmıştır (Coates, 2004).



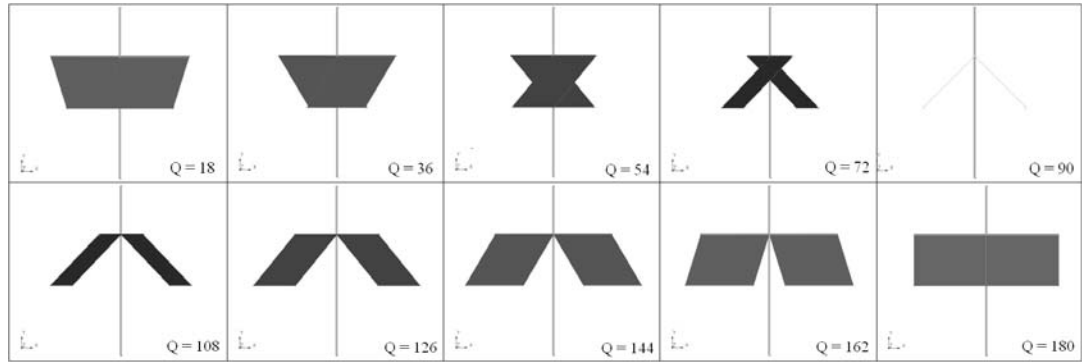
Şekil 4.21. 2-100 stirrer adımları için KDO'ların karşılaştırılması (Coates, 2004)

Çizelge 4.1. KODO'nun karıştırıcı adımlarına bağlı olarak karşılaştırılması

Karıştırıcının Adım Sayısı	Karıştırıcının Ortalama Dönme Oranı (KODO) (dB)
1	0.00
2	4.28
4	8.43
5	9.56
10	12.14
20	14.04

Çizelge 4.1’den KODO’nun zaman adımlarının sayısı ile doğru orantılı olarak değiştiği görülebilir. 20 karıştırıcı adımından sonra, 100 adım kullanıldığında üretilen KODO değerinin %80’nin üzerinde olmakla birlikte; bu, çalışma zamanını 5 kat yükseltmenin, KODO’u sadece %10 artırdığını göstermektedir.

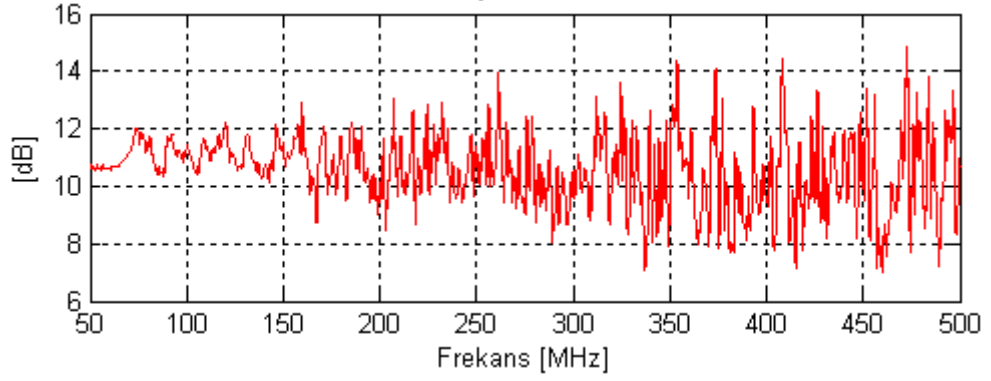
Yani başlangıçta oran hızlı artarken sonradan yavaşlayarak artmıştır. Karıştırıcı ve RC arasındaki bu ilişkinin benzeri büyüyen (organik) sistemlerin büyümelerinde ki gibidir. Yani organik sistemlerin büyümeleri ilk başta hızlı sonraları ise yavaştır. Büyüme için biyolojik zorunluluk, besleyici uygunluk tarafından sınırlandırılmıştır ve en sonunda en yüksek asimptota ulaşır. Sonuç olarak çizelge 4.1’den, KDO zaman adımlarının tüm simülasyonlar için 360 derecede 20 adım olmasına karar verilmiştir. Yani tüm simülasyonlarda her bir model için (model-1, model-2) karıştırıcının açıları (Q_j) 18, 36,...360 şeklinde açıldırılmıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Karıştırıcının farklı açılardaki konumları

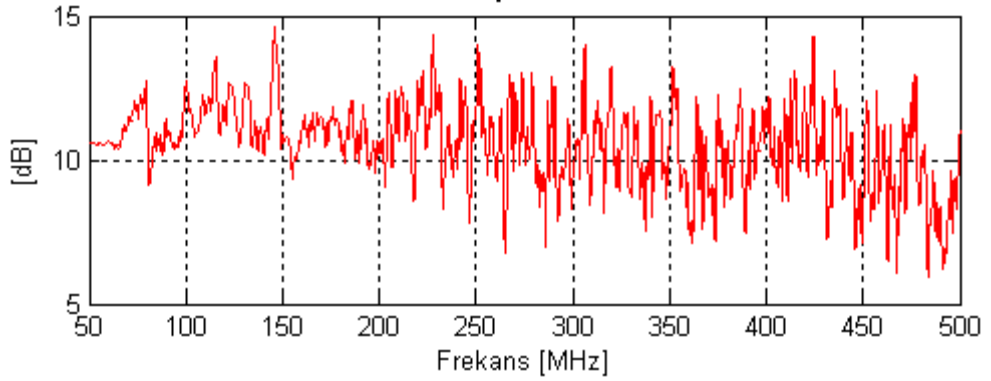
4.1.8. Model-1 İçin Karıştırıcı Dönme Oranı Cevapları

Model-1 için sadece 1. Kaynak kullanılarak yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum ve minimum elektrik alan büyüklükleri eşitlik 3.16’da kullanılarak model-1 için sadece 1. kaynak ile KDO değeri şekil 4.23’deki gibi elde edilmiştir.

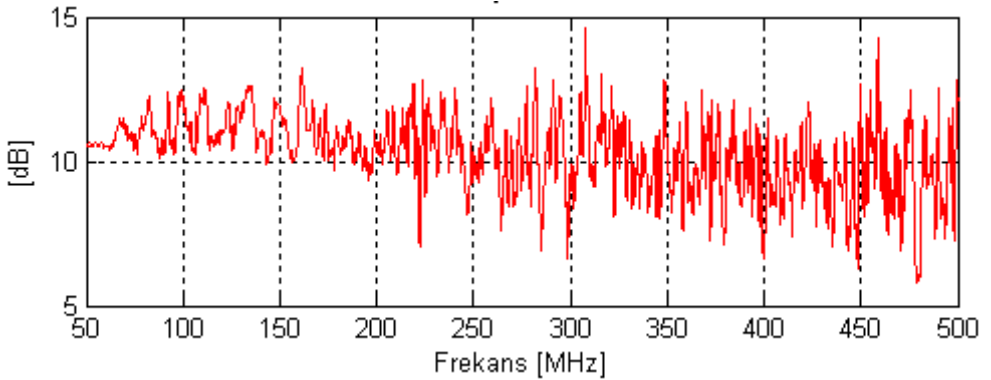


Şekil 4.23. Model-1'in 1. kaynak için RC'de oluşan KDO değeri

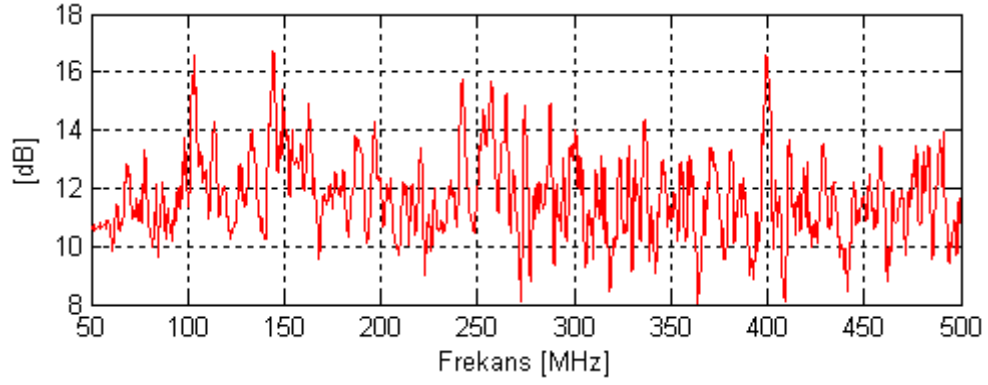
Model-1 de chamber içine 1. ve 2. Kaynak, 1. ve 3. Kaynak, 1. ve 4. kaynakların ayrı ayrı eklenmesi sonucu chamber içinde oluşan maksimum ve minimum elektrik alan büyüklükleri eşitlik 3.16'da kullanılarak KDO değerleri hesaplanıp şekil 4.24, 25, 26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Model-1'in 1. ve 2. kaynaklar için RC'de oluşan KDO değeri

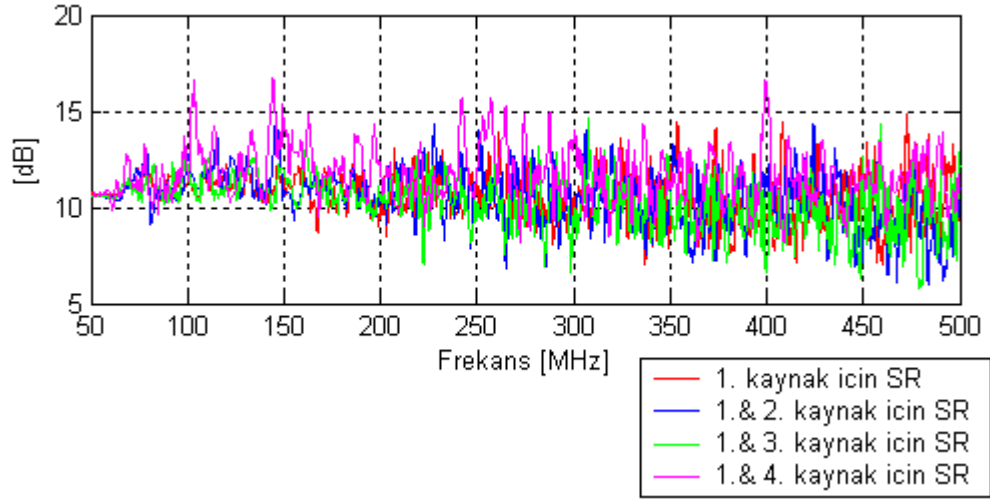


Şekil 4.25. Model-1'in 1. ve 3. kaynaklar için RC'de oluşan KDO değeri



Şekil 4.26. Model-1'in 1. ve 4. kaynaklar için RC'de oluşan KDO değeri

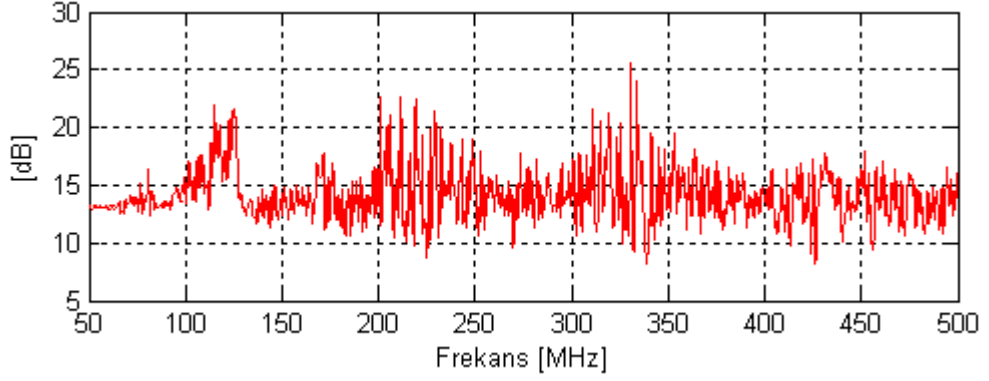
Ayrıca şekil 4.27'de model-1 için elde edilen tüm KDO değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.27. Model-1'in tüm kaynaklar için KDO değerlerinin karşılaştırması

