

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KURTARMA GEMİLERİNDE ELEKTROMAGNETİK GİRİŞİM
HARİTASININ ÇIKARILMASI**

UMUT ÖRS

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET KIZILAY**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KURTARMA GEMİLERİNDE ELEKTROMAGNETİK GİRİŞİM
HARİTASININ ÇIKARILMASI

UMUT ÖRS tarafından hazırlanan tez çalışması 14/08/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ahmet KIZILAY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof.Dr.Nurettin UMURKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr.Ahmet KIZILAY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Hamid TORPİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışma; Kurtarma Gemilerinde yoğun olarak kullanılan haberleşme sistemlerinin birbirlerine, çevreye ve gemide bulunan personele olan Elektromanyetik Etkileşimini (EMI) kapsamaktadır. Bu etkileşimin gemi bütününde haritasının çıkarılması ve ulusal/uluslararası standartlarda verilen limit değerlere uygunluk konularının (EMC) incelenmesi; cihazların, mühimmatın ve personelin güvenliğini artırıcı önlemlere referans olacaktır.

Literatürde; gemiler gibi fiziksel olarak çok kısıtlı alanlarda Radyo Frekans (RF) yayan cihazların bulunduğu ortamlar için yapılmış olan çalışmaların azlığı, çalışmanın başlangıç konusunu oluşturmakla beraber, gerek gemilerde çalışan elektronik uzmanları gerekse tersanelerde bu gemilerin tasarım ve üretiminde çalışan teknik personele yardımcı olabilmek ana amacım olmuştur.

Çalışmamın her safhasında, tavsiye ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç.Dr. Ahmet KIZILAY'a en derin saygı ve minnetimi sunarım.

Temmuz, 2012

Umut ÖRS

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1.....	19
GİRİŞ.....	19
1.1 Literatür Özeti	19
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2.....	4
BİLİMSEL TEMEL.....	4
2.1 Elektromanyetik Alanlar ve Dalgalar	4
2.1.1 Coulomb Yasası.....	6
2.1.2 Gauss Yasası.....	6
2.1.3 Skaler Elektrik Potansiyeli.....	7
2.1.4 Ampere Yasası	8
2.1.5 Faraday Yasası	8
2.1.6 Maxwell Denklemleri.....	9
2.2 Dalga Propagasyonu	10
2.2.1 Dalga Denklemi.....	10
2.2.2 Dalga Polarizasyonu.....	13
2.2.3 Dalga Yansıması ve Kırılması.....	15
2.2.4 Saçılma.....	17
2.3 Elektromanyetik Yayılma ve Modellenmesi	18

2.4 Elektromanyetik Spektrum	20
BÖLÜM 3.....	21
ANTEN TEMELLERİ	21
3.1 Anten Işıma Paterni	21
3.2 Anten Kazancı ve Yönü.....	22
3.3 Anten Polarizasyonu	23
3.4 Serbest Uzay Link Denklemi.....	24
BÖLÜM 4.....	26
EMI/EMC	26
4.1 Elektromanyetik Girişim (EMI).....	26
4.1.1 EM Kaynakları	29
4.1.2 Sistem/Cihaz İç EMI	30
4.1.3 Sistem/Cihazlar Arası EMI.....	31
4.2 Elektromanyetik Uyumluluk (EMC).....	32
4.2.1 EMC Problemi Tanıtımı.....	34
4.2.2 Elektromanyetik Ortam (EME)	34
4.2.3 EMC Standartları ve Işıma Güvenliği (RADHAZ)	37
4.2.3.1 Sivil Standartlar	37
4.2.3.2 Askeri Standartlar.....	38
4.2.3.3 Radyasyon Güvenliği (RADHAZ)	39
4.2.3.3.1 EM Radyasyonun Personel Üzerine Etkileri (HERP)	40
4.2.3.3.2 EM Radyasyonun Yakıt Üzerine Etkileri (HERF)	45
4.2.3.3.3 EM Radyasyonun Mühimmat Üzerine Etkileri (HERO)	46
4.2.4 Elektromanyetik Alan ve Girişim Ölçümleri.....	47
4.2.4.1 Antenler	50
4.2.4.2 Loop Anten.....	51
4.2.4.3 Konik Anten.....	51
4.2.4.4 Log-Periyodik Dipol Dizi Anten.....	52
4.2.4.5 Sonuç.....	52
BÖLÜM 5.....	53
KURTARMA GEMİLERİ.....	53
5.1 Tanım	54
5.2 Elektromanyetik Emisyon Yayan Sistem ve Cihazlar	54
5.3 Kullanım Amaçları	60
BÖLÜM 6.....	62
ANALİZ SONUÇLARI, OPTİMUM MODELLEMELER	62
6.1 EMI/EMC Risk Tanımının Yapılması	65
6.2 EMI/EMC Risk Analizi	67
6.3 EMI Etkileşimleri ve Antenler Arası Kuplajlar	68
6.3.1 HF-VHF Telsizleri Arası Etkileşim Denemeleri.....	72

6.3.1.1	Anten Yerleşim Önermesi I	76
6.3.1.2	Anten Yerleşim Önermesi II	79
6.3.1.3	Anten Yerleşim Önermesi III	82
6.3.1.4	Anten Yerleşim Önermesi IV	85
6.3.1.5	Anten Yerleşim Önermesi V	89
6.3.2	VHF-VHF Telsizleri Arası Etkileşim Denemeleri	90
6.3.3	VHF Telsizi ve Diğer Sistemler Arası Etkileşimler	94
6.3.4	Optimum Anten Yerleşim Modelinin Benimsenmesi	95
6.3.5	Mania Kriterlerinin Sunulması	98
6.3.5.1	Cihaz Yerleşimleri Kapsamında Kısıtlamalar	98
6.3.5.1.1	HF Anten Yerleşim Kısıtlamaları	99
6.3.5.1.2	VHF Anten Yerleşim Kısıtlamaları	100
6.3.5.1.3	Radat Yerleşim Kısıtlamaları	101
6.3.5.1.4	Uydu Telefonu / GPS / Galileo / (D)GPS Yerleşim Kısıtlamaları	103
6.3.5.2	Diğer Kısıtlamalar	103
6.3.5.3	RADHAZ Sınırlamaları	104
6.3.5.3.1	HERP Sınırlamaları	105
6.3.5.3.2	HERF Sınırlamaları	105
6.3.5.3.3	HERO Sınırlamaları	106
6.3.6	Yakın Alan ve Işıma Paterni Analizleri	106
6.3.6.1	HF Tx/Rx Sistemleri için Analizler	107
6.3.6.1.1	3MHz Tx Analizi	108
6.3.6.1.2	6MHz Tx Analizi	108
6.3.6.1.3	10MHz Tx Analizi	108
6.3.6.1.4	20MHz Tx Analizi	108
6.3.6.1.5	30MHz Tx Analizi	108
6.3.6.1.6	HF Telsiz Sistemleri için Güvenli Mesafeler	109
6.3.6.2	VHF Tx/Rx Sistemleri için Analizler	137
6.3.6.2.1	160MHz Tx Analizi	137
6.3.6.2.2	170MHz Tx Analizi	137
6.3.6.2.3	VHF Telsiz Sistemleri için Güvenli Mesafeler	137
6.3.6.3	GSM Bandı için Analizler ve Güvenli Mesafeler	138
	Şekil 6. 40 VHF GMDSS Işıma Paterni (160MHz)	139
6.3.6.4	L Band için Analizler ve Güvenli Mesafeler	162
6.3.6.5	S Band Radarlar için Analizler ve Güvenli Mesafeler	162
6.3.6.6	X Band Radarlar için Analizler ve Güvenli Mesafeler	163
6.4	Analizler Işığında EMI Risklerinin Yeniden Değerlendirilmesi	178
6.5	Sonuçların Değerlendirilmesi ve Risk Matrislerinin Yenilenmesi	178
6.6	Anten Yerleşiminin Neticelendirilmesi	180
BÖLÜM 7		181
SONUÇ VE ÖNERİLER		181
KAYNAKLAR		182
EK-A		186

FREKANS BANDLARI	186
EK-B.....	188
ANTEN PATTERN DOSYASI	188
B-1 Uydu Telefonu ve GPS Analizlerinde Kullanılan Anten Işıma Paterni	188
B-2 EM Analizinde Kullanılmak Üzere Hazırlanan EM Alan Dosyası	192
EK-C.....	196
ÇALIŞMA İÇERİSİNDEKİ GEMİCİLİK TERİMLERİ.....	196
ÖZGEÇMİŞ.....	198

SİMGE LİSTESİ

B	Manyetik Akı Yoğunluğu
C	Sığa
D	Elektrik Akı Yoğunluğu
E	Elektrik Alan Şiddeti
G	İletkenlik
H	Manyetik Alan Şiddeti
J	Akım Yopunluğu
Q	Yük
V	Elektrik Potansiyeli
Y	Admitans
ε_r	Bağıl Dielektrik Sabiti
f	Frekans
ρ	Yük Yoğunluğu
λ	Dalgaboyu
μ_r	Bağıl Manyetik Geçirgenlik
η	Dalga Direnci
ω	Açısal Frekans

KISALTMA LİSTESİ

AMU	Antenna Matching Unit (Anten Eşleme Devresi)
ATU	Antenna Tuning Unit (Anten Uyumlama Devresi)
AZ	Azimuth (Azimut)
CISPR	International Special Comitee on Radio Interference (Uluslararası Radyo Etkileşimi Komitesi)
COTS	Commercial off the Shelf (Rafta Hazır Ticari Ürün)
DoD	Department Of Defence (Savunma Bakanlığı – ABD)
E	Elektrik Alanı (V/m)
EHF	Extra High Frequency (Ekstra Yüksek Frekans)
ELF	Extra Low Frequency (Ekstra Düşük Frekans)
EM	Elektromanyetik
EMC	Electromagnetic Compatibility (Elektromanyetik Uyumluluk)
EMCON	Emission Control (Emisyon Kontrolü)
EME	Electromagnetic Environment (Elektromanyetik Ortam)
EMI	Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
EMP	Electromagnetic Pulse (Elektromanyetik Darbe)
EPIRB	Emergency Position Indicating Radio Beacon (Acil Durum Konum Belirtir Radyo Sinyali)
ESD	Electrostatic Discharge (Elektrostatik Boşalma)
EL	Elevation (Yükseklik)
ER	Electromagnetic Radiation (Elektromanyetik Radyasyon)
EUT	Equipment Under Test (Test Edilen Cihaz/Sistem)
FCC	Federal Communications Commission (Federal İletişim Komisyonu)
GALILEO	European Space Agency Global Positioning and Timing System (Avrupa Uzay Ajansı Küresel Konumlama ve Zamanlama Sistemi)
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System (Küresel Deniz Tehlike ve Güvenlik Sistemi)
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GSM	Global System for Mobile (Küresel Mobil Haberleşme Sistemi)
HERA	Hazards of Electromagnetic Radiation to Avionics (Elektromanyetik Radyasyonun Uçuş Seyrüsefer Sistemlerine Zararları)
HERE	Hazards of Electromagnetic Radiation to Equipment (Elektromanyetik Radyasyonun Teçhizata Zararları)

HERF	Hazards of Electromagnetic Radiation to Fuel (Elektromanyetik Radyasyonun Yakıta Zararları)
HERP	Hazards of Electromagnetic Radiation to Personnel (Elektromanyetik Radyasyonun Personle Zararları)
HERO	Hazards of Electromagnetic Radiation to Ordnance (Elektromanyetik Radyasyonun Mühimmata Zararları)
HF	High Frequency (Yüksek Frekans)
IEC	International Electrotechnical Comission (Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu)
IF	Intermediate Frequency (Ara Frekans)
IFF	Identification Friend or Foe
IMM	International Maritime Mobile (Uluslar arası Deniz Telsizi)
IMO	International Maritime Organisation (Uluslar arası Denizcilik Örgütü)
INIRC	International Non-Ionizing Radiation Comitee (Uluslar arası İyonize Olmayan Radyasyon Komitesi)
IR	InfraRed (Kızılötesi)
IRPA	Internationa Radiation Protection Association (Uluslar arası Radyasyondan Korunma Birliği)
ITU	International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
LF	Low Frequency (Düşük Frekans)
MC	Multicoupler (Multikapler)
MoM	Method of Moments (Moment Metodu)
NAVTEX	Navigational Text Message System (Seyrüsefer Bilgi Mesaj Sistemi)
NSA	NATO Standardization Agency (NATO Standardizasyon Ajansı)
PO	Physical Optics (Fiziksel Optik)
RADHAZ	Radiation Hazard (Radyason Zararları – Radyasyon Güvenliği)
RAS	Replenishment at Sea (Denizde İkmal)
R/L	RadioLink (Radyo Link)
RTx	Transciever (Alıcı-Verici)
Rx	Receiver (Alıcı)
SAR	Specific Absorption Rate (Belirgin Emilim Oranı)
SAR	Search and Rescue (Arama Kurtarma)
SART	Search and Rescue Radar Transpoder (Arama Kurtarma Radar Vericisi)
SHF	Super High Frequency (Süper Yüksek Frekans)
STB	Starboard (Sancak)
TEMPEST	Transient Electromagnetic Emanation Standard
TLC	Telecommunication (İletişim)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
Tx	Tranmitter (Verici)
UHF	Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans)
USDoD	United States Department of Defence (Amerikan Savunma Bakanlığı)
UTD	Uniform Theory of Diffraction (Saçılma Teorisi)
UV	UltraViolet (Morötesi)
VHF	Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans)
VLF	Very Low Frequency (Çok Düşük Frekans)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Kayıplı Ortamdaki Düzlemsel Dalganın Elektromanyetik Alan Bileşeni. . 12
Şekil 2. 2	Dalga Polarizasyonları: (a) Doğrusal, (b) Eliptik, (c) Dairesel 16
Şekil 2. 3	Yansıyan ve Kırılan Dalga 16
Şekil 2. 4	Yansıyan ve Kırılan Dalga..... 17
Şekil 2. 5	Saçılma Geometrisi..... 18
Şekil 2. 6	Elektromanyetik Spektrum. 20
Şekil 3. 1	Dikey Dipolün Üç Boyutlu Işıma Paterni. 22
Şekil 3. 2	(a) İdeal Dikey Dipol, (b) H-Düzlemi (Azimut) Işıma Paterni, (c)E-Düzlemi (Yükseklik) Işıma Paterni. 22
Şekil 3. 3	Anten Yönleri..... 23
Şekil 3. 4	Alıcı Verici Konfigürasyonu..... 25
Şekil 4. 1	EMI Etkileşimler..... 33
Şekil 4. 2	EMI Etkileşimler..... 50
Şekil 5. 1	Kurtarma Gemisi İskele-Sancak Görünümü. 56
Şekil 5. 2	Kurtarma Gemisi Sancak Görünümü (Yan). 57
Şekil 5. 3	Kurtarma Gemisi Profil Görünümü (Ön - Arka)..... 58
Şekil 5. 4	Kurtarma Gemisi CAD Çizimi (Yan)..... 59
Şekil 6. 1	EM Analizlerinde Kullanılmak Üzere Hazırlanan Kurtarma Gemisi Ağ (Mesh) Modeli (Analiz Frekansı 2 MHz'e Göre Hazırlanmıştır.)..... 63
Şekil 6. 2	Platformda Bulunan HF Telsiz Sistemlerinin Çıkış Harmonik Seviyeleri (dBm) 75
Şekil 6. 3	HF Telsiz Antenlerinin VHF Telsiz Antenlerine Göre İlk Konumu. 77
Şekil 6. 4	HF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar..... 78
Şekil 6. 5	HF Telsiz Antenlerinin VHF Telsiz Antenlerine Göre İkinci Konumu. 80
Şekil 6. 6	HF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar II. 81
Şekil 6. 7	HF Telsiz Antenlerinin VHF Telsiz Antenlerine Göre Üçüncü Konumu. .. 83
Şekil 6. 8	HF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar III. 84
Şekil 6. 9	HF Telsiz Antenlerinin VHF Telsiz Antenlerine Göre Dördüncü Konumu. 87
Şekil 6. 10	HF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar IV..... 88
Şekil 6. 11	HF Telsiz Antenlerinin VHF Telsiz Antenlerine Göre Beşinci Konumu. ... 91
Şekil 6. 12	HF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar V..... 92
Şekil 6. 13	VHF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar..... 93
Şekil 6. 14	Optimum Anten Yerleşimi..... 97

Şekil 6. 15	HF Işıma Paterni (3MHz)	111
Şekil 6. 16	HF Yakın Bölge Elektrik Alanı (3MHz - V/m).....	112
Şekil 6. 17	HF Yüzey Akımları (3MHz - A/m).....	113
Şekil 6. 18	HF Poynting Vektörü (3MHz - W/m ²).....	114
Şekil 6. 19	HF Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (3MHz).....	115
Şekil 6. 20	HF Işıma Paterni (6MHz)	116
Şekil 6. 21	HF Yakın Bölge Elektrik Alanı (6MHz - V/m).....	117
Şekil 6. 22	HF Yüzey Akımları (6MHz - A/m).....	118
Şekil 6. 23	HF Poynting Vektörü (6MHz - W/m ²).....	119
Şekil 6. 24	HF Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (6MHz).....	120
Şekil 6. 25	HF Işıma Paterni (10MHz)	121
Şekil 6. 26	HF Yakın Bölge Elektrik Alanı (10MHz - V/m).....	122
Şekil 6. 27	HF Yüzey Akımları (10MHz - A/m).....	123
Şekil 6. 28	HF Poynting Vektörü (10MHz - W/m ²).....	124
Şekil 6. 29	HF Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (10MHz).....	125
Şekil 6. 30	HF Işıma Paterni (20MHz)	126
Şekil 6. 31	HF Yakın Bölge Elektrik Alanı (20MHz - V/m).....	127
Şekil 6. 32	HF Yüzey Akımları (20MHz - A/m).....	128
Şekil 6. 33	HF Poynting Vektörü (20MHz - W/m ²).....	129
Şekil 6. 34	HF Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (20MHz).....	130
Şekil 6. 35	HF Işıma Paterni (30MHz)	131
Şekil 6. 36	HF Yakın Bölge Elektrik Alanı (30MHz - V/m).....	133
Şekil 6. 37	HF Yüzey Akımları (30MHz - A/m).....	134
Şekil 6. 38	HF Poynting Vektörü (30MHz - W/m ²).....	135
Şekil 6. 39	HF Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (30MHz).....	136
Şekil 6. 40	VHF GMDSS Işıma Paterni (160MHz)	139
Şekil 6. 41	VHF GMDSS Yakın Bölge Elektrik Alanı (160MHz - V/m).....	140
Şekil 6. 42	VHF GMDSS Yüzey Akımları (160MHz - A/m).....	141
Şekil 6. 43	VHF GMDSS Poynting Vektörü (160MHz - W/m ²)	142
Şekil 6. 44	VHF GMDSS Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (160MHz)	143
Şekil 6. 45	VHF GMDSS Işıma Paterni (170MHz)	144
Şekil 6. 46	VHF GMDSS Yakın Bölge Elektrik Alanı (170MHz - V/m).....	145
Şekil 6. 47	VHF GMDSS Yüzey Akımları (170MHz - A/m).....	146
Şekil 6. 48	VHF GMDSS Poynting Vektörü (170MHz - W/m ²)	147
Şekil 6. 49	VHF GMDSS Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (170MHz)	148
Şekil 6. 50	VHF AIS/FM/AM Işıma Paterni (160MHz)	149
Şekil 6. 51	VHF AIS/FM/AM Yakın Bölge Elektrik Alanı (160MHz - V/m)	150
Şekil 6. 52	VHF AIS/FM/AM Yüzey Akımları (160MHz - A/m)	151
Şekil 6. 53	VHF AIS/FM/AM Poynting Vektörü (160MHz - W/m ²)	152
Şekil 6. 54	VHF AIS/FM/AM Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (160MHz)	153
Şekil 6. 55	VHF AIS/FM/AM Işıma Paterni (170MHz)	154
Şekil 6. 56	VHF AIS/FM/AM Yakın Bölge Elektrik Alanı (170MHz - V/m)	155
Şekil 6. 57	VHF AIS/FM/AM Yüzey Akımları (170MHz - A/m)	156
Şekil 6. 58	VHF AIS/FM/AM Poynting Vektörü (170MHz - W/m ²)	157
Şekil 6. 59	VHF AIS/FM/AM Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (170MHz)	158
Şekil 6. 60	GSM Köprü Üstü Işıma Paterni (900MHz).....	159

Şekil 6. 61	GSM Köprü Üstü Yakın Bölge Elektrik Alanı (900MHz - V/m)	160
Şekil 6. 62	GSM Köprü Üstü Poynting Vektörü (900MHz - W/m ²)	161
Şekil 6. 63	SATCOMM Köprü Üstü Işıma Paterni (1620MHz)	164
Şekil 6. 64	SATCOMM Köprü Üstü Yakın Bölge Elektrik Alanı (1620MHz - V/m) ...	165
Şekil 6. 65	SATCOMM Köprü Üstü Poynting Vektörü (1620MHz - W/m ²)	166
Şekil 6. 66	SATCOMM Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (1620MHz)	167
Şekil 6. 67	S Band Seyir Radarı Köprü Üstü Işıma Paterni (2800MHz) (Az=90°).....	168
Şekil 6. 68	S Band Seyir Radarı Köprü Üstü Işıma Paterni - Kutupsal (2800MHz) (Az=90°)	169
Şekil 6. 69	S Band Seyir Radarı Köprü Üstü Yakın Bölge Elektrik Alanı (2800MHz) (Az=90°)	170
Şekil 6. 70	S Band Seyir Radarı Köprü Üstü Poynting Vektörü (2800MHz - W/m ²) (Az=90°)	171
Şekil 6. 71	S Band Seyir Radarı Köprü Üstü Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (2800MHz) (Az=90°)	172
Şekil 6. 72	X Band Seyir Yayını Köprü Üstü Işıma Paterni (9000MHz) (Az=90°)	173
Şekil 6. 73	X Band Seyir Yayını Köprü Üstü Işıma Paterni – Kutupsal (9000MHz) (Az=90°)	174
Şekil 6. 74	X Band Seyir Radarı Köprü Üstü Yakın Bölge Elektrik Alanı (9000MHz - V/m) (Az=90°)	175
Şekil 6. 75	X Band Seyir Radarı Köprü Üstü Poynting Vektörü (9000MHz - W/m ²) (Az=90°)	176
Şekil 6. 76	X Band Seyir Radarı Köprü Üstü Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (9000MHz) (Az=90°)	177
Şekil 6. 77	Optimizasyon Sonrası EMI/EMC Riskleri	180
Şekil Ek-C. 1	Gemi Yönleri	197

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Maxwell Denklemleri I..... 9
Çizelge 2.2	Kaynak İçermeyen Maxwell Denklemleri II 10
Çizelge 4.1	Yüzer Platformlarda Güverte Uygulamaları İçin Azami EME Seviyeleri.. 35
Çizelge 4.2	Yüzer Platformlarda Azami EME Seviyeleri 36
Çizelge 4.3	Mesleki Kullanım Sınırları (IRPA) 43
Çizelge 4.4	Kamuya Açık Alanlarda Etkileşim Sınırları 43
Çizelge 4.5	Kontrollü Ortamlar İçin Azami Işıma Seviyeleri..... 44
Çizelge 4.6	Kamuya Açık Alanlarda Etkileşim Sınırları 44
Çizelge 4.7	HERO Uygulamaları İçin Baz Alınacak Harici EM Seviyeleri. 48
Çizelge 5.1	Kurtarma Gemilerinde Kullanılan Cihaz/Sistem Konfigürasyonu. 55
Çizelge 6.1	Analize Katılan Cihaz/Sistem Konfigürasyonu..... 64
Çizelge 6.2	Referans EMI Risk Matrisi. 69
Çizelge 6.3	Kurtarma Gemisi EMI Risk Matrisi. 70
Çizelge 6.4	HF-VHF Telsizler Arası Harmonik Girişimler. 73
Çizelge 6.5	HF Telsizlerin Harmonik Seviyeleri. 74
Çizelge 6.6	VHF Telsizler ve Diğer Cihazlar Arası Harmonik Girişimler..... 95
Çizelge 6.7	HF Telsiz Sistemleri İçin Güvenli Mesafeler (HERP-RADHAZ)..... 109
Çizelge 6.8	HF Telsiz Sistemleri İçin Güvenli Mesafeler (HERF/HERO-RADHAZ) 110
Çizelge 6.9	VHF Telsiz Sistemleri İçin Güvenli Mesafeler (HERP-RADHAZ) 138
Çizelge 6.10	300 MHz Üstü Sistemler İçin Güvenli Mesafeler (HERP-RADHAZ)..... 163
Çizelge 6.11	İndirgenmiş Risk Matrisi 179
Çizelge Ek-A.1	Frekans Bantları..... 187
Çizelge Ek-C.1	Bazı Gemicilik Terimleri..... 196

KURTARMA GEMİLERİNDE ELEKTROMAGNETİK GİRİŞİM HARİTASININ ÇIKARILMASI

Umut ÖRS

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet KIZILAY

Kurtarma Gemileri, ağır deniz koşullarında görev yapabilecek şekilde tasarlanmış ve amacı denizde can ve mal emniyetini sağlamak olan gemilerdir. Bu gemiler görevlerinin çeşitliliği ve ağırlığı nedeniyle IMO tarafından standart olarak tüm gemilerde kullanılan teçhizatları üzerinde bulundurmak zorundadır. Anılan bu teçhizatlar; HF/VHF alıcı-verici telsizlerin yanı sıra EPIRB, SART ve GMDSS onaylı muhtelif cihazlardan oluşmaktadır. Arama kurtarmada görevlerinde kullanılmakta olan yukarıda sıralı sistem/cihazın yanı sıra, denizde seyrüsefer ve iletişim amaçlı sistemleri de bünyesinde barındırmaktadır. Bunlar; Seyir Radarları (X ya da S Band), Telsizler, Cayrolar, Uydu Telefonları, IFF ve NAVTEX gibi sistemlerdir.

Gemi bütününde açık veya kapalı bölümlerde çalışan telsiz, radar, uydu telefonu ve elektronik seyir yardımcılarının, kullanımları süresince işlev kaybetmeleri; özellikle ağır deniz koşullarında bedelinin mal kaybının yanı sıra can kaybının da olabileceği telafisi mümkün olmayan zararlara neden olabilir. Kurtarma gemilerinin özellikle ağır deniz koşullarında açık denizlerde yaşanabilecek kaza ya da acil durumlarda görev alan deniz platformlarıdır. Bu gemiler, aldıkları acil durum mesajları, yayınları ya da uydu sinyalleri vasıtasıyla kaza bölgesine ulaşmakta, gerektiği durumlarda helikopter gibi uçan unsurları da bünyesinde barındırarak denizde can emniyetini sağlamaktadırlar.

Kurtarma gemilerinin RF emisyonu oluşturan birçok sistem/cihazı bulunduruyor oluşu; bu sistem/cihazların gemi bünyesinde kimi durumlarda istenmeyen EMI oluşturmalarına neden olmaktadır. Oluşan bu emisyonların seviyeleri sistemlerin yerleşimine ve kullanım sıklıklarına göre değişmekle beraber, özellikle HF telsizlerin kullanımı, ciddi emisyon seviyelerine neden olmaktadır. HF muhaberenin tesis ve idamesi esnasında oluşan emisyon seviyeleri sadece diğer sistemler üzerinde değil, gemi personeli ve gemideki mühimmat üzerinde de olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Ancak özellikle HF ve VHF telsizlerin denizcilikte yoğun bir şekilde kullanılıyor oluşu bu sistemlerin hayati öneme haiz olduğunu göstermektedir. Bu önemin yanı sıra ortamda oluşan istenmeyen girişimlerin de engellenmesi ya da en aza indirgenebilmesi; deniz koşullarında sistemlerin verimli şekilde kullanılmasını tesis ederken aynı zamanda personel ve mühimmat güvenliğinin de azami düzeyde olmasını sağlayacaktır. İşte bu istenmeyen RF emisyonlarının sınırlandırılması ya da en aza indirgenebilmesi çalışmalarının bütünü EMC tanımı altında birleşmektedir.

Muhabere sistemlerinin yanı sıra diğer tüm RF emisyonları yayan sistem/cihazların bütünüyle analiz edilerek yerleşimlerinin planlanması amacıyla literatürde bir çok standart yayınlanmıştır. Yayınlanmış olan bu standartlar ortama verilen emisyonların sınırlandırılması, azaltılması ve personel sağlığını etkileyici unsurlar bakımından çok kapsamlıdır. Literatürde mevcut EMI/EMC standartları askeri ve sivil olmak üzere ikiye ayrılmakta ancak özellikle personel ve yakıt üzerinde oluşabilecek olası etkiler için benzer sınırları içermektedirler. Özellikle askeri standartlar sivil standartlardan hariç olarak daha kapsamlı bir çalışmayı gerektirmekte ve mühimmatın yoğun olduğu bölgelerde kullanım için ciddi tasarım kısıtları getirmektedir. Sivil standartlar ise özellikle kamuya açık alanlarda oluşacak istenmeyen emisyonlar üzerine yoğunlaşmaktadır.

Bu çalışmanın ana konusu olan kurtarma gemilerinde istenmeyen EMI ve Radyo Frekans (RF) yayınlarının sivil ya da askeri standartlarda belirtilen değerlere çekilmesi amacıyla; gemi bütününde hassas bölgeler tespit edilmiş ve mevcut emisyon seviyeleri analiz edilerek EMC iyileştirmesinin gerekli olduğu bölgeler tespit edilmiştir. Alınması gereken iyileştirici önlemler cihaz/sistemin cinsine ve içinde bulunulan ortamın mahiyetine göre farklılık göstermiştir. Örneğin kapalı ortamlarda emisyon seviyelerinin düşürülmesi yönünde uygulamalara gidilirken, açık ortamlarda içinde bulunulan mahallin özelliğine göre yasak sahalar tanımlanmıştır. Kimi durumlarda açık alanlarda bulunan cihazlar için söz konusu olabilecek iyileştirici önlemler RF kaynaklarının, daha az EMI yaratacağı mevkilerde konuşlandırılması şeklinde olmuştur. Bu durumun sağlanamadığı ya da teknik olarak imkansız olduğu durumlarda ekranlama ya da topraklama gibi farklı çözüm yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kurtarma Gemileri, elektromanyetik girişim, elektromanyetik uyumluluk, EMI, EMC.

**ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE (EMI) MAPPING OF THE
SEARCH AND RESCUE VESSELS**

Umut ÖRS

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Search and Rescue (SAR) vessels are the platforms that designed to service under heavy sea conditions and to provide human and property safety at sea. SAR vessels must have mounted various IMO approved equipments and systems on deck according to their various and difficult missions at sea. These equipments and systems might be as follows: HF/VHF Radio Transceivers, EPIRB, SART eq's and various GMDSS approved instruments for emergency radio broadcasting. SAR vessels have mounted various systems dedicated for navigation and communication together with the equipments listed above. These navigational and communication systems are: Navigational Chart Radars (X/ Band), Radio's, Gyro, Satellite Communication Phones (SATCOM), IFF and NAVTEX.

Malfunction of these systems located above during sea service might result in human life or property losses. SAR vessels are especially dedicated to service at under heavy sea conditions to provide emergency service for sea accidents or emergencies. Once receiving of emergence call from various ways like radios or satellite beacons, they arrive as soon as possible the location of contact and provide health and property safety at sea with SAR helicopters if needed.

Having mounted various RF emitting instruments on deck, result under some circumstances in emitting unwanted EMI at whole of the vessel structure. However

these emission levels occurred change with the mounting locations and usage periods of the systems, mostly unwanted emissions occur whilst usage of HF Radio equipments. Emissions occur during the usage of HF radios have side effects not only on the surrounding equipments but also on the humans and ordnance. But frequent usage of HF and VHF radios at sea proves these systems are crucial for SAR vessels. Having this consequence of these radios, limiting the level of unwanted emissions will provide human and equipment safety at the same time providing efficient usage of systems. Applications that consist limiting or lowering unwanted EM emissions are known as EMC.

Various standardization documents are published to analyze EM emitting systems. These standards are comprehensive as limiting or lowering unwanted emissions and effects on human health. Various standards might be found at literacy on EMI and EMC however these standards are published in two ways, one for military requirements and one for civil needs. Both military and civil standards are common on protecting human health and fuel. Except for civil standards, military standards focus on locations containing ordnance and bring serious design criteria for the locations and instruments while requiring many efforts than civil standards. However, civil standards focus on public areas like hospitals and schools intensively.

According to the main topic of this dissertation on Mapping Electromagnetic Interference of Search and Rescue Vessels, limitation of the unwanted emissions are done depending on Military or Civil Standards, various trials done to analyze and discover vulnerable locations to EM emissions and comply them to the EMC standards. The preventive measures that will be taken are dependent on the type of instrument and vulnerability of the location. For example limiting emission levels or lowering is a key for interiors but for open areas like open deck, EM shielding or defining forbidden zones is a key. Under some circumstances, precautions for enhancing EM environment for equipments located open deck might comprise changing mounting locations to a place that they'll create less EM emission.

Key words: SAR vessels, electromagnetic interference, electromagnetic conformity, EMI, EMC.

1.1 Literatür Özeti

Endüstri ve günlük yaşamlarımızda yoğun olarak kullanmaya başladığımız elektronik cihazlar gün geçtikçe daha yoğun olarak denizcilik sektörüne de girmekte ve denizciliğin ihtiyaçlarına göre şekillenmektedir. Ancak denizcilikte, ev ve endüstri kullanımlarından çok farklı olarak konu alınan cihaz ve sistemlerin kullanım alanları çok kısıtlı olmaktadır. Bu durum anılan sistem/cihazların çok ciddi bir mühendislik uygulaması gerektirdiği ve yerleşimlerin en ince ayrıntısına kadar düşünülmesi gerektiğini göstermektedir.