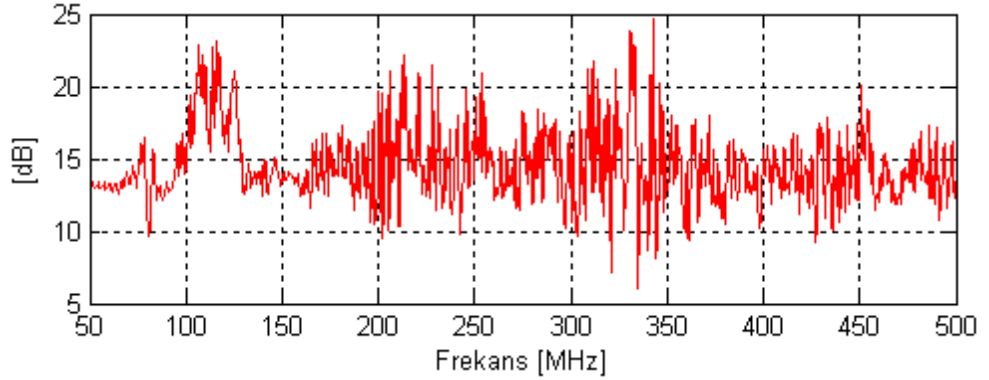
4.1.9. Model -2 İçin Karıştırıcı Dönme Oranı Cevapları

Model-2 için sadece 1. Kaynak kullanılarak yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen maksimum ve minimum akım değerlerinin eşitlik 3.16'da kullanılması ile KDO değeri şekil 4.28'deki gibi elde edilmiştir.

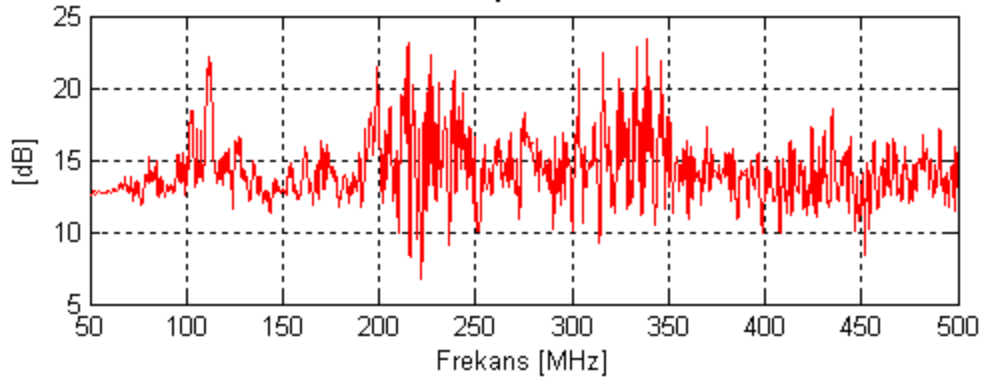


Şekil 4.28. Model-2'nin 1. kaynak için RC'de oluşan KDO

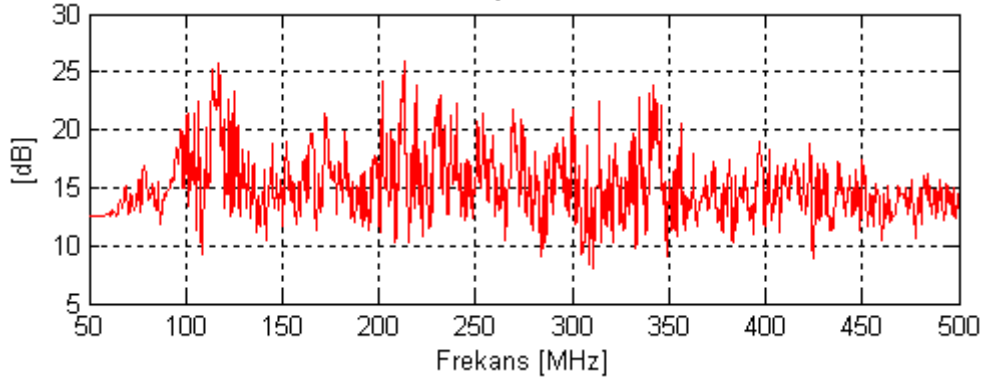
Model-2 de chamber içine 1. ve 2. Kaynak, 1. ve 3. Kaynak, 1. ve 4. kaynakların ayrı ayrı eklenmesi sonucu yakın uç sonlandırma dirençleri üzerinde oluşan maksimum ve minimum elektrik alan büyüklükleri eşitlik 3.16'da kullanılarak KDO değerleri hesaplanıp şekil 4.29, 4.30 ve 31'de gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Model-2'nin 1. ve 2. kaynaklar için RC'de oluşan KDO

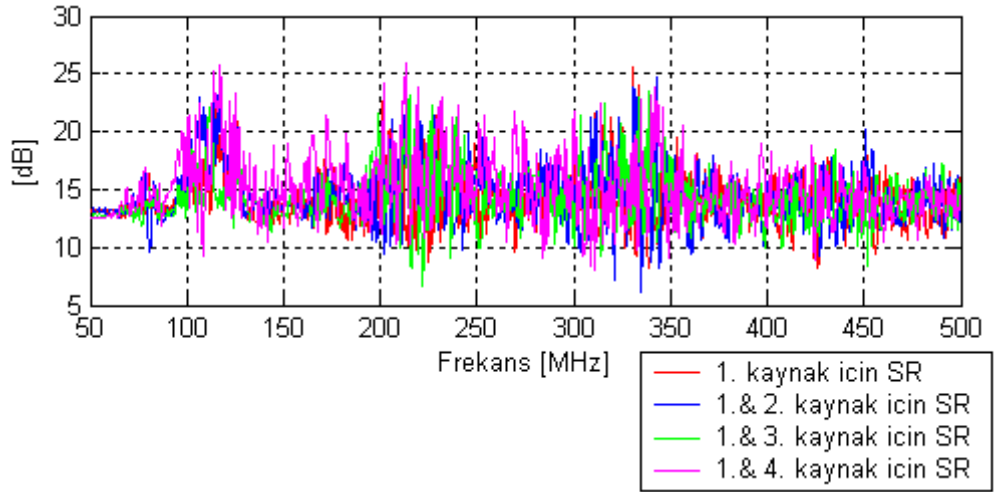


Şekil 4.30. 1 Model-2'nin 1. ve 3. kaynaklar için RC'de oluşan KDO



Şekil 4.31. Model-2'nin 1. ve 4. kaynaklar için RC'de oluşan KDO

Ayrıca şekil 4.32'de model-2 için elde edilen tüm KDO değerleri karşılaştırılmıştır.



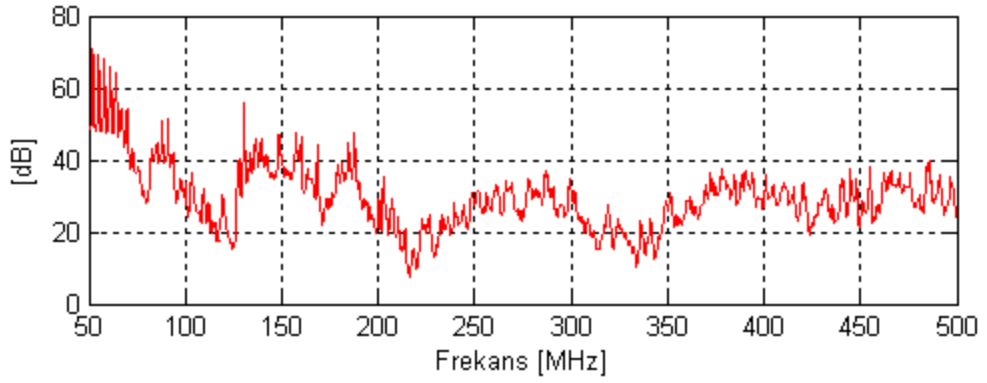
Şekil 4.32. Model-2'nin tüm kaynaklar için KDO karşılaştırması

Bütün elde edilen sonuçlar gösteriyor ki, karıştırıcının etkinliği, daha fazla karıştırıcı adım sayısı ile gelişmektedir. Yani daha önceden de belirtildiği gibi KDO adım sayısı ile nonlineer bir artış gösterir.