Kurtarma gemilerinin en büyük özelliği çok kötü hava ve deniz şartlarında bile görev yapabilecek yapıya sahip olmasıdır. Bu durum sadece gemi için değil, gemideki tüm cihaz/sistemlerin yanı sıra personel için de geçerlidir. Dolayısıyla gemi aralıksız 24 saat prensibine göre ayakta olacak ve değişen periyotlarla gemi üzerindeki tüm sistemler kullanılacaktır. Bahsedilen bu kullanımlar gemi bünyesinde istenmeyen EM emisyonlarına neden olacaktır. Emisyon seviyelerinin düzenlenmesi ve belirli kurallar çerçevesinde, gemi personeli, yakıt tankları ve mühimmat depolarından azami düzeyde uzak tutulması esas olmaktadır. Özellikle personel sağlığını etkileyici etmenlerden biri olan bu ışımların azaltılması büyük önem arz etmektedir.

Gemilerin yapı olarak yoğun metalden oluşması, üzerinde birden fazla antenli sistemin dolayısıyla EM emisyonların yoğun olacağı ve bu emisyonların iç mahallerde

yoğunlaşacağı gerçeğini göstermektedir. Bu durum, geminin içinde farklı dışında farklı özelliklere haiz EM emisyonlarının oluşacağını göstermektedir.

Gemide bulunan cihaz ve sistemlerin, ulusal ve uluslar arası standartlara uygun olacak şekilde güverte üstü yerleşimlerinin yapılması ile optimum emisyon limitleri sağlanacağı gibi, sistemler arası etkileşim bu çalışmalar doğrultusunda en aza indirgeneceğinden verimli kullanımı da sağlanacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Kurtarma gemilerinde elektromanyetik girişim haritasının çıkartılarak optimum emisyon seviyelerine ulaşılması maksadıyla hazırlanmış olan bu çalışma ile, gemi bünyesinde konu ile ilgili yayınlamış olan ulusal ve uluslar arası standartlara uygunluğun sağlanması amaçlanmıştır. Özellikle, konu ile ilgili yayınlanmış ulusal standardın bulunmuyor oluşu, çalışma için önemli bir başlangıç noktası kabul edilmiştir. Ülkemizde belirli kurumların münferit ve yalnızca spesifik platformlar bazında hazırlamış olduğu çalışmalara destek olması amacıyla hazırlanan çalışmalar ile literatürdeki ulusal ve uluslar arası standartlar arası geçişlerin nasıl sağlanacağı gösterilmiş ve bu geçişlerde kullanılmasında fayda sağlanabilecek standartlar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

1.3 Hipotez

İstenmeyen EM emisyonlarının kaynağı ve sınırlanması ile ilgili yapılacak tüm çalışmaların temelini elektromanyetik propagasyon ve temelleri konuları oluşturmaktadır. Özellikle EM kaynaklı emisyonlar, dalga manyetizmasının en belirgin sonucu olarak görülmektedir. Bu nedenle çalışmanın ikinci bölümünde elektromanyetik alanlar ve dalga manyetizması konularıyla başlayacaktır. Çalışma bütününde sorgulanacak olan konu ise; özellikle geminin açık güvertelerinde bulunan anten sistemlerinden yayılan istenmeyen EM emisyonlarının tespit edilmesi ve bu emisyonları azaltıcı ya da sınırlayıcı önlemlerin nasıl alınabileceğinin araştırılması olacaktır.

Bu çalışmada öncelikle bir kurtarma gemisi hazırlanmış ve bu geminin analizlerini yapabilmek maksadıyla bir manyetik modeli oluşturulmuştur. Bu manyetik model

zerinde, gemide bulunan tüm EM emisyonu yaratan cihaz ve sistemlerin yerleşimi sağlanmıştır. Geminin görevleri açısından kullanım sıklılığı yüksek olan sistemler detaylı incelemeye tabii tutulmuş ve sonuçları ışığında referans olabilecek tasarım kriterleri geliştirilmiştir. Ayrıca alınan analiz sonuçları ulusal ve uluslar arası EMC standartları doğrultusunda yeniden değerlendirilmiştir.

alışmalar için hazırlanmış olan analizler bilgisayar destekli CAD analiz programları ile gerçekleştirilmiştir. Kurtarma gemisinin modelinin hazırlanması Autocad ile gerçekleştirilmiştir. Platformun manyetik modelinin, oluşturulmuş olan CAD modeli üzerinden oluşturulması ile EM analizleri HF bandından X-Banda kadar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda özellikle L Band alıcılar için hazırlanmış olan MATLAB tabanlı bir referans anten patern kaynak kodu sunulmuştur.

BÖLÜM 2

BİLİMSEL TEMEL

Elektromanyetik Girişim'in (EMI) tanımlanmasında Elektromanyetizmanın temel öğeleri kullanılmaktadır. Elektromanyetik alanların davranışlarını açıklayan Maxwell Denklemleri ve ardından yapılacak tanımlama ve önermeler sonucunda Propagasyon Teoremleri ile EMI açıklanacaktır [1].

Elektromanyetik alanların bir sonucu olarak ortaya çıkan elektromanyetik dalgalar, yansıma, kırılma ve saçılma olarak tanımlanan mekanizmalar üzerinden yayılmaktadırlar. Kapalı ortamlarda, alıcı ve verici arasında doğrudan bir görüş hattının tahsis edilemediği durumlarda dalgalar farklı güzergahlar ve yansımalar aracılığı ile alıcıya ulaşırlar. Bu durum ancak propagasyon teoremlerinin incelenmesi ile tanımlanabilmektedir [2].

2.1 Elektromanyetik Alanlar ve Dalgalar

Elektromanyetik radyasyon, serbest uzayda yayılmakta olan bir dalganın elektrik ve manyetik bileşenleri ile tanımlanmaktadır. Bu bileşenler birbirlerine dik olarak yayılma doğrultusunda salınmaktadır. Serbest uzayda bu bileşenlerin kendi aralarında bir faz farkı mevcuttur.

Maxwell elektrik ve manyetik bileşenlerin dalga yapısını ortaya koymuş ve bu bileşenlerin doğasını ve simetrisini tanımlamıştır. Bu denklemlere dayanarak, zamanla değişen elektrik alanları manyetik alanları, zamanla değişen manyetik alanlar ise elektrik alanları doğurmakta olduğunu ispatlamıştır. Bu değişen alanların salınması

durumunda karşıt alanların da salınacağını ispatlamıştır. İşte bu salınım yapan manyetik ve elektrik alan bileşenleri elektromanyetik dalgayı oluşturmaktadır [3].

Modern elektromanyetizma dört temel denklemin bir araya getirilmesiyle oluşturulan Maxwell denklemlerine dayanmaktadır. Maxwell denklemleri ve bu denklemlerin fazör ifadeleri aşağıda tanımlanmıştır.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.4)$$

Maxwell denklemlerinin fazör eşitlikleri ise aşağıda tanımlanmıştır.

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega \vec{B} \quad (2.5)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + j\omega \vec{D} \quad (2.6)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v \quad (2.7)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.8)$$

Yukarıdaki denklemler içerisinde ρ_v hacimsel yük yoğunluğunu, $\vec{J}$ ise akım yoğunluğunu, $\vec{E}$ elektrik alan şiddeti, $\vec{D}$ elektrik akı yoğunluğu olarak tanımlanmakta ve aralarında aşağıdaki bağıntı bulunmaktadır;

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.9)$$

Burada ϵ maddenin elektriksel geçirgenliği olarak tanımlanmaktadır.

Maxwell denklemlerinde $\vec{H}$ Manyetik Alan Şiddetini, $\vec{B}$ ise Manyetik Akı Yoğunluğunu tanımlamaktadır. Bu değişkenlerin ise arasında aşağıdaki bağıntı bulunmaktadır;

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.10)$$

Burada μ ortamın Manyetik Geçirgenliği olarak tanımlanmaktadır.

Maxwell denklemlerinin tanımlamakta olduğu elektromanyetik alanları temellerini oluşturan temel fizik kanunlarının gözden geçirilmesi, bu denklemlerin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

2.1.1 Coulomb Yasası

Temel fizikte elektrostatik yüklerin incelenmesi, iki noktasal yük arasındaki kuvveti belirten deneysel Coulomb yasası ile ifade edilmektedir [4,5]. Bu yasaya göre q_1 ve q_2 yüklerinin bulunduğu serbest bir uzayda, bu iki yük arasında oluşacak elektriksel çekim kuvveti yüklerin çarpımı ile doğru, aralarındaki uzaklık ile ters orantılıdır ve (2.11) bağıntısı ile verilmektedir.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{R_{12}^2} \quad (2.11)$$

Coulomb Yasasının ve bu yasa sonucu türetilmiş olan Coulomb Kuvvetinin tanımlanmasıyla yüklerin mevcudiyeti nedeniyle ortaya çıkan Elektriksel Alan kavramını da tanımlama zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Serbest uzayda herhangi bir noktada bulunan elektriksel alan, o noktada bulunan pozitif yüklü bir q yüküne etkiyen kuvvetle ifade edilmektedir.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{R_i^2} \quad (2.12)$$

2.1.2 Gauss Yasası

Gauss yasası; serbest uzayda tanımlı bir $\vec{E}$ alanının, herhangi kapalı bir S yüzeyinden dışarı doğru geçirdiği toplam akı; yüzeyin kapladığı toplam yükün ϵ_0 'a bölünmesiyle ifade edilir [1].

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q \quad (2.13)$$

Gauss yasasının uygulanmasının özünde, önce simetri koşullarının belirlenmesi, sonra da verilen yük dağılımının oluşturduğu $\vec{E}$ alanının normal bileşeninin üzerinde sabit olduğu uygun bir yüzey seçilir. Seçilmiş olan bu izafi yüzeye Gauss Yüzeyi adı verilir.

2.1.3 Skaler Elektrik Potansiyeli

Elektriksel alan tanımının (2.12) ile ifade edilmesi, serbest uzayda skaler potansiyel tanımı yapılması ihtiyacını doğuracaktır. Dolayısıyla serbest uzayda bulunan yükün oluşturacağı skaler potansiyel;

$$\vec{E} = -\nabla V \quad (2.14)$$

$$V = -\int_{\infty}^R (\vec{a}_R \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}) \cdot (\vec{a}_R dR) \quad (2.15)$$

Tek bir q yükünün R kadar uzaktaki noktaya göre potansiyel fark;

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (2.16)$$

Birden fazla yükün birbirleri arasında eş potansiyel fark için;

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{|R - R'_k|} \quad (2.17)$$

2.1.4 Ampere Yasası

İletken tel üzerinden akan sabit akımların oluşturduğu manyetik alanı ifade etmek için kullanılan Amper yasasının tanımından önce Biot-Savart kanunundan bahsetmek daha uygun olacaktır [6].

$$d\vec{H} = \frac{I \cdot dl \cdot \vec{a}_R}{4\pi R^2} \quad (2.18)$$

(2.10) denklemindeki eşitlikten yararlanarak (2.18) yeniden yazılacak olursa;

$$d\vec{B} = \frac{I \mu \cdot dl \cdot \vec{a}_R}{4\pi R^2} \quad (2.19)$$

Biot-Savart yasasını integral formuna döndürecek olursak (2.19) formülü;

$$\vec{B} = \oint \frac{I \mu \cdot dl \cdot \vec{a}_R}{4\pi R^2} \quad (2.20)$$

Biot-Savart yasasının ortaya konmasının akabinde Amper Yasası aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\oint H \cdot dl = I \quad (2.21)$$

(2.10) eşitliğinden yararlanılarak denklem yeniden düzenlenecek olursa;

$$\oint B \cdot dl = I \cdot \mu \quad (2.22)$$

2.1.5 Faraday Yasası

Kapalı bir C eğrisi ile sınırlanan, zamanla değişen bir B akı yoğunluğu tarafından dikine kesilen bir S düzlem alanı içerisinde [7];

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (2.23)$$

(2.23) denklemini aşağıdaki gibi genişletilecek olursa;

$$v(t) = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (2.24)$$

(2.24) denklemi, kapalı C eğrisinde etki ile oluşturulacak EMK;

$$\Phi = \int_S B \cdot ds \quad (2.25)$$

(2.25) S yüzeyinden geçen manyetik akıyı tanımlamaktadır. (2.24) ve (2.25) denklemleri (2.23) denklemine işlenecek olursa;

$$\nu = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.26)$$

Kapalı bir devrede endüklenen elektromotor kuvveti (EMK) aynı devreden geçen manyetik akının zamana göre türevi ile orantılıdır. Söz konusu bu oran Faraday Yasası olarak tanımlanır.

2.1.6 Maxwell Denklemleri

Yukarıda tanımlanmış olan denklemler ışığında Maxwell denklemleri anlam kazanmış ve bileşenlerin nasıl elde edildiği ispatlanmıştır. Bu doğrultuda Maxwell Denklemleri dayandığı yasalarla beraber yazılacak olursa (Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2) [1,9];

Çizelge 2.1 Maxwell Denklemleri I

Maxwell Denklemleri	İntegral İfadesi	Yasa
$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S (\vec{J}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot d\vec{s}$	Ampere Yasası
$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_S (- \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}) \cdot d\vec{s}$	Faraday Yasası (Elektriksel alan için)
$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = \int_V \rho \cdot dv$	Gauss Yasası
$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$	Faraday Yasası (Manyetik alan için)

Çizelge 2.2 Kaynak içermeyen Maxwell Denklemleri II

Maxwell Denklemleri	İntegral ifadesi ($\vec{J}_c = 0, \rho = 0$)	Yasa
$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{s}$	Ampere Yasası
$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_S (-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}) \cdot d\vec{s}$	Faraday Yasası (Elektriksel alan için)
$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = 0$	Gauss Yasası
$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\int_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$	Faraday Yasası (Manyetik alan için)

2.2 Dalga Propagasyonu

2.2.1 Dalga Denklemi

Dalga denklemleri ve en temel propagasyon modelleri Eşitlik (2.1), (2.2), (2.3) ve (2.4)'te ifade edilen Maxwell Denklemleri ile ifade edilir [1].

Bu eşitliklere ilave olarak;

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.27)$$

tanımlanır. Burada σ ortamın iletkenliği olarak ifade edilir.

Eşitlik (2.9) ve (2.10)'a ilave olarak aşağıdaki eşitlikler tanımlanır;

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (2.28)$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad (2.29)$$

Eşitlik (2.28) ve (2.29) yardımıyla Maxwell Denklemleri kayık bulunmayan ortamları için yeniden düzenlenerek Hemholtz Dalga Denklemleri oluşturulur [11,12];

$$\nabla^2 E - \gamma^2 E = 0 \quad (2.30)$$

$$\nabla^2 H - \gamma^2 H = 0 \quad (2.31)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (2.32)$$

Burada γ propagasyon sabiti, α zayıflama katsayısı, β ise faz sabiti olarak tanımlanır.

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu_\varepsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \varepsilon} \right)^2} + 1 \right)} \quad (2.33)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu_\varepsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \varepsilon} \right)^2} + 1 \right)} \quad (2.34)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (2.35)$$

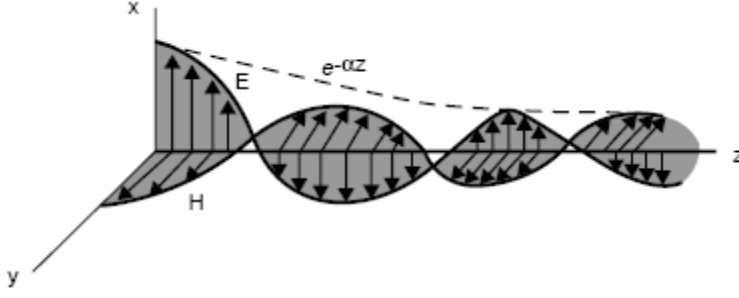
$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (2.36)$$

$$u = c = \frac{\omega}{\beta} = \lambda f \quad (2.37)$$

Yukarıda verilen (2.37) eşitliğinde ω dalğanın açısal frekansı, λ dalga boyu, c ise ışığın boşluktaki hızıdır [8].

Kayıpsız bir ortamda z yönünde yayılan ve x yönünde polarize olan EM dalga (2.30) ve (2.31) eşitliklerini kullanarak ifade edilecek olursa [9];

$$E = E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) a_x \quad (2.38)$$



Şekil 2. 1 Kayıplı Ortamdaki Düzlemsel Dalganın Elektromanyetik Alan Bileşeni.

$$\vec{H} = \frac{E_0}{|\eta|} e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z - \theta_\eta) \vec{a}_y \quad (2.39)$$

(2.39) eşitliğinde; $\eta = \frac{|\eta|}{\theta_\eta}$ ortamın intrinsik empedansı olarak tanımlanır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir [10];

$$|\eta| = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}}{\sqrt[4]{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \varepsilon}\right)^2}}, \quad \tan 2\theta_\eta = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon}, \quad 0 \leq \theta_\eta \leq 45^\circ \quad (2.40)$$

(2.38) ve (2.39) denklemleri, ortamda yayılan EM dalgalarının genliğinin $e^{-\alpha z}$ ile zayıfladığını göstermektedir (Şekil 2.1). Dalga genliğinin e^{-1} (yaklaşık %37) oranında zayıfladığı mesafe olan δ' 'ya Deri Kalınlığı adı verilir.

$$\delta = \frac{1}{\alpha} \quad (2.41)$$

EM dalganın güç yoğunluğu Poynting Vektörü aracılığı ile tanımlanır;

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (2.42)$$

(2.42) eşitliğinin zamana göre ortalaması alınacak olursa;

$$\vec{P}_{ort} = \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) = \frac{E_0^2}{2|\eta|} e^{-2\alpha z} \cos \theta_\eta \vec{a}_z \quad (2.43)$$

Dikkat edilecek olursa; (2.38) ve (2.39) eşitliklerinde $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ bileşenlerinin birbirlerine ve dalga hareket yönüne dik oldukları görülecektir [10]. Bu nedenle bu denklemlerle tanımlanmakta olan dalga, düzlem polarizasyonludur ve elektrik alanın propagasyon doğrultusuna her zaman dik ve xz düzlemine her zaman paralel olduğu görülecektir. Ayrıca dalga z doğrultusunda ilerledikçe ortamın kayıplı oluşundan ötürü zayıflamaktadır. Bu zayıflama, ortamın Elektriksel Geçirgenliği ile doğrudan ilintilidir.

$$\epsilon_c = \epsilon_r' - \epsilon_r'' = \epsilon_r' \left(1 - \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right) \quad (2.44)$$

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} = \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \quad (2.45)$$

İmajiner bileşen $\epsilon_r'' = \sigma / \omega \epsilon_0$ ortamın kayıplarını tanımlamaktadır. Ortamın Kırılma İndisi ise aşağıdaki gibidir.

$$n = \sqrt{\epsilon_r'} \quad (2.46)$$

Dalga denklemi ve propagasyon tanımlarının yapılmasıyla dalga polarizasyonu kavramı belirmiştir. Bu kavram bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

2.2.2 Dalga Polarizasyonu

Elektromanyetik dalgalar genellikle polarizasyonları ile ifade edilirler. Bir EM dalga polarizasyonu, yayın yapan antene veya kaynağa bağlıdır. Polarizasyon zamanın bir fonksiyonu olarak, Elektrik Alanın geometrisinin uzaydaki herhangi bir noktaya göre yönelimi ile ifade edilir. Dört farklı tipte polarizasyon mevcuttur. Bunlar; Doğrusal, dairesel, eliptik ve rastgele'dir [10,12].

Doğrusal polarizasyonda, alanın zaman ve uzaya göre konumu sabittir. +z doğrultusunda ilerleyen bir dalga elektrik alan ifadesi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\vec{E}(z,t) = E_x(z,t)\vec{a}_x + E_y(z,t)\vec{a}_y \quad (2.47)$$

Bu denklemin bileşenleri;

$$E_x = \text{Re} \left[E_{0x} e^{j(\omega t - kz + \phi_x)} \right] = E_{0x} \cos(\omega t - kz + \phi_x) \quad (2.48)$$

$$E_y = \text{Re} \left[E_{0y} e^{j(\omega t - kz + \phi_y)} \right] = E_{0y} \cos(\omega t - kz + \phi_y) \quad (2.49)$$

Doğrusal polarizasyonda x ve y bileşenleri arasındaki faz farkı aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.50)$$

(2.50) eşitliği, her iki bileşenin de her zaman aynı oranda bulunacağını göstermekte, bu durum ise elektrik alanın her zaman z eksenini boyunca aynı doğrultuda yayılacağını bir kanıttır. Eğer ilerlemekte olan dalga propagasyon doğrultusunda incelenecek olursa (z eksenini) elektrik alanının yönelimi çizgi şeklinde oluşacaktır. Buradan anlaşılacağı üzere doğrusal polarizasyonlar, basit antenlerle (monopol, dipol vb) veya lazerlerle kolayca oluşturulabilmektedir [10].

Dairesel polarizasyonlu dalgalar, sabit genlik ve yerleşime sahip bir elektrik alanının propagasyon doğrultusunda dönme hareketi gerçekleştirmesi ile oluşurlar. Dairesel polarizasyon x ve y bileşenlerinin aynı genliğe sahip olduğu durumda ($E_x = E_y$) oluşur ve bu bileşenler arası faz farkı $\pi/2$ 'nin tek katları ile gerçekleşir.

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \pm \left(\frac{1}{2} + 2n \right) \pi \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.51)$$

Elektrik alanının her iki bileşeni de propagasyon doğrultusunda, zaman ve uzayın bir fonksiyonu olarak salınım yaparlar. Dairesel polarizasyonlu dalgalar helis antenlerle veya birbirlerine dik olarak yerleştirilmiş iki kaynak ve bu kaynakların akımlarının arasında 90° faz farkı olduğu durumda oluşur [10].

Doğrusal ve daireysel polarizasyonlar aslında daha genel bir biçim olan eliptik polarizasyonun belirli koşullardaki özel bir fonksiyonudur. Eliptik polarizeli bir dalga propagasyon doğrultusunda eliptik bir geometrik eksen doğrultusunda zaman bağımlı bir yönelim gerçekleştirir. Eliptik polarizasyon x ve y bileşenlerinin genliğinin aynı olmadığı durumda gerçekleşir ve bu bileşenler arası faz farkı $\pi/2$ 'nin tek katları ile gerçekleşir [8].

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \pm \left(\frac{1}{2} + 2n \right) \pi \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.52)$$

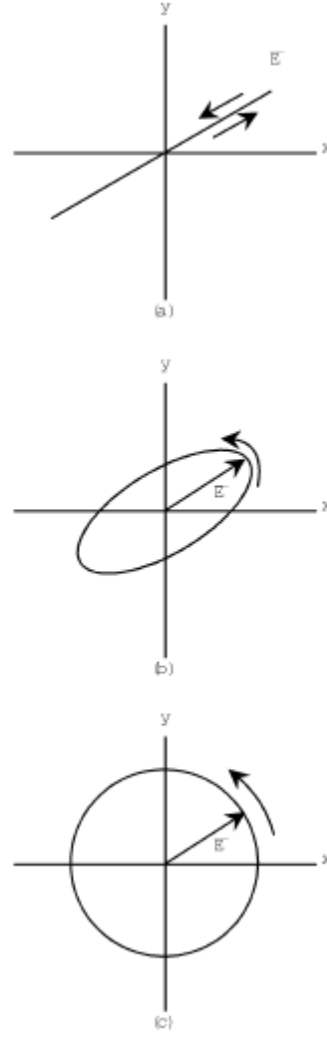
Bu, elektrik alanın x-y eksenleri boyunca eliptik bir hareket gerçekleştirmesini sağlar.

Tanımlanmış olan bu polarizasyon biçimleri (Şekil 2-2)'de gösterilmiştir. Polarizasyon biçimleri alan zaman ve konumun hesaplanabilir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, alan fonksiyonunun rastgele, dolayısıyla polarizasyonunu da rastgele olacaktır. Bu tarz bir polarizasyon biçimi genellikle güneş ışınlarında ve manyetik yıldızlarda görülmektedir [10].

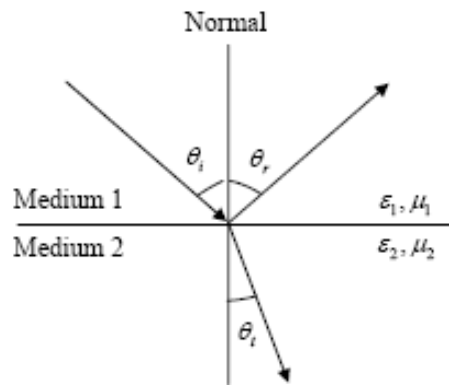
2.2.3 Dalga Yansıması ve Kırılması

Ortamda yayılmakta olan bir elektromanyetik bir dalga, farklı elektriksel özelliklere sahip başka bir ortama geçiş yaparken yansıma olayı gerçekleşir. Yüzey sınırının, gelen dalganın dalga boyundan daha büyük ölçülere sahip olması, yüksek frekans yaklaşımının uygulanmasına (ışın izleme vb.) gerektirecektir [11].

Ortam mükemmel iletken olmadıkça, yayılan dalganın bir kısmı ortama kırılacaktır. Eğer ikinci ortam mükemmel iletken ise (elektrik ya da manyetik), kırılma olmayacaktır ve gelen dalga aynı şekilde geri yansıyacaktır [12]. Yansıyan ve kırılan dalgaların şiddeti, gelen dalga ile doğrudan ilintilidir. Örneğin; dalga polarizasyonu, geliş açısı ve dalganın frekansı bu süreci doğrudan etkileyecektir [2]. İki farklı dielektrik malzemenin oluşturmuş olduğu ortama gelen bir elektromanyetik dalga şekil (2.3)'te görülmektedir.



Şekil 2. 2 Dalga Polarizasyonları: (a) Doğrusal, (b) Eliptik, (c) Dairesel [11].



Şekil 2. 3 Yansıyan ve Kırılan Dalga [11].

Snell Kanununa dayanarak yansıyan dalganın açısı, gelen dalganın açısına eşit olacaktır.

$$\theta_i = \theta_r \quad (2.53)$$

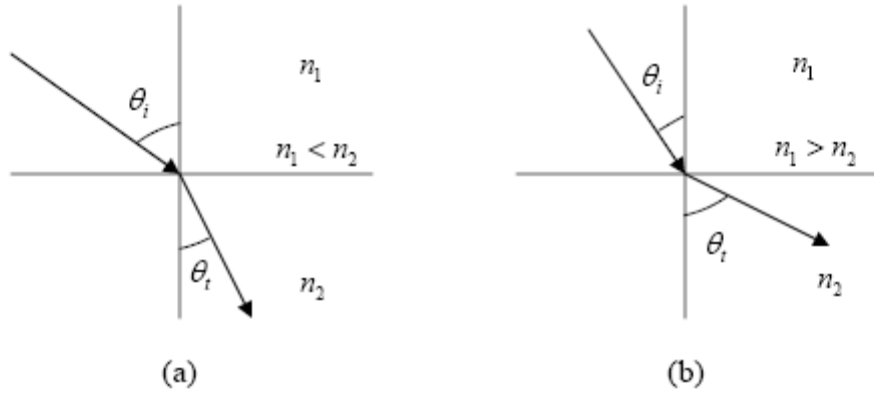
Ortamın kırma oranı, boşluktaki faz hızının, ortamdaki faz hızına oranı ile bulunmaktadır. Snell Kanununa göre kırılma [12];

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \quad (2.54)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada n_1 ve n_2 ortamın kırılma indisidir. Kırılıma, ortamın dielektrik sabiti $n = \sqrt{\epsilon_r}$ ile bağlantılıdır.

Ortamların kırılma indisi $n_1 < n_2$ olduğu durumda; $\sin \theta_i > \sin \theta_t$ ve $\theta_i > \theta_t$ olacaktır.[3]

Şekil (2.4)'te görülebileceği üzere daha yoğun bir ortama giren bir dalga normal eksenine doğru yaklaşarak kırılacaktır (Tersi de doğrudur.) [1].

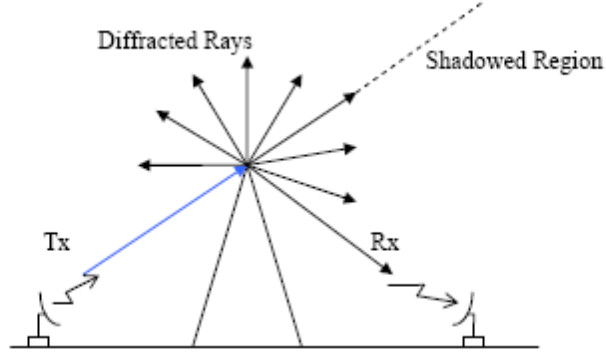


Şekil 2. 4 Yansıyan ve Kırılan Dalga.

2.2.4 Saçılma

Alıcı ve verici arasındaki ortamın sürekliliğinde bir değişim olduğunda electromanyetik dalganın propagasyon doğrultusuna engel olacak ve saçılmaya neden olacaktır. Engel teşkil eden ortamın köşelerinden ikincil dalgalar sekerek yansır. Bu durum çoğu zaman alıcı tarafında yeterli alımı sağlayacaktır [12].

Saçılmanın şiddeti¹, engelin geometrisi, gelen dalganın genlik ve polarizasyonu ile doğrudan orantılıdır. Şekil (2.5)'te temel bir alıcı-verici arası saçılmaya örnek verilmiştir.



Şekil 2. 5 Saçılma Geometrisi.

2.3 Elektromanyetik Yayılma ve Modellenmesi

EM dalga alıcıya ulaştığında, alınan sinyal genellikle, yansımalar ve kırılmalardan ötürü beklenen seviyeden daha güçlü olmaktadır. Bu durum yayılma ile açıklanmaktadır. Elektromanyetik yayılma, bir dalganın bozuk yüzeyli bir yüzeye ya da dalga boyuna göre çok küçük boyutlu engellere ulaşması ile oluşur. İzotropik yayılma nedeniyle dalga, engele rastlamasının akabinde birçok yöne yayılmaktadır. Kapalı alanlarda yayılma her yönde oluşacakken, açık alanlarda çoğu kez yayılma birkaç yönde olmaktadır [12,13].

Elektromagnetik dalga yayılımı, atmosferin homojen olmaması, dünyanın elektriksel özelliklerinin konuma bağlı olarak değişmesi, yüzey pürüzlülüğü gibi kaotik değişimlere sahip bir ortam olduğundan analitik çözümü zor bir problemdir [14].

Dünya üzerinde elektromagnetik dalgaların yayılımı üç boyutlu bir problem olmakla beraber, çözümler genellikle iki boyutlu olmaktadır. Elektromanyetik dalgaların yayılımının modelleri oluşturulurken aşağıdaki modeller kullanılmaktadır. Bu çalışmada bu modellerin yalnızca ilk ikisi tanıtılacaktır.

¹ Saçılma şiddeti kavramı; engele gelen dalganın, dalga boyunun temas edeceği engel yüzeyinin boyutlarına eşit ya da küçük olması ($d \geq \lambda$) durumunda oluşan saçılma ve engelin temas yüzeyinin boyutuna nazaran daha büyük bir dalga boyuna sahip dalgaların ($d < \lambda$) o engelden saçılmaması ile açıklanmaktadır.

- Parabolik Denklem,
- Işın İzleme (Ray Tracing) Yöntemi,
- Mod Teorisi,
- Zaman Uzayında Sonlu Farklar Yöntemi,
- Hibrit Yöntemler ve ampirik yöntemler.

Parabolik denklem yöntemi, EM dalgaların iletimi problemlerinde yaygın olarak kullanılan yarı analitik sayısal bir yöntemdir. Dalga denkleminin paraksiyal yaklaşım aracılığı ile çözülmesine dayanır [14].

Aşağıda verilen iki boyutlu dalga deklemini paraksiyal yaklaşım ile işlenecek olursa (2.57) eşitliğindeki dalga denklemine ulaşılmış olacaktır.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + k^2 n^2 \psi = 0 \quad (2.55)$$

$$u(x, z) = e^{-jkx} \psi(x, z) \quad (2.56)$$

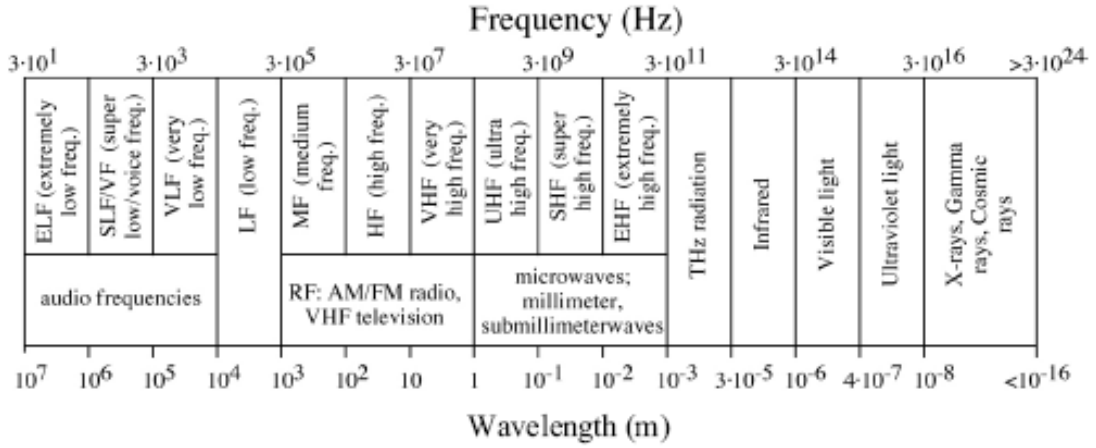
$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + 2jk \frac{\partial u}{\partial x} + k^2 (n^2 - 1) u = 0 \quad (2.57)$$

Işın izleme yöntemi, yüksek irtifalı sistemlerde yaygın olarak kullanılır. Işın izleme yöntemi geometrik optik kurallarına göre alan takibini baz alır [14].

$$E(s) = E_0 e^{-jk\varphi(0)} \sqrt{\frac{\rho_1 \rho_2}{(\rho_1 + s)(\rho_2 + s)}} e^{-ks} \quad (2.58)$$

2.4 Elektromanyetik Spektrum

Fizikte karşımıza çıkan bir çok niceliğin bir Elektromanyetik Bileşeni vardır. Her bir elektromanyetik bileşenin bir merkez frekansı vardır ve bütün elektromanyetik dalgaların çok düşük frekanstan (ELF) çok yüksek frekanslara kadar (1024Hz) uzandığı Elektromanyetik Spektrum Şekil (2.6)'da verilmiştir.