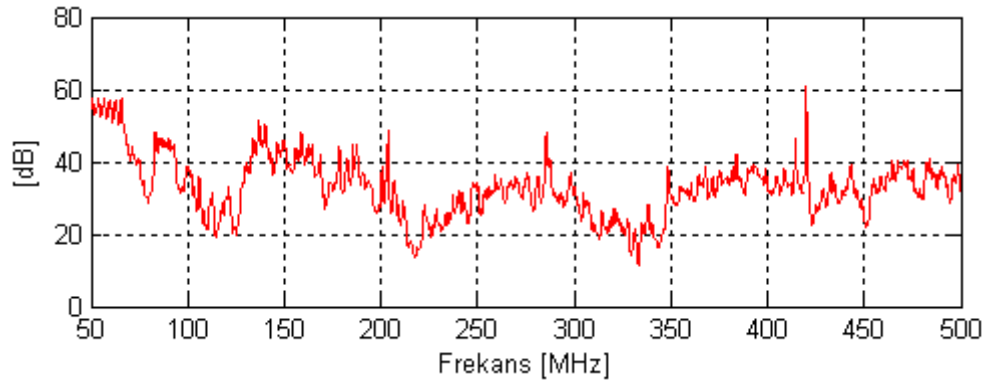
4.1.10. Ekranlama Etkinliğinin Hesaplanması

Model-2 için sadece 1. Kaynak, 1. ve 2. Kaynak, 1. ve 3. Kaynak, 1. ve 4. kaynakların ayrı ayrı eklenmesi sonucu elde edilen uzak uç gerilim değerleri ile yakın uç akım değerleri eşitlik 3.22'de kullanılarak test altındaki kablonun yüzey transfer empedans değerleri bulunmuştur. Ve daha sonra bu yüzey transfer empedans

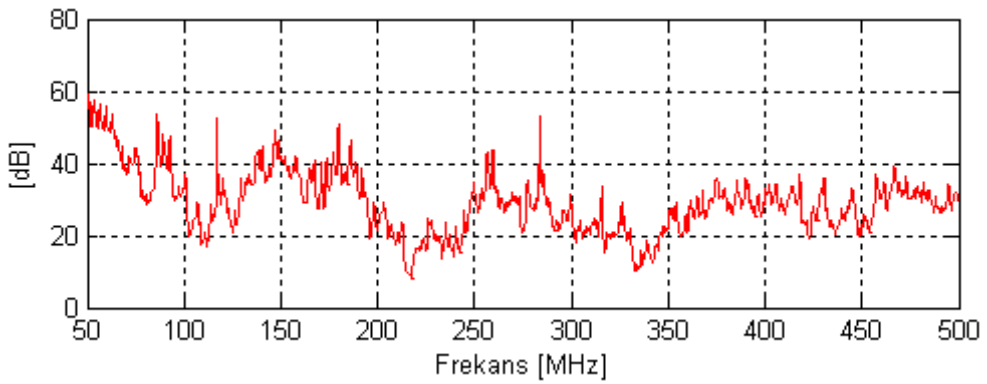
değerleri eşitlik 3.38’de kullanılarak koaksiyel kablonun ekranlama etkinliği tüm kaynak kombinasyonları için hesaplanmıştır.



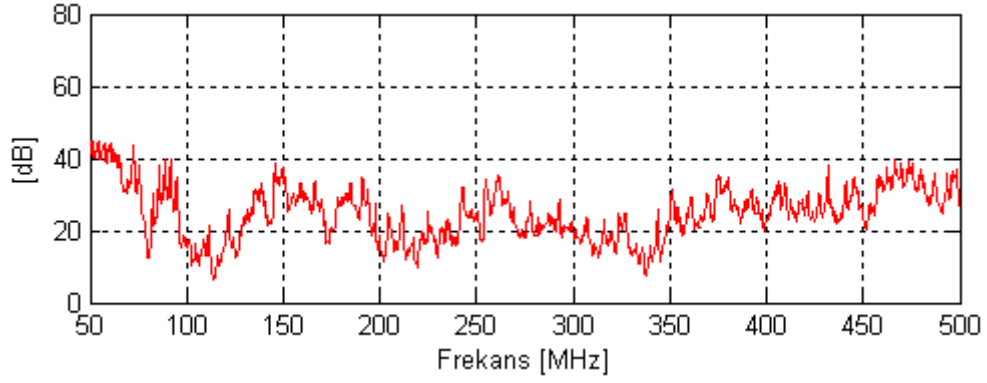
Şekil 4.33. 1. Kaynak için koaksiyel kablonun EE değeri



Şekil 4.34. 1. Ve 2. Kaynaklar için koaksiyel kablonun EE değeri

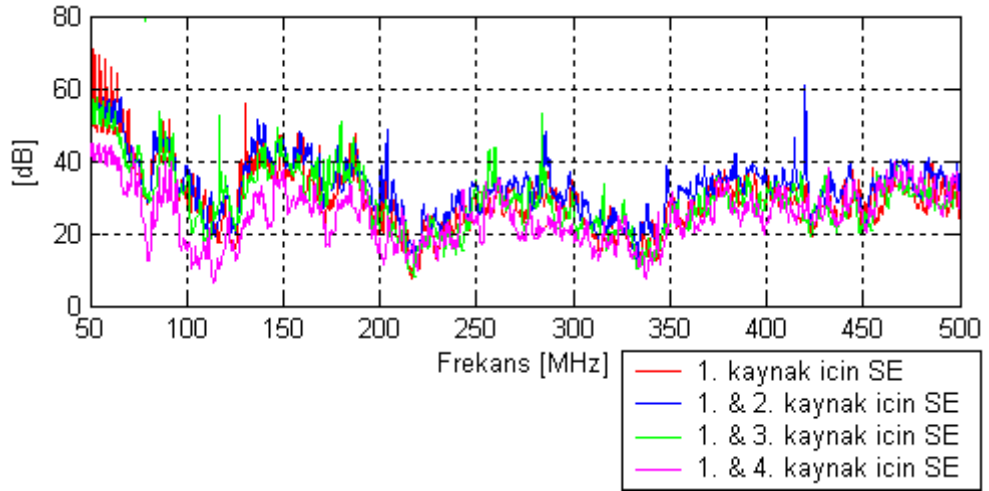


Şekil 4.35. 1. Ve 3. Kaynaklar için koaksiyel kablonun EE değeri



Şekil 4.36. 1. Ve 4. Kaynaklar için koaksiyel kablonun EE değeri

Koaksiyelin ekranlama etkinliği tüm kaynak kombinasyonları için şekil 4.37’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.37. EE değerlerinin karşılaştırılması

Pratikte verilen EE değerlerinin anlamlı olabilmesi için çizelge 4.2’deki ekranlama seviyeleri verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere 30 dB EE ortalama değer olarak kabul edilmektedir (Sevgi, 2004).

Şekil 4.37’deki simulasyonlar sonucu bulduğumuz EE değerlerini incelersek eğer tüm kaynaklar için EE’ler ortalama olarak 30 dB civarındadırlar. Yani buradan da testi yapılan kablonun EE’si ortalama değerdedir sonucunu çıkarabiliriz.

Çizelge 4.2. Tipik ekranlama değerleri (E: EM alan, P: EM güç) (Sevgi, 2004)

Ekranlama Etkinliği (EE)	$E_{dış} / E_{iç}$	$P_{dış} / P_{iç}$	Açıklama
10 dB	% 32	% 10	Kötü
20 dB	%10	%1	Alt Sınır
30 dB	% 3.6	% 0.1	Ortalama
60 dB	% 0.1	% 0.0001	İyi
90 dB	%0.0031	% 0.001 ppm	Çok İyi
120 dB	% 0.0001	% 0.000001 ppm	Olağan Üstü

4.1.11. Modelleme Sonuçları

4.1.11.1. Veri Madenciliği Yöntemi ile Modelleme Sonuçları

4.1.11.1.1. Veri Madenciliği Yöntemi ile Kaynak-1'in Modelleme Sonucu

Kaynak-1 için kurulan veri madenciliği modelinde ele alınan parametreler çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kaynak-1 için veri madenciliği programlama modelinde kullanılan parametreler

Data	1490
Değişken	3
Test Yöntemi	Evaluate on training data
Sınıflandırma Modeli	Linear Regression Model

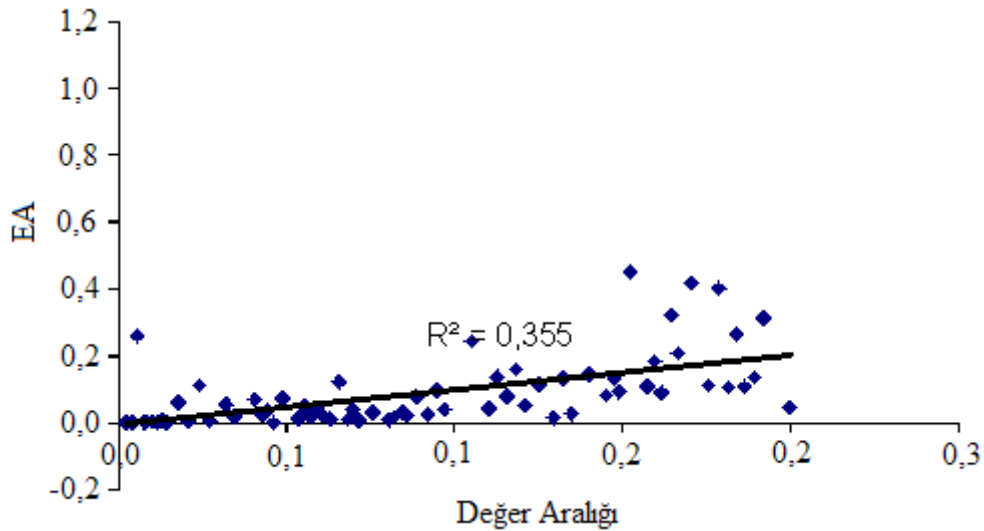
Bu parametrelere bağılı kalınarak yapılan modellemede $R^2 = 0,355$ 'lik doğruluk değerine ulaşılmıştır.

% 35.5'lik doğruluk payı veren modelleme sonucunda WEKA 3.5 programı tarafından üretilen fonksiyon aşağıdaki şekildedir.

$$\begin{aligned} &\{ \\ &\quad EA = 0.4486 * \text{frekans} \\ &\quad \quad - 0.0061 * \text{aci} \\ &\quad \quad - 0.0023 \\ &\} \end{aligned}$$

Bu model, chamber içinde oluşacak elektrik alanının karıştırıcının açısına bağılı olarak değişimini % 35.5 oranında tahmin edebilmektedir.

Kaynak-1 için hesaplama setindeki verilerin karşılaştırma sonucu Şekil 4.38'de gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Kaynak-1 için deneysel ve veri madenciliği yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki

Grafikte görüldüğü gibi deneysel veriler ile Genetik Programlama yönteminde hesaplanan veriler arasındaki ilişki, en küçük karalar metoduna göre $R^2 = 0,355$ olup kurulan modelin doğruluk oranını göstermektedir.