Şekil 2. 6 Elektromanyetik Spektrum [11,12].

ANTEN TEMELLERİ

Bu bölümde antenler hem alıcı hem de verici olarak Kabul edilmiş ve buna göre eşitlikler oluşturulmuştur. Alıcı konumunda antenler, gelen dalgaları toplayarak, onları iletim hattına bağlı müşterek bir besleme ucuna iletmektedirler. Verici antenler ise iletim hattına bağlı bir besleme ucundan gelen dalgaları havaya iletmektedir. Antenlerin; elektromanyetik güç şiddetinin anten çevresine göre değişim gösterdiği bir yönlülük özelliği vardır. Bu özellik antenlerin optimum yerleştirilmesinin sağlanmasında etkin rol oynamaktadır [3]. Bu bölümde antenlerin temel bileşenleri tanımlanacak ve ışıma paternleri, kazanç ve polarizasyon gibi en temel özellikleri sunulacaktır.

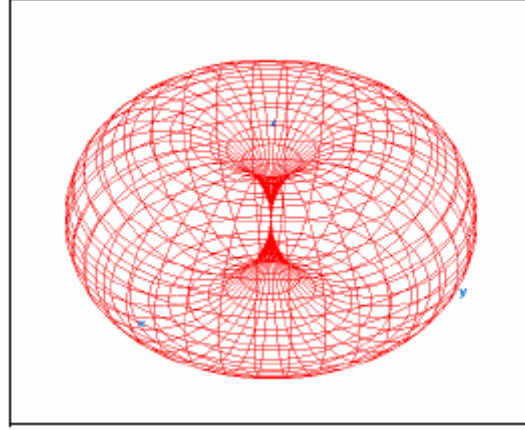
3.1 Anten Işıma Paterni

Antenlerin ışıma paterni, antenden sabit bir uzak alan mesafesinde EM ışımanın ya da EM alımın açısal değişimini vermektedir. Antenler, herhangi bir yönden gelen bir EM dalgaya o yöndeki patern değerine göre tepki verir. Normalize anten ışıma patern faktörü olarak tanımlanan $F(\theta, \phi)$ üç boyutlu uzayda ışıma paterninin şeklini ifade etmek amacıyla kullanılmaktadır. Z eksenini boyuncaya yerleştirilmiş kısa bir dipol antenin normalize anten paterni (3.1) eşitliği ile ifade edilmektedir.

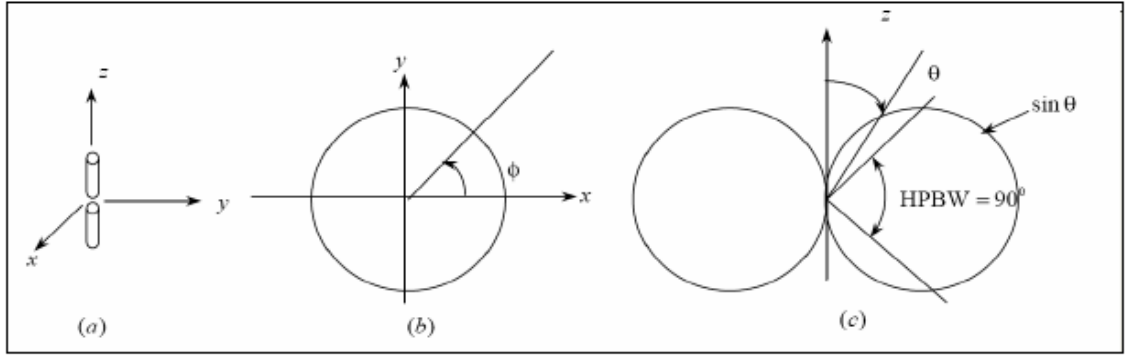
$$F(\theta, \phi) = \sin \theta \quad (3.1)$$

İdeal bir dipol antenin üç boyutlu ışıma paterni, şekil (3.1)'de de görülebileceği üzere, simit şeklinde olmaktadır. İdeal dipol antenin E düzlem ve H düzlem paternleri şekil (3.2)'de verilmiştir. Şekillerden görülebileceği üzere dikey bir dipolün, dipol eksenini

boyunca enine alınan kesiti, azimut paterni olarak, dipolün eksenini içerisinde barındıran kesiti ise yükseklik paterni olarak tanımlanmaktadır [3,12].



Şekil 3. 1 Dikey Dipolün Üç Boyutlu Işıma Paterni.



Şekil 3. 2 (a) İdeal Dikey Dipol, (b) H-Düzlemi (Azimut) Işıma Paterni, (c) E-Düzlemi (Yükseklik) Işıma Paterni.

3.2 Anten Kazancı ve Yönü

Anten yönü, belirli bir yöndeki ışıma şiddetinin, antenin ortalama ışıma şiddetine oranı olarak tanımlanır [8].

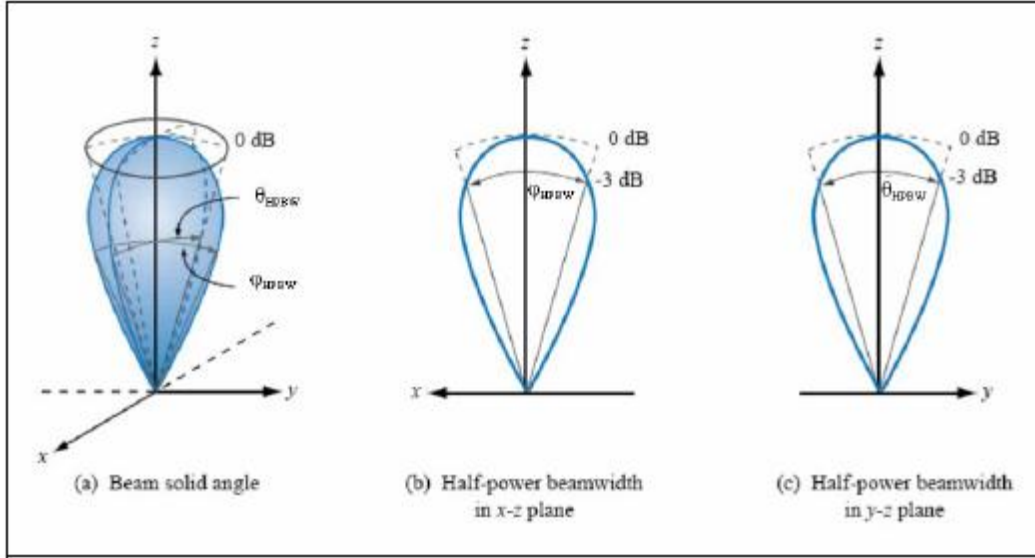
$$D = \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \int \int_{4\pi} |F(\theta, \phi)|^2 d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega_p} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte Ω_p antenin ışıma açısı olarak tanımlanır.

Şekil (3.3)'te gösterilen z eksenine doğrultulmuş tek ışıma yapraklı bir antenin Ω_p açısı azimut ve yükseklik yarıgüç band genişliklerinin çağırımı olarak kabul edilebilir [8,12].

$$\Omega_p \approx \theta_{HPBW} \phi_{HPBW} \quad (3.3)$$

$$D \approx \frac{4\pi}{\theta_{HPBW} \phi_{HPBW}} \quad (3.4)$$



Şekil 3. 3 Anten Yönleri.

Anten kazancı G ; anteni besleyen güç ve antendeki kayıp ile orantılıdır. Genelde, anten kazancı, antenin ekin olduğu alan A_e ve dalga boyu λ üzerinden hesaplanmaktadır [12].

$$G = \xi D = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte ξ ışıma verimliliği olarak tanımlanmaktadır;

$$\xi = \frac{P_{Işıyan}}{P_{Giriş}} \quad (3.6)$$

3.3 Anten Polarizasyonu

Herhangi bir antenden ışıyan enerji; elektrik ve manyetik bileşenleri olan enine bir elektromanyetik dalgada bulunur. Düzlem ve dairesel dalgalar için bu bileşeler her zaman birbirine ve propagasyon yöne diktir. EM dalganın elektrik alanı, o dalganın

polarizasyonunu ve dolayısıyla antenin de polarizasyonunu tanımlamada kullanılır. Genelde tüm polarizasyonlar, eliptik polarizasyonun özel bir durumu olarak ortaya çıkmaktadırlar. Bu genel durum için EM dalga, birbirine dik iki doğrusal bileşenden oluşmaktadır. Her bir bileşenin farklı genlik ve fazı vardır [3]. Propagasyon doğrultusunda herhangi bir noktada, toplam elektrik alanı zamanın bir fonksiyonu olarak eliptik bir hareket yapacaktır.

Eliptik polarizasyonun iki özel durumunun dairesel ve doğrusal polarizasyonlar olduğu bahsedilmişti. Dairesel polarizasyonlu bir elektromanyetik dalga; birbirine dik iki doğrusal polarizasyonlu, eşit genlikli ve birbirleri arasında 90^0 faz farkı bulunan elektrik alandan oluşmaktadır. Bu durumda elips şeklindeki hareket düzlemi daire biçimini alacaktır. Elektrik alan vektörünün rotasyon doğrultusuna göre dalga sol-el dairesel polarize ya da sağ-el dairesel polarize ismini alacaktır. İki dik bileşenler arası fazın $+90^0$ veya -90^0 olması, rotasyonun yönünü tayin edecektir. Doğrusal polarizasyonlu bir elektromanyetik dalga tek bir elektrik alan bileşeninden oluşacaktır ve eliptik polarizasyon dalganın tek bir doğrusal yüzeyde propagasyonuna dönüşecektir [3].

3.4 Serbest Uzay Link Denklemi

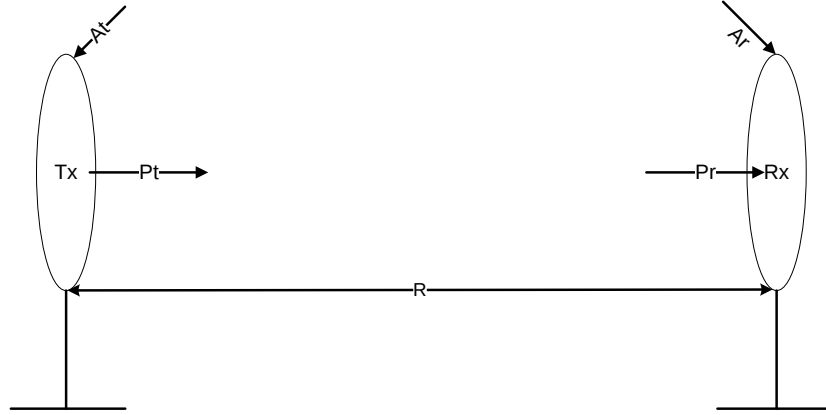
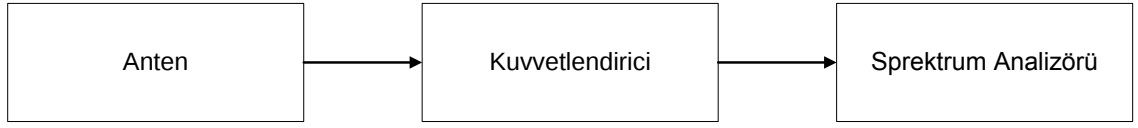
Serbest uzay iletişim radyolinkinin bir parçası olan ve birbirlerinin uzak alanına etkimeyecek kadar yeterince uzun seçilen bir R uzaklığında yerleştirilmiş iki anten şekil (3.4)'te gösterilmiştir [13]. İletim ve alım yapan bu antenlerin etkin alanları A_t , A_r ve ışıma verimlilikleri ξ_t , ξ_r 'dir. Anten kazançları, eşitlik (3.5)'e dayanarak tanımlanan etkin alanları ile orantılıdır. Alınan sinyalin serbest uzayda ifadesi eşitlik (3.7)'de tanımlanmış olan Friis iletim denklemi ile ifade edilmektedir.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (3.7)$$

Serbest uzay yol kayıpları, iki izotropik ortam ($G_t = G_r = 1$) arasındaki sinyalin yayılma kayıpları ile tanımlanır ve eşitlik (3.8)'deki gibi ifade edilir.

$$L_{fs} = \frac{P_r}{P_t} = \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (3.8)$$

Kamuya açık alanlarda, vericiye olan uzaklığın ifadesi olan R sembolünün yerine “ d ” sembolü kullanılır.



Şekil 3. 4 Alıcı Verici Konfigürasyonu.

BÖLÜM 4

EMI/EMC

Günümüzde kurtarma gemilerinde çok yoğun bir şekilde kullanılmakta olan haberleşme sistemleri ve seyir yardımcıları gibi RF enerji yayan cihaz/sistemlerin, bulundukları ortamda elektromanyetik etkileşime neden olacaklardır. Bu elektromanyetik etkileşim, özellikle personel ve diğer sistem/cihazlar üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu olumsuz etkilerin tespit edilmesi ve limitlenmesi ya da asgari düzeye indirilmesi; platform bütününde personel, yakıt ve mühimmat güvenliğini tesis etmekle beraber, çevre cihaz ve sistemlerin de azami verimlilikle çalışmasını tesis edecektir.

Yüzer platformlarda zararlı EM emisyonların tespiti ve ulusal/uluslararası standartlara uyumluluğunun sağlanması amacıyla; bu bölümde öncelikle platform bazında elektromanyetik ortam konsepti incelenecek, akabinde çalışmalara yön verecek olan Elektromanyetik Girişim (EMI) ve Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) tanımlamaları yapılacaktır. Platformlarda uyulması gereken EM emisyon standartları ulusal/uluslararası ve sivil/askeri başlıklar altında incelenecektir. Bu standartlar sonucunda gündeme gelen RADHAZ ve EMCON uygulamaları hakkında detaylı bilgiler verilecektir. Son olarak, platform tasarımlarında önemli bir başlık olan Elektrostatik Deşarj (ESD) konusunda yapılan uygulamalar tanımlanacaktır.

4.1 Elektromanyetik Girişim (EMI)

Elektrik, Elektronik veya Elektromekanik sistemlerin çalışırken açığa çıkardıkları elektromanyetik enerji ile mevcut elektromanyetik emisyon yayan sistemin etkileşime girmesi ve bu etkileşim sonucunda sistemlerin performansında, ortamdaki yakıt ve

mühimmat üzerinde ya da personel üzerinde oluşturacağı değişiklikler EMI olarak adlandırılır [15].

Son yıllarda teknolojinin gelmiş olduğu nokta neticesinde gündelik hayatın her alanında, endüstride, ulaşımda ve kamuda, RF emisyonları yayan cihaz ve sistemlerin kullanımı oldukça artmıştır. Bu durum mevcut kullanılabilir frekans spektrumlarının yoğunlaşmasına, dolayısıyla yeni frekans bandlarının kurulmasına ya da ileri kodlama teknikleriyle mevcut frekans bandlarının daha yoğun kullanılmasına neden olmuştur. Özellikle artan bu kullanım oranları ve bu kullanım artışından kaynaklanan EM emisyonların ortamlara verilmesi; çevre cihaz ve sistemler için sorunlar oluşturmaya başlamıştır. Artan EM emisyonları, cihazlar için çalışma koşullarını zorlaştırırken, kimi sağlık ve güvenlik sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Söz konusu bu etkileşimlerin zararları üzerine kamuda gelişen toplumsal bilinç doğrultusunda, cihazların bulunduğu ortamı düzenleyecek standartlar oluşturulmuştur [15,22].

Ortamdaki istenmeyen EM emisyonlar, çevre cihaz/sistemlerin dış yüzey ve/veya devrelerinde istenmeyen gerilimler ve akımlar endükler. Bu istenmeyen girişimler; cihaz/sistemin çalışma koşullarını etkileyerek; nominal performansında düşüşlere ya da sistemin tamamen gayri faal kalmasına neden olmaktadır. Özellikle sistemlerin dış yüzeylerinde oluşacak akım ya da gerilim endüklenmeleri; bu dış yüzeyi müşterek uç olarak kullanan ve zayıf topraklamalı sistemlerde; arz kaçağı olarak belirlemektedir. Oluşmuş olan bu arz kaçağı sistemin güvenli çalışma koşullarını riske atabilecek boyutlara ulaşabilmektedir. Örneğin; toprak kavramının; yalnızca geminin dış yüzeyinin olduğu durumlarda; geminin yüzeyinde oluşacak yüklenmeler; bu müşterek hatta bağlı cihaz ve sistemlerde performans düşmelerine, güvenlik risklerine ya da hassas cihazlar üzerinde yanlış çalışma değerlerine (seyrüsefer sistemlerinde seyir hataları vb.) neden olabilecektir [16].

Bir EMI problemi; kaynak cihazın, etkilenecek cihaz/sistemin ya da diğer hassas çevre koşullarının mevcudiyeti ile ortaya çıkar. Kaynak ve etkilenen cihazların çalışma koşulları (Güç, Frekans, Polarizasyon vb.), cihazların birbirlerine olan uzaklıkları ve girişimlerin yayılma biçimi önemli unsurlardır [17].

Kaynak ve etkileşime maruz kalan sistemler, EM kuplaj vasıtası ile EMI problemini meydana getirirler. EMI yaratan bu kuplajlar iki türlü oluşur; ışıma ve iletim [15,18].

Söz konusu bu kuplajlar;

- Antenler arası,
- Cihaz kasaları üzerinden,
- Cihaz kasalarına girişim,
- Ortamdan iletim hatlarına,
- İletim hatları arasında,
- Müşterek uçlar üzerinden,
- Güç hatları üzerinden,
- Sinyal hatları üzerinden,

olarak sınıflandırılmaktadırlar [22].

EM girişim konuları incelenirken özellikle dikkat edilmesi gereken bir husus, kaynakların uzak ve yakın alanlarıdır. Bu değerlerin bilinmesi, EMI probleminin ayrıştırılmasına, tecridine ve neticede çözülmesinde büyük katkı sağlayacaktır. Öncelikle uzak ve yakın alan kavramları tanıtılacak olursa;

Uzak Alan (Far Field): EM ışıma gücünün, kaynağa olan uzaklığın karesi ile orantılı olarak azaldığı, antenin boyu, çalışma frekansı ve dalgaboyu ile doğrudan bağlantılı olan uzaklığı tanımlamak amacıyla kullanılır. Uzak alanın başladığı mesafelerde ışımlar, düzlem dalga haline dönüşür ve bu mesafe arttıkça, hangi oranlarda ışımanın oluşacağının tahmini yapılabilmektedir. EM ışımanın düzlem dalga özelliği göstereceği mesafe eşitlik (4.1) ile hesaplanır [18-21].

$$r > \frac{\lambda}{2\pi} \quad (4.1)$$

Yakın Alan (Near Field): EM ışımanın, kaynağa çok yakın olduğu bölgelerde şiddetinin mesafenin karesi oranında azalmadığı alanlardır. Yakın alan, kendi içerisinde alt

alanlara bölünür ve bu alanın antene çok yakın olan bölümü reaktif yakın alan olarak tanımlanır. Bu alt alan, antenin enerjisinin en yüksek olduğu alanı kapsamaktadır. Diğer alt alan ise; ısıma yakın alanı olarak tanımlanır. Bu alt alanda, ısıma alanları reaktif alanlara baskın olmakta ve yapıcı daha karmaşık bir hal almaktadır. Yakın alan; eşitlik (4.1) ile tanımlanan mesafelerden daha kısa mesafeleri içermekte ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$r < \frac{\lambda}{2\pi} \quad (4.2)$$

Esas itibarıyla yakın alanlar; EM emisyonları için çok daha büyük önem taşımaktadırlar. Zira bu alanlarda oluşan elektrik alan şiddeti değerleri zararlı emisyonlara neden olabilmektedir. EMC uygulamaları genellikle yakın alanlarda oluşan EM emisyonlarını analiz etmeye ve belirli seviyeler dahilinde tutmaya odaklanmaktadır.

4.1.1 EM Kaynakları

EMI çalışmaları yapılmadan önce platform üzerinde mevcut tüm sistemler tespit edilmeli ve bu sistemler arası etkileşim yolları ortaya çıkarılmalıdır. Bu yolların tayin ve tespiti; platformda optimum yerleşim çalışmalarına yön verecektir. Özellikle etkileşimin nereden oluşabileceğinin belirlenmesi çalışma alanlarını daraltarak, ihtiyaca yönelik çözümlerin sunulmasını sağlayacaktır [19].

İhtiyacın tanımlanmasında, kaynakların ve olası emisyonların tespitinin önem arz etmesi nedeniyle EM emisyon kaynakları aşağıda tanımlanmıştır [22-24].

- RF Vericiler ve Haberleşme Sistemleri
- İletim Hatları (Elektrik, RF vb.)
- Elektrik Motorları,
- R/L Sistemleri
- Endüstriyel RF Kaynakları
- Nükleer Elektromanyetik Darbe (EMP)
- Endüktörler

- Seyir Sistemleri
- Yıldırım (Doğal)
- Elektrostatik Deşarj (Doğal)

Bu kaynaklar daha da genişletilebilmekle beraber, oluşturulmuş olan bu liste temel kaynakları ifade etmektedir. EM kaynakları, çevrelerine olası istenmeyen emisyonları gerçekleştirebilirler. EMI kavramı bu kaynakların mevcudiyetiyle başlar ve literatürde mevcut EMC standartları aracılığı ile EM kaynaklarının emisyonlarının kontrol altına alınması ile güvenli EM ortamlar oluşturulmuş olur [25-26].

4.1.2 Sistem/Cihaz İçi EMI

Sistem/cihaz içi EMI, sistemi oluşturan bileşenler veya alt cihazlar arası oluşabilecek etkileşimleri içerir. Bu etkileşim türünde, EM emisyon kaynağı, kuplaj yolları ve etkilenen sistemler aynı sistem/cihazın içerisinde yer alır. Bu tip etkileşimler bir çok sistem/cihazda meydana gelebilir ancak özellikle muhabere ve radar sistemlerinde sıklıkla karşılaşılır. (HF Telsizlerin içerisinde bulunan IF modüllerinin¹ ve güç katlarından faraday kafesleri ile ayrılması bu durmun en büyük örneğidir.) [15].

Sistem/Cihaz içi elektromanyetik girişimi önlemek için dikkat edilmesi gereken tasarım kriterleri;

- Devre elemanlarının seçiminin ve tasarımının optimum düzeyde ele alınması,
- Cihaz içi topraklamanın iyi sağlanması,
- Cihaz bütünü ve gereken alt bileşenlere manyetik ekranlamaların yapılması,
- Çevreye istenmeyen kaçak emisyonların verilmesini engelleyecek özenli bağlama aparatlarının kullanılması,
- Cihaz içi kablolamanın ve bağlantıların dikkatli gerçekleştirilmesi olarak sıralanabilir.

¹ HF haberleşmesinde; antene iletilecek ya da antenden alınacak sinyallerin, cihaz içi işlem katmanlarında kayıpsız işlenebilmesi için, söz konusu sinyaller demodülasyon aracılığı ile daha düşük frekanslara indirilirler. Alınmış olan HF bandındaki sinyaller KHz mertbesinde alçak frekanslı işaretlere dönüştürülmüş olur. Söz konusu bu işlem IF (Orta Frekans) adı verilen frekans bandında gerçekleştirilir.

Yukarıda sunulmuş olan optimizasyon teknikleri, müteakip maddelerde tanımlanacak olan muhtelif EMC standartları ile detaylı tanımlanacaktır.

4.1.3 Sistem/Cihazlar Arası EMI

Sistem/ cihazlar arası EMI, ortamda bulunan bir sistem/ cihazın yaratmış olduğu EM emisyonları ile, aynı ortamdaki farklı sistemler üzerinde oluşturacağı etkileşimleri tanımlamaktadır [15].

Sistemin yakın alanında olabilecek EM emisyonlarından ötürü, alıcı sistem üzerinde oluşabilecek girişim ya da etkileşimler, sistemin performansını olumsuz yönde etkileyecektir¹ [27].

Sistem/ cihazlar arası EMI önlemek amacıyla aşağıda sıralanmış tedbirlerin alınması gerekmektedir [15].

- Frekans Yönetimi; (Birbirlerine yakın sistem ve cihazların çalışma frekanslarının olabildiğince birbirinden uzak seçilmesi)
- Zaman Yönetimi; (Sistemlerin belirli zamanlarda EM emisyon gerçekleştirmesine müsaade edilmesi.)
- Konum Yönetimi; (EM emisyon yaratan sistem/ cihazların olabildiğince birbirinden uzakta seçilmesi.)
- Yön Yönetimi; (Antenli sistem/ cihazların ışıma paternlerinin spesifik olarak seçilmesi ve ihtiyaca yönelik emisyon yönlerinin tayin edilmesi, aksi durumlarda EM ekranlamalarla, etkileşim oluşabilecek sektörlerde EM karartma uygulanması.)

Bu teknikler; platformlar üzerinde tasarım esnasında oluşabilecek EM emisyonların tespit ve bu emisyonlara karşı önleyici tedbir olarak uyulması gereken en önemli yöntemlerdir.

¹ Örnek olarak; HF telsiz yayınlarının (3-30MHz), güvertede bulunan vinç vb makinaların kontrol kumanda arabirimlerinin çalışma frekansına yakın olması nedeniyle girişimde bulunmakta ve sonuç olarak bu makinalarda geçici kumanda kaybına neden olarak, maddi hasarların yanı sıra can kaybına varabilen tehlikeler yaratmaktadır.

4.2 Elektromanyetik Uyumluluk (EMC)

EMC, bir sistem/cihazın, mevcut EM ortamı içerisinde, aynı ortamı paylaşan diğer sistem/cihaza, yakıta, personele ve mühimmeta herhangi bir EM girişim/zarar yaratmama özelliği olarak tanımlanmaktadır [19].

EMC, uzun zamandır bilinen ve çözüm aranan RF etkileşimlerinin tespit edilmesiyle ortaya atılmıştır. İstenmeyen emisyonların, limitlenmesi ya da asgari düzeye çekilmesini gerektiren bir çok uygulamaların bir sonucu olarak EMC; cihaz/sistemlerin daha verimli çalışmasını sağlarken, optimum kaynak yönetimini sunan bir modeldir.

EMC uyumluluğun sağlanması maksadıyla, cihaz sistemlerde gerçekleştirilecek uygulamalar aşağıda sunulmuş konsept çerçevesinde gerçekleştirilmelidir [22-23].

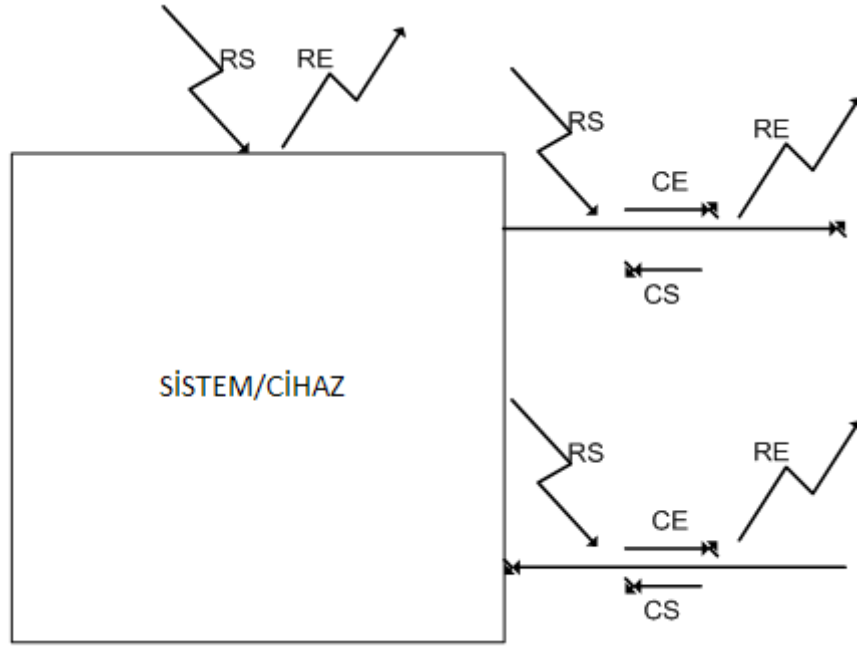
- EMI kaynaklarının, platform ihtiyaçları doğrultusunda sınırlandırılmış olması,
- Kuplaj yollarının kesilmesi ya da sınırlandırılması,
- Etkilenmesi muhtemel sistem ve cihazların korunması,
- Yukarıdaki uygulamaların bir kombinasyon şeklinde probleme uygulanması.

EMC amacıyla hazırlanan sivil ya da askeri standartlar temelde kuplaj yollarını tanımlar ve bu kuplaj yollarında gerçekleşmesi muhtemel etkileşimlerin neler olabileceğini sınıflamaya çalışır. Ortak fiziksel özelliklerine göre yapılan sınıflamalar, EMC problemini basite indirgeyeceği gibi EMI ölçümlerde kararsızlığı asgari düzeye indirgeyebileceği gibi, gereksiz ölçüm tekrarlarını da engelleyecektir. Sistem/Cihazlar arası olabilecek EM etkileşim yolları [15,17,19];

- Işıma Yoluyla Emisyon (Radiated Emission-RE); ışıma yolu ile çevre cihaz/sistemlere ve ortamda bulunabilecek personel de dahil her şeye etkiyebilecek elektromanyetik emisyonlardır.
- İletim Yoluyla Emisyon (Conducted Emission-CE); sistem/cihazların dış yüzeylerinden, besleme ya da iletim hatlarından yayılan elektromanyetik emisyonlardır.
- Işıma Yoluyla Alınanlık (Radiated Susceptibility-RS); ışıma yolu ile çevre cihaz/sistemlerden alınabilecek elektromanyetik girişimdir.

- İletim Yoluyla Alınanlık (Conducted Susceptibility(CS); sistem/cihazların dış yüzeylerinden, sinyal ve güç hatlarından alınabilecek elektromanyetik girişimdir.

Elektromanyetik uyumluluk uygulamaları yukarıda verilmiş olan etkileşim yollarının cihaz başına incelenmesi ile başlar. Her bir cihazın, aynı ortamda bulunan çevre cihazlara ve EM ortamına vereceği emisyonlar tek tek incelenir. Bu uygulamada süper pozisyon yapılması, işlemlerin kolaylaştırması nedeniyle uygulanan genel kuraldır [18,19].



Şekil 4. 1 EMI Etkileşimler.

4.2.1 EMC Problemi Tanıtımı

EM emisyonu yaratan RF sistemleri, Kurtarma Gemilerinde yoğun biçimde kullanılmaktadır. Yapı itibarıyla anılan cihaz/sistemlerin, bu tip gemilerin açık güvertelerinde muhtelif yerlere kurulmasının gerekliliği kimi tasarım mania kriterlerini beraberinde getirmektedir. Her cihaz/sistemin olabilecek her yere monte edilememesi, EM emisyonları yaratacak bu sistemlerin analizini oldukça zorlaştırmaktadır.

EMC uygulamalarının örneğin bir seyir radarı için uygulamasında yaşanabilecek mania kriterleri; seyir radarının çevre cihazlara yapabileceği EM girişimlerinin asgari düzeyde tutulurken, kurulum konumunun, azami tarama menziline verecek şekilde seçilmesinin zorunluluğudur.

Bu çalışma; denizcilikte sık kullanılmakta olan cihaz/sistemlerin; kurtarma gemileri gibi kompleks platformlara; EMC regülasyonlarını da gözeterek en uygun kurulum mevkiilerinin saptanması yönünde olacaktır. Çalışmalar esnasında sistem/cihazların (HF,VHF telsizler, Radarlar vb.) ilk referans kurulum konumları korunmuş ve azami kapsama alanları amaçlanırken, asgari EM emisyonlarını oluşturmaları hedeflenmiştir. Tanımlanmış olan bu EMC probleminin çözümü öncesinde uluslararası askeri (MIL-STD-461F, MIL-STD-464A, DoD STANAG AECP(2) vb) ve ticari sistemler için sivil standartlara (IEEE C.95, IEC 60533, IEC 61000 vb) uyumluluk kriterleri aktarılacaktır.

4.2.2 Elektromanyetik Ortam (EME)

Elektromanyetik Ortam kavramı; tanımlanmış ve sınırları belirli bir ortamda mevcut tüm elektromanyetik emisyonların oluşturduğu ortamı tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır [20,21]. EME kavramı, ortamın tanımı yaparken, ortamda sonradan oluşabilecek istenmeyen EM emisyonlarının da eklenmesi durumunda oluşabilecek ortam koşullarının belirlenmesinde etkili olmaktadır [28].

EME koşullarının, kurtarma gemilerini de kapsamak üzere yüzer platformlardaki mania kriterleri ve uygulanacak EMC regülasyonları NATO MIL-STD-464A doğrultusunda çizelge (4.1) ve (4.2) 'de verilmiştir [22-23].

Çizelge 4.1 Yüzer Platformlarda Güverte Uygulamaları İçin Azami EME Seviyeleri

Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (V/m - rms)			
	Helikopter Platformu		Açık Güverte	
	Tepe Değer	Ortalama Değer	Tepe Değer	Ortalama Değer
0.01-2.0	45	45	-	-
2.0-30	100	100	200	200
30-150	61	61	61	61
150-225	61	61	61	61
225-400	61	61	61	61
400-700	151	71	151	71
700-790	162	95	162	95
790-1000	1125	99	1125	99
1000-2000	550	112	550	180
2000-2700	184	158	184	158
2700-3600	2030	184	2030	184
3600-4000	290	200	290	200
4000-5400	290	200	290	200
5400-5900	345	200	345	200
5900-6000	345	200	345	200
6000-7900	345	200	345	200
7900-8000	345	200	345	200
8000-8400	345	200	345	200
8400-8500	483	200	483	200
8500-11000	510	200	510	200
11000-14000	310	200	310	200
14000-18000	310	200	310	200
18000-40000	200	200	200	200
40000-45000	200	200	200	200

Çizelge 4.2 Yüzer Platformlarda Azami EME Seviyeleri

Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (V/m - rms)	
	Helikopter Platformu	
	Tepe Değer	Ortalama Değer
0.01-2.0	-	-
2.0-30	200	200
30-150	20	20
150-225	10	10
225-400	25	25
400-700	1940	260
700-790	15	15
790-1000	2160	410
1000-2000	2600	460
2000-2700	6	6
2700-3600	27460	2620
3600-4000	9710	310
4000-5400	160	160
5400-5900	3500	160
5900-6000	310	310
6000-7900	390	390
7900-8000	860	860
8000-8400	860	860
8400-8500	390	390
8500-11000	13380	1760
11000-14000	2800	390
14000-18000	2800	310
18000-40000	7060	140
40000-45000	570	570

Görüldüğü üzere yüzer platformlar için belirli elektromanyetik ortam sınırları bulunmaktadır. EM emisyon seviyelerinin; güverte ve köprüüstü çalışmalarında tanımlanmış olan bu sınırlar çerçevesinde analiz edilmesi gerekmektedir. Platform bünyesinde yapılacak analizler her zaman, mevcut ve olası cihazlar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Özellikle platformun niteliği ve personel yapısı bu analizlere yöne verecek en önemli unsurlar olacaktır [29,30].

4.2.3 EMC Standartları ve Işıma Güvenliği (RADHAZ)

Günümüzde Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) kavramı, literatürde adından daha sık söz ettirmektedir. EMC kavramının gündeme gelmesindeki en büyük etmen, EM emisyonlarının insan sağlığı üzerine uzun vadeli olası etkilerinin tam olarak tespit edilememesi ve çevre cihaz/sistemlerin güvenilir kullanım usullerinin tespitine ihtiyaç duyulması olmuştur [31,32].

EMC kavramının sanayi, sivil ve askeri sistem/cihazları için uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla muhtelif standartlar oluşturulmuştur. Bu standartlar bir kısmı kapsam bakımından tek bir sistem/cihazı kapsamakta, bir kısmı ise genel tanımlamalar ve genel uygulamalar konusunda uygulamalar getirmektedir. Bu uygulamalar Işıma Güvenliği¹ (RADHAZ) kavramını da gündeme getirmiştir. Bir çok EMC uygulamasında, EMC standartlarından daha sıkı mania kriterlerine haiz bu veriler esas kabul edilmekte, EM emisyonlarının güvenli değerlere getirilmesi uygulamalarında kullanılmaktadırlar.

Bu bölümde EMC alanında sivil ve askeri standartlar tanıtılacak, radyasyon güvenliği konusunda literatürde yoğun olarak kullanılan bu standartlar doğrultusunda sınır değerler tanımlanacaktır. Sonuç olarak; bu çalışmada atıfta bulunulacak standartların ve sınır değerlerin neler olması gerektiği tespit edilecektir.

4.2.3.1 Sivil Standartlar

EM emisyonlarının ortamda yaratacağı etkileri tespit edebilmek maksadıyla IEC, IEEE, INIRC ve IRPA tarafından muhtelif standartlar yayınlanmıştır. Bu kuruluşlar, EM ışımların şiddeti konusunda farklı sınırlamalar getirmekte ve bu sınırlamalar uygulamalara göre değişiklikler göstermektedir. TSE tarafından atıfta bulunulmakta olan IEC ve CISPR standartlarının EMI/EMC konularını içeren bölümleri aşağıda sunulmaktadır [33].

- IEC 60533 Gemilerde Elektrikli ve Elektronik Sistemlerin Kurulumları ve EMC

¹ Kavram olarak RADHAZ kimi kaynaklarda Radyasyon Zararları olarak geçmekte iken, kimi kaynaklarda Işıma Güvenliği olarak kullanılmıştır. Özellikle personele olabilecek EM emisyonu zararlarını analiz etme ve limit seviyelerde tutma uygulamalarını içermesinden dolayı tezimizde Işıma Güvenliği olarak anılacaktır.

- IEC 61000 Elektromanyetik Uyumluluk Genel Standardı
- IEC 60555-2/3 Kişisel ve Ev Cihazları İçin Düşük Frekanslı EM Emisyonları [34-35].
- CISPR 11 (EN 55011) Endüstriyel, Bilimsel ve Medikal RF Yayan Cihazlarda Emisyon Standardı
- CISPR 12 Ulaşım Araçları için EM Emisyon Standardı
- CISPR 13 Cevapsız Yayın Yapan Cihazlar İçin EM Emisyon Standardı
- CISPR 14 Ev Aletleri ve Kişisel Cihazlar için EM Emisyon Standardı
- CISPR 20 Cevapsız Yayın Yapan Cihazlar için EM Bağışıklık Standardı
- CISPR 22 Bilişim Sistemleri İçin Em Emisyon Standardı
- CISPR 24 Bilişim Sistemleri İçin EM Bağışıklık Standardı

Yukarıda tanımlanmış olan EMC standartları genel olarak cihaz/sistemlerin birbirlerine ve kendi aralarında oluşturacakları EM emisyonları için sınırlamalar getirmekte ancak çevrede bulunabilecek personel ya da yakıt gibi tehlikeli maddelerin varlığında yapılacak emisyonlara herhangi bir atıfta bulunmamaktadırlar. Özellikle insan sağlığına dair yapılabilecek uygulamalara IEEE C95.1 ve IRPA/ICNIRP standartlarında atıfta bulunmaktadır.

- IEEE C95.1 Radyo Frekanslı Elektromanyetik Alanlar Altında Bulunan İnsanlarda Maruziyet Seviyeleri (3000-300x10e9 Hz) [33]
- IRPA İyonize Olmayan Radyasyon Güvenliği (EMC) [36-37].

4.2.3.2 Askeri Standartlar

Sivil standartların aksine askeri standartlar; kullanım alanlarına göre çok daha yoğun EM emisyonlarının mevcut olduğu platform ya da araçlar için hazırlanmışlardır. Askeri platform ya da sistemlerin, muharebe ortamlarında yaratacakları emisyonların yanı sıra, elektronik harbe maruziyetleri neticesinde oluşacak diğer emisyonların da seviyelerini analiz edebilmek, oluşacak emisyonların belirli limitler içerisinde olmasını sağlamak amacıyla kimi mania kriterleri getirmektedirler.

Askeri standartlar, ülkelerin sahip olduğu platformlara göre değişiklik göstermekle beraber; bu platformlarda kullanılan sistem/cihazların benzerlik göstermeleri nedeniyle birbirlerine göre ciddi farklılıklar içermemektedir. Ulusal ve Uluslar arası literatürde kullanılmakta olan standartlar NATO ve Amerikan Savunma Bakanlığı (DoD) standartlarına dayanmaktadır. EMC konularında yayınlanıp, NATO ve AB ülkelerince yoğun olarak kullanılmakta olan askeri standartlar aşağıda sunulmuştur.

- MIL-STD-461F Sistemler ve Alt Ekipmanları için EMI Karakteristiği Kontrol Gereklileri.
- MIL-STD-464A Sistemler için Elektromanyetik Çevre Etkileri
- STANAG-1380 NATO Deniz Telsiz ve Radarları Razyasyon Zararları
- STANAG-7116 Uçaklarda Elektromanyetik Dayanımın Doğrulama Metodolojisi
- STANAG-7158 Hava-Yer Unsurları için Elektromanyetik Güvenlik

Genellikle askeri platformlarda EMI/EMC uygulamaları için MIL-STD-461 ve 464 numaralı NATO standartları uygulanmaktadır. Bu çalışmada söz konusu bu standartlarda atıf yapılan personel, yakıt ve mühimmat güvenliği açısından gerekli sınırlamalar dikkate alınacaktır.

4.2.3.3 Radyasyon Güvenliği (RADHAZ)

Elektromanyetik emisyonlar, yalnızca çevre sistemlerle istenmeyen etkileşimlere girmez. Bunun yanı sıra çevrede mevcut yakıt ya da askeri mühimmat gibi tehlikeli maddeler üzerinde kıvılcım oluşturmak ve platformda görevli personel üzerinde uzun vadeli yapısal bozulmalara yol açabilmektedir. EM emisyonların bu tehlikeleri nedeniyle, platformlar uymak zorunda oldukları standartlar doğrultusunda kimi radyasyon güvenliği karşılamak durumundadır. Bu kriterler üç ana başlık altında toplanmaktadır [33].

- Personel Üzerine Elektromanyetik Radyasyon Etkileri (HERP)
- Yakıt Üzerine Elektromanyetik Radyasyon Etkileri (HERF)
- Mühimmat Üzerine Elektromanyetik Radyasyon Etkileri (HERO)

4.2.3.3.1 EM Radyasyonun Personel Üzerine Etkileri¹ (HERP)

Elektromanyetik Radyasyonun canlılar üzerindeki zararlı biyolojik etkilerine dair halen literatürde geniş kapsamlı araştırmalar bulunmamakla beraber yapılmış dar kapsamlı araştırmalarda belirli frekans bantlarında ışımaya maruz kalan kişilerde kanser riskinin arttığı ispatlanmıştır. Özellikle Dünya Sağlık Örgütü tarafından yayınlanmış olan bildirilerde; VHF/UHF TV yayınlarının çok yoğun olduğu verici kulelerine çok yakın bulunan yaşam alanlarında bulunan çocuklarda Lösemi riskinin artmakta olduğu anlatılmaktadır. Bunun yanı sıra 2-3 GHz arası ışımalara maruz kalan beyin hücrelerinde mutasyonların gözlemlendiği ve bozulmaların olduğu tespit edilmiştir [34-35].

EM ışımaların zararlı etkilerinin gün geçtikçe anlaşılmaya ve daha çok araştırılmaları nedeniyle bu ışımalara karşı sürekli maruz kalan personelin korunması amacıyla IEEE ve INIRC tarafından belirli limit değerleri yayınlanmıştır. Oluşturulan bu limit değerler kapalı ve açık ortamlar için farklı uygulamalar getirmektedir. Getirmiş olduğu uygulamalar tasarım esnasında EM yayan sistem/cihazların daha sıkı bir kalite uygulamasından geçirilmesini sağlamaktadır. 20 yıl öncesine ait bir telsiz telefon ile bugün üretilen arasında istenmeyen emisyonlar açısından ciddi farklılıklar gözlemlenmektedir [36].

IEEE, IRPA, NATO, USDoD tarafından bu sınır değerleri içeren ve endüstriyel/kişisel ürünlerin tasarımından, kullanımına kadar çok geniş alanda personel güvenliğini amaçlayan standart dokümanları hazırlanmıştır.

EM alanların yaratmakta olduğu ve zararlı sayılabilecek ışımalar, fizikleri itibarıyla frekans spektrumunda KHz seviyelerinden başlamakta ve THz seviyelerine kadar yükselmektedirler. Farkedilecek olursa bu seviyelerden itibaren elektromanyetik dalgalar farklı fiziksel özellikler göstermekte, ışık formuna kavuşmaktadır. Bu seviyeden itibaren morötesi (UV) ve X ışınları oluşmaktadır.

¹ HERP kavramı insanın; bulunduğu ortam ya da platformlarda, sağlığının etkilenmeyeceği seviyelere kadar maruz kalabileceği EM ışımasını ve söz konusu ortamda bu ışımaları yaratacak kaynaklar için azami seviyeleri tanımlamaktadır. Bu azami seviyeler; engellenemeyen ışımalara karşı alınabilecek önlemlerin kapsamını oluşturmaktadır.

Kabaca, yapısal olarak aynı özellik gösteren bu EM ışımların frekansları uyarınca zararlı etkileri değişmektedir. Işımlar ya da radyasyon tanımı, maddeler üzerinde atomik boyutta iyonlaştırıcılık bakımından ikiye ayrılmaktadır [37].

- İyonize Radyasyon

- İyonize Olmayan Radyasyon

EM radyasyon, maddeler üzerinde iyonize etki yaratacak seviyede (azami 12eV foton enerjisi, 100nm den daha uzun dalga boyu ve 300THz'den daha düşük merkez frekansı) enerjiye sahip olmaması nedeniyle "iyonize olmayan radyasyon" olarak tanımlanmaktadır.

Biyolojik olarak insan vücudu özellikle yüksek frekanslı elektromanyetik alanların yaratmakta olduğu zararlı ışımalardan daha çok etkilenmekte, duyarlılık seviyesi artmaktadır. Yüksek frekanslı ışımlar, atomik boyutta hücreler arası boşluklardan geçebilecek kadar küçük olmadıkları için hücre duvarı üzerinden bir bölümü ise dokulara geçmektedir. Işımların hücre çeperine çarparak geri yansıması, hücre içerisinde ısı artışına neden olmaktadır. Kimi ışıma frekansına bağlı olarak canlı hücrelerde atomik bazda rezonanslar görülmektedir. (Bu özellik tıpta MR cihazları aracılığı ile görüntülemeye kullanılmaktadır.) Yüksek frekanslı EM emisyonlarına maruziyetin açıklanması esnasında yalnızca frekans önem taşımamaktadır. Bunun yanı sıra bu emisyonlara maruziyet süresi de önem taşımaktadır. Bu sürenin fazlalığı, sağlık açısından riskleri arttırmaktadır.

İnsan vücuduna penetre olmuş EM ışıma, dokular üzerinde emildikçe kademeli olarak ısı artışları oluşturmaktadır. Frekans düştükçe penetrasyon derinliği ve ışıma enerjisi arttıkça etkilenen doku kütlesi artmaktadır [40]. Dokularda, vücudun dengeleyebileceğinden fazla ısı artışı, canlı organizmalarda homeostazi olarak tanımlan iç dengeyi bozmakta, hatta ölümlere neden olmaktadır. İnsan vücudunun bu ışımalara dokular yaşlandıkça hassasiyeti azalmaktadır. Bu doğrultuda çocuklardaki hassasiyet, yetişkinlerden oldukça fazladır.

Teknolojik gelişmelerin yüksek hızla ilerlemesinden ötürü, günümüz modern insanı kırk yıl öncesiyle kıyaslandığında 10 kat daha fazla EM emisyonlarına maruz kalmaktadır [37,40]. Bu artış nedeniyle kimi nedensiz, ya da etken tanısı konulamamış hastalıkların [kanser, anksiyete bozukluğu, epilepsi ve şizofreni gibi rahatsızlıklar) sayısı bu süre zarfında oldukça artmıştır.

Yukarıda bahsedildiği üzere birçok uluslar arası kuruluş tarafından, tanımlanmış olan bu zararlı etkilerin önüne geçebilmek üzere standartlar yayınlanmıştır. Bu kuruluşların başında INIRC, IRPA, IEEE ve USDoD gelmektedir.

İnsan vücudu üzerinde elektromanyetik ışımanın etkilerini tanımlamak üzere yukarıdaki kurum/kuruluşlar tarafından kimi sınır değerler oluşturulmuştur. Bu sınır değerler, EM ışımaya maruz kalan bireyin ortalama vücut sıcaklığını 1^0 arttıracak seviyenin zararlı olmasından yola çıkarak belirlenmiştir. İnsan vücudu kilogram başına ortalama 4W enerjiyi (SAR) soğurup etkisiz hale getirebilmektedir. Ancak bu sınır değerinin azami olduğu düşünülmekte, bu nedenle kimi yaklaşımlar geliştirilmektedir [36,37].

- Kamuya açık alanlarda $SAR=4/50=0.08$ [W/Kg]
- Mesleki kullanım esnasında $SAR=4/10=0.4$ [W/Kg]

Yukarıda tanımlanan sınır değerleri, sistem/cihazlar açısından kullanılabilir kılmak amacıyla belirli bir frekans aralığında EM ışımanın Elektrik alan ve manyetik alan bileşenleri açısından açıklayıcı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar sağlıklı bir bireyin 6 dakikalık bir periyotta alabileceği maksimum dozaja göre hazırlanmıştır. Kamuya açık alan ve mesleki kullanım esnasında alınacak dozlar için hazırlanmış olan INIRC/IRPA tabloları çizelge (4.3) ve (4.4)'te sunulmuştur

Çizelge 4.3 Mesleki Kullanım Sınırları (IRPA)

Elektromanyetik Alanlar				
Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (E) (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (H) (A/m)	Eşdeğer Düzlem Güç Yoğunluğu (S) , (W/m ²) (mW/cm ²)	
0.01-1	614	1.6/f	-	-
>1-10	614/f	1.6/f	-	-
>10-400	61	0.16	10	1
>400-2000	$3\sqrt{f}$	$0.008\sqrt{f}$	f/40	f/400
>2000-300.10 ³	137	0.36	500	50

Çizelge 4.4 Kamuya Açık Alanlarda Etkileşim Sınırları

Elektromanyetik Alanlar				
Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (E) (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (H) (A/m)	Eşdeğer Düzlem Güç Yoğunluğu (S) , (W/m ²) (mW/cm ²)	
0.01-1	87	$0.23/\sqrt{f}$	-	-
>1-10	$87/\sqrt{f}$	$0.23/\sqrt{f}$	-	-
>10-400	27.5	0.073	2	0.2
>400-2000	$1.75\sqrt{f}$	$0.0037\sqrt{f}$	f/200	f/2000
>2000-300.10 ³	61	0.16	10	1

Özet olarak insanların ve diğer canlı organizmaların, istenmeyen EM ışımlarına maruziyetleri sonucu taşımakta oldukları risklerin kapsamı henüz bilim dünyasında yeteri kadar araştırılmış olmasından ötürü ulusal/uluslar arası standardizasyon kuruluşları tarafından çok farklı uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Tüm bu uygulamaların merkezinde canlı dokudaki etkilerin benzetim metodu ile genişletilerek, endüstride kullanılan frekans bantlarını ve güçleri kapsamı sağlanmaktadır. Bu nedenle; kimi uygulamalarda tek bir standarda bağlı kalınmamakta, birden fazla standarda atıfta bulunmaktadır. Sonuç olarak IRPA standardının öngörmekte olduğu referans değerlere farklı bir bakış açısı getirmekte olan IEEE C.95.1 standardının öngörmekte olduğu HERP değerlerini (Çizelge (4.5) ve (4.6)) incelemekte fayda olacaktır [33].

Çizelge 4.5 Kontrollü Ortamlar İçin Azami Işıma Seviyeleri

Elektromanyetik Alanlar				
Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (E) (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (H) (A/m)	Güç Yoğunluğu (S) E-Alan, H-Alan, (mW/cm ²)	Ortalama Zaman (Dak.)
0.003-0.1	614	163	(100,1000000)	6
0.1-3.0	614	16.3/f	(100,10000/f ²)	6
3.0-30	1842/f	16.3/f	(900/f ² ,10000/f ²)	6
30-100	61.4	16.3/f	(1.0,10000/f ²)	6
100-300	61.4	0.163	1.0	6
300-3000	-	-	f/300	6
3000-15000	-	-	10	6
15000-300000	-	-	10	616000/f ^{1.2}
Not: Frekans (f) MHz mertebesindedir.				

Çizelge 4.6 Kamuya Açık Alanlarda Etkileşim Sınırları

Elektromanyetik Alanlar					
Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (E) (V/m)	Manyetik Alan Şiddeti (H) (A/m)	Güç Yoğunluğu (S) E-Alan, H-Alan, (mW/cm ²)	Ortalama Zaman (Dak.)	
0.003-0.1	614	163	(100,1000000)	6	6
0.1-1.34	614	16.3/f	(100,10000/f ²)	6	6
1.34-3.0	823.8/f	16.3/f	(180/f ² ,10000/f ²)	f ² /0.3	6
3.0-30	823.8/f	16.3/f	(180/f ² ,10000/f ²)	30	6
30-100	27.5	158.3/f ^{1.668}	(0.2,940000/f ^{3.336})	30	0.0636f ^{1.337}
100-300	27.5	0.0729	0.2	30	30
300-3000	-	-	f/1500	30	
3000-15000	-	-	f/1500	90000/f	
15000-300000			10	616000/f ^{1.2}	
Not: Frekans (f) MHz mertebesindedir.					

Yukarıda sunulmuş olan çizelgeler detaylı incelendiğinde, daha önceki kısımlarda bahsedildiği gibi sınır değerler kimi frekans aralıklarında farklılık göstermektedir. Bu durumun en büyük nedeni anılan aralıklarda nitelikli çalışmaların tamamlanamamasından ötürü benzetim metodu ile bilinen aralıklardan türetilmeleridir. Ancak temel olarak bu standartlar asgari düzeyde uygulansa bile, risk

sınırlarından ortalama on kat daha az emisyonları gerektirmekte olmalarından ötürü azami güvenlik sınırları oluşturulmuş olacaktır. Kaldı ki günümüzde bu değerleri getiren muhtelif standartlar bir araya getirilerek hibrit çözümler uygulanmakta, optimum emisyon seviyelerine erişilmeye çalışılmaktadır [40].

4.2.3.3.2 EM Radyasyonun Yakıt Üzerine Etkileri¹ (HERF)

Platformlarda Elektromanyetik Işımanın zararlı etkileri yalnızca personel üzerine olmamaktadır. Personel üzerine etkileri uzun vadede ortaya çıkmasından ötürü uzun vadeli düzenleyici önlemlerin alınmasını gerektirmekte iken; yakıt gibi platformlar için çok büyük tehlike oluşturan maddeler için açık alanlarda çok ciddi önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler; yakıt bulunan ortamlarda; EM emisyonlarının kıvılcım yaratma etkisini en aza indirgeyecek seviyede düzenlemeleri sağlamayı amaçlamaktadır. Bu kıvılcımların temel kaynağı; ortamdak şiddetli manyetik alanların; açık metal yüzeyler üzerinde endüksiyon yolu ile gerçekleştirmesi muhtemel deşarj elektrik akımlarıdır. Bu elektrik akımlarının yaratacağı arklar; depolanmış yakıt üzerinde bulunan ve şiddetli uçuculuk ve patlayıcılık özelliği gösteren yakıt gazlarını reaksiyona sokabilecek aktivasyon enerjisini oluşturacak tehlikeleri yaratmaktadır [15,34,35].

Parlama tehlikesi; birbirine çok yakın iki farklı antenin telsiz yayınları esnasında birbirlerine karşı kapasitörün iki yaprağı gibi davranmasıyla da oluşabilmektedir. Bu durumda yapraklar arasında oluşan havai elektrik alan çizgilerinin oluşturması muhtemel arklardan da yaşanabilmektedir. Özellikle askeri gemilerde; helikopter platformlarında ya da uçuş platformlarında EMCON (Emisyon Kontrolü) uygulanması yapılarak; uçucu platformların güvenliği tesis edilmektedir [15,38].

Askeri platformlarda EM Emisyonların yakıt üzerinde oluşturacağı zararlı etkileri asgari düzeye indirmek maksadıyla NATO ve USDoD tarafından oluşturulmuş olan NATO MIL STD-464A askeri standartları vasıtasıyla oluşturulan sınır değerler; önceki bölümlerde sunulmuş olan çizelge (4.2) yüzer platformlar için oluşturulmuş olan EME değerleri ile

¹ HERF; günümüzde sivil denizcilikte sık kullanılan bir tanım değildir. Bu kavram askeri gemi ve platformlarda daha sık karşımıza çıkmaktadır. Kullanım alanı açısından incelendiğinde kavram, çok yoğun elektromanyetik emisyon ortamında platform yakıtının güven altına alınmasını sağlamak maksatlı türetilmiş sınır değerler topluluğudur.

uyumluluk göstermektedir. Anılan sınırların uygulanması halinde; yakıt tehlikelerine karşı azami güvenlik önlemleri tesis edilmiş olacaktır.

4.2.3.3.3 EM Radyasyonun Mühimmat Üzerine Etkileri¹ (HERO)

Elektromanyetik ısımanın mühimmat ve patlayıcılar üzerindeki olumsuz etkileri tespit etmek ve asgari düzeye indirerek; bu maddelerin bulunduğu platformlarda azami güvenlik önlemlerini almak maksadıyla NATO ve USDoD tarafından HERO sınırları belirlenmiştir.

HERO sınırlamaları; yüksek güçlü elektromanyetik emisyonların ağır silah yükü taşıyan platformlarda yaşanan kazalar sebebiyle hazırlanmıştır. Bu kazalar genellikle güdümlü mermi, elektrikle tetiklenen füyeler vb patlayıcı madde ve yardımcı düzeneklerinde meydana gelmiştir. Bu maksatla NATO MIL-STD 464A standardı, bu kazalara karşı alınacak önlemleri de içerecek şekilde genişletilmiştir.

Mühimmatlar hassas telemetrik algılayıcılar ve ateşleme mekanizmaları ile donatılmışlardır. Bu alt bileşenler özellikle yoğun elektromanyetik emisyonların bulunduğu ortamlarda tetiklenebilmektedir. Tetikleme mekanizması incelendiğinde etkileşimlerin iki şekilde olduğu görülmektedir;

- Doğrudan fünye üzerinde endüklenen deplasman akımları
- Fünye kontrol devreleri üzerinde endüklenen deplasman akımları

Özellikle ilk etkileşimde tehlike çok büyük boyutlara ulaşmakta, mühimmatın doğrudan ateşlenmesine neden olabilmektedir. Elektromanyetik emisyonların etkileri emisyon kaynağının gücü ve frekansından doğrudan etkilenmektedir. Ayrıca emisyon kaynağının yayılım paterni önemli bir unsur olarak göze çarpmaktadır. Ancak bu etmenlerin yanı sıra; etkileşime maruz kalacak sistemlerin uyumlandırıldıkları standartlar ve sınırlar etkileşimin boyutlarını belirleyen bir diğer unsurdur. Özellikle etkileşime maruz kalan sistemler ve bu sistemler için alınacak önlemleri kapsayan USDoD standardı olan MIL-

¹ HERO standartları sivil denizclikte kullanım alanı bulmamaktadır. Onun yerine yoğun olarak askeri uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle mühimmata çok yakın sistemler için bu regülasyonlara azami düzeyde uyulması; platformda oluşabilecek ciddi tehlikelere karşı alınmış en iyi önlem olacaktır.

STD 461F hazırlanmıştır. MIL STD-464A ile ortama yayılan emisyonlar sınırlandırılırken, MIL STD-461F vasıtasıyla sistemlerin çevresel emisyonlarla etkileşimi en aza indirgenmektedir [15,22,23].

Askeri gemilerin mühimmat güvenliği konusunda MIL STD-464A doğrultusunda uymaları gereken tasarım kriterlerini içeren değerler; sistemlerin çalışma frekansına göre nitelendirilmiş çizelge (4.7)'de sunulmuştur. Bu çizelge mühimmat yoğun ortamlar için kullanılmaktadır. Ancak aynı ortam hem personel hem de mühimmatla ya da hem yakıt hem de mühimmatla ortak kullanılacak ise, her biri için verilmiş olan sınır değerlerden en azına göre kriterler yeniden düzenlenecektir. Bunun haricinde genel kullanımda yakıt ve mühimmatın personelin genel yaşam alanlarında aynı anda bulunmamaktadırlar. Ancak her ikisi için alınan önlemler genel olarak personel emniyetini de tesis eder nitelikte olacaktır.

4.2.4 Elektromanyetik Alan ve Girişim Ölçümleri

Elektromanyetik alan ve girişimlerin endüstride yaratacağı ya da yaratmakta olduğu etkiler sadece önceden tahmin edilebilir bir nitelik olmamakla beraber aynı zamanda kimi durumlarda ve uygulamalarda sonradan ölçülmesi gerekmektedir. Yapılacak ölçümler EMI/EMC üzerine hazırlanmış askeri/sivil standartlar doğrultusunda yapılmakta, söz konusu standartlarda belirtilmekte olan sınır değerler göz önünde bulundurularak iyileştirmeler¹ gerçekleştirilmektedir. [39,40] Günümüzde EMI/EMC çalışmaları hem tasarım hem de uygulama esnasında olmak üzere iki adımda gerçekleştirilmektedir.

¹ EMI/EMC çalışmaları sonucunda gerçekleştirilebilecek ve "iyileştirme uygulamaları" olarak tanımlanmakta olan çalışmaların konsepti bölüm 4.2'de tanımlanmıştır.

Çizelge 4.7 HERO Uygulamaları İçin Baz Alınacak Harici EM Seviyeleri.

Frekans Aralığı (MHz)	Elektrik Alan Şiddeti (V/m - rms)			
	Serbest Durumlar		Sınırlandırılmış Durumlar	
	Tepe Değer	Ortalama Değer	Tepe Değer	Ortalama Değer
0.01-2.0	70	70	70	70
2.0-30	200	200	100	100
30-150	90	61	50	50
150-225	90	61	90	61
225-400	70	70	70	70
400-700	1940	260	1500	100
700-790	290	95	290	95
790-1000	2160	410	1500	100
1000-2000	3300	460	2500	200
2000-2700	4500	490	2500	200
2700-3600	27460	2620	2500	200
3600-4000	9710	310	2500	200
4000-5400	7200	300	2500	200
5400-5900	15970	300	25000	200
5900-6000	320	320	320	200
6000-7900	1100	390	1100	200
7900-8000	860	860	860	200
8000-8400	860	860	860	200
8400-8500	390	390	390	200
8500-11000	13380	1760	2500	200
11000-14000	2800	390	2500	200
14000-18000	2800	350	1500	200
18000-40000	7060	420	1500	200
40000-45000	570	570	200	200

İlk aşama, genellikle platform gibi büyük endüstriyel uygulamalarda tasarım safhasında gerçekleşmekte ve mekanik uygulamaya esas teşkil etmektedir. Söz konusu bu aşamada, platformun ana tasarım süreci devam ederken ya da ilk prototip tasarım üzerinden EMI analizleri gerçekleştirilmekte ve bu analizler doğrultusunda tasarım güncellenmektedir. İlk aşama sonucunda netleştirilmiş olan platform tasarımı üretime geçilmeden hemen önce, platformun ölçekli bir modeli oluşturulmakta ve bu model

üzerinden yansız odalarda¹ EMI analizleri yeniden gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada özellikle gemide aktif olarak bulunacak EM kaynakları ve bu kaynaklarla etkileşime girerek kuplaj gerçekleştirebilecek sistem/cihazlar çok detaylı incelenmektedir. Yapılan yansız oda çalışmaları neticesinde tasarımda gerçekleştirilebilecek iyileştirmeler uygulanmakta ve ikinci aşamaya geçilmektedir. Özellikle tasarım aşamasında gündeme gelen tüm bu iyileştirme ihtiyaçları gerçekleştirilebilirlik ve platformun göreve yönelik mania kriterleri bakımından sorgulanmakta, akabinde uygulanabilmektedir [41].

İkinci aşamada, platform üretim aşamasına geçmiş bulunmakta ve EMI/EMC hususunda çalışmalar inceleme ve kontrol seviyesinde tutulmaktadır. Öte yandan ilk aşamada yapılmış olan tüm çalışmalar masa başı çalışması olarak kabul edilmekte ve kimi kabuller neticesinde fiziksel uygulamadan kimi farklılıklar içermektedir. Örneğin HF telsizler monopol bir antenle modellenir ve çıkışlarında stabil bir ışıma beklenmektedir. Ancak uygulamada, anılan antenlerin ışıma paterninde kimi düzensizlikler yaşanabilmekte, çıkış güçleri kullanıma göre çok daha yüksek ya da düşük olabilmektedir. Hatta tasarım sonrasında ana platformun mekanik yapısında, elektromanyetik modeli tamamen değiştirebilecek kapsamlı uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir. İşte bu gibi durumlar, EMI/EMC uygulamaları açısından önem teşkil etmekte, üretim aşamasının kimi safhalarında ekranlama ya da, yer değiştirme gibi iyileştirici önlemlere başvurulmaktadır.

RF emisyonlarının ölçülmesi maksadıyla, ölçülen değerleri, ölçüm yapan sistem/cihazın girişine kuple edebilen cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır [42]. Ölçülen değerler aşağıdaki üç formda olabilmektedir;

- İşıma Yoluyla Yayılan Elektromanyetik Alan
- İletilen Kablo Voltajı
- İletilen Kablo Akımı

¹ Yansız odalar, içerisindeki elektromanyetik alan kaynaklı dalgalara karşı sonsuz uzay gibi davranan laboratuvar ortamlarının ortak adı olarak kabul edilmektedir. Bu alanlar kimi literatürde iyon odaları olarak tanımlanabilmektedir.

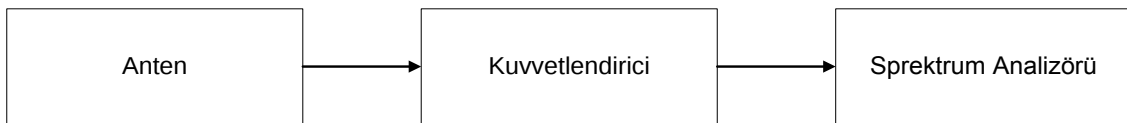
Yukarıda tanımlanan değişkenleri ölçebilecek düzenek ve yöntemler sonraki bölümlerde tanımlanmaktadır.