4.1.11.1.2. Veri Madenciliği Yöntemi ile Kaynak-2'nin Modelleme Sonucu

Kaynak-2 için kurulan veri madenciliği modelinde ele alınan parametreler çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kaynak-2 için veri madenciliği programlama modelinde kullanılan parametreler

Data	1240
Değişken	3
Test Yöntemi	Evaluate on training data
Sınıflandırma Modeli	Linear Regression Model

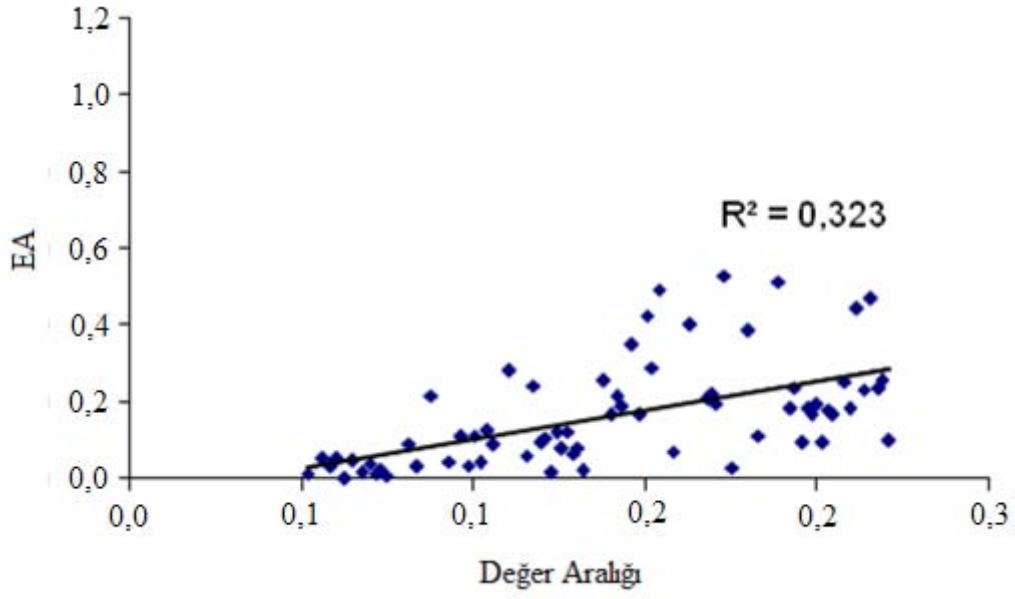
Bu parametrelere bağlı kalınarak yapılan modellemede $R^2 = 0,323$ 'lük doğruluk değerine ulaşılmıştır.

% 32.3'lük doğruluk payı veren modelleme sonucunda WEKA 3.5 programı tarafından üretilen fonksiyon aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} &\{ \\ &\quad EA = 0.3097 * \text{frekans} \\ &\quad \quad + 0.0177 * \text{aci} \\ &\quad \quad + 0.0518 \\ &\} \end{aligned}$$

Bu model chamber içinde oluşacak elektrik alanın karıştırıcının açısına bağlı olarak değişimini % 32.3 oranında tahmin edebilmektedir

Kaynak-2 için hesaplama setindeki verilerin karşılaştırma sonucu Şekil 4.39'da gösterilmiştir.



Şekil 4.39. Kaynak-2 için deneysel ve veri madenciliği yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki

Grafikte görüldüğü gibi deneysel veriler ile Genetik Programlama yönteminde hesaplanan veriler arasındaki ilişki, en küçük karalar metoduna göre $R^2 = 0,323$ olup kurulan modelin doğruluk oranını göstermektedir.

4.1.11.1.3. Veri Madenciliği Yöntemi ile Kaynak-3'ün Modelleme Sonucu

Kaynak-3 için kurulan veri madenciliği modelinde ele alınan parametreler çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kaynak-3 için veri madenciliği programlama modelinde kullanılan parametreler

Data	1530
Değişken	3
Test Yöntemi	Evaluate on training data
Sınıflandırma Modeli	Linear Regression Model

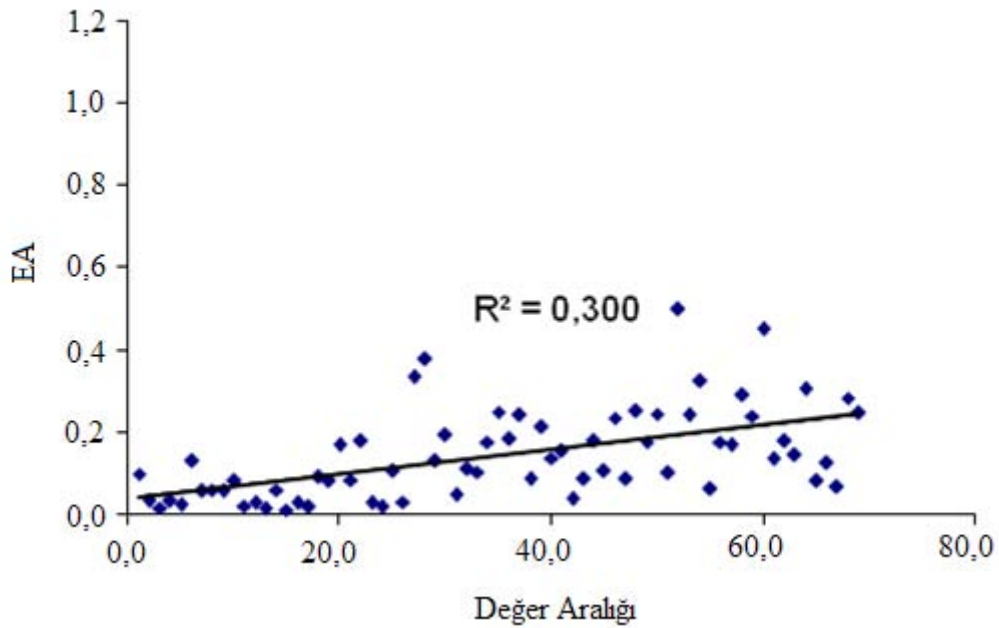
Bu parametrelere bağılı kalınarak yapılan modellemede $R^2 = 0,300$ 'lük doğruluk değerine ulaşılmıştır.

% 30'luk doğruluk payı veren modelleme sonucunda WEKA 3.5 programı tarafından üretilen fonksiyon aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} &\{ \\ &\quad EA = 0.3393 * \text{frekans} \\ &\quad \quad - 0.0074 * \text{aci} \\ &\quad \quad + 0.0511 \\ &\} \end{aligned}$$

Bu model chamber içinde oluşacak elektrik alanın karıştırıcının açısına bağılı olarak değişimini % 30 oranında tahmin edebilmektedir.

Kaynak-3 için hesaplama setindeki verilerin karşılaştırma sonucu Şekil 4.40'da gösterilmiştir.



Şekil 4.40. Kaynak-3 için deneysel ve veri madenciliği yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki

Grafikte görüldüğü gibi deneysel veriler ile Genetik Programlama yönteminde hesaplanan veriler arasındaki ilişki, en küçük karaler metoduna göre $R^2 = 0,300$ olup kurulan modelin doğruluk oranını göstermektedir.

4.1.11.1.4. Veri Madenciliği Yöntemi ile Kaynak-4'ün Modelleme Sonucu

Kaynak-4 için kurulan veri madenciliği modelinde ele alınan parametreler çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kaynak-4 için veri madenciliği programlama modelinde ele alınan parametreler

Data	1030
Değişken	3
Test Yöntemi	Evaluate on training data
Sınıflandırma Modeli	Linear Regression Model

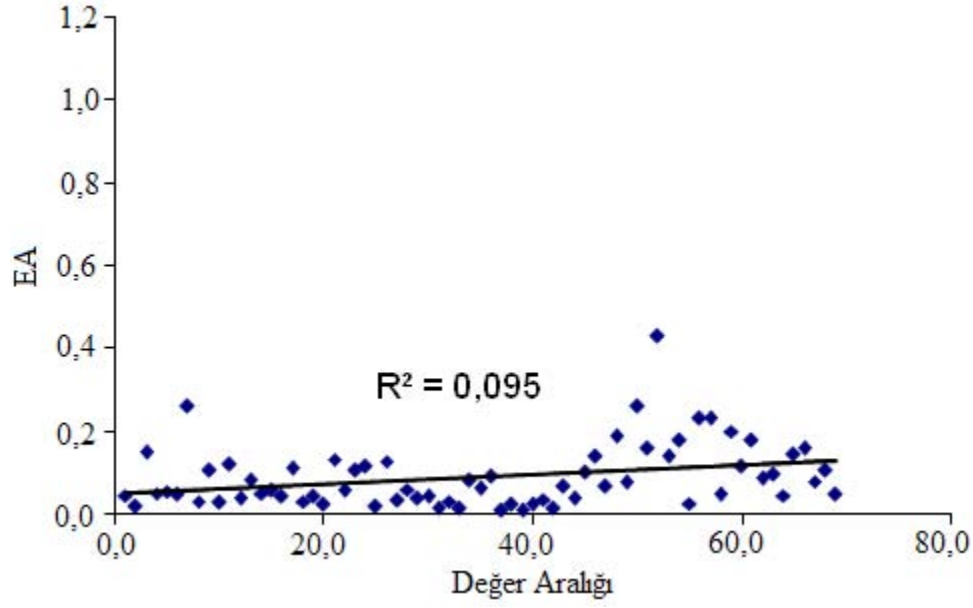
Bu parametrelere bağlı kalınarak yapılan modellemede $R^2 = 0,095$ 'lik doğruluk değerine ulaşılmıştır.

% 9.5'lik doğruluk payı veren modelleme sonucunda WEKA 3.5 programı tarafından üretilen fonksiyon aşağıda verilmiştir.

```
{  
    EA = 0.1023 * frekans  
        + 0.0045 * aci  
        + 0.0611  
}
```

Bu model chamber içinde oluşacak elektrik alanın karıştırıcının açısına bağlı olarak değişimini % 9.5 oranında tahmin edebilmektedir.

Kaynak-4 için hesaplama setindeki verilerin karşılaştırma sonucu Şekil 4.41'de gösterilmiştir.



Şekil 4.41. Kaynak-4 için deneysel ve veri madenciliği yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki

Grafikte görüldüğü gibi deneysel veriler ile Genetik Programlama yönteminde hesaplanan veriler arasındaki ilişki, en küçük karalar metoduna göre $R^2 = 0,095$ olup kurulan modelin doğruluk oranını göstermektedir.