4.2.4.1 Antenler

Işıma yolu ile yayılan Elektromanyetik Alan ölçümleri Elektrik Alan (E) ya da Manyetik Alan (H) bileşenlerinden herhangi birinin ölçümü ile gerçekleştirilmektedir. Antenin uzak alanında her iki bileşen de denk olarak kabul edilmekte ve serbest uzayın empedansından doğrudan etkilenmektedir.

$$\frac{E}{H} = Z_0 = 120\pi = 377\Omega \quad (4.3)$$

Ancak söz konusu bu alanlar yakın alanda birbirlerinden bağımsız oluşmakta ve değişmektedir. Bir diğer ifade ile anten, ölçüm yapılacak alanı¹, ölçüm cihazına kuple edebilmelidir. Elektrik alanını anten kuplajı vasıtasıyla ölçecek cihazlar; 50Ω giriş direnci ile sonlandırılmışlardır. Bu nedenle çıkış yapacak antenin (EM ortamını tespit edecek ölçüm anteni) çıkış direnci (Giriş yapan enerjinin yansımadan maksimum gücün aktarılabilmesi amacıyla) 50Ω² olarak seçilmelidir. Antenin direnç değeri her bir frekans aralığı için ayrı ayrı kalibre edilmiş olmalı; lineer bir karakteristiğe haiz olmalıdır. Söz konusu kalibrasyon kavramı anten faktörü olarak kabul edilmektedir. Işıma yoluyla yayılan elektromanyetik alanların ölçümünde hazırlanan tipik düzeneklerin blok şeması şekil (4.2)'de sunulmuştur.



Şekil 4. 2 EMI Etkileşimler.

¹ Ölçüm yapılan cihazlar için literatürde Equipment Under Test (EUT) – Ölçüm Yapılan Cihaz tanımı kullanılmaktadır. Ancak özellikle bu kavramların çok yeni olması nedeniyle çalışmamızda bu kavram tam kelime anlamı ile anılmayacaktır.

² Karasal askeri veya sivil tüm telsiz haberleşmelerinde kullanılan antenlerin anten uyumlama birimlerinden önce görülen giriş empedansları 50 Ω'dur. Bu nedenle etkileşim bu giriş direncine sahip antenler ile ölçülmektedir.

Şekilden görülebileceği üzere kuvvetlendirme katmanının kullanımı yalnızca; anten tarafından toplanmış olan sinyal seviyesinin çok düşük olduğu durumlarda gerçekleşmektedir.

4.2.4.2 Loop Anten

Frekansı 30 MHz'den az olan ve ışınım yoluyla yayılan emisyonların tespit edileceği durumlarda, manyetik alan şiddeti loop antenler vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Loop anten, bir telin sargı yapılması ile elde edilir ve antenin merkezinden geçen manyetik akının yönüne göre anten uçlarında potansiyel fark oluşur. Oluşan bu potansiyel fark, manyetik alanın frekansı ile bağlantılıdır ve aşağıdaki formül vasıtası ile hesaplanır;

$$V = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot N \cdot A \cdot 2\pi f \cdot H \quad (4.4)$$

Burada;

N = Loop Antenin Sarım Sayısı

A = Loop'un Kesit Alanı [m^2]

f = Ölçüm Frekansı [Hz]

H = Manyetik Alan Şiddeti [A/m^2]

Loop antenlerin yapısı gereği çıkış empedansları test cihazlarının 50Ω giriş direnci ile uyum sağlamamaktadır. Bu nedenle söz konusu antenlere; anten eşleştirme birimleri (AMU) bağlanarak empedans uyumu sağlanmalıdır.

4.2.4.3 Konik Anten

Konik antenler 30 MHz ve 200 MHz arası frekansların geniş bant ölçümlerinde kullanılmaktadır. Konik antenler Elektrik Alan Şiddetini ölçmede kullanılırlar. Konik antenlerin terminalinden R kadar mesafede koni yüzeyinde I akımı oluşurken, koniler arasında V gerilimi oluşur.

Bu doğrultuda verilen karakteristik empedans aşağıda sunulmuştur;

$$Z_0 = \frac{V}{I} \quad (4.5)$$

Eğer; Enine Elektromanyetik Dalgalar (TEM) ele alınacak olursa, elektrik ve manyetik alanlar, elektromanyetik dalganın yayılma doğrultusuna paralel ve birbirlerine diktirler.

4.2.4.4 Log-Periyodik Dipol Dizi Anten

Log-periyodik antenler; dizi sıralı dipol bileşenleri içerir ve bant genişliği boyunca sabit empedans ve ışıma patern karakteristiği gösterirler. Söz konusu bu antenler, 200MHz ve 1GHz arası frekansları ölçmede kullanılır.

4.2.4.5 Sonuç

EMI'ye neden olan bileşenlerin nasıl işlediğinin tanımlanması, EMI problemine özgün etkin çözümlerin üretilebilmesi için önem arz etmektedir. EMI probleminin tanımlanması sistem ve platformların tasarımlarında çok büyük önem taşımaktadır. Özellikle tasarım aşamasında EMI probleminin sınırlarının tanımlanabilmesi ve bu sınırların kıstas olarak kabul edilebilecek mania kriterleri ile bağdaştırılabilmesi, üretim aşamasında ve kullanımda büyük kolaylıklar sunacaktır. Tasarımda tanımlanan EMI problemi sonucu oluşabilecek etkileşimleri önleyici tedbirlerin alınması, zaman ve bütçede tasarruf sağlayacaktır.

KURTARMA GEMİLERİ

Konsept olarak Kurtarma Gemileri çok ağır deniz koşulları altında görev yapabilen ve bu görevleri kimi olumsuz durumlar hariç kesintisi gerçekleştirebilen gemilerdir. Günümüz denizciliğinde; sunduğu kapasite ve maliyet etkinliği bakımından, lojistik ve ulaşım ihtiyaçları giderek daha fazla önem kazanmıştır. Artan bu ihtiyaçlar dolayısıyla gemi taşımacılığına ilgi artmış ve deniz trafiğinde, bu ilgiye paralel olarak artış gözlemlenmektedir. Bu durum, özellikle riskli deniz geçişleri, boğaz ve liman sahalarında oluşması muhtemel kaza tehlikelerinde artışa neden olmaktadır.

Denizde yaşanacak kaza gibi sıra dışı durumlar genellikle olağan üstü kötü hava ve deniz koşullarında oluşmaktadır. Kurtarma gemileri bu gibi ağır koşullarda kaza bölgesine ulaşarak kurtarma ve yardım sağlamak amacıyla mukavim bir statik yapıya sahip olmakla beraber çok çeşitli sistem ve sensörlerle donatılmışlardır.

Denizde seyreden gemilerin yaşayabileceği acil durumlarda, herhangi iletişim vasıtalarından biri aracılığı ile yapılacak yardım talepleri bu sensörler aracılığı ile tespit edilebilmeli hatta kaza bölgesinin koordinatları kestirilebilmelidir. Bu iletişim yollarının çok çeşitli olması nedeniyle, platformda bulunacak ve RF enerji yayacak cihazların birden fazla olmasına neden olacaktır.

Platform genelinde istenmeyen EM emisyonlarının iyi analiz edilerek oluşturulacak emisyon seviyeleri, geminin denizde kalış süresince personelin maruz kalacağı emisyonların zararlı etkileri, yakıt ve mühimmatla oluşabilecek etkileşimler bakımından güvenliğini sağlayacaktır. Yapılacak olan analiz ve düzenlemeler sadece radyasyon güvenliğini sağlamakla kalmayacak aynı zamanda gemiye tesis edilen diğer bütün cihaz ve sistemlerin azami verimlilikte kullanımını sağlayacaktır.

5.1 Tanım

Denizde yaşanacak acil durumlarda, kötü hava ve deniz koşulları altında yardım sağlamak amacıyla üretilmiş, bu maksatla çeşitli yardım teçhizatıyla donatılmış gemiler literatürde “Kurtarma Gemileri” olarak tanımlanmaktadır. Çalışmamızda referans alınan kurtarma gemisi modeli şekil (5.1-4)’de sunulmuştur.

5.2 Elektromanyetik Emisyon Yayan Sistem ve Cihazlar

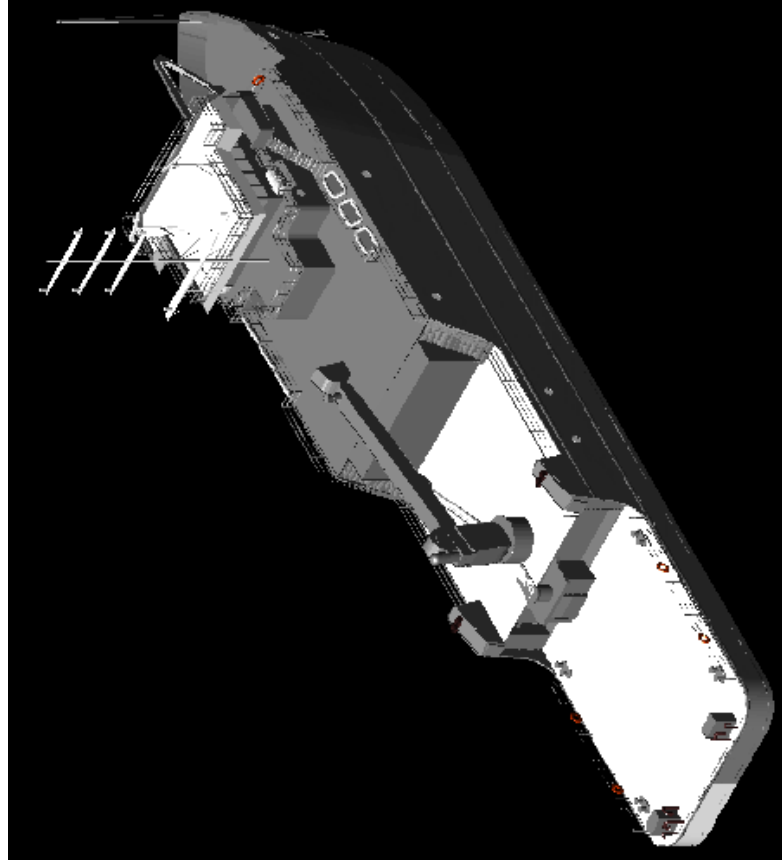
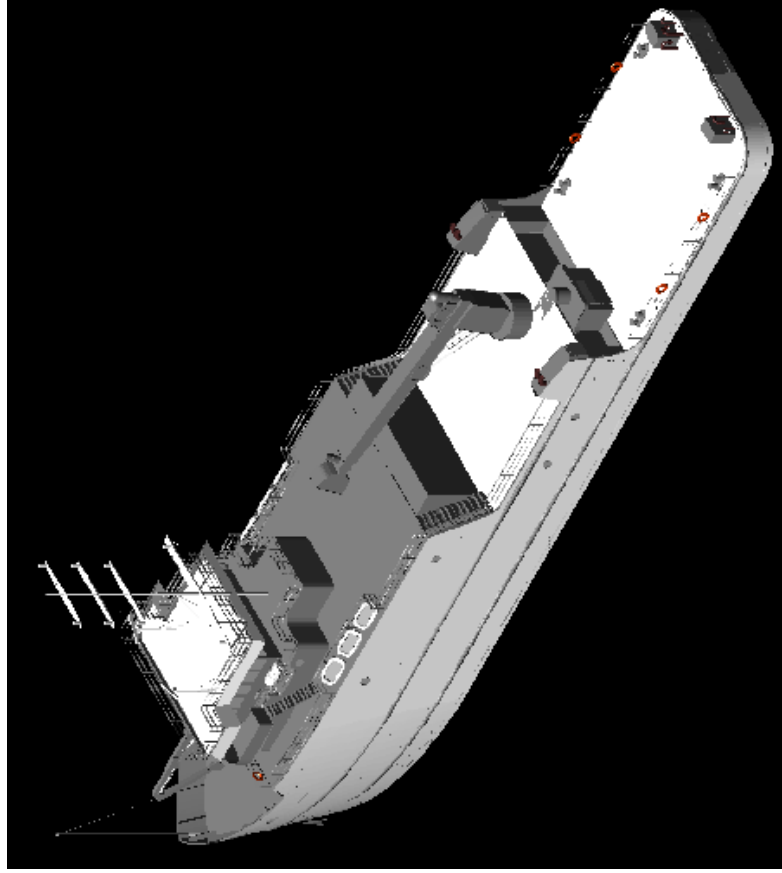
Denizde genel muhabere kullanımlarının yanı sıra acil durumlarda kullanılan cihaz ve sistemler HF ve VHF telsizlerdir. Bu sistemler analog ses iletişiminin yanı sıra sayısal veri iletişimi de sunmaktadırlar. Bu sistemlerin deniz ortamında kullanılabilmeleri için çeşitli frekans bantları ve dalga şekilleri tanımlanmıştır. IMO tarafından tespit edilmiş olan “Deniz Bandı”nın yanı sıra, HF telsizlerin kamu ve askeri amaçlı kullanıma tahsisli bantları mevcuttur.

Kurtarma gemilerinde kullanılan telsiz sistemlerinin yanı sıra, elektronik seyir yardımcıları da yoğun biçimde kullanılmaktadır. Bu elektronik seyir yardımcılarının bir bölümü EM ortama istenmeyen emisyonlar yapmaktadırlar. Çizelge (5.1)’de kurtarma gemilerinde kullanılan asgari sistem/cihaz konfigürasyonu verilmiştir.

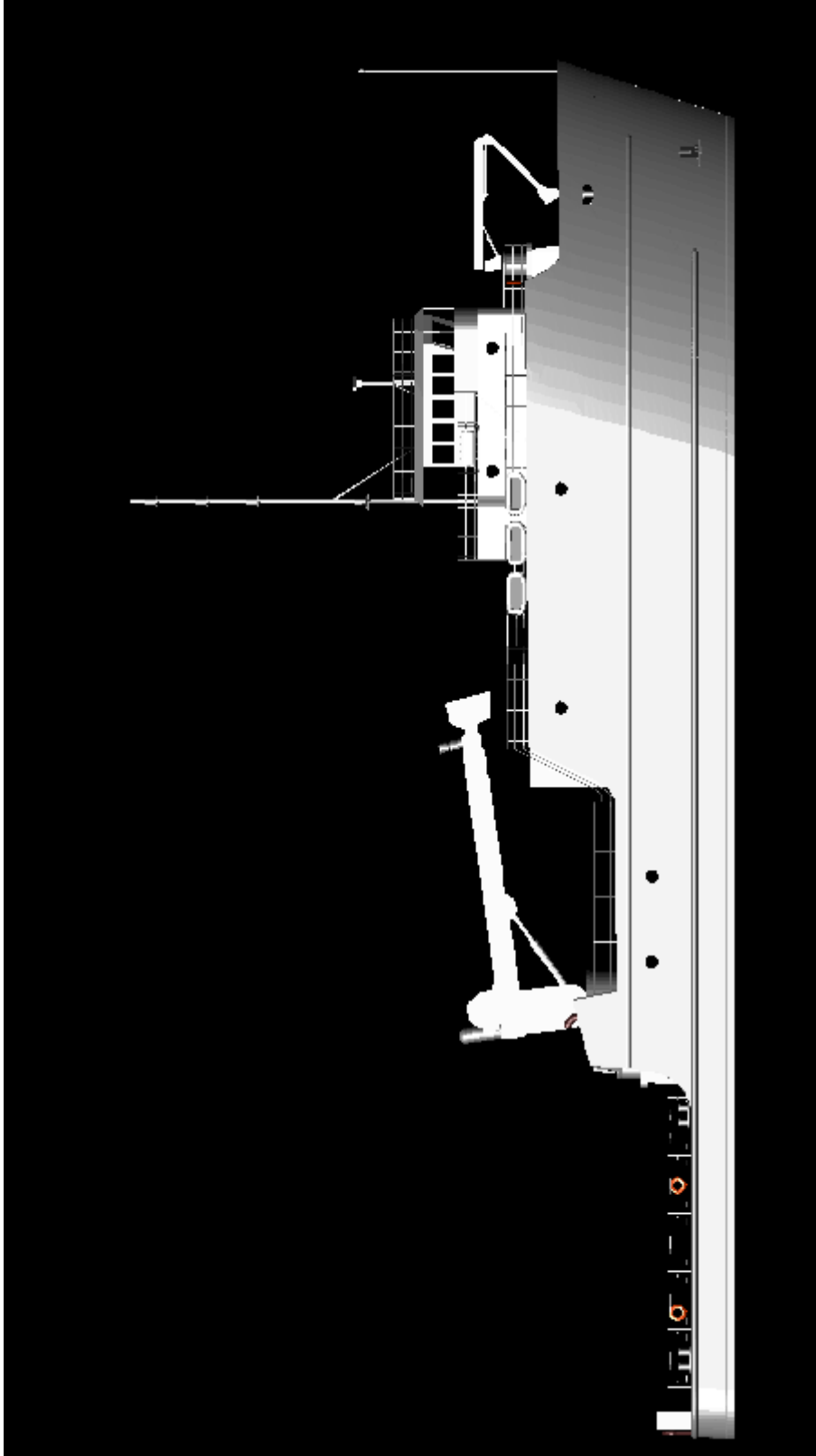
Çizelge 5.1 Kurtarma Gemilerinde Kullanılan Cihaz/Sistem Konfigürasyonu.

Kurtarma Gemilerinde Kullanılan Cihaz/Sistemler						
Cihaz Adı	Çalışma Frekansı (MHZ)	Çıkış Gücü (Watt)	Alıcı Hassasiyeti (dBm)	Anten Karakteristiği	Anten Yapısı	Polarizasyon Biçimi
X Band Radar	8800-9400	25 kW	158dBm	Verici/Alıcı	Faz Dizili	Yatay / Dairesel
S Band Radar	2800-3250	30 kW	138dBm	Verici/Alıcı	Faz Dizili	Yatay / Dairesel
HF Telsiz - 1	1.5-30	125W	107dBm	Verici/Alıcı	Monopol	Dikey
HF Telsiz- 2	1.5-30	400W	107dBm	Verici/Alıcı	Monopol	Dikey
VHF Telsiz - 1	150-180	50W	108dBm	Verici/Alıcı	Monopol	Dikey
VHF Telsiz - 2	150-180	75W	101dBm	Verici/Alıcı	Monopol	Dikey
Uydu Telefonu	1400-1720	40W	53dBm	Verici/Alıcı	InvCosec ²	Dairesel
GMDSS HF/MF Alıcı	0.3-3	-	104dBm	Alıcı	Monopol	Dikey
GMDSS HF/MF Alıcı	0.3-30	-	102dBm	Alıcı	Monopol	Dikey
RDF	75-9000	-	140dBm	Alıcı	8'li Çoklu Dipol	Dikey
GPS	1420-1620	-	100dBm	Alıcı	Monopol	Dikey
(D)GPS	1420-1620 (GPS) 0.4-0.6 (DGPS)	-	100dBm	Alıcı	Monopol	Dikey
Navtex	0.480-0.510	-	95dBm	Alıcı	Monopol	Dikey
EPIRB	420	5W	-	Verici	Monopol	Dikey/Dairese
SART	9200 (X-BAND)	25W	-	Verici	Monopol	Dikey/Yatay
Galileo Rx	1400-1680	-	75dBm	Alıcı	Monopol	Dikey
Anemometre	0.8-1	0.05W	-	-	Monopol	-
GSM Tx/Rx	900-2100	5W	45dBm	Verici/Alıcı	Monopol	Dikey

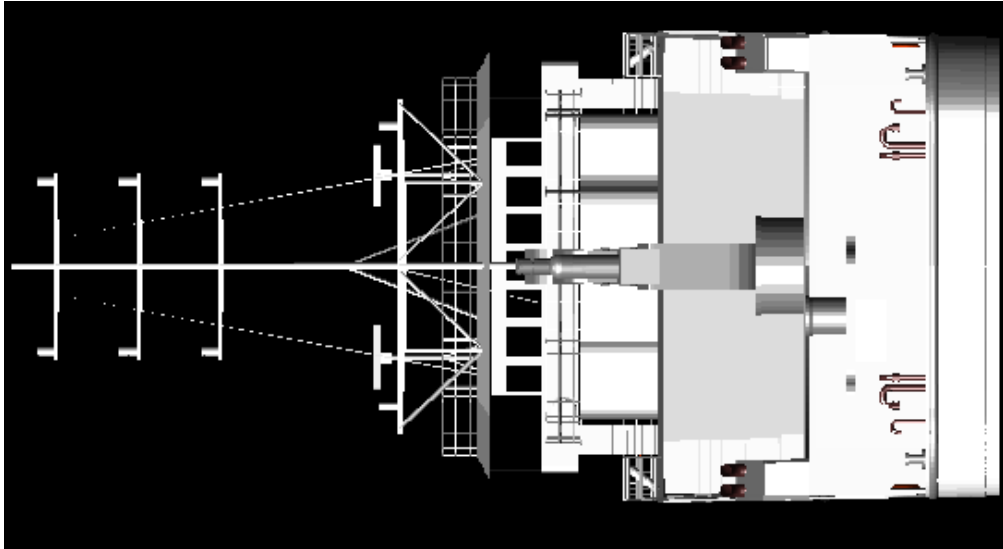
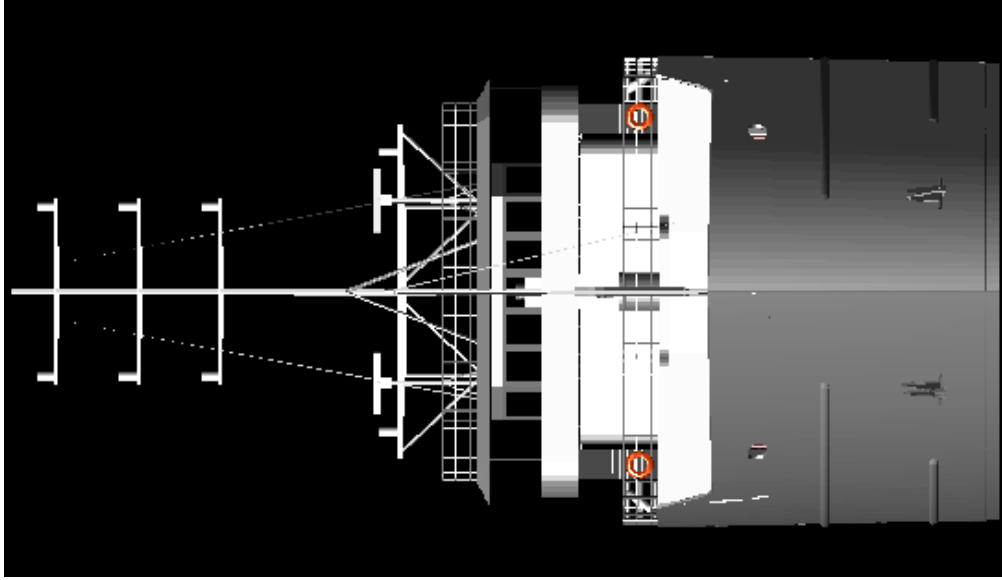
Şekil 5. 1 Kurtarma Gemisi İskele-Sancak Görünümü.



Şekil 5. 2 Kurtarma Gemisi Sancak Görünümü (Yan).



Şekil 5. 3 Kurtarma Gemisi Profil Görünümü (Ön - Arka).



Şekil 5. 4 Kurtarma Gemisi CAD Çizimi (Yan).



5.3 Kullanım Amaçları

Kurtarma Gemilerinde kullanılan ve çizelge (5.1)'de tanımlanmış olan cihaz/sistemlerin her birinin farklı ortam koşullarında ve farklı muhabere ihtiyaçlarına yönelik kullanım alanları bulunmaktadır.

Olumsuz deniz koşullarının yanı sıra özellikle gece seyirlerinde yoğun olarak kullanılmakta olan seyir radarları genellikle iki farklı çalışma bandında iletim yapmaktadır (S Band 2600-2800MHz ve X Band 8800-9200 MHz). Radar sistemleri için iki farklı banda frekans planlaması yapıldığı görülmektedir. Ancak dikkat edilecek olursa frekans özelliklerinden ötürü; S bandı kötü hava koşullarında ortamdaki yağmur ve tuzlu su sis gibi olumsuzluklardan olmadan 60-90 deniz mili tarama menzili sunabilmektedir. X band Radarları ise; yoğun deniz trafiğinin olduğu sularda temaslar arasında yüksek performanslı ayırım kabiliyeti sunan orta menzilli (24-36 deniz mili) tarama imkanı sunmaktadır.

İletişim sistemleri açısından pazarda mevcut COTS sistemler incelendiğinde acil durumlar ve okyanus gibi açık deniz seyirlerinde kullanılan HF telsizleri (Ortalama 250/500 deniz mili) yanı sıra rutin haberleşme ihtiyaçlarında deniz bandı VHF telsizleri (40-60 deniz mili) kullanılmaktadır.

Acil durumlarda HF/VHF telsiz sistemlerinin yanı sıra bahse konu olan bu iletişim vasıtalarından yanıt alınamadığı durumlarda INMARSAT uydu telefonları aracılığıyla uluslararası denizde acil durum hatları aranabilmektedir. Ancak INMARSAT uydu telefonları aracılığıyla iletişimin çok yüksek maliyetli oluşu (10 dakikalık iletişim yaklaşık 1000 ABD doları) ve bulunulan mevkiideki uydu geçiş saatlerine göre iletişimde kesintiler olması nedeniyle kullanımı çok sık olamamakta ya da tercih edilmemektedir.

Yukarıda tanımlanan iletişim vasıtalarına rağmen son çare olarak gemilerin kaybı esnasında EPIRB sistemleri ile acil durum bilgisi COSPAS/SARSAT uydu ağına, dolayısıyla denizde acil yardım merkezlerine (Türkiye'de Ankara Denizcilik Müsteşarlığı) aktarılmaktadır.

Sonuç olarak, kara kullanımından çok farklı olarak deniz koşullarında kullanım çok daha zorlu olmaktadır. Yaşanan zorluklar sistem/cihazların da çalışma performanslarını doğrudan etkilemekte, bu sistemlerden deniz koşullarında yüksek verimlilikle çalışması

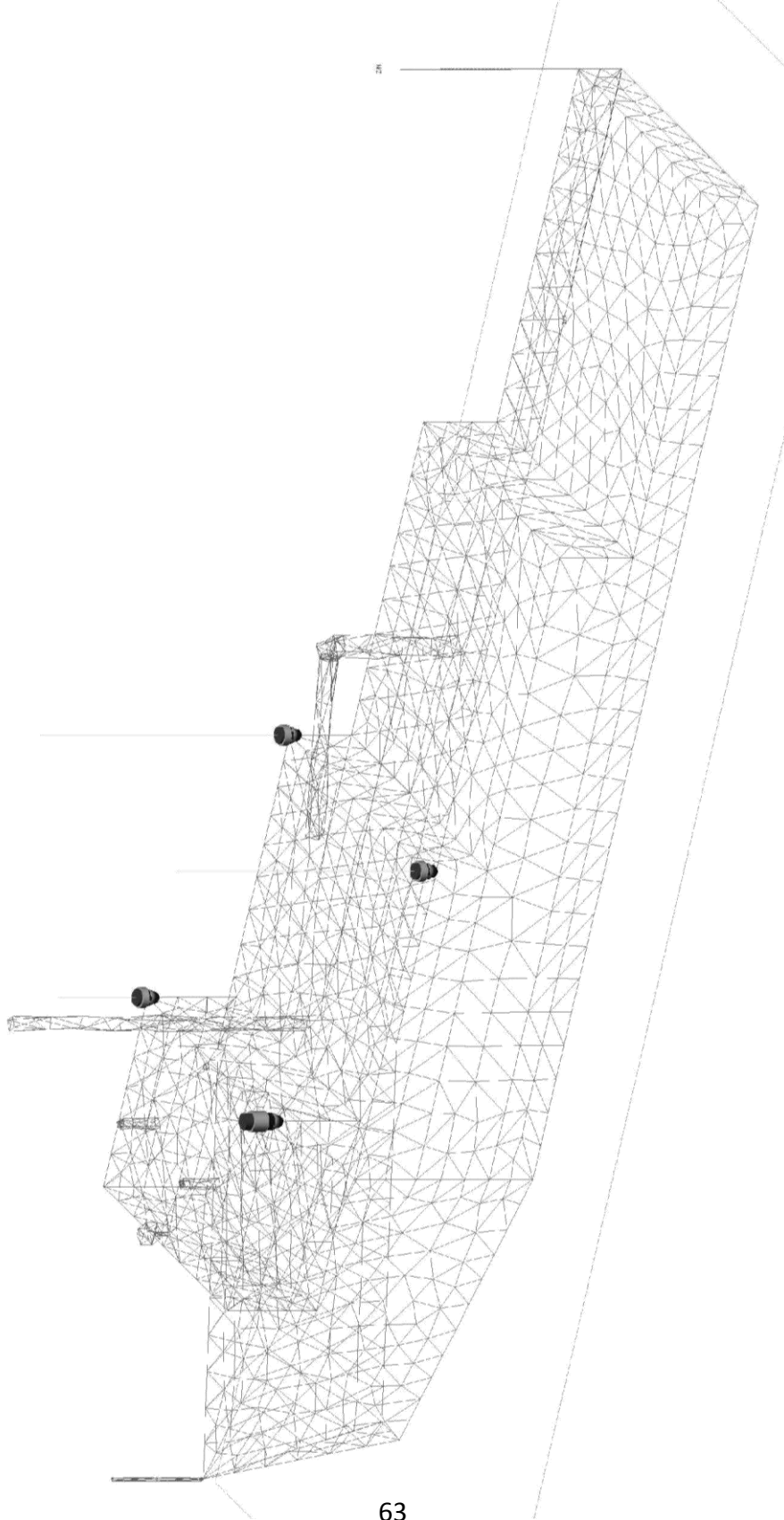
beklenmektedir. Söz konusu sistemlerin uzun seyirler boyunca arızalanmadan ya da işlev kaybetmeden çalışması, seyir emniyeti azami düzeyde tesis edecektir. Seyir emniyetinin günümüzde cihaz/sistemlere, geçmişe nazaran daha fazla bağlı olması nedeniyle bahse konu bu sistemler hayati önem taşımaya devam edecektir.

ANALİZ SONUÇLARI, OPTİMUM MODELLEMELER

Bu bölümde, bu çalışmada referans olan sivil/askeri standartlar doğrultusunda çalışılmak üzere hazırlanmış olan bir kurtarma gemisi referans modeli üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılması planlanan referans modelin Autocad çizimleri ile tasarlanıp, ilave CAD uyumlama programları ile dönüşümü gerçekleştirilerek elde edilen manyetik model üzerinden EM analizleri gerçekleştirilmiştir. EMI analizlerinde kullanılmak üzere hazırlanan manyetik model Şekil (6.1)'de sunulmuştur. EM analiz yazılımı üç boyutlu manyetik modelleri kullanarak Mükemmel İletken Yüzeyler (PEC) üzerinde EMI/EMC analizlerini Moment Metodu (MoM), Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ve Geometrik Optik/Fizik Optik (GO/PO) yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmektedir.

Günümüz denizciliğinin en önemli gereklerinden birisi olan haberleşme ihtiyacı, denizcilik geliştikçe artan bir şekilde ilerlemiştir. İster sivil isterse askeri olsun tüm gemilerde, denizin kurallarının ortak olması nedeniyle kullanımının gerekli olduğu anlaşılan tüm bu haberleşme sistemleri için çok kısıtlı alanlar ayrılabilir. Özellikle personelin barınması, ve hayatını en bazal ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde idame edebilmesini sağlayacak imkanlar için ancak yetecek alanlar sunabilmekte, geri kalan tüm alanlar geminin görevine ve bu göreve yönelik sistem/eçhizelere ayrılmaktadır.

Şekil 6. 1 EM Analizlerinde Kullanılmak Üzere Hazırlanan Kurtarma Gemisi Ağ (Mesh) Modeli (Analiz Frekansı 2 MHz'e Göre Hazırlanmıştır.)



Çizelge 6.1 Analize Katılan Cihaz/Sistem Konfigürasyonu.

Cihaz Adı	Çalışma Frekansı (MHZ)	Çıkış Gücü (Watt)	Alıcı Hassasiyeti (dBm)	Anten Karakteristiği	Anten Yapısı	Polarizasyon Biçimi
X Band Radar	8800-9400	25 kW	158dBm	Verici/Alıcı	Faz Dizili	Yatay / Dairesel
S Band Radar	2800-3250	30 kW	138dBm	Verici/Alıcı	Faz Dizili	Yatay / Dairesel
HF Telsiz 1	1.5-30	125W	107dBm	Verici/Alıcı	Monopol	Dikey
HF Telsiz 2	1.5-30	400W	107dBm	Verici/Alıcı	Monopol	Dikey
VHF Telsiz 1	150-180	50W	108dBm	Verici/Alıcı	Monopol	Dikey
VHF Telsiz 2	150-180	75W	101dBm	Verici/Alıcı	Monopol	Dikey
Uydu Telefonu	1400-1720	40W	53dBm	Verici/Alıcı	InvCosec ²	Dairesel
Navtex	0.480-0.510	-	95dBm	Alıcı	Monopol	Dikey
GSM Tx/Rx	900-2100	5W	45dBm	Verici/Alıcı	Monopol	Dikey

Kısıtlı bu alanların, çalışmanın önceki bölümlerinde de sunulduğu üzere, günümüz denizciliğinin şart koşmakta olduğu bir çok sistem arasında paylaştırılacak olması, aralarında kimi zaman yüksek RF enerjisi yayan bu sistemler için (Bknz. Çizelge (5.1)) kimi sakıncalar doğurmaktadır. Bu sakıncaların en başında, ortama yayılacak olan zararlı emisyonların personel ve tehlikeli yüklere getirmekte olduğu riskler gelmektedir. Söz konusu bu riskler kapsamında hazırlanmış olan standartlar doğrultusunda yapılacak düzenleyici çalışmalar, gemiler daha kızağa konmadan, tasarım safhasında başlamaktadır. (Bknz. Çizelge (4.1-7))

Bir geminin tasarım aşamasında, üzerinde bulunabilecek sistemlerin önceden planlanması ve bu doğrultuda EMI/EMC analizlerinin nasıl yapılacağı, çalışmaya konu

olan ve boyu yaklaşık 35m olan bir kurtarma gemisinde uygulamalı olarak gösterilecektir. Özellikle bu tip gemilerde bulunan haberleşme sistemlerinin, benzer birçok gemide bulunuyor oluşu, uygulanabilirlik açısından söz konusu araştırmanın referans kabul edilebileceğini göstermektedir. Özellikle bu ve benzeri gemilerde çizelge (5.1) ve (6.1)'de verilen bu sistemlere dayalı analizlerin gerçekleştirilmesi, tasarım aşamasında benzer gemiler için büyük kolaylıklar sunacaktır.

EMI probleminin çözümlenerek EMC uygulamalarına esas teşkil edilebilmesi, gemi ya da uçak gibi çok büyük platformlar için çok ciddi çalışma ve emek gerektirmektedir. Söz konusu çalışmalar, platformun inşa maksadının çok detaylı anlaşılması doğrultusunda oluşturulmakta ve yapılacak her bir iyileştirme, tanımlanacak olan bu inşa maksatları neticesinde hesaplanacak mania kısıtları göz önünde bulundurularak yapılmak durumunda olacaktır. İşte sonuç olarak ulaşmak istediğimiz EMI problemi ve EMC doğrultusunda oluşturulacak çözümler elektromanyetik anlamda en iyi çözüm olmak yerine, platform işlevselliğini etkimeyecek en optimum çözüm olacaktır.

Kurtarma gemilerinde EMI/EMC çalışmasını gerçekleştirmek için öncelikle kullanılması planlanan sistemler için EMI risk tanımı yapılacak, bu doğrultuda risk matrisleri tanımlanacaktır. Risk matrisleri; RF yayan söz konusu sistemlerin analizine yön vererek antenler arası kuplaj tanımını yapmada ve EME ortamına yaratacağı ilave yükü tespit etmede büyük katkılar sağlayacaktır.

Sonuç olarak; bu bölüm söz konusu bu çalışmada, önceki bölümlerde bahsedilen konsept çerçevesinde gerçekleştirilecek ve platformların tasarımları esnasında yapılacak EMI/EMC çalışmalarının nasıl olabileceği konusunu detaylandırırken; günümüz denizciliğinde büyük önem taşıyan Kurtarma Gemilerinin EMI analizlerine ışık tutacaktır. Aynı zamanda, uygulamanın yanı sıra; literatürde çok fazla araştırılma imkanı bulamamış EMI/EMC konularının denizcilik uygulamalarında örnek teşkil edeceğinden ötürü akademik bir nitelik kazanacaktır.

6.1 EMI/EMC Risk Tanımının Yapılması

Kurtarma gemilerinde EMC uygulamalarının başında, EMI kaynaklarının tanımlanması ve bu kaynakların yaratması muhtemel risklerin tayin edilmesi gelmektedir. Söz konusu

riskler, RF kaynaklarının çalışma/ışınma frekanslarına göre tasnif edilmeli ve analizlere bu şekilde yaklaşımlar üretilmelidir. Bunun yanı sıra, operasyonel kullanım ihtiyaçları da göz önünde bulundurulmalı, yapılacak yaklaşımlar bu ihtiyaçlar da göz önünde bulundurularak çeşitlenmelidir.

Referans aldığımız gemide, yüksek çıkışlı iki adet HF telsizinin bulunuyor oluşu; çalışmalara ilk etapta nereden başlanması gerektiğini göstermektedir. Zira HF telsizleri, cihazlar arası etkileşimin en büyük kaynağı olurken aynı zamanda RADHAZ risklerini de yaratacaktır. HF telsizlerinin çalışma frekansları boyunca analizler gerçekleştirilmiş ve operasyonel kullanımları yoğun olan 2-15 MHz bantlarında çalışma optimum hale getirilmiştir.

Gemide bulunan VHF telsizleri, kendi bulundukları çevrede çok ciddi RADHAZ tehlikesi yaratmazken, özellikle L Bandı sistem cihazlar için harmonikleri vasıtasıyla girişim tehlikesi yaratmışlardır. Söz konusu bu telsizlerin denizcilikte çok yoğun kullanılıyor oluşu nedeniyle de risklerin tanımında önemlilik arz etmiştir.

Son olarak S-Band ve üstü frekanslarda çalışan sistemler RADHAZ riskleri açısından değerlendirilmiş ve çıkış güçlerinin şiddeti nedeniyle riskli bölgelerin tespitine önem verilmiştir.

Sonuç olarak EMI/EMC risk tanımlamasının oluşturulması platformda mevcut ve EMI riski oluşturan/oluşturabilecek bütün sistem/cihazlar göz önünde bulundurularak (Bknz. Çizelge (6.1)) gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda tespit edilen temel risk alanları aşağıda sıralanmıştır:

- HF anten yerleşiminin sağlanması
- Güverteüstü anten ve cihazların yerleşiminin sağlanması
- RADHAZ risklerinin tespit edilmesi
- Antelerin optimum performansı gösterecek şekilde optimize edilmesi.

6.2 EMI/EMC Risk Analizi

Platformda bulunan sistem/cihazların yaratabileceği EMI risklerinin önceden tahmin edilebilmesi ve bu doğrultuda bir yaklaşım geliştirilebilmesi çok önemlidir. İlk etapta EMI/EMC analizlerinin temelini oluşturan risk matrisleri hazırlanmalıdır.

Risk matrisleri bir önceki bölümde de tanımlanmış olduğu üzere Çizelge (6.1) kapsamında platformda bulunan ve ortama emisyon yayması muhtemel cihaz/sistemleri içermektedir.

Risk matrislerinin hazırlamasında denizcilik üzerine edinilmiş uzun tecrübeler neticesinde oluşturulmuş standartları referans almak, analizlerde doğru sonuçlar elde etmeyi temin edecektir. Özellikle yoğun EM emisyonlarının bulunduğu platformlar için hazırlanan referans risk matrisi çizelge (6.2)'de sunulmuştur [45].

Üzerinde çalışmakta olduğumuz platform için çizelge (6.2)'de sunulmuş olan risk tanımı doğrultusunda hazırlanan risk matrisi Çizelge (6.3)'te sunulmuştur. Söz konusu çizelgeden görülebileceği üzere dikkat edilmesi gereken emisyonların en büyük kaynağının HF telsiz sistemleri olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda yapılacak tüm çalışmalar öncelikle HF telsiz sistemlerinin yaratacağı istenmeyen emisyonları azaltmak ya da düzenlemek doğrultusunda yapılmalıdır.

Anılan çizelge doğrultusunda HF telsizlerin yanı sıra VHF telsiz sistemlerinin çevre cihaz sistemlere etkisinin olabileceği, RADAR sistemlerinin ise RADHAZ riski yaratabileceği değerlendirilmektedir.

Yine aynı çizelgede görüleceği üzere emisyon kaynaklarının kendi aralarında yaratabileceği ya da RADHAZ etkilerinin üzerinde durulmamış bunun yanı sıra platformda bulunan ve EM emisyonlarından etkilenen cihaz/sistemler arasında oluşabilecek etkileşimler tanımlanmıştır.

Risklerin tanımlanmasında risk çeşidi ve öncelik ataması büyük önem arz etmektedir. EMI/EMC çalışmalarında risk tanımının, risk öncelikleri göz önünde bulundurularak yapılması, analiz süreci sonucunda oluşturulacak iyileştirme uygulamalarında başarının daha yüksek olmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak; platformlarda yaşanması muhtemel EM etkileşimlerin ve bu nedenle cihaz/sistemlerde oluşabilecek performans düşüşlerinin tespit edilmesi EMI probleminin çözümünün ana unsuru olacaktır. Bu maksatla tespit kavramının bir çok yolla olabileceği gibi, önceden analiz yöntemi ile platformların tasarımı esnasında yapılmasının, EMI probleminin optimum maliyetle çözümlenmesini sağlayacaktır.

6.3 EMI Etkileşimleri ve Antenler Arası Kuplajlar

Tanımlamış olduğumuz Kurtarma Gemisi Platformu için oluşturmuş olduğumuz EMI Risk Matrisi incelendiğinde en büyük etkileşimlerin kaynağının daha önceki bölümde de bahse konu olduğu gibi HF Telsizlerinin kullanımı olduğu görülecektir. Bu nedenle antenler arası kuplajın hesaplanmasında öncelik HF antenlerden kaynaklanan etkileşimin hesaplanmasına verilecektir.

Platformda oluşabilecek kuplajların modellenmesi ve bu modellerin optimum kuplaj seviyelerine ulaşmak maksadıyla analizlerde kullanılması amacıyla platformda birden fazla anten iyileştirmesi yapılmıştır. İlk etapta muhtemel mevkilere yerleştirilen antenler üzerinden kuplaj modellemeleri yapılacaktır. Elde edilen veriler ışığında, platformun mania kriterleri göz önünde bulundurularak anten mevkilerinde güncellemelere gidilerek en uygun anten yerleşim haritasına ulaşılmış olacaktır.

Çizelge 6.2 Referans EMI Risk Matrisi.

RF kaynağı	Alıcı (RF Maruziyeti)	HF Muhaberesi	VHF Muhaberesi	UHF Muhaberesi	SATCOM Alıcı/Verici	IFF	Arama Radarı	Seyir Radarı	Atış Kontrol Radarı	SATCOM Alıcısı	Elektronik Harp Alıcısı
		HF Muhaberesi	VHF Muhaberesi	UHF Muhaberesi	SATCOM Alıcı/Verici	IFF	Arama Radarı	Seyir Radarı	Atış Kontrol Radarı	SATCOM Alıcısı	Elektronik Harp Alıcısı
	HF Muhaberesi	X	X	X	X					X	X
	VHF Muhaberesi		X	X							
	UHF Muhaberesi			X	X					X	
	SATCOM Alıcı/Verici			X							
	IFF					X					
	Arama Radarı										X
	Seyir Radarı										X
	Atış Kontrol Radarı										X
	HF Muhaberesi	X									
	VHF Muhaberesi		X								
	UHF Muhaberesi			X							
	SATCOM Alıcı/Verici			X							
	IFF					X					
	Arama Radarı										X
	Seyir Radarı										X
	Atış Kontrol Radarı										X

Çizelge 6.3 Kurtarma Gemisi EMI Risk Matrisi.

İlk Harf	İkinci Harf	Elektronik Seyir Yardımcıları										Makine Kontrol Sistemleri	
		HF AM/FM/CW SSB/USB/ALE Telesiz	HF AM/FM/CW SSB/USB/ALE Telesiz (2)	HF AM/FM/CW SSB/USB/ALE Telesiz (2)	HF AM/FM/CW SSB/USB/ALE Telesiz (2)	HF AM/FM/CW SSB/USB/ALE Telesiz (2)	HF AM/FM/CW SSB/USB/ALE Telesiz (2)	HF AM/FM/CW SSB/USB/ALE Telesiz (2)	HF AM/FM/CW SSB/USB/ALE Telesiz (2)	HF AM/FM/CW SSB/USB/ALE Telesiz (2)	HF AM/FM/CW SSB/USB/ALE Telesiz (2)	Ana Makine Kontrol Sistemi	Makine Alarmları İzleme Sistemi
E	f	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed
R	h	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed
C	i	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed
g		Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed
b		Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed
s		Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed
o		Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed
d		Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed

Söz konusu anten modellemeleri şekil (6.1)'de verilen ve üzerinde çalışılan platformdan hazırlanan manyetik model üzerinde oluşturulmuştur. Ağ modeli üzerinde anten yerleşimleri ilk etapta yüksek performansla çalışması muhtemel mevkilere yerleştirilmişken, müteakip uygulamalarda ilk analizler doğrultusunda elde edilen antenler arası kuplaj değerleri referans alınmıştır.

Bölümün başında tanımlanmış olduğu üzere, referans model üzerinden anten yerleşimi için önermeler getirilecek ve bu önermeler doğrultusunda analizler gerçekleştirilecektir. Risk matrisinde tanımlandığı gibi HF telsizlerden kaynaklanan EM emisyonlarının ve çevre antenlerle arasındaki kuplajın hesabı yapılacaktır. Bu doğrultuda HF-VHF telsizler arasında gerçekleşecek kuplajların tespit edilmesi maksadıyla farklı modeller üzerinden gerçekleştirilen analizler müteakip bölümde sunulacak, VHF-HF telsizleri arasında gerçekleşebilecek kuplajların tespit edilmesi maksadıyla analiz edilecek modeller ise bir sonraki bölümde sunulacaktır.

Söz konusu analizlerin detaylandırılarak edinilecek tecrübeler doğrultusunda değerlendirilmesi ve antenler arası kuplajın asgari seviyede tutulması amacıyla seçilecek yerleşim modelinin sunumu müteakip bölümde verilecektir. Her bir modelin incelenerek optimum model olarak seçilmemesine neden olan mania kriterleri ise son bölümde okuyucuya sunulacaktır.

Kurtarma Gemileri gibi büyük ve çok fazla cihaz/sistem barındıran platformlarda referans olarak kabul edilebilecek diğer seyir yardımcısı cihazların muhtemel anten yerleşim yerleri, kullanımından ötürü ciddi sıkıntılar doğabilecek telsiz haberleşme sistemlerinin yerleşimi sonrasında verilecektir. Yerleşimi sağlanan cihazlardan sonra her bir antenin ışıma paterni, yakın ve uzak alan ışıma verileri ve metal yüzeylerde oluşturacakları yüzey akımları sunulacaktır. Bu değerler optimum yerleştirme neticesinde asgari düzeye düşürülmüş değerler olacağından ve her bir analiz sonucunun Mil Std-464A ve IEEE C.95 standartları doğrultusunda yeniden değerlendirmeleri yapılacağından yerleşimlerinde ve yerleşim sonrası kullanımlarında sıkıntılar yaşanması beklenmemektedir.

6.3.1 HF-VHF Telsizleri Arası Etkileşim Denemeleri

Kurtarma gemilerinde sıklıkla kullanılan ve özellikleri gereği çok yüksek EM emisyonları yaratan HF Telsizlerinin yerleştirilmesi, platformun Elektromanyetik Etkileşim haritasının çıkarılmasında ve bu harita doğrultusunda etkileşimlerin asgari düzeye indirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu maksatla HF Telsizlerin çevre cihaz sistemlerle etkileşimlerini önceden tahmin edebilmek, sürecin büyük bölümünü kapsayacağından ötürü, HF-VHF etkileşimlerinden başlanmıştır.

Çizelge (6.1)'de verilen HF telsizlerin Çizelge (6.3) doğrultusunda etkileşimde bulunacağı sistemlerin başında VHF telsiz sistemler bulunması nedeniyle HF-VHF telsizlerin harmonik etkileşimlerinin kapsamının belirlenmesi için Çizelge (6.4) ve Çizelge (6.5) hazırlanmıştır. HF-VHF telsizler arasında antenden antene oluşacak kuplajlar, kaynak HF telsiz haberleşme frekanslarının harmonikleri doğrultusunda olacaktır. Ancak harmoniklerden dolayı oluşacak etkileşimlerin seviyesini tahmin etmek maksatlı; HF harmoniklerinin sayılarına göre oluşturacağı güç seviyeleri, ana harmonikten oldukça düşük olacağından ötürü çok yüksek seviyede kuplajların oluşmayacağı tahmin edilmektedir. Bu maksatla, çalışmalarımıza referans olması amacıyla HF Harmonik Güç seviyeleri Çizelge (6.5) ve Şekil(6.2) Şekil (6.3)'te sunulmuştur.

HF-VHF antenler arası kuplajın kapsamının belirlenmesinde, sunulan Çizelge (6.4), platformda kullanılması planlanan VHF telsizlerin çalışma frekanslarına düşecek HF haberleşme frekanslarını ve bu frekansların, söz konusu VHF frekanslarına etkiyeceği harmoniklerin seviyelerini göstermektedir. Çizelge detaylı incelendiğinde HF telsizinin 6. Harmoniklerinden sonra ancak etkileşimin başlayabileceği görülmektedir. Bu seviyelerde çıkış gücünün hangi seviyelere düşeceği ise bir sonraki çizelgede ve şekil (6.2)'de sunulmuştur.

Çizelge 6.4 HF-VHF Telsizler Arası Harmonik Girişimler.

		VHF 1/ 2 DSC Deniz Telsizi Yayın Kanalları		
Harmonik Nu:	HF Telsiz Yayını (3-30MHz)	160 MHz	165 MHz	170 MHz
1	Yok	160,000	165,000	170,000
2	Yok	80,000	82,500	85,000
3	Yok	53,333	55,000	56,667
4	Yok	40,000	41,250	42,500
5	Yok	32,000	33,000	34,000
6	Var	26,667	27,500	28,333
7	Var	22,857	23,571	24,286
8	Var	20,000	20,625	21,250
9	Var	17,778	18,333	18,889
10	Var	16,000	16,500	17,000
11	Var	14,545	15,000	15,455
12	Var	13,333	13,750	14,167
13	Var	12,308	12,692	13,077
14	Var	11,429	11,786	12,143
15	Var	10,667	11,000	11,333
16	Var	10,000	10,313	10,625
17	Var	9,412	9,706	10,000
18	Var	8,889	9,167	9,444
19	Var	8,421	8,684	8,947
20	Var	8,000	8,250	8,500
21	Var	7,619	7,857	8,095
22	Var	7,273	7,500	7,727
23	Var	6,957	7,174	7,391
24	Var	6,667	6,875	7,083
25	Var	6,400	6,600	6,800

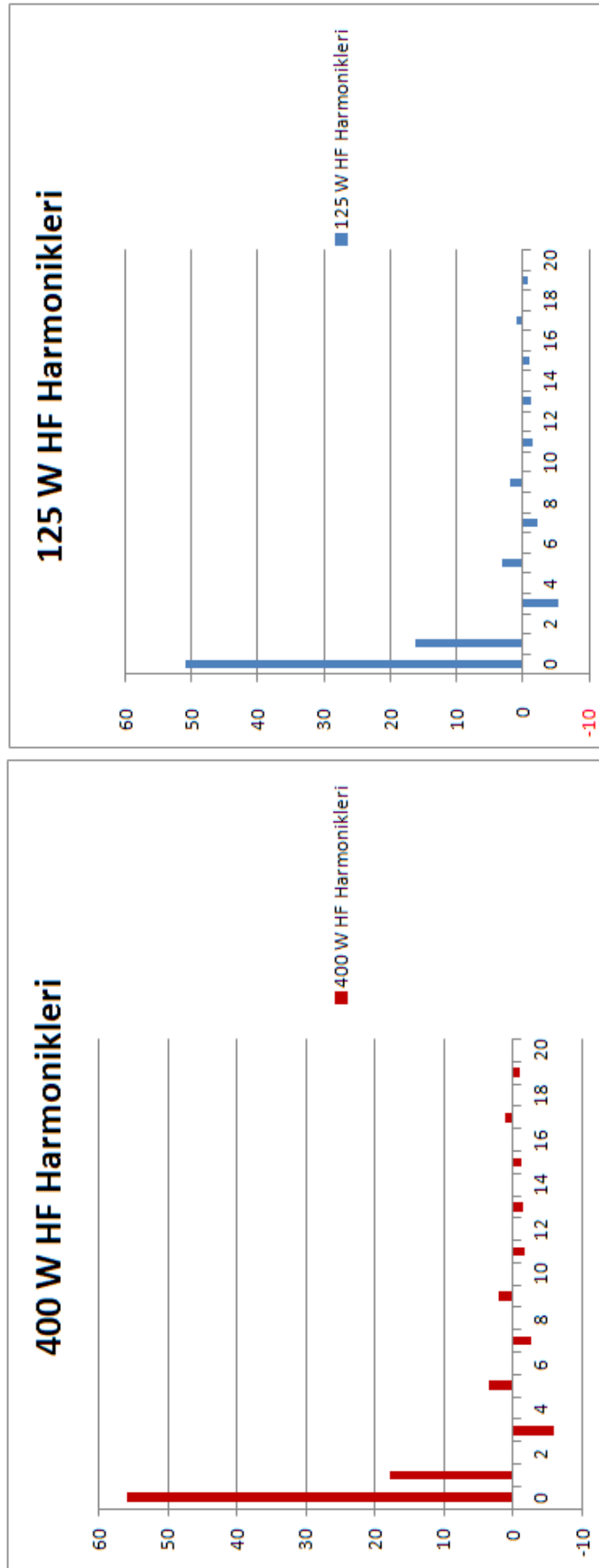
Çizelge 6.5 HF Telsizlerin Harmonik Seviyeleri.

		125 W HF SSB/USB/ CW/AM/F M/ALE 21dB Max	400 W HF SSB/USB/ CW/AM/F M/ALE 26dB Max
Harmonik	Fourier Katsayısı	Çıkış Gücü (dBm)	Çıkış Gücü (dBm)
0	-	51	56
1	0,318	16,218	17,808
2	0	0	0
3	-0,106	-5,406	-5,936
4	0	0	0
5	0,0636	3,2436	3,5616
6	0	0	0
7	-0,04547	-2,31897	-2,54632
8	0	0	0
9	0,03536	1,80336	1,98016
10	0	0	0
11	-0,02894	-1,47594	-1,62064
12	0	0	0
13	-0,02448	-1,24848	-1,37088
14	0	0	0
15	-0,02122	-1,08222	-1,18832
16	0	0	0
17	0,01873	0,95523	1,04888
18	0	0	0
19	-0,0167	-0,8517	-0,9352
20	0	0	0

Çizelge (6.5) ve Şekil (6.2) incelendiğinde HF-VHF arasında oluşabilecek etkileşimin başlaması muhtemel harmonik olan 6. Harmonik itibarıyla, çıkış gücü, ana harmoniğin binde 25'ine kadar düşmektedir. Bu durum, alıcı antende ciddi bir etkileşime yol açmayacakken, hassas alıcı bandında gürültü yaratabilecektir. Bahse konu olan bu etkileşimler için, alıcıda olumsuz girişimlerin algılanmaması için belirli sınırlar tanımlanmıştır. Söz konusu bu sınırlar iki temelde oluşturulur;

- Gürültü Eşiği (NoiseThreshold) [Genellikle -40dB]
- Asgari Performans Eşiği (Minimal Performance Threshold) [Genellikle -20dB.]

Şekil 6. 2 Platformda Bulunan HF Telsiz Sistemlerinin Çıkış Harmonik Seviyeleri (dBm)



Bu sınırların altında kalan etkileşimler için alıcıda herhangi bir olumsuz durum gözlemlenmezken, bu sınırların üzerindeki girişimler alıcı çalışma performansını ciddi düzeyde etkileyen, kimi durumlarda işlevini yerine getirmesine engel olan etkileşimlere neden olabilmektedir. HF-VHF telsiz sistemleri arasında oluşabilecek etkileşimler için sınır koşulları her bir cihaz için ayrı olarak tanımlanmaktadır. Müteakip bölümde, platforma yerleştirilecek olan HF telsizlerin, muhtemel VHF telsiz antenlerine gerçekleştireceği kuplajlar incelenecek ve optimum yerleşim mevkileri tespit edilecektir.

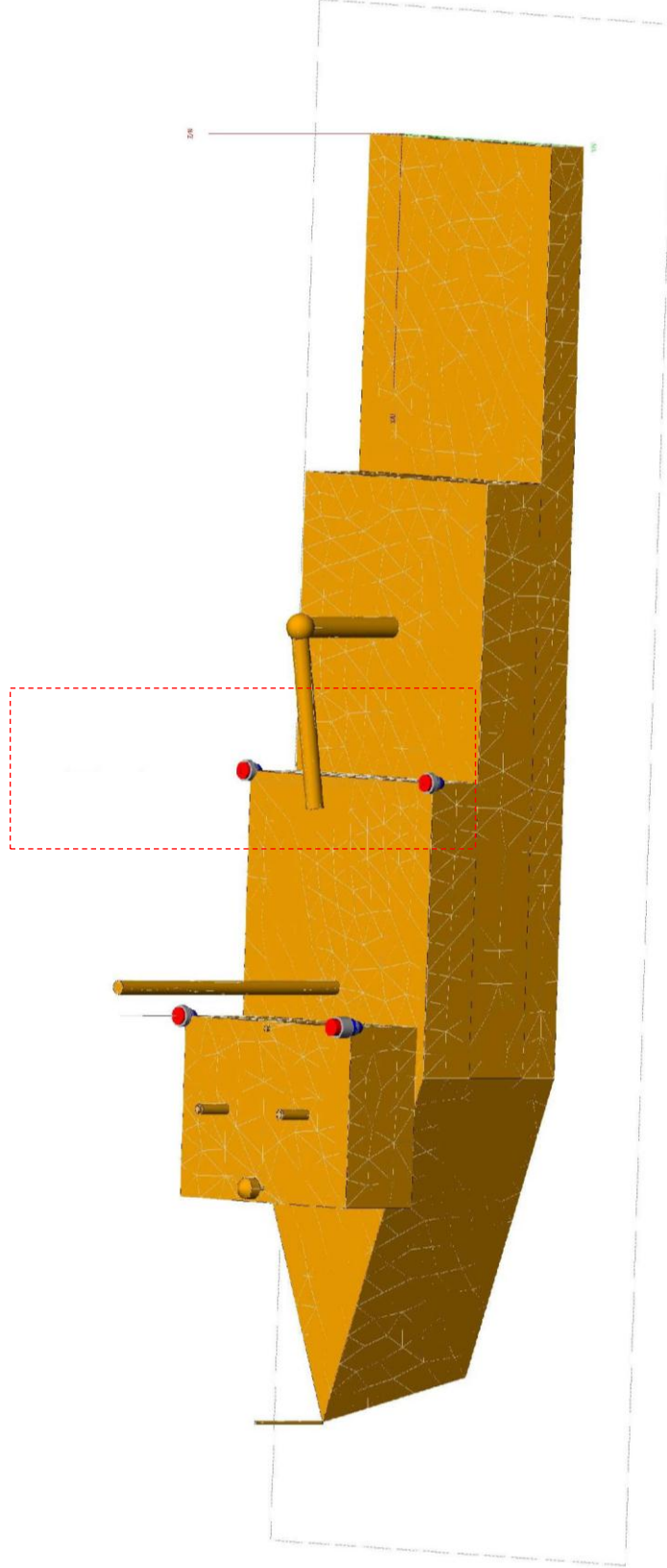
6.3.1.1 Anten Yerleşim Önermesi I

Platformda bulunması beklenen ve Çizelge (6.1)' de tanımlanan asgari sistem/cihaz konfigürasyonunun yerleştirilmesi amacıyla önceki tasarım tecrübelerinden yararlanarak ilk yerleşim mevkileri oluşturulmuştur. İlk etapta HF-VHF telsiz sistemlerinin antenlerinin yerleşimi sağlanmıştır. Bu kapsamda hazırlanan ilk tasarım Şekil (6.3)'te sunulmuştur.

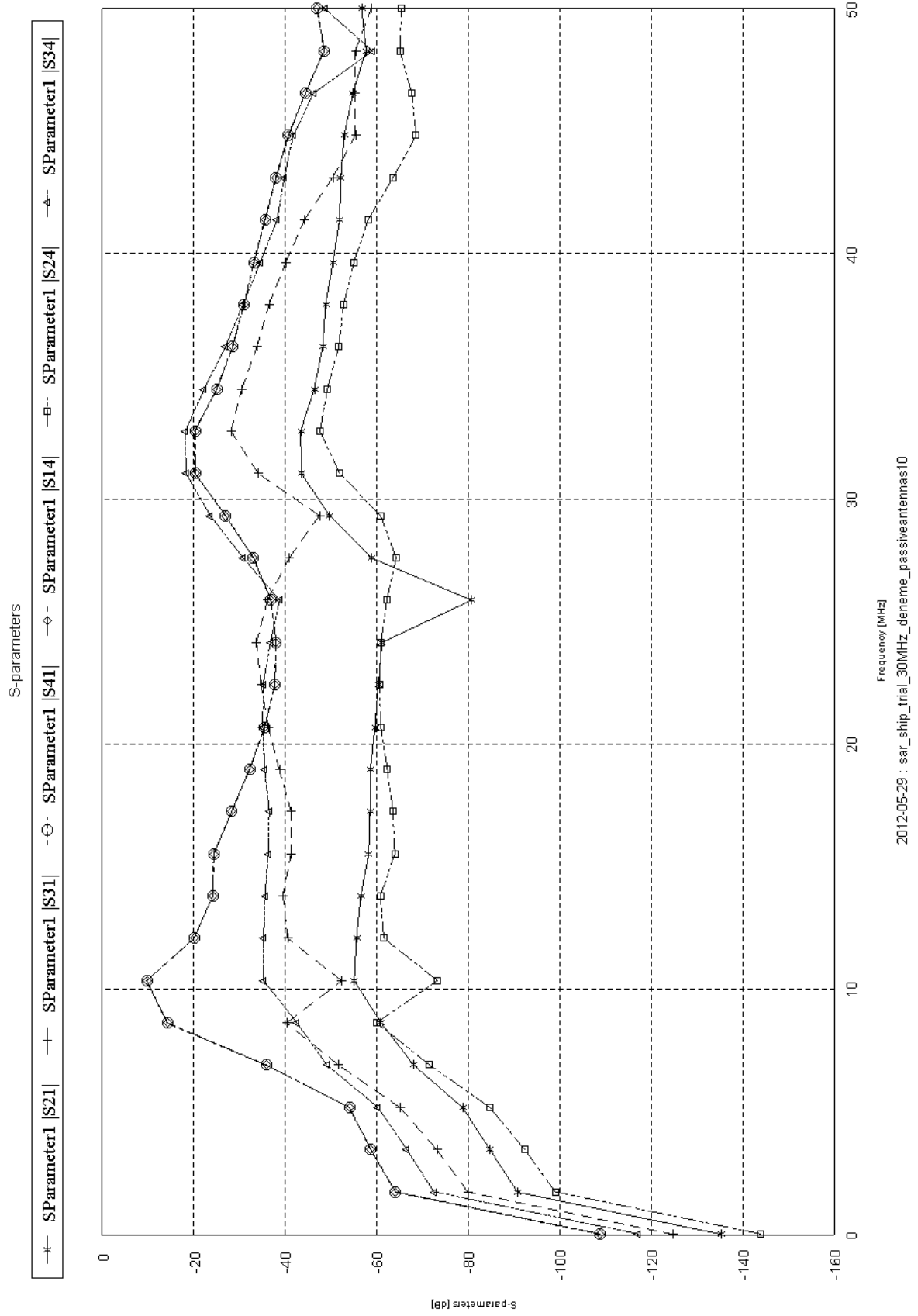
Antenlerin ilk yerleşiminde, kablo yollarının, telsiz sistemlerinin yerleştirileceği odaya mümkün olduğunca yakın konumlandırılmasına özen gösterilmiştir. Anten kablolarının olabildiğince kısa seçilmesi, telsiz güç kuvvetlendiricisi (Power Amplifier-PA) ve Anten Uyumlama Birimi arasındaki güç kaybını ve kanal distorsiyonlarını oldukça azaltacaktır.

Vinç bölgesine yakın bir bölgenin hem köprüüstü mahallinden hem de açık köprü üstünde uygun bir mevkide konuşlandırılmasına ve VHF antenlerinden uzak olmasına özen gösterilmiştir.

Şekil 6. 3 HF Telsiz Antenlerinin VHF Telsiz Antenlerine Göre İlk Konumu.



Şekil 6. 4 HF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar.



İlk yerleşim planı üzerinden yapılan analizler neticesinde elde edilen antenler arası kuplaj grafiği Şekil (6.4)'te sunulmuştur. Analiz gerçekleştirilirken, her iki HF anteninin, çalışma frekans bandından eşit aralıklarla seçilmiş 15 farklı frekansta yayın yaptığı ve VHF telsizlerinin her ikisinin de alma konumunda olduğu var sayılmıştır. Bu kapsamda her bir antenin (HF Antenlerinin kendi aralarında oluşturacağı kuplajlar da göz önünde bulundurulmuştur.

Şekil (6.4) incelendiğinde, söz konusu antenlerin numaralandırılarak analizde koşturulduğu görülmektedir. Öte yandan; Antenler arası kuplajın hesaplanabilmesi, bu sistemler arası S-parametrelerinin bulunması ile olacaktır. S parametreleri etkilenen anten ile yayın yapan kaynak anten arasında ayrı ayrı hesaplanacaktır. Yine şekil üzerinde dikkat edilecek olursa, her iki HF anten ve her iki VHF anten için ayrı kuplaj parametreleri hesaplanmıştır.