4.1.11.2. Genetik Programlama Yöntemi ile Modelleme Sonuçları

4.1.11.2.1. Genetik Programlama Yöntemi ile Kaynak-1'in Modelleme Sonucu

Kaynak-1 için kurulan Genetik Programlama Modelinde ele alınan parametreler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu model APS 2.0 hazır genetik programlama paket programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.7. Kaynak-1 için Genetik programlama modelinde kullanılan parametreler

Deneyisel Veriler:	Sayısal Değeri
Toplam Öğrenme Veri Sayısı	1114
Toplam Veri Test Sayısı	224

Çizelge 4.7. (devam)

Toplam Hesaplama Test Sayısı	74
Kromozom Sayısı	50
Gen Sayısı	1
Fonksiyon Değişken Sayısı	2
Mutasyon Oranı	0.044
İstenen Uygunluk Fonksiyonu	$R^2=1$

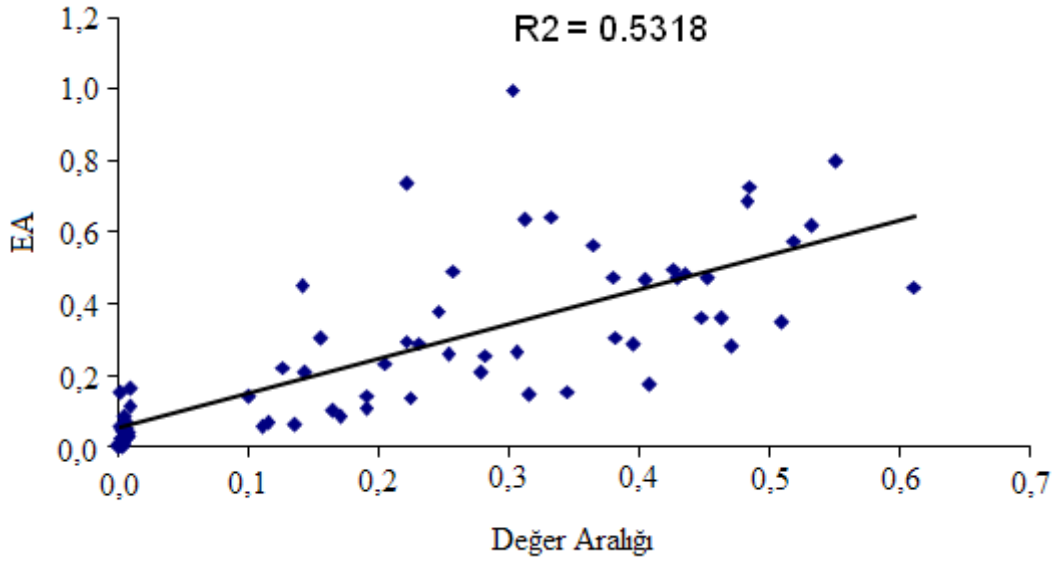
Geliştirilen modeldeki deneysel verilerin 50 kromozoma bölünüp 0.044 mutasyon işlemine tabi tutulması sonucunda $R^2= 0,5318$ 'lik doğruluk değeri elde edilmiştir.

%53.18'lik doğruluk payı veren hesaplama sonucunda program tarafından verilen C++ kodu aşağıda dösterildiği şekildedir.

```
double APSCfunction(double d[])
double APSCfunction(double d[])
{
    double dblTemp = 0;
    dblTemp += ((d[0]*sqrt(d[0]))/(cos(d[1])+sqrt(d[0])));
    return dblTemp;
}
```

Bu kod chamber içinde oluşacak elektrik alanın karıştırıcının açısına bağlı olarak değişimini %53.18oranında tahmin edebilmektedir.

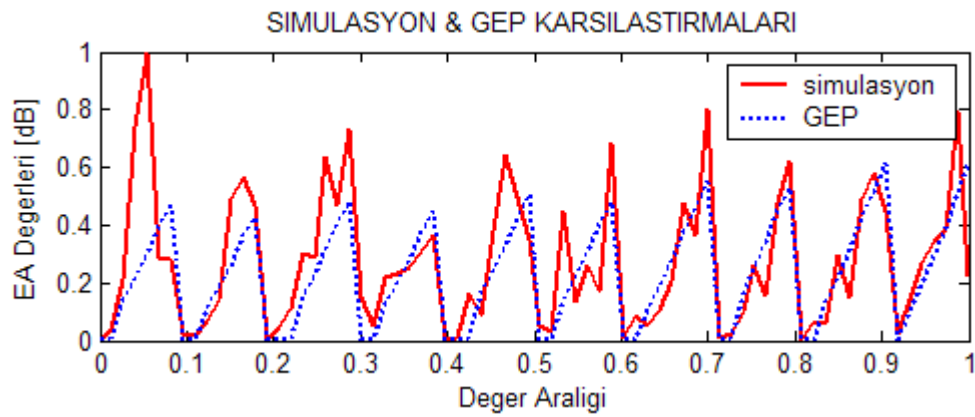
Kaynak-1 için hesaplama setindeki verilerinin karşılaştırma sonucu Şekil 4.42'de verilmiştir.



Şekil 4.42. Kaynak-1 için deneysel ve genetik programlama yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki

Grafikten de görüldüğü gibi deneysel verilerle genetik programlama yönteminde hesaplanan veriler arasındaki ilişki en küçük karalar metoduna göre $R^2 = 0,5318$ olup kurulan modelin doğruluk oranını göstermektedir.

Genetik Programlama modelinden Kaynak-1 için elde edilen matematiksel ifade, modellemede kullanılan hesaplama testi sonuçlarına göre simülasyon sonuçları ile karşılaştırdığında Şekil 4.43'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.43. Kaynak-1 için hesaplama testinin simülasyon ve GP cevabı

4.1.11.2.2. Genetik Programlama Yöntemi ile Kaynak-2'nin Modelleme Sonucu

Kaynak-2 için kurulan Genetik Programlama Modelinde ele alınan parametreler Çizelge 4.8'de verilmiştir. Bu model APS 2.0 hazır genetik programlama paket programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.8. Kaynak-2 için Genetik programlama modelinde kullanılan parametreler

Deneysel Veriler:	Sayısal Değeri
Toplam Öğrenme Veri Sayısı	930
Toplam Veri Test Sayısı	248
Toplam Hesaplama Test Sayısı	62
Kromozom Sayısı	50
Gen Sayısı	2
Fonksiyon Değişken Sayısı	2
Mutasyon Oranı	0.044
İstenen Uygunluk Fonksiyonu	$R^2=1$

Geliştirilen modeldeki deneysel verilerin 50 kromozoma bölünüp 0.044 mutasyon işlemine tabi tutulması sonucunda $R^2= 0,313$ 'lük doğruluk değeri elde edilmiştir.

%31.3'lük doğruluk payı veren hesaplama sonucunda program tarafından verilen C++ kodu aşağıda gösterildiği şekildedir.

```
double APSCfunction(double d[])
{
    double dblTemp = 0;
    dblTemp *= cos(sin(d[0]));
```

```

dblTemp *= (d[0]-log10(exp(d[0])));

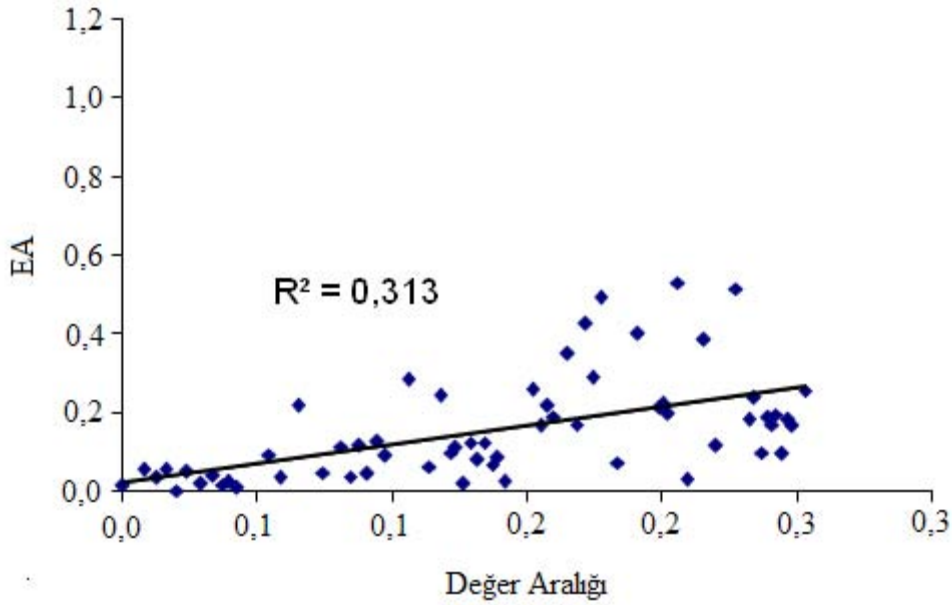
return dblTemp;

}

```

Bu kod chamber içinde oluşacak elektrik alanın karıştırıcının açısına bağlı olarak değişimini %31.3 oranında tahmin edebilmektedir.

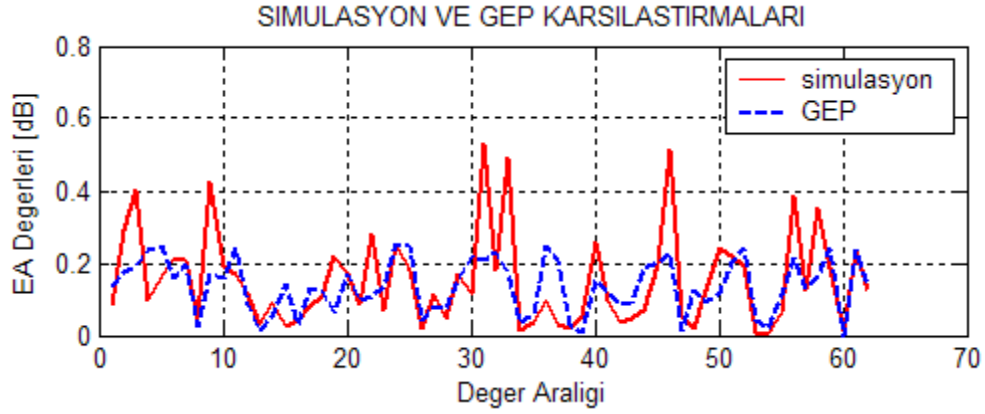
Kaynak-2 için hesaplama setindeki verilerin karşılaştırma sonucu Şekil 4.44’de verilmiştir.



Şekil 4.44. Kaynak-2 için deneysel ve genetik programlama yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki

Grafikten de görüldüğü gibi deneysel verilerle genetik programlama yönteminde hesaplanan veriler arasındaki ilişki en küçük kareler metoduna göre $R^2 = 0,313$ olup kurulan modelin doğruluk oranını göstermektedir.