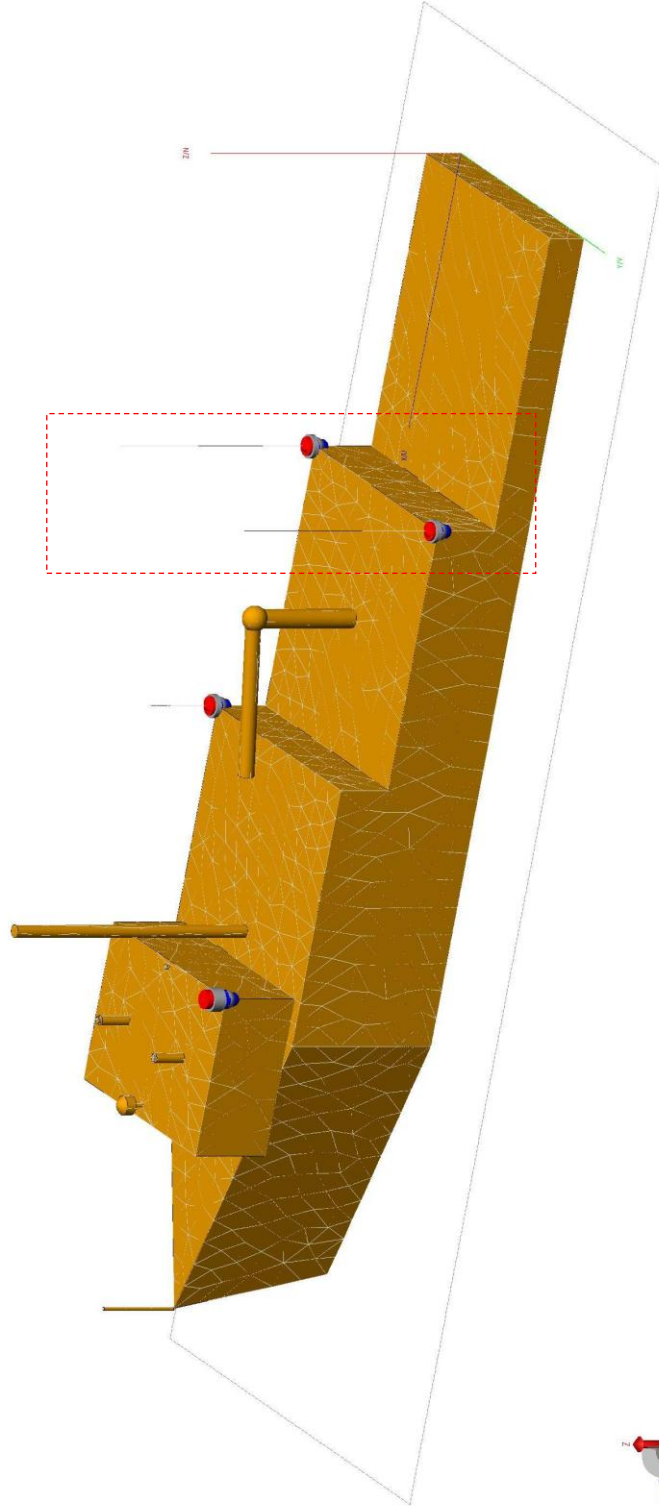
HF-VHF telsizleri arasında oluşan kuplaj seviyelerinin, 3-30MHz HF iletişim frekanslarında [-30dB ve -18dB] arasında olduğunu göstermektedir. Bu gürültü sinyalleri VHF telsizlerinde girişim olarak ortaya çıkacak ve alıcı konfigürasyonunda duyarlılık seviyesinden çok yukarıda olmalarından ötürü kuvvetlendirme katından güçlenerek telseze iletilecektir. Ayrıca HF telsiz antenlerinin yakın bölgesinde bir kurtarma vincinin çalışacak olması nedeniyle bu yerleşimin HF telsizleri açısından incelenmesinde fayda olacaktır.

Çok uzun HF monopol antenleri, geminin ana görevlerinden biri olan kurtarma görevlerinin aksamasına neden olacaktır. Yukarıda da tanımlanmış olduğu üzere; HF antenlerin yerleşimlerinin yeniden değerlendirilmesi gerekecektir. Ancak; Bu yeniden değerlendirme süreci için gemide mevcut diğer sistem/cihazların etkileşimleri ve telsiz odasına olacak uzaklıkları mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

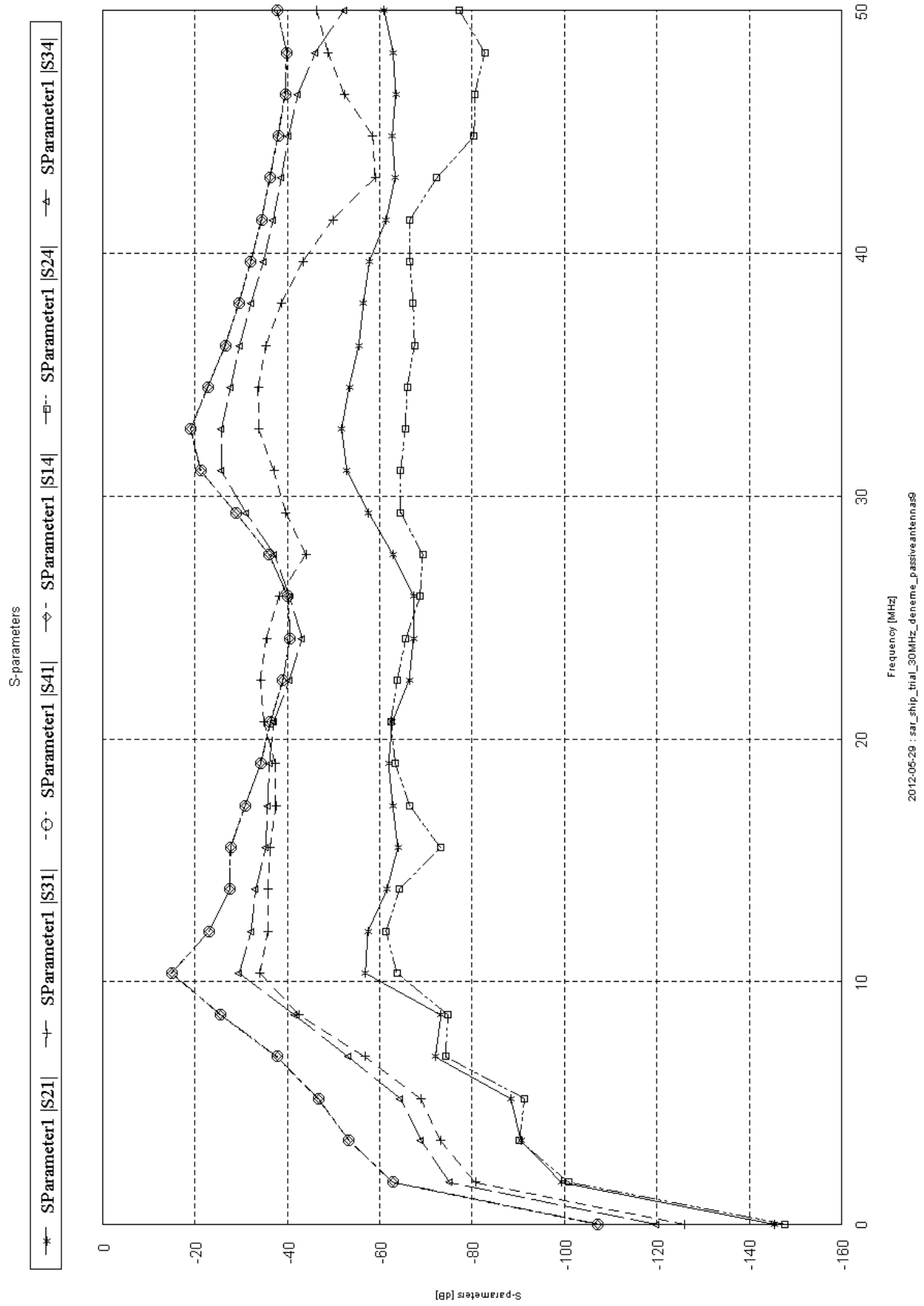
6.3.1.2 Anten Yerleşim Önermesi II

Bir önceki bölümde; HF telsiz antenlerinin yerleşiminden ötürü gemi ana vincinin çalışmasını engelleyecek olmasından ötürü yerleşimde güncellemeye gidilmiştir. Her iki HF anten vinç bölgesinde platformun arkasına kaydırılmıştır. Deneme amaçlı VHF-1 anteni vinç bölgesine yakın konumlandırılmıştır.

Şekil 6. 5 HF Telsiz Antenlerinin VHF Telsiz Antenlerine Göre İkinci Konumu.



Şekil 6. 6 HF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar II.



Önceki analiz doğrultusunda yapılan güncellemeler neticesinde hazırlanan anten yerleşim planı Şekil (6.5)'te, yeni yerleşimler doğrultusunda gerçekleştirilen antenler arası kuplaj analizi ise Şekil (6.6)'da sunulmuştur. Söz konusu analizler kapsamında; HF antenlerinin yeni yerleşimleri doğrultusunda yapılan analizler neticesinde VHF-2 anteni ile HF telsiz antenleri arasında oluşan kuplaj seviyesinin düştüğü, VHF-1 Telsizi ile aralarındaki mesafenin göreceli olarak değişmemesinden ötürü kuplaj seviyesinin önceki analizle benzer seviyede kaldığı görülmüştür.

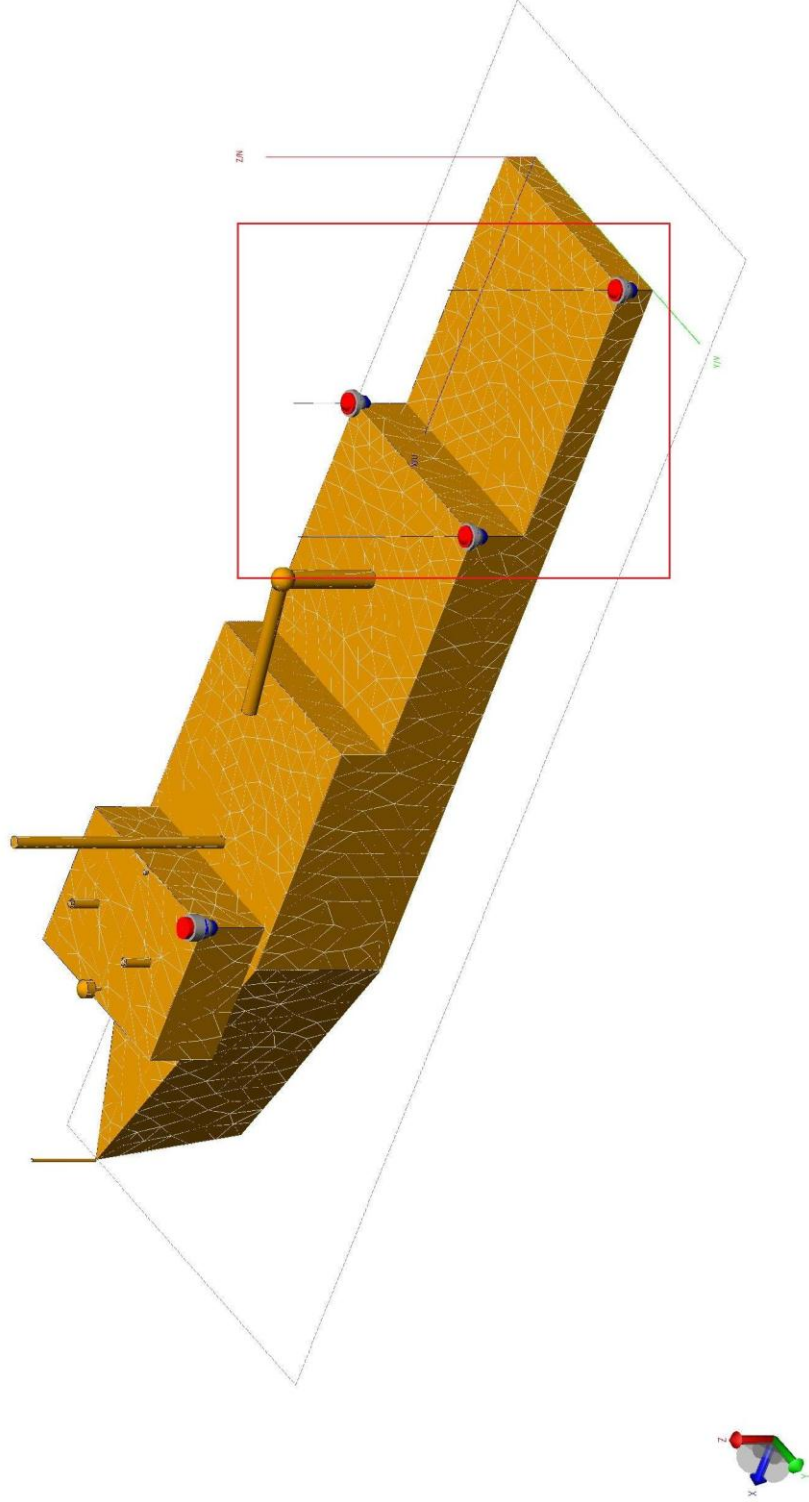
Yeni yerleşim tasarımının analizlerde VHF telsizlerle sistemin el verdiği sürece HF antenlerinin uzak tutulmasının daha iyi olacağını ispatlamıştır. Söz konusu tasarımda HF telsizlerin telsiz kamarasından giderek daha fazla uzaklaşıyor oluşu, anten besleme hattının uzamasına ve ilave iyileştirmelere ihtiyaç duymasına neden olmaktadır. Öte yandan; vinç bölgesinde konumlanmış HF antenlerin vincin çalışmasına herhangi engeli olmazken, vinç mahalli ve kıçüstünde bulunan platformun sürekli personel tarafından kullanılacak olmasından ötürü personelin elektromanyetik ışımaya maruz kalacağı görülmektedir.

Sonuç olarak; icra edilen ikinci yerleşim denemesi neticesinde; VHF telsiz antenlerin HF telsiz antenlerin olabildiğince uzak olması gerektiği sonucunu doğurmuştur. Ayrıca; HF telsizleri arasında gerçekleşen kuplaj seviyesinin çok fazla değişmediği, aralarındaki mesafenin yakın alan sınırları içerisinde kalmasına rağmen kuplaj seviyesi karakteristiğinin benzer olduğu görülmektedir. HF telsizlerinde yaşanan ve genellikle 20dB civarında olan bu girişimin engellenmesi maksadıyla MIL-STD-464A doğrultusunda asgari %8 frekans ayrımı yapılarak düşürülebileceği kabul edilmektedir. Ancak halen nihai yerleşim planına ulaşılammış kabul edilmektedir.

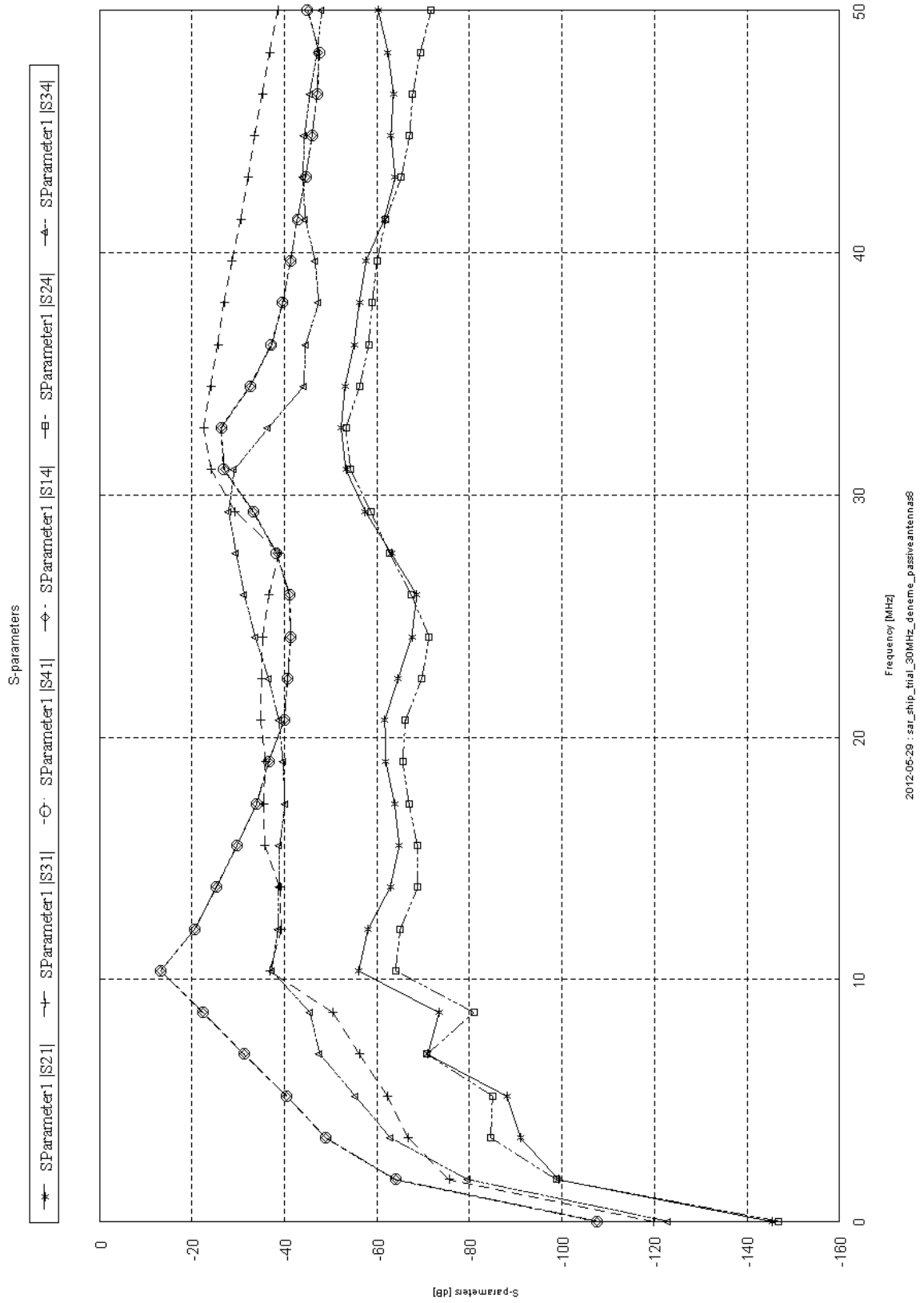
6.3.1.3 Anten Yerleşim Önermesi III

HF antenlerin Vinç bölgesinde ve kıçüstü platformuna yakın konumlandırılmalarından kaynaklanması muhtemel sıkıntıları önleyebilmek maksadıyla antenlerin yerleri yeniden değerlendirmeye alınmıştır. Bu maksatla Şekil (6.7)'de anten yerleşimi oluşturulmuş ve bu tasarım neticesinde elde edilen analiz sonuçları Şekil (6.8)'de sunulmuştur.

Şekil 6. 7 HF Telsiz Antenlerinin VHF Telsiz Antenlerine Göre Üçüncü Konumu.



Şekil 6. 8 HF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar III.



Şekil (6.7)'de sunulan tasarım doğrultusunda VHF antenlerin yerleri değiştirilmiş ve Şekil (6.8)'de uzaklaştırılan antendeki kuplaj seviyelerinin düştüğü kanıtlanmıştır. Öte yandan HF antenler arası mesafe değişmemesinden ötürü aralarındaki kuplaj seviyesinin aynı kaldığı görülmüştür. Söz konusu bu analizler ışığında; Bölüm (6.2.1.2)'de sunulan değerlerle hemen hemen çok benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Ancak HF-2 anteninin, platformun kış tarafında iskeleye yerleştirilmiş olması; platformun görevlerinin icrası gereği personel bulunacak bölgelere uzak olmasından ötürü uygun olabileceği değerlendirilen bir konum olarak değerlendirilmiştir.

Konum itibarıyla, HF-2 anteninin platform için yakıt ikmali gerçekleştirilen bölgelere yakın olması ise, aşılması gereken ayrı bir mania kriteri olarak değerlendirilmiş ve nihai tasarımda iyileştirme konusu olarak kabul edilmiştir.

6.3.1.4 Anten Yerleşim Önermesi IV

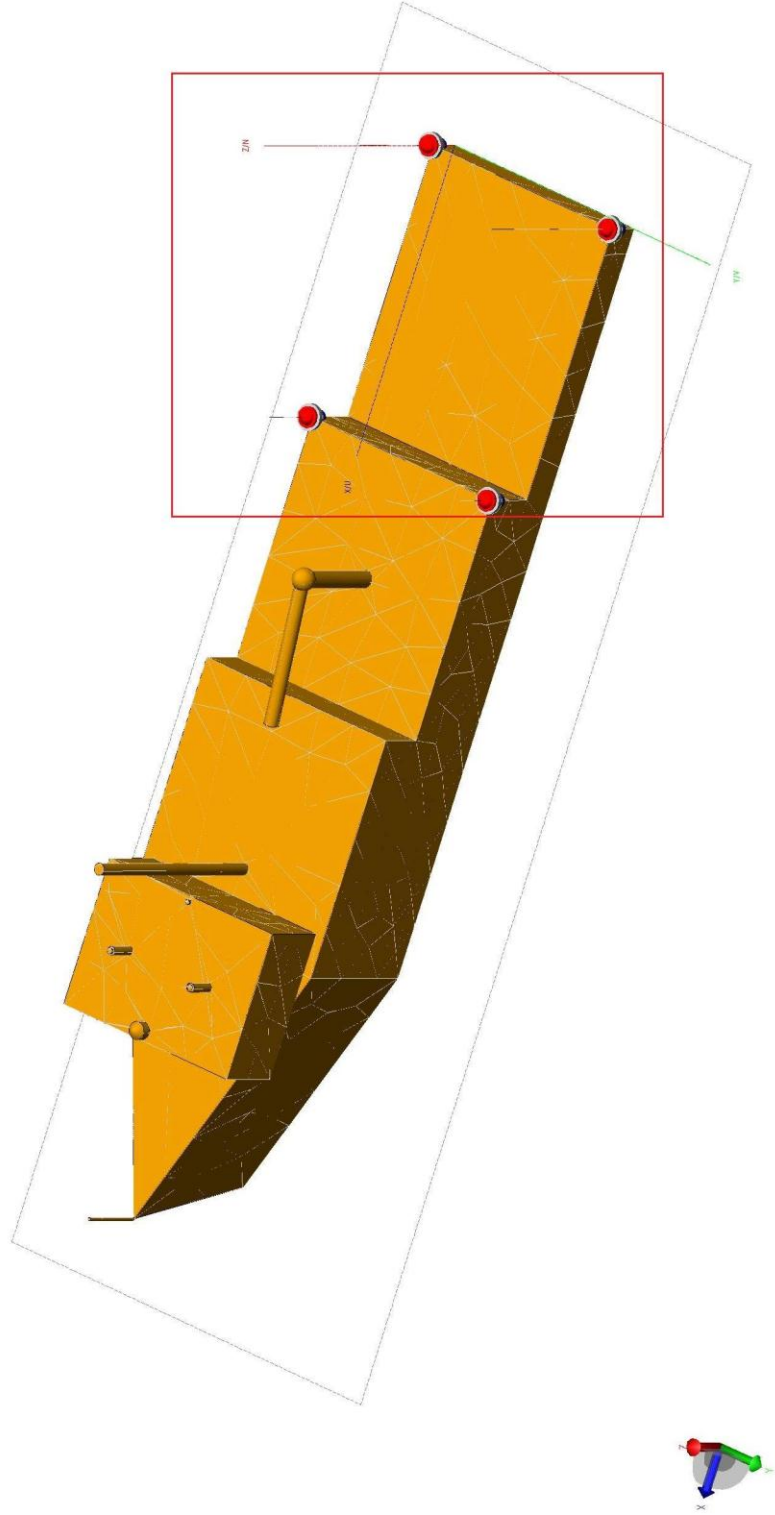
Bir önceki önermede, HF antenlerin muhtemel yerleşim yerleri tespit edildiği kabul edilmiştir. Bu kapsamda HF telsizlerin her ikisinin geminin kış tarafında konumlanmasının uygun bir yöntem olacağı kabul edilmiştir. Ancak VHF telsizlerin konumlanacağı yerler hususunda henüz yerleşik bir kanıya varılamadığı öngörülmektedir. Ayrıca, bundan önceki denemelerde kapsama alanı ve performansı hususuna değinilmemiştir. Söz konusu bu hususun değerlendirilmesinin öncelikle optimum yerleşim konumunun tespit edilmesinin ardından değerlendirilmesinin ve iyileştirilmesinin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Ancak özellikle VHF telsizleri aracılığı ile haberleşmenin temelinde yer alan görüş hattı içerisinde (LOS) bulunma zorunluluğu bakımından denemeler nitelendirilecektir. Söz konusu bu konsept kapsamında hazırlanan yeni tasarım Şekil (6.9)'da, tasarım doğrultusunda gerçekleştirilen EM analizi Şekil (6.10)'da sunulmuştur.

Şekil (6.9) çerçevesinde her iki antenin platformun kış bölgesine yerleştirilmesinin daha uygun olacağı bir önceki paragrafta açıklanmıştı. VHF antenler için, daha önceki bulundukları konumun vinç mahalline nispeten yakın olduğu ve VHF kapsamasında çok yakınlarında bulunan bir engelin bahse konu bu kapsama alanında yaratacağı olumsuz etkiler nedeniyle vinç mahallinden uzaklaştırılmalarına karar verilmiştir. Bu doğrultuda, tasarımda güncellemeye gidilmiştir.

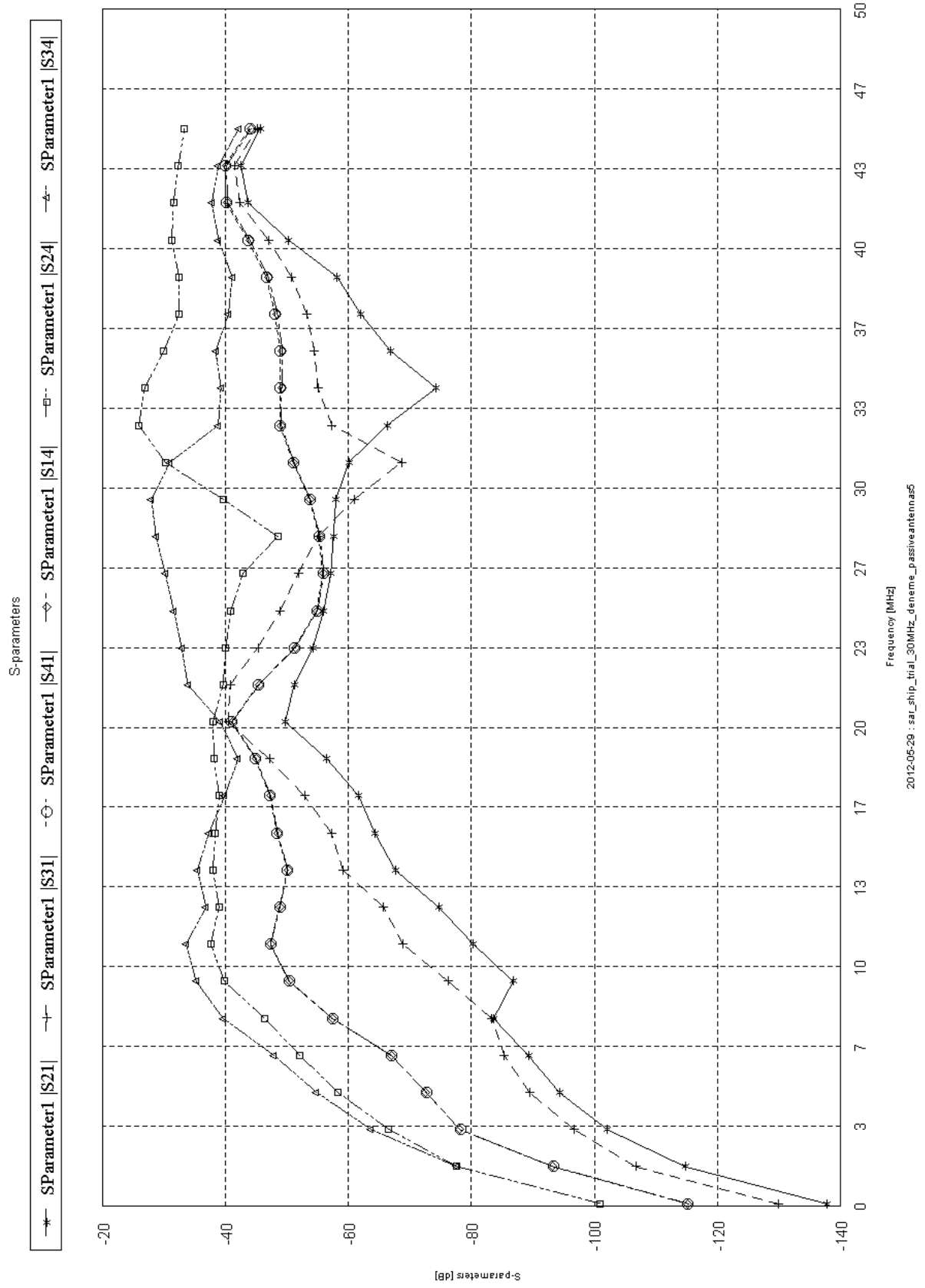
Şekil (6.10)'da sunulan analizler doğrultusunda, HF antenlerin kendi aralarındaki kuplajlar için şaşırtıcı bir sonuca ulaşılmıştır. Özellikle kendi aralarındaki ortalama kuplaj seviyesinin -20dB mertebesinde, ortalama -40 dB mertebelerine düştüğü görülmüştür. Antenlerin vinç mahallinden çok daha açık bir alan olan operasyon platformuna taşınmaları çevresel etmenleri azaltmış, bu durum olumlu bir iyileştirme olarak kabul edilmiştir. Ancak bu duruma etkiyecek bir diğer önemli husus olan; yakın alanda EM dalgaların üniform bir özellik göstermedikleri hatırlanmalıdır. HF antenlerin, yerleştirildikleri konumun, gemi üst yapısına oldukça uzak olması, bu sistemlerin gök ve yer dalgalarına erişimlerini daha kolaylayacağı için kapsama alanının önceki denemelere nazaran daha iyi olacağı sonucunu doğurmaktadır. Söz konusu antenlerin, telsiz kamarasında bulunan ana sistemlere olan uzaklıklarının çok olması, araya yerleştirilecek olan anten kablosunun çok iyi izole edilmesini, bu kabloyu besleyen güç kuvvetlendiricinin daha yüksek çıkış gücüne sahip olmasını ve anten girişinde bulunan empedans uyumlama biriminin (ATU) girişinin daha yüksek güçleri aktarabilecek nitelikte seçilmesi gerekecektir.

VHF antenlere ile HF antenleri arasında yaşanan kuplajların ise hemen hemen aynı seviyelerde kalarak değişmediği gözlemlenmiştir. Ayrıca; VHF antenlerin, gemi pruvası doğrultusunda önlerine gelen vinç engelinden ötürü bu sektörde kapsama alanı sıkıntısı yaşanacağı düşünülmektedir. İcra edilecek yeni yerleşim tasarımında, VHF antenlerin gemi pruvasına yakın mevkilerde konumlanmasını, anten performansları açısından daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Şekil 6. 9 HF Telsiz Antenlerinin VHF Telsiz Antenlerine Göre Dördüncü Konumu.



Şekil 6. 10 HF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar IV



6.3.1.5 Anten Yerleşim Önermesi V

HF telsiz sistemlerinin antenlerinin bir önceki bölümde muhtemel yerleşim konumlarının belirlenmiş olması sonucu, VHF telsiz sistemlerinin yerleşim konumlarının belirlenmesine geçilmiştir. Bu kapsamda hazırlanan tasarım önermesi Şekil (6.11)'de ve bu tasarım önermesi doğrultusunda hazırlanan anten kuplaj analizi sonucu ise şekil (6.12)'de sunulmuştur.

VHF antenlerinin yerleşimlerinin sağlanmasında öncelik en yoğun ve en önemli sisteme verilmiştir. Bu nedenle özellikle IMM bandı telsizlerin azami kapsama alanına sahip olması sağlanmaya çalışılmıştır. Platform üzerinde uygun yerler incelendiğinde, gemi ana direğinin tepesinde yer alan 0.5m'lik mini platform, IMM bandı bu telsize 360° kapsama alanı sunabilecek en optimum konum olarak kabul edilmiştir. Öte yandan ikinci antenin genel kullanım alanı AIS, VHF ses/veri olmasından ötürü konumu köprüüstünde radar ve SATCOMM uydu telefonu sistemlerinden azami oranda uzak olacak şekilde konumlandırılmıştır. Konumlandırıldığı noktada anten, geminin sancak tarafında ve özellikle 135°'de kısmi kör sahaya sahip olacaktır. Ancak veri aktarımı ve kullanım sıklığına göre sistemin kullanım ihtiyaçları bu antenin iskele tarafına montajında herhangi olumsuz bir durum öngörmemektedir. Antenin konumunda kaybedilecek azami sektör 5° civarında olacaktır. Bu durum ise sürekli hareket eden bir platformun haberleşmesi esnasında, karşı istasyonlarca tespit edilebilir düzeyde olmayacaktır.

VHF konumlarının nihai hale getirebilmesi maksadıyla Şekil (6.12)'de sunulan analiz sonuçları değerlendirilmelidir. Söz konusu analizlerde HF telsizleri arasında oluşan kuplaj seviyesinin bir önceki denemeden farklı olmayacağı görülmüş ve özellikle -20dB'in çok altında ortalama kuplaj seviyeleri tespit edilmiştir. VHF antenlerinin kuplajları hususunda elde edilen sonuçlar ise; bir önceki denemeye nazaran ortalama kuplaj seviyelerinin -40dB değerlerine kadar indiği görülmüştür. HF-VHF antenlerinin yerleşimi için referans alınabilecek tüm kuplaj seviyelerinin, -20dB eşiğinin oldukça altına indiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; HF yayınlarına göre oluşabilecek antenler arası kuplajlar göz önünde bulundurularak oluşturulan güverte üstü yerleşim çalışmaları tamamlanmış ve HF –

VHF telsizler için referans bir yerleşim çalışması icra edilmiştir. Hazırlanan son yerleşim konumları değerlendirildiğinde; HF 1 ve 2 antenleri için optimum yerleşim konumu belirlenmiş, bunun yanı sıra azami kapsama alanının sağlanması için ihtiyaç duyulacak geniş açık alan sağlanmıştır. Özellikle uzun mesafe karasal haberleşmenin tesis edilebilmesi için HF gök dalgası serbest bırakılmıştır.