Genetik Programlama modelinden Kaynak-2 için elde edilen matematiksel ifade, modellemede kullanılan hesaplama testi sonuçlarına göre simulasyon sonuçları ile karşılaştırdığında Şekil 4.45’deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.45. Kaynak-2 için hesaplama testinin simulasyon ve GP cevabı

4.1.11.2.3. Genetik Programlama Yöntemi ile Kaynak-3'ün Modelleme Sonucu

Kaynak-3 için kurulan Genetik Programlama Modelinde ele alınan parametreler Çizelge 4.9'da verilmiştir. Bu model APS 2.0 hazır genetik programlama paket programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.9. Kaynak-3 için Genetik programlama modelinde kullanılan parametreler

Deneyisel Veriler:	Sayısal Değeri
Toplam Öğrenme Veri Sayısı	1147
Toplam Veri Test Sayısı	306
Toplam Hesaplama Test Sayısı	76
Kromozom Sayısı	50
Gen Sayısı	2
Fonksiyon Değişken Sayısı	2
Mutasyon Oranı	0.044
İstenen Uygunluk Fonksiyonu	$R^2=1$

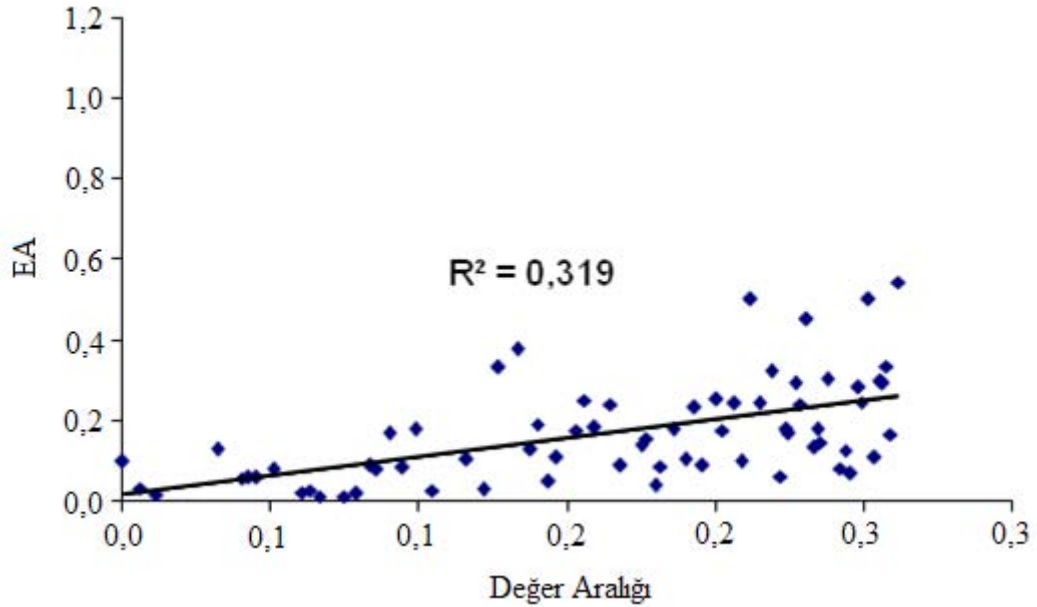
Geliştirilen modeldeki deneysel verilerin 50 kromozoma bölünüp 0.044 mutasyon işlemine tabi tutulması sonucunda $R^2 = 0,319$ 'luk doğruluk değeri elde edilmiştir.

%31.9'luk doğruluk payı veren hesaplama sonucunda program tarafından verilen C++ kodu aşağıda dösterildiği şekildedir.

```
double APSCfunction(double d[])
{
    double dblTemp = 0;
    dblTemp *= pow(cos(sqrt(sin(cos(cos(exp(d[0]))))))),d[0]);
    dblTemp *= (cos(sqrt(sin(cos(cos((d[0]+d[0])))))))*d[0]);
    return dblTemp;
}
```

Bu kod chamber içinde oluşacak elektrik alanın karıştırıcının açısına bağlı olarak değişimini %31.9oranında tahmin edebilmektedir.

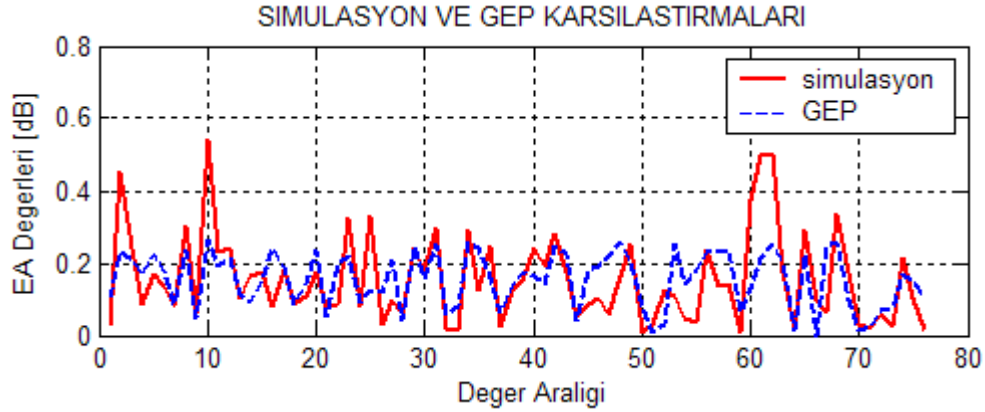
Kaynak-3 için hesaplama setindeki verilerinin karşılaştırma sonucu Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.46. Kaynak-3 için deneysel ve genetik programlama yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki

Grafikten de görüldüğü gibi deneysel verilerle genetik programlama yönteminde hesaplanan veriler arasındaki ilişki en küçük karalar metoduna göre $R^2 = 0,319$ olup kurulan modelin doğruluk oranını göstermektedir.

Genetik Programlama modelinden Kaynak-3 için elde edilen matematiksel ifade, modellemede kullanılan hesaplama testi sonuçlarına göre simülasyon sonuçları ile karşılaştırdığında Şekil 4.47’deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.47. Kaynak-3 için hesaplama testinin simülasyon ve GP cevabı

4.1.11.2.4. Genetik Programlama Yöntemi ile Kaynak-4’ün Modelleme Sonucu

Kaynak-4 için kurulan Genetik Programlama Modelinde ele alınan parametreler Çizelge 4.10’da verilmiştir. Bu model APS 2.0 hazır genetik programlama paket programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.10. Kaynak-4 için Genetik programlama modelinde kullanılan parametreler

Deneyisel Veriler:	Sayısal Değeri
Toplam Öğrenme Veri Sayısı	772
Toplam Veri Test Sayısı	206
Toplam Hesaplama Test Sayısı	52

Kromozom Sayısı	50
Gen Sayısı	3
Fonksiyon Değişken Sayısı	2
Mutasyon Oranı	0.044
İstenen Uygunluk Fonksiyonu	$R^2=1$

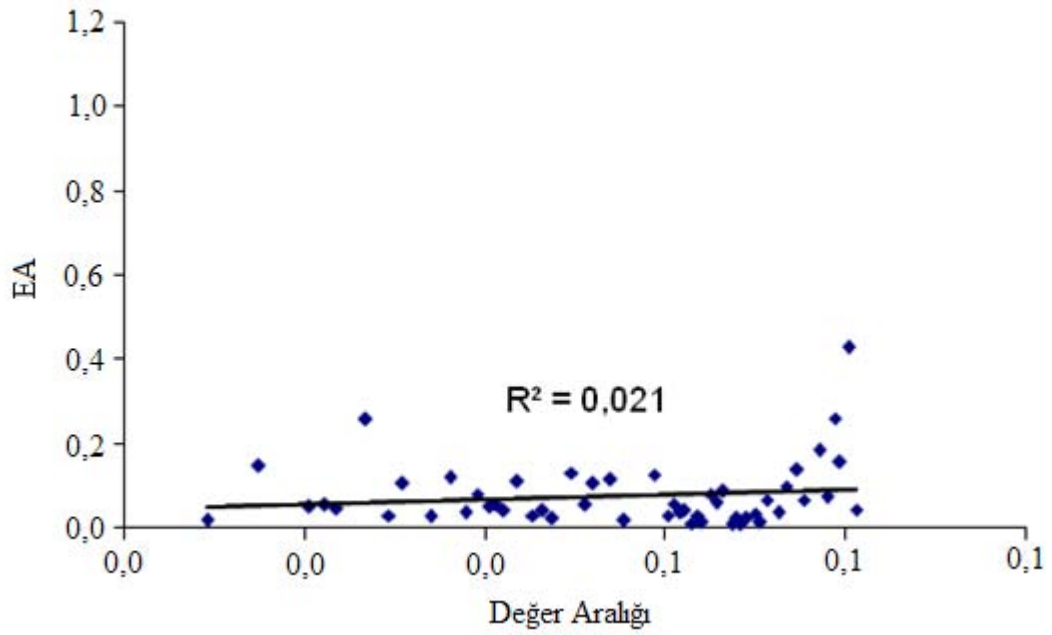
Geliştirilen modeldeki deneysel verilerin 50 kromozoma bölünüp 0.044 mutasyon işlemine tabi tutulması sonucunda $R^2= 0,021$ 'lik doğruluk değeri elde edilmiştir.

%2.8'lik doğruluk payı veren hesaplama sonucunda program tarafından verilen C++ kodu aşağıda dösterildiği şekildedir.

```
double APSCfunction(double d[])
{
    double dblTemp = 0;
    dblTemp *= sqrt(d[0]);
    dblTemp *= sin(exp((cos(sin(tan(d[1]))) - exp(cos(d[1])))));
    dblTemp *= sqrt(cos(pow(((d[1]*d[1])*exp(d[1])),pow(d[1],d[0]))));
    return dblTemp;
}
```

Bu kod chamber içinde oluşacak elektrik alanın karıştırıcının açısına bağlı olarak değişimini %2.1 oranında tahmin edebilmektedir.

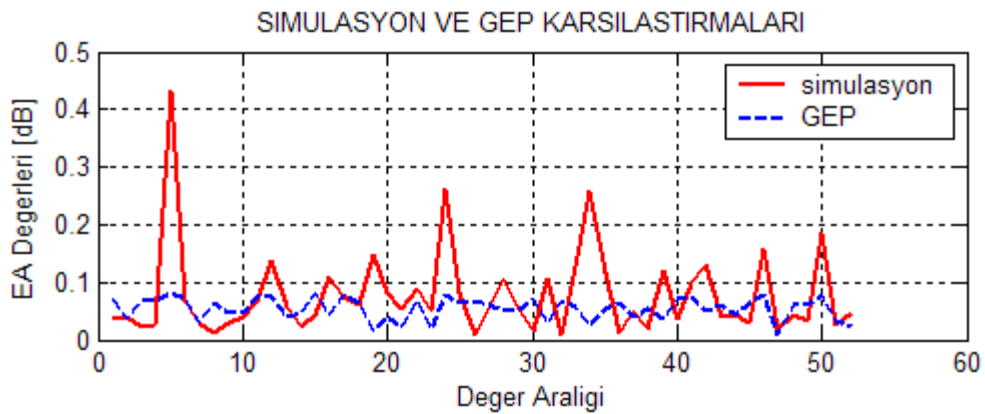
Kaynak-4 için hesaplama setindeki verilerinin karşılaştırma sonucu Şekil 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.48. Kaynak-4 için deneysel ve genetik programlama yöntemi ile elde edilen veriler arasındaki ilişki

Grafikten de görüldüğü gibi deneysel verilerle genetik programlama yönteminde hesaplanan veriler arasındaki ilişki en küçük kareler metoduna göre $R^2 = 0,021$ olup kurulan modelin doğruluk oranını göstermektedir.

Genetik Programlama modelinden Kaynak-4 için elde edilen matematiksel ifade, modellemede kullanılan hesaplama testi sonuçlarına göre simülasyon sonuçları ile karşılaştırdığında Şekil 4.49'daki grafik elde edilmiştir.

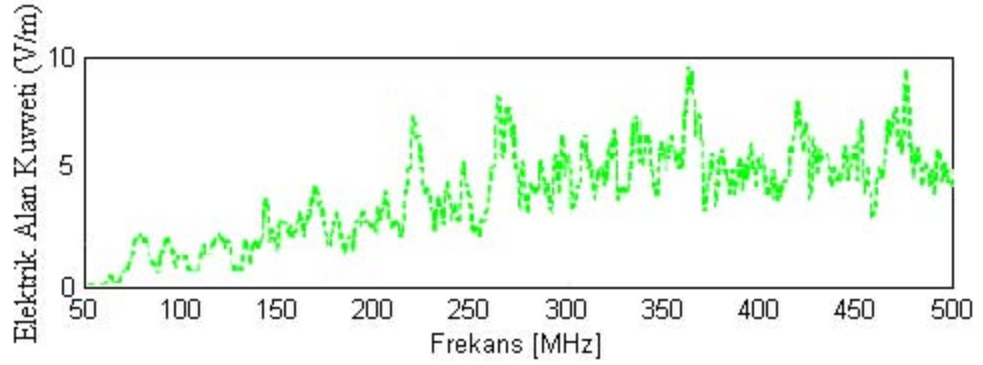


Şekil 4.49. Kaynak-4 için hesaplama testinin simülasyon ve GP cevabı

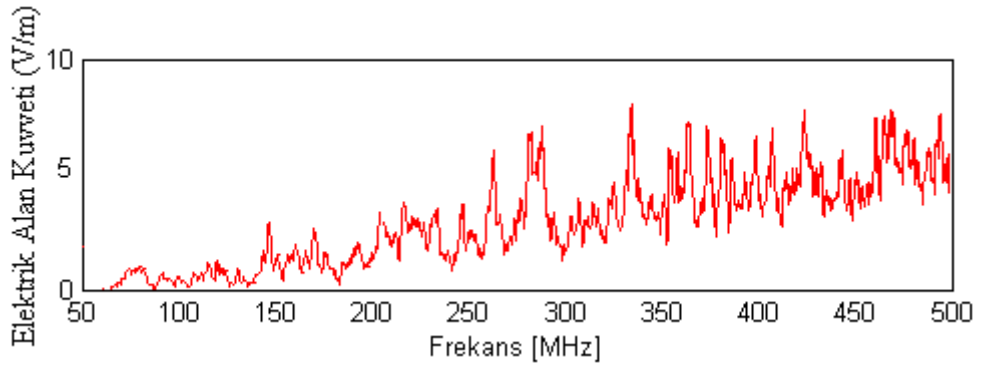
4.2. Simülasyonların Geçerlilikleri

Model-1 de sadece 1. kaynak kullanılarak yapılan simülasyonlar sonucu bulunan değerler Coates'ın sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.50 ve şekil 4.51'den bulunan sonuçların birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu açıkça görülmektedir. Eğer bu iki grafiğe dikkat edilirse aralarında çok az bir farkın olduğu görülür. Bu farkın temel nedeni RC içerisinde meydana gelen rezonanslardan kaynaklanmaktadır. Bu farkın daha da azaltılması için karıştırıcı adım sayısının artırılması gerekir. Fakat genel olarak bakıldığında takdirde her iki grafiğinde gerek genlik olarak ve gerekse konumları açısından büyük ölçüde birbirine benzediği görülmektedir. Ayrıca yine sadece 1. kaynak için Coates'ın bulduğu ekranlama etkinliği değerlerinin grafiği 200-2000 MHz frekans aralığı için şekil 4.52'da gösterilmiştir (Coates, 2003).

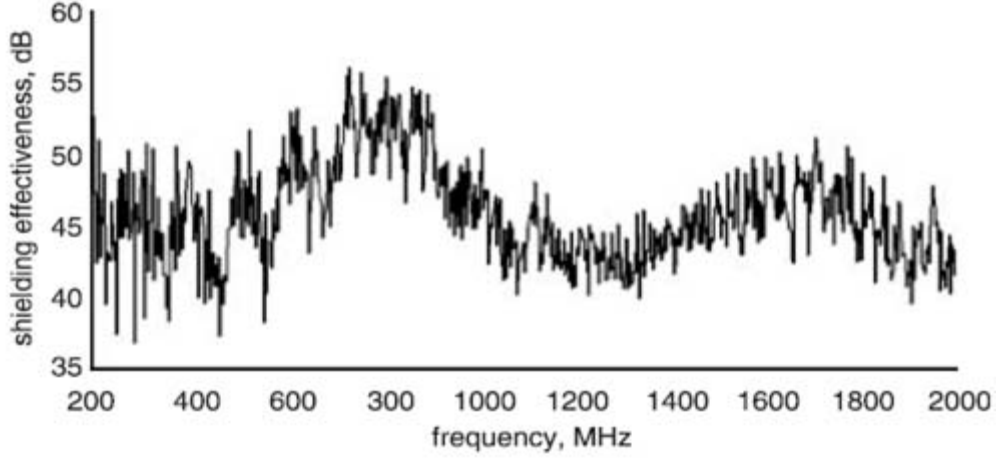


Şekil 4.50. Coates'ın 1. kaynak için model-1 EA grafiği



Şekil 4.51. Simülasyon sonuçlarında elde edilen model-1'in 1. kaynak için EA değeri

Şekil 4.52’den 200 – 500 MHz aralığı için elde edilen değerlerin, simülasyonlar sonucu bulduğumuz ekranlama etkinliği değerine (Şekil 4.33) genlik ve şekil olarak benzemekte olduğu net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.52. Coates’ın 1. kaynak için model-1 EE değeri (Coates, 2003)

5.SONUÇ

Bu çalışmada, haberleşme kablolarının uygunluğu konusunda en çok karşılaşılan temel problemlerden elektromanyetik uyumluluk problemi için uygunluk testleri yapılmıştır. Bu testler 2 ana kısımdan oluşmaktadır.

- i) RC de kullanılan test altındaki RG 58 koaksiyel kablonun üzerinde oluşan EA'nın hesaplanması
- ii) RG 58'in sonlandırma dirençleri üzerinde oluşan yakın ve uzak uç akım ve gerilim değerlerinin hesaplanması

Belirtilen kısımlar ilk olarak tek kaynak konumunda (Kaynak-1) simüle edilmiş ve simülasyon sonuçlarının uygunluğu tartışıldıktan sonra diğer kaynak konum ve doğrultuları (Kaynak-2, Kaynak-3, Kaynak-4) içinde tekrarlanmıştır.

Tüm kaynak konum ve doğrultuları sonucu elde edilen datalara farklı karıştırıcı adımları için geliştirilen test metodları uygulanmış olup modellerin EA ve EE büyüklükleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler daha önceden yapılmış olan araştırma bulguları ile karşılaştırılmış ve geliştirilen test metodlarının geçerliliklerinin fazla olduğu görülmüştür.

EA ve EE değerleri daha sonra herbir kaynak için karşılaştırılıp, RCT metodunda kaynak konum ve doğrultularının test altındaki sisteme etkileri incelenmiştir.

Simulasyonların geçerliliğinin fazla olması, test altındaki sistemin farklı doğrultularda simulasyon testlerinin yapılp elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile mümkündür. Fakat bu işlemlerin fazla zaman alması açısından bunun yerine daha önceden de belirtildiği gibi RC içerisine büyük dönebilen EM yansıtıcı özellik gösteren bir cisim (karıştırıcı) yerleştirilerek RC içerisinde uniform alan oluşturularak test altındaki sistemin sabit konumda testlerinin yapılması mümkündür. Gerçek hayatta bu şekilde yapılan testler gereksiz zaman kayıplarını minimuma indirir. Fakat bu işlemin simülasyonlar ile yapılmasında ise karıştırıcının her bir adımı için tek tek simulasyon sonuçlarının hesaplanması gerekmektedir ve bu da yine gereksiz zaman kayıplarına yol açacaktır. Bundan dolayı zaman kayıplarının en aza indirgenmesi için tez çalışmasında elde edilen EA değerlerinin verimadenciliği ve genetik programlama yöntemleri ile modellenip frekans ve karıştırıcı açısına bağlı olarak formülize edilmesinin olabirirliliği araştırılmıştır. Daha sonra kullanılan farklı

paket program sonuçları değerlendirilmiş ve bu değerlerde elde edilen hesaplama testleri herbir kaynak için hesaplanıp gerçek değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmalar sonucunda kullanılan paket program sonuçlarının doğruluklarının yaklaşık olarak % 30 ile % 55 arasında farklı değerlerde olduğu görülmüştür. Elde edilen modellerin cevaplarının simulasyon sonuçlarına yakın olması için giriş değişken sayısının artırılması gerektiğine karar verilmiştir. Bunun için RC testlerinde kullanılan kaynakların lokasyonlarının da değiştirilip, benzer simülasyonları tekrarladıktan sonra elde edilen değerler ile modellemelerin tekrarlanması gerekmektedir.

Bu çalışma sonucunda veri madenciliği ve genetik programlama yöntemleri kullanılarak geliştirilen modeller ile elde edilen formüller, chamber içinde karıştırıcının konumuna bağlı olarak oluşan elektrik alanın tahmin edilmesi konusunda ileride yapılacak olan uygulamalara önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Elde edilen bu formüllerin kullanılması ile test sırasındaki gereksiz zaman kayıpları ortadan kalkacaktır.

Son bir nokta; unutulmamalıdır ki ekranlama etkinliği frekansla değişmekte ve değişimin nasıl olacağı ise (kestirimi çok zor olduğundan) ancak ölçü ya da sayısal benzetimler yoluyla saptanabilmektedir. Bu yüzden EMC mühendisliğinin temeli hassas ve tekrarlanabilir ölçümlere ve gerçekçi modeller üzerinden yapılan simülasyonlara dayanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Arslan, Y., 2005. Mühendislikte tersine Problem Uygulamaları için Genetik Programlama Yaklaşımı. Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 60 s.
- Aydoğan, E. K., 2008. Veri Madenciliğinde Sınıflandırma Problemleri için Evrimsel Algoritma Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım: Rough-Mep Algoritması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 137 s.
- Boillot, Bernhard Eicher, 1992. Very Low Frequency to 40 GHz Screening Measurements on Cables and Connectors; Line Injection Method and Mode Stirred Chamber. Record of the 1992 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, CA, 302-307, Los Angeles.
- Buntine, W., 1996. A guide to the literature on learning probabilistic networks from data. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 8, 2, 195- 210, USA.
- Casey and E. F. Vance, 1976. EMP coupling Through Cable Shields, IEEE Trans. Electromagn. Compat., EMC-20, 1, 100-106.
- Coates, A. Gavrilakis, A. Duffy, 2003. Shielding Behaviour of Communications Cables. IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., 150, 6, 307-312.
- Coates, A. R., 2004. Electromagnetic Compatibility Testing of Communication Cables. Doktora Tezi, De Monfort University, Hons, Leicester, UK, 188 s.
- David, Crawford M. L., Doris M. K., I. Wu, 1993. Aperture Coupling to a Coaxial Air Line: Theory and Experiment, IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 35, 1, 69-74.
- Eicher, 1991. Cable Screening Measurements in the Frequency Range 1-20 GHz, Record of the 9th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, pp. 159-162, Zurich, Switzerland.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G. Smyth, P., 1996. The KDD process for extracting useful knowledge from volumes of data, Communications of the ACM, 39, 11, 27-34.

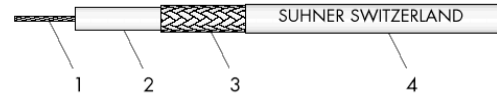
- Han J., Kamber M., 2001. Data mining concepts and techniques. Morgan Kaufmann Publishers, pp. 30-33, Tokyo.
- Hancock Peter J.B., 1994. An empirical comparison of selection in evolutionary Algorithms. Department of Psychology University of Stirling, Scotland.
- Hoeft, 2002., Record of the EMC Europe 2002 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sorrento, pp. 441-446, Italy.
- Hoeft, 1988. Measured Electromagnetic Shielding Performance of Commonly Used Cables and Connectors, IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 30, 3, 260-275.
- Joachim M., 1974. Cable Shielding Test Methods, IEEE 1-4244-1350-2007 Knowles, L.W Olsen, Cable Shielding Effectiveness Testing, IEEE Trans. Electromagnet. Compat. , EMC-16, 1, 16-23.
- Koza, J., 1992. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. The MIT Press, USA.
- Koza, J. 1994. Genetic Programming II: Automatic Discovery of Reusable Programs. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Madle, 1975. Cable and connector shielding Attenuation and Transfer Impedance Measurements Using Quadraxial and Quintaxial Test Methods, in Rec. IEEE Int. Symp. Electromagnet. Compat.
- De la,M., Tidor,B., 1991. Increased Flexibility in Genetic Algorithms: The Use of Variable Boltzmann Selective Pressure to Control Propagation, Proc. of the ORSA CSTS Conference - Computer Science and Operations Research: New Developments in their Interfaces, pp. 425-440.
- Oguz, B., 2000. Eşleştirme haznelemesinin biçimsel kavram analizi ile modellenmesi,Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 21-26, Ankara, 95 s.
- R. De Leo, G. Cerri, 1999. A Simple But Effective Way for Cable Shielding Measurement, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 41, 3, 175-179.

- Sıramkaya, E., 2005. Veri madenciliğinde Bulanık Mantık Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 80 s.
- Schelkunoff, 1934. The Electromagnetic Theory of Coaxial Transmission Lines and Cylindrical Shields. Bell Syst. Tech. J., 12, 532-579.
- Sevgi L., 2004. İnternet Sitesi. <http://www3.dogus.edu.tr>. Erişim Tarihi: 2007
- Thomas N., 2008. İnternet Sitesi. <http://www.std-wire.com>. Erişim Tarihi: 2007
- Vance, 1975. Shielding Effectiveness of Braided Wire Shields, IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. EMC-17, 2, 71-77.
- Vance, 1978. Coupling to Shield Cables. New York: Wiley Interscience, pp.108-176.
- Wolff C., 2008. İnternet Sitesi. <http://www.radartutorial.eu>. Erişim Tarihi: 2007
- Yarımagan, Ü., 2000. Veri Tabanı Sistemleri, 2. baskı, Akademi&Türkiye Bilişim Vakfı, 7-9, Ankara.
- Zorzy, R.F.Muehlberger, 1961. RF Leakage Characteristics of Popular Coaxial Cables and Connectors, Microwave J., pp. 80-86.

EKLER

EK-1

Cable design



1	Inner conductor	Stranded tinned copper	19x 0.187 mm	∅ 0.935 mm
2	Dielectric	Solid polyethylene (PE)		∅ 2.95 mm
3	Outer conductor	Tinned copper braid	96% coverage	∅ 3.60 mm
4	Jacket	Non-migratory PVC	bk (RAL 9005)	∅ 4.95 mm
	Print on jacket	SUHNER SWITZERLAND	RG 58 C/U	50 Ohm

Electrical data

Typ. operating frequency	(GHz)	≤ 1
Impedance	(Ω)	50 ± 2
Capacitance	(pF/m)	100.7
Relative signal propagation	(%)	66.3
Signal delay	(ns/m)	5.03
Phase stability	vs temperature	f /GHz/m -
	vs bending	f /GHz -
Insulation resistance	(MΩm)	> 10 ⁸
Test voltage	50 Hz / 1 min.	(kV _{rms}) 5
Max. operating voltage	at sea level	(kV _{rms}) 2.5
Typ. DC resistance	inner conductor	(Ω/km) 34.5
	outer conductor	(Ω/km) 13.8
Typ. screening effectiveness	1 ... 300 MHz	(dB) > 35

General data

Cable specification	cable design according to	MIL-C-17/28
Temperature range	operating	f C -40...+85
	installation	f C -20...+70
Flame propagation	IEC 332-1	n/a
Halogen content	IEC 754	n/a
Typ. Weight	(kg/100m)	3.7
Min. bending radius	for bending once	(mm) 25
	for repeated bendings	(mm) 50
	for flexible applications	(mm) 100

Suitable connectors

Cable group U7
 For details refer to the "SUHNER[®] coaxial connector catalogue" or contact your nearest HUBER+SUHNER representative

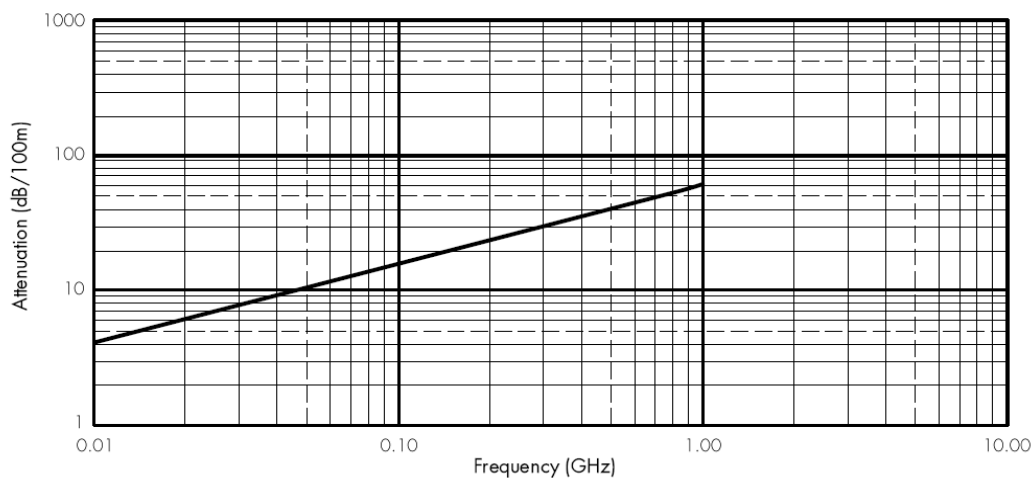
Document No.: 01.03.0491
 Issue No.: 2
 Supersedes: 0206/2, 0491/1

Uncontrolled copy
 Issued/Checked/Released:
 Last amended:

20.10.1999/486-HJ
 Temperature range

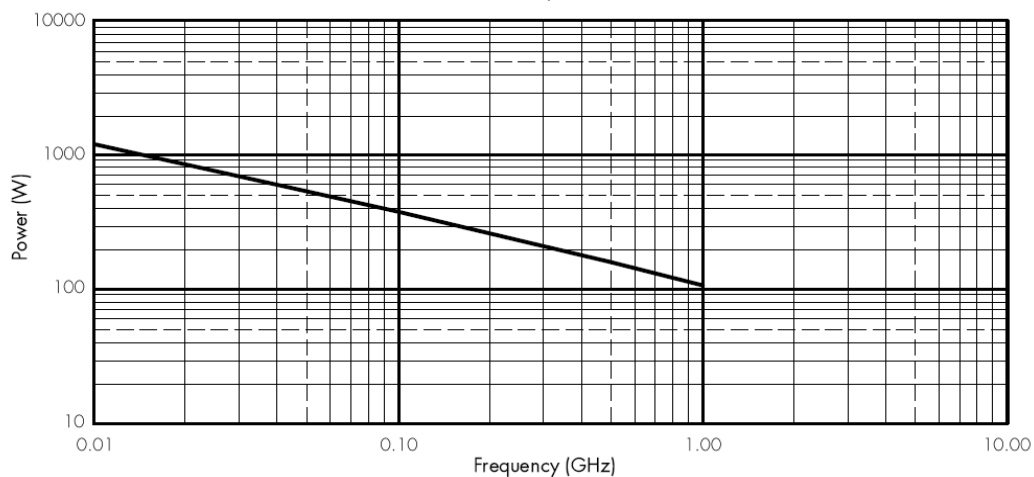
Cable attenuation

Nominal values @ +25 °C ambient temperature



C.W. power handling capability

Maximum values @ +40 °C ambient temperature and sea level, no solar load



WAIVER!

While the information contained in this folder has been carefully compiled to the best of our present knowledge, it is not intended as representation or warranty of any kind on our part regarding the fitness of the products concerned for any particular use of purpose and neither shall any statement contained herein be construed as a recommendation to infringe any industrial property rights or as a license to use any such rights. The fitness of each product for any particular purpose must be checked beforehand with our specialists.



HUBER+SUHNER

HUBER+SUHNER AG
Coaxial Cable Division
CH-9100 Herisau, Switzerland
Tel.: +41 (0)71 353 41 11
Fax: +41 (0)71 353 45 90
e-mail: sales.hfk@hubersuhner.com
www.hubersuhner.com

Document No.: 01.03.0491

Issue No.: 2

Supersedes: 0206/2, 0491/1

Uncontrolled copy

Issued/Checked/Released:

Last amended:

20.10.1999/486-HJ

Temperature range

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Muhammet Hilmi NİŞANCI

Doğum Yeri ve Yılı: İstanbul - 1983

Medeni Hali: Bekâr

Yabancı Dili: İngilizce

İtalyanca



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Milli Piyango Anadolu Lisesi (1995)

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü (2002)

Yüksek Lisans :Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik
ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı (2008)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Uaq EMC Laboratuvarı - İtalya (2006-2008)

Yayınları (SCI ve diğer makaleler)

- 1- A.Duffy, A.Orlandi, **H. Nisanci**, K. Amstrong, Signal Integrity Using Multiple Out-of-Band Sources in a Reverberation Chamber, in Proc. Of 2008 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, 18-22 August, 2008, Detroit, MI, USA.