HF antenlerinin yerleşimleri itibariyle, gemi kıçında yakıt ikmalinin sağlandığı yakıt sarnığı ve devrelerinin bulunuyor oluşu, gemi inşası açısından yeniden değerlendirilmesini gerektirmiştir. Söz konusu bu değerlendirmeler kapsamında; gemi yakıt devrelerinin yerlerinin değiştirilerek, alanın sadeleştirilmesi HF yayınları esnasında oluşacak HERF risklerini bertaraf edecektir. HERF riskleri açısından yapılacak değerlendirmeler, bu çalışmanın mania kriterlerinin sunulması bölümünde detaylandırılacaktır. Ayrıca yapılacak iyileştirmeler çalışmanın sonuç kısmında değerlendirilerek uygulanabilirliği denetlenecektir.

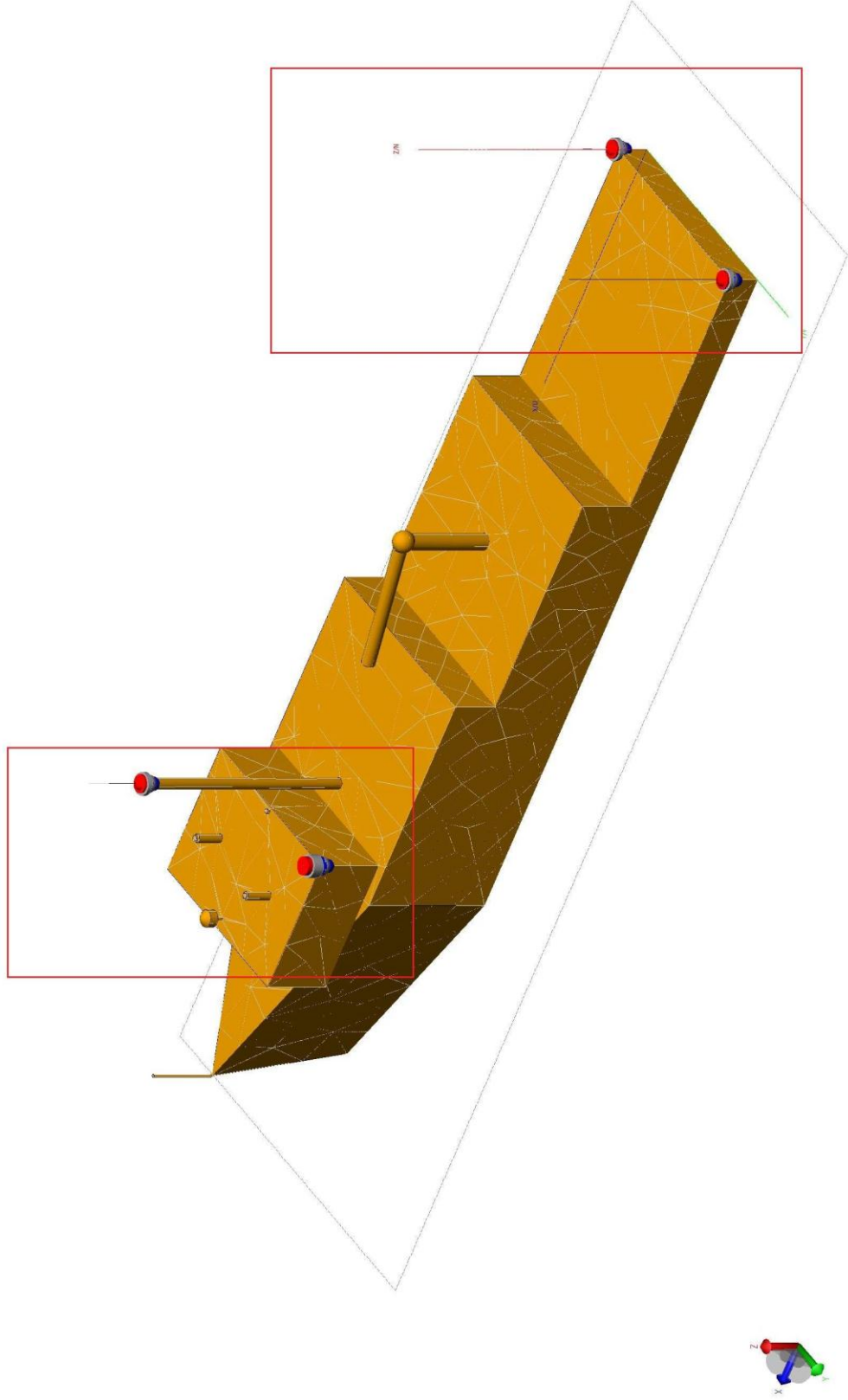
VHF telsiz antenlerinin yerleşiminin son deneme ile nihai hale getirilmesi ile her iki VHF anteni için azami kapsama alanı sağlanmıştır. Özellikle deniz bandı (IMM) telsizinin denizde kurtarma faaliyetleri açısından büyük önem arz etmesi nedeniyle platformda bulunan en yüksek mevkiye konumlandırılması hem kapsama alanını genişletmiş hem de olası kör sektörlerin önüne geçmiştir.

6.3.2 VHF-VHF Telsizleri Arası Etkileşim Denemeleri

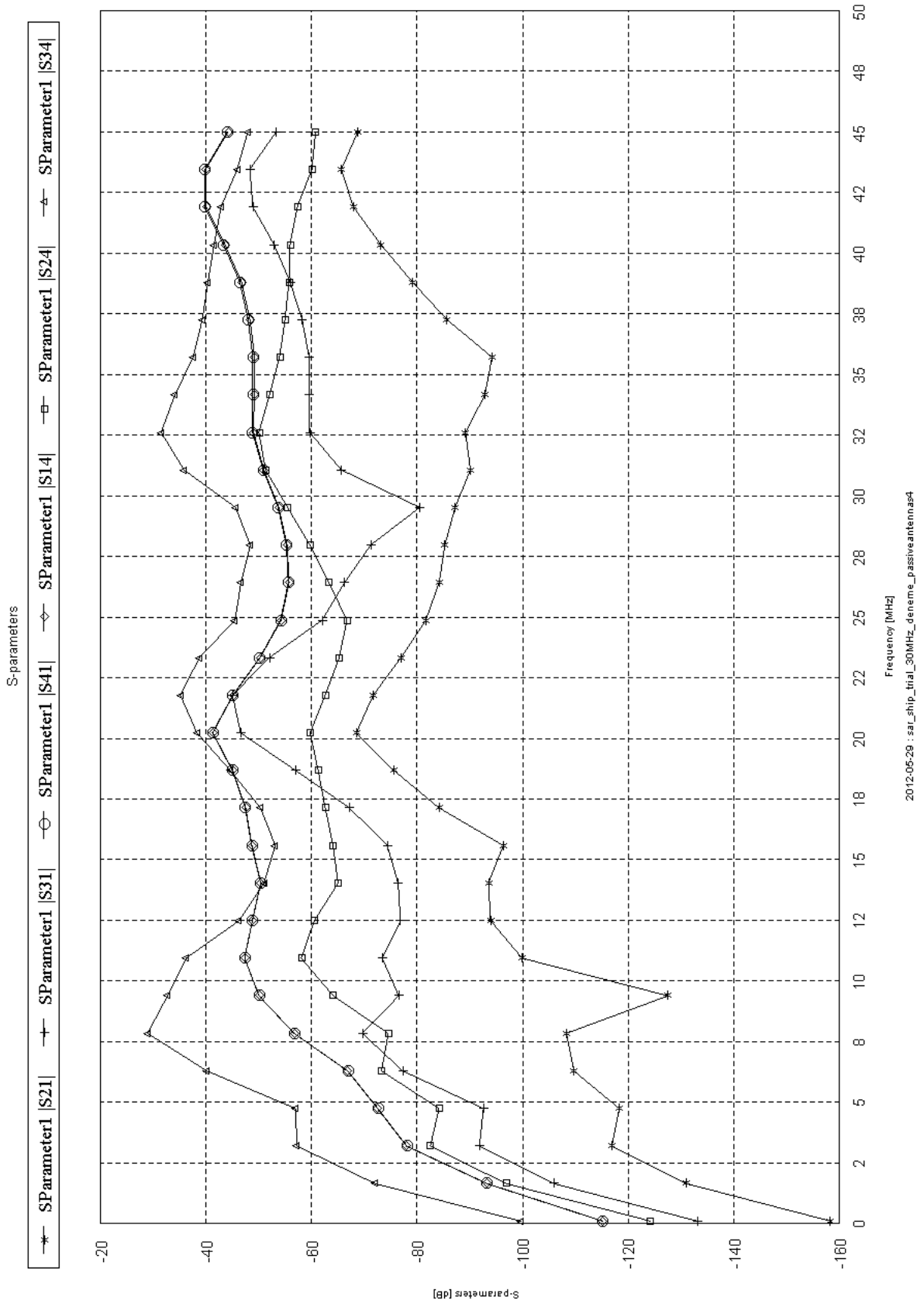
HF telsizlerin platform bünyesinde konuşlu diğer cihaz/sistemler üzerindeki emisyonlarını asgari düzeye indirebilmek amacıyla icra edilen yerleşim çalışmaları neticesinde; VHF telsiz sistemlerinin muhtemel yerleşimlerine ulaşılmıştır. Çizelge (6.2) ve (6.3)'te VHF telsiz antenlerinin kendi aralarında yaratacakları etkileşimlerin özellikle ortak frekanslarda yayın yapmadan kaynaklanacağını ifade etmektedir. VHF telsiz antenlerinin yerleşimi, platform için çok büyük önem teşkil etmektedir. Özellikle, ticari gemi taşımacılığında ve balıkçılık faaliyetlerinde yoğun olarak VHF telsizlerinin kullanılıyor oluşu; bu sistemlerin öneminin temelini yatmaktadır.

Bu kapsamda; VHF telsiz sistemleri arasındaki kuplaj çalışmaları neticesinde elde edilen analiz sonuçları Şekil (6.13)'te sunulmuştur.

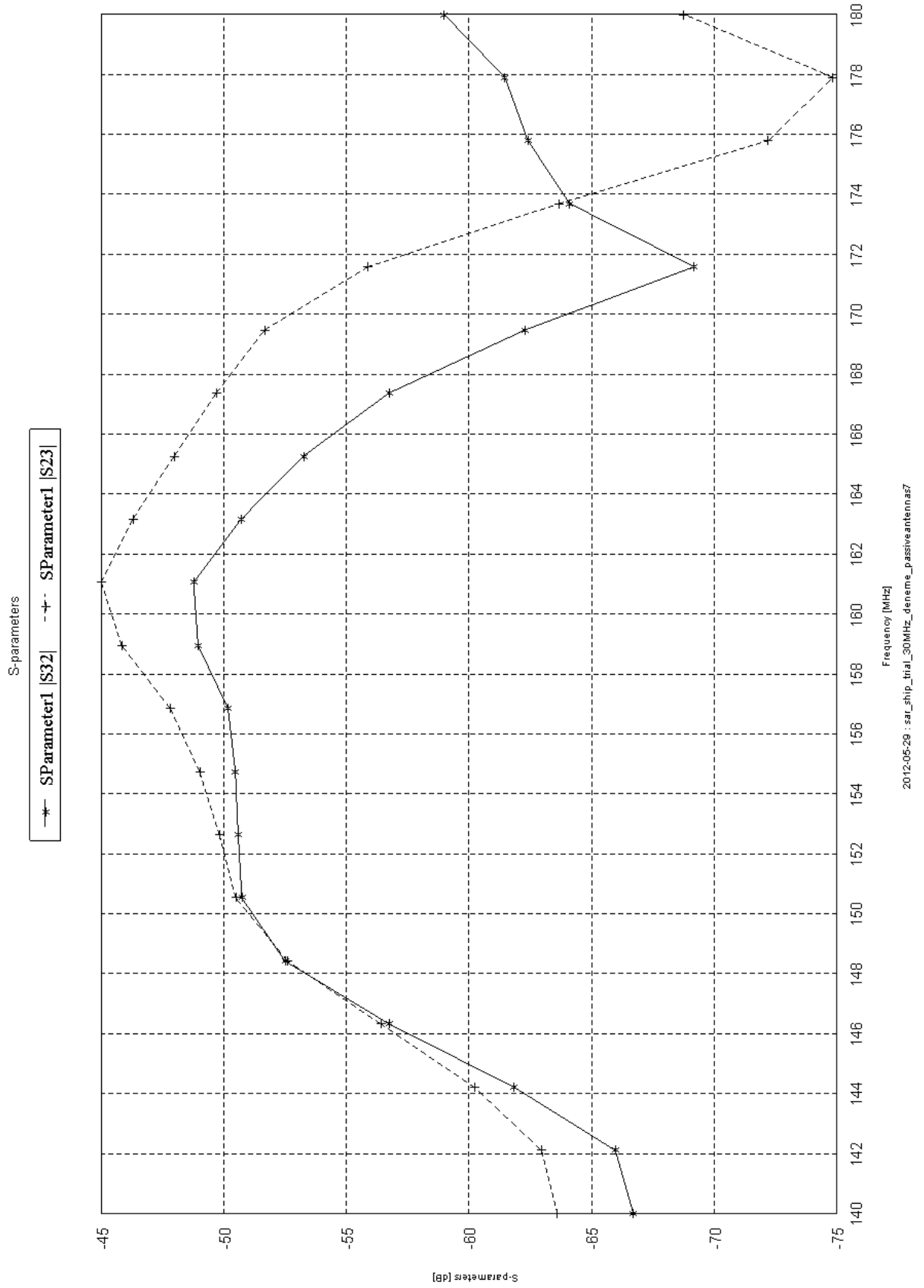
Şekil 6. 11 HF Telsiz Antenlerinin VHF Telsiz Antenlerine Göre Beşinci Konumu.



Şekil 6. 12 HF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar V



Şekil 6. 13 VHF – VHF Telsizleri Arası Kuplajlar.



Hem kapsama, hem de asgari emisyon hedefleri kapsamında yerleşimi sağlanan VHF telsiz antenlerinin, çalışma frekans bandında ve kendi aralarında analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil (6.13)'te sunulan bu analiz sonuçları incelenecek olursa; 150-180 MHz'lik çalışma bandı boyunca gerçekleşen tüm kuplajların -40dB eşiğinin altında olduğu görülmektedir. Ayrıca VHF-2 telsizinin çıkış gücünün VHF-1 telsizinden düşük olması nedeniyle antenler arası etkileşim seviyelerinde farklılık olduğu gözlemlenmiştir. VHF-2 anteni; VHF-1 telsizinin yayınlarından daha çok etkilenmekte ancak bu etkileşim farkının azami 5dB farka eşdeğer olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; yerleşimi sağlanan VHF antenlerinin kendi aralarında oluşan kuplaj seviyelerinin oldukça düşük olması temin edilerek hem optimum kuplaj seviyelerine hem de azami kapsama alanlarına ulaşılmıştır.

6.3.3 VHF Telsizi ve Diğer Sistemler Arası Etkileşimler

VHF telsiz sistemleri; platformda HF telsizlerinin yarattığı ciddi emisyon seviyelerini yaratmamakla beraber çevre hassas cihaz ve sistemlerde etkileşimler oluşturabilmektedir. Bu kapsamda; VHF telsizleri için kendi aralarında oluşturacakları etkileşimlerin yanı sıra, yakınlarında konuşlandırılmak zorunda olan seyir radarları, uydu telefonları ve GPS sistemleri için de analizlerin gerçekleştirilmesi zorunluluğu da bulunmaktadır.

Etkileşim ihtimali bulunan cihaz/sistemlerin kapsamı çizelge (6.3)'te sunulmuştur. Söz konusu cihaz ve sistemlerin özellikle VHF haberleşme frekanslarının harmoniklerinden etkilenmesi beklenmektedir. Olası etkilerin boyutlarını tahmin edebilmek amacıyla hazırlanan Çizelge (6.6)'da sunulmuştur.

Çizelge incelenecek olursa, yakın frekanslarda çalışmakta olan uydu telefonları ve GPS sistemlerinin; VHF yayınlarının 10uncu harmoniklerinden etkilenme ihtimalinin olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra S-Band seyir radarlarının 16 ve 17nci harmoniklerden etkilenme ihtimalinin olduğu görülmektedir. X-Band radarlarının çalışma frekanslarına herhangi VHF harmoniği düşmediği için etkileşimin olmayacağı kabul edilmiştir. Ancak harmonik seviyelerinin oldukça yüksek oluşu, beklenen etkileşim seviyesinin; harmoniklerin çıkış gücünün oldukça düşük oluşu ve bu frekanslarda VHF iletişiminden

kaynaklanan emisyonlara maruz kalan sistemlerin giriş kuplaj değerlerinin altında kalmasından ötürü çok düşük boyutlarda kalacağı düşünülmektedir.

Çizelge 6.6 VHF Telsizler ve Diğer Cihazlar Arası Harmonik Girişimler.

Çıkış Harmonik Nu :	VHF Telsiz Yayını (160-180MHz)	SATCOM M/GPS/Galileo/(D)GPS	Seyir Radarı S Band	Seyir Radarı X Band
0	Yok	1600	2800	9000
1	Yok	1600	2800	9000
2	Yok	800	1400	4500
3	Yok	533,3333	933,3333	3000
4	Yok	400	700	2250
5	Yok	320	560	1800
6	Yok	266,6667	466,6667	1500
7	Yok	228,5714	400	1285,714
8	Yok	200	350	1125
9	Var	177,7778	311,1111	1000
10	Var	160	280	900
11	Yok	145,4545	254,5455	818,1818
12	Yok	133,3333	233,3333	750
13	Yok	123,0769	215,3846	692,3077
14	Yok	114,2857	200	642,8571
15	Yok	106,6667	186,6667	600
16	Var	100	175	562,5
17	Var	94,11765	164,7059	529,4118
18	Yok	88,88889	155,5556	500
19	Yok	84,21053	147,3684	473,6842
20	Yok	80	140	450
21	Yok	76,19048	133,3333	428,5714
22	Yok	72,72727	127,2727	409,0909
23	Yok	69,56522	121,7391	391,3043
24	Yok	66,66667	116,6667	375

6.3.4 Optimum Anten Yerleşim Modelinin Benimsenmesi

Kurtarma gemlerinde kullanılması muhtemel tüm cihaz ve sistemlerin antenlerinin yerleşimlerinin sağlanması amacıyla; ilk etapta haberleşme sistemlerinin yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Bu yerleşim çalışmalarında, söz konusu platformlarda çok yoğun bir biçimde kullanılacak olan HF ve VHF telsiz sistemlerinin yerleşimlerinin sağlanması

büyük yer kaplamıştır. Bu sistemlerin yerleşimlerinin sağlanmasının ardından, Çizelge (5.1)'de sunulan diğer sistemlerin yerleşiminin sağlanması çok daha kolay olacaktır. Bu kapsamda hazırlanan son tasarıma ilave olarak seyir radarlarının, GPS alıcılarının ve uydu telefonlarının yerleşimi sağlanmıştır.

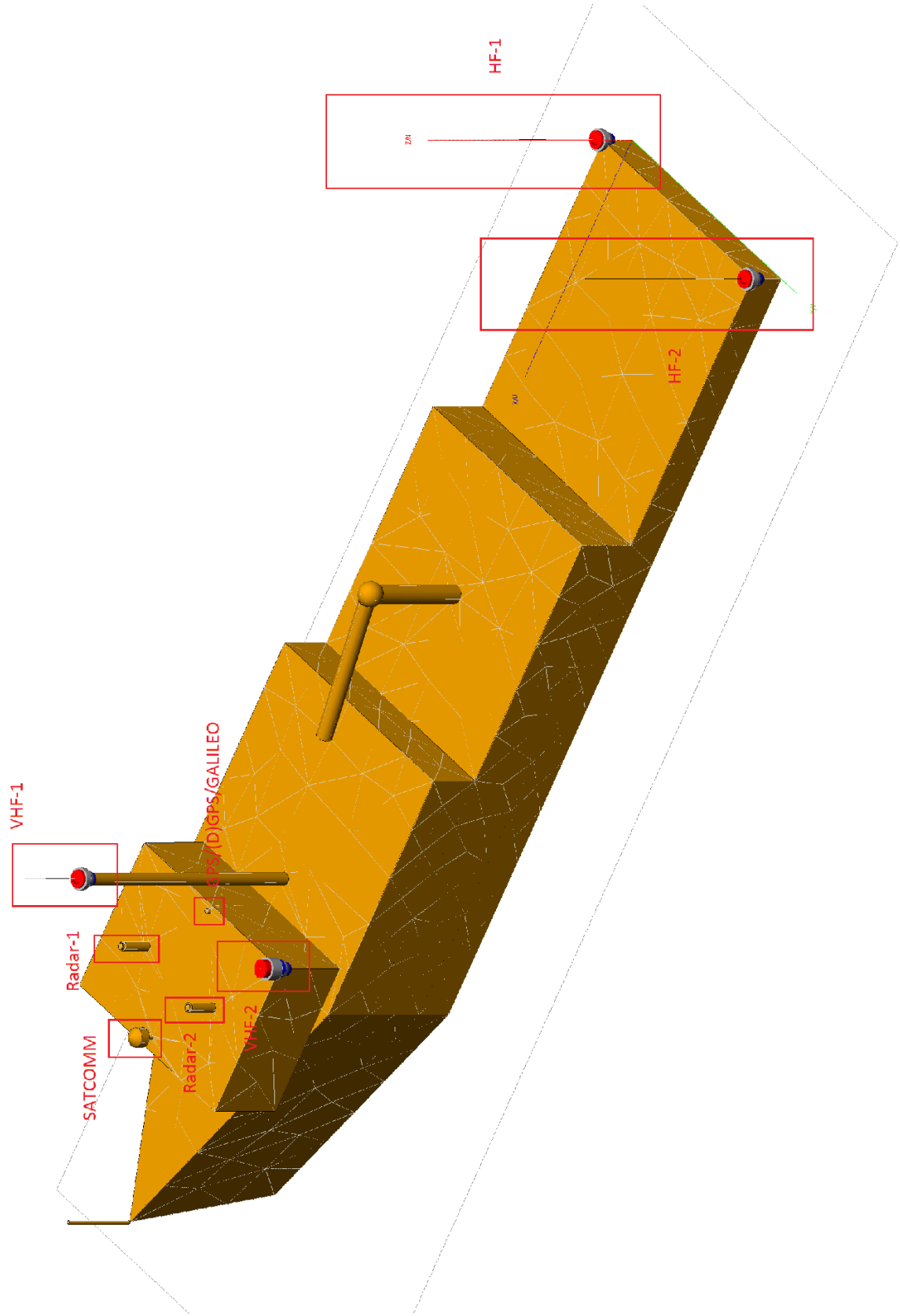
Diğer sistem ve cihazları da göz önünde bulunduran yerleşim çalışmasına, söz konusu bu sistemlerin kapsama alanı ihtiyaçları ve kullanıcıya yakınlık kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Özellikle radar sistemlerinin gemi omurga hattına yakın seçilmekle beraber çevre engel yapılardan uzak yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca GPS ve Uydu telefonu gibi sistemlerin gökyüzünü asgari 135° görececek şekilde açık alana yerleştirilmeleri gerekmektedir.

Kurtarma gemilerinde kullanılan ve çalışma kapsamında ele alınan tüm elektronik haberleşme ve seyir yardımcısı sistemlerin anten yerleşimi Şekil (6.14)'te sunulmuştur. Elektronik seyir yardımcıları köprüüstüne yakın konumlandırılmaya çalışılmış ve yaratacakları etki seviyelerinin çizelge (6.3)'te tanımlanan sınırlar çerçevesinde kalacağı öngörülmüştür. Öte yandan; çevre cihaz/sistemlerin yanı sıra platformun elektromanyetik ortamına yaratacakları etkinin boyutları (HERE) yedinci bölümde incelenmiştir.

HF ve VHF antenlerinin yerleşimi; gemi gibi büyük platformlarda gerçekleştirilen EMI/EMC çalışmalarının büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Özellikle HF telsiz sistemlerinin yarattıkları çok büyük emisyon seviyeleri platformlarda yalnızca insan sağlığı açısından değil yakıt emniyeti açısından da sakıncalar doğuruyor oluşundan ötürü, bu sistemlerinin antenlerinin yerleşimini çok zorlaştırmaktadır. Çoğu zaman bu yerleşim çabaları neticesinde HF antenlerinin çıkış güçlerinin sınırlandırılmasına, hatta kullanımları için katı regülasyonlara gidilmektedir.

VHF telsiz sistemlerinin yerleşiminde ise; ticari bir çok cihaz ve sistemlerin iç çalışma frekanslarına ve diğer yakın bant cihazlarına olan parazit girişimleri nedeniyle; özellikle hassas cihaz ve sistemlerden uzak yerleştirilme zorunluluğu getirmektedir. Bu sıkıntının yanı sıra etkin kapsama alanının sağlanabilmesi farklı bir durum olarak değerlendirilmelidir.

Şekil 6. 14 Optimum Anten Yerleşimi.



HF ve VHF haberleşme sistemlerinin yerleşiminin sağlanmasının ardından, yerleşimi sağlanacak cihaz/sistemin özelliklerine göre değerlendirilmesi yapılmalıdır. Örneğin GPS ve uydu telefonu sistemlerinin farklı zorunlulukları varken radarların ve diğer seyir yardımcılarının yerleşimi için çok farklı kriterler vardır.

Sonuç olarak, platformda kullanılması planlanan tüm cihaz ve sistemlerin antenlerinin yerleşimi Şekil (6.14) ile sunulmuştur. Müteakip bölümlerde, bu yerleşimin seçilmesinde zorlayıcı nedenler olan “mania kriterleri” sunulacak ve hemen ardından söz konusu bu sistemlerin çalışma bantları boyunca ışıma paterni, uzak ve yakın alan analizleri gerçekleştirilecektir. Erişilen sonuçlar neticesinde RADHAZ tehditleri tespit edilecek ve çalışma sonlandırılacaktır.

6.3.5 Mania Kriterlerinin Sunulması

Kurtarma gemilerinde kurulumları sağlanarak, ağır deniz koşullarında etkin kullanımı planlanan cihaz/sistemlerin yerleşimlerine ve kullanımlarına etki eden kısıtlamaların tespit edilerek, yerleşim planlarının güncellenmesi önemli kabul edilmektedir. Söz konusu yerleşim kriterleri; cihazların performansını etkileyen teknik hususlar olmasının yanı sıra RADHAZ riskleri de olabilmektedir. Bu kapsamda; tanımlanan tüm bu kısıtlamalar tersanecilikte “mania kriterleri” olarak kabul edilmektedir. Platform bazında sistemlerin yerleşim isteklerine yön verici nitelikte bu kriterler aşağıda sunulmuştur.

6.3.5.1 Cihaz Yerleşimleri Kapsamında Kısıtlamalar

Kurtarma gemilerinde kullanılması planlanan ve Çizelge (6.1)’de tanımlanan cihaz/sistemlerin yerleşimine esas teşkil eden teknik ihtiyaçlar bu kapsamda kabul edilmektedir. Anılan sistemlerin anten istekleri, kapsama alanı istekleri ve çevre cihazlarla olabilecek muhtemel EM etkileşim istekleri söz konusu bu kısıtlamalar tanımı içerisinde kabul edilmektedir.

Bu bölümde; cihaz yerleşimleri kapsamında kısıtlamalar, cihaz tipine göre ayrı olarak ele alınacak ve teknik özellikler doğrultusunda yerleşim ihtiyaçları çeşitlendirilecektir.

6.3.5.1.1 HF Anten Yerleşim Kısıtlamaları

Kurtarma gemilerinde HF telsizlerin kullanımının büyük önem teşkil ettiği bahsedilmiştir. Söz konusu bu sistemler yalnızca haberleşme amaçlı değil; ticari gemilerle yapılacak veri haberleşmesi ve acil durum HF sinyallerinin tespit edilmesi maksatlı da kullanılmaktadır. Bu sistemlerin, tanımlanmış olan bu özel durumları nedeniyle yerleşimleri için büyük çaba sarf edilmektedir.

çalışmaya referans kabul edilen ve Şekil (5.1)'de sunulan platformda uzak mesafe haberleşmesi için bir adet, veri haberleşmesi ve GMDSS yayınlarının takibi için bir adet olmak üzere iki adet HF telsiz sisteminin kullanılması öngörülmüştür. Konsept olarak her iki sistemden 360° kapsama beklenmektedir. Ancak platform, icra edeceği görevler gereği üzerinde vince sahip ve kazazede gemileri kurtaracak yedekleme donanımlarını güverte üstü mevkilerde taşımaktadır. Çevrede bulunan bu engellerin; HF muhaberesi için çok büyük sıkıntılar doğurmayacağı düşünülebilir ancak bu unsurların HF muhaberesinin yaratacağı yüksek RF enerjisinden etkileneceği düşünülmektedir.

Çevre unsurlardan asgari düzeyde etkilenecek, asgari düzeyde ortama istenmeyen EM radyasyonu yayacak ve azami kapsama alanı sunacak bir anten yerleşimin sağlanması hedeflenmelidir. Öte yandan; NATO MIL-STD-464A doğrultusunda HF telsizleri arasında yayınlar arası etkileşimi asgariye indirmek için frekans ayrımlarına gidilmelidir. Söz konusu bu frekans ayrımları doğrultusunda HF-1 telsizi yayına girdiğinde, ikinci HF yayına belirli bir frekans koruma bandı üzerinden girebilmeli ve yayın esnasında diğer telsizin alıcısı bekleme konumuna alınarak telsizin giriş kaplarından ayrılmalıdır. Aksi takdirde çok yakından alınacak yüksek yayın, dinlemedeki telsizin giriş katına zarar verebilecektir.

Yukarıda tanımlanan mania kriterleri, hedeflenen konsept ışığında ve bir önceki bölümde sunulan antenler arası kuplaj analizleri doğrultusunda HF antenlerin yerleşimleri nihai hale getirilmiştir. Özellikle güverte üstü cihaz ve sistemlerden azami düzeyde uzak konumlandırılan antenlerin kendi aralarında da etkileşime girmelerini engellemek maksatlı röle devreleri ile desteklenmiş aktif kaplar kullanılması ile yerleşimler son haline getirilmiştir.

6.3.5.1.2 VHF Anten Yerleşim Kısıtlamaları

VHF telsiz sistemleri; deniz bandında hem veri taşıma üstünlüğü hem de kanallara bölünerek verimli ses haberleşmesi sunabilmesi ve UHF sistemlere nazaran nispeten daha geniş kapsama alanı sunması nedeniyle denizcilikte çok yoğun kullanılmaktadır. Söz konusu bu sistemler;

- Günlük haberleşmeleri,
- Denizde kılavuzluk hizmetlerini,
- GMDSS–DSC yayınlarını,
- Sayısal veri trafiğini,
- AIS trafiğini,
- Acil durum distress yayınlarını taşımaktadırlar.

Şekil (5.1)'de sunulan kurtarma gemisinin icra edeceği görevler bakımından ihtiyaç duyacağı VHF telsiz sistemleri; sayısal AIS ve GMDSS haberleşmesi için bir; deniz bandı haberleşme ve kılavuzluk hizmetleri için bir olmak üzere iki adet VHF telsiz sistemine ihtiyaç duyulabileceği ön görülmüştür. AIS ve GMDSS haberleşmesi günlük ihtiyaçlardan çok daha önemlidir. Bu kapsamda; kapsama alanının azami düzeyde olması hedeflenmiştir. Öte yandan günlük haberleşme ihtiyaçlarının sağlanacağı VHF-2 için güverte üstü diğer sistem/cihazlara asgari düzeyde etki yaratabilecek optimum mevkiye konumlandırılması uygun bulunmuştur.

HF telsizlerinden farklı olarak çevre engeller VHF telsizler için çok daha fazla olumsuz etki yaratmaktadırlar. Bu nedenle, VHF-1 anteni platformda olabilecek en açık, sade ve en yüksek konum olan gemi ana direğine yerleştirilmiştir. Özellikle VHF menzili azami düzeyde kullanabilmek maksadıyla bu mevki VHF-1 anteni için optimum kapsama alanını sunmakla beraber; yapılan analizlerde de HF yayınlarından asgari düzeyde etkilenmektedir.

$$d = 1.42 \cdot \sqrt{h_f} \quad (6.1)$$

VHF antenlerin yükseklikleri itibarıyla EM ufuk yukarıda tanımlanan (6.1) formülü ile hesaplanacaktır. Burada antenin feet cinsinden yüksekliği, EM ufku deniz mili cinsinden

üretecektir. Söz konusu formül görüş hattı haberleşmesi (LOS) sunan bu sistemlerin azami menziline verecektir. Gemi ana direğinin gemi su hattından yüksekliği 13.3m'dir. Bu konumda VHF-1 anteninin sunacağı azami teorik menzil 18 km olacaktır¹. Özellikle VHF AIS haberleşmesi için ve platform civarında oluşacak acil durumların çağrılarını toplayabilmek için yeterli bir menzil olacaktır.

Platformda genel maksatlı haberleşmeler için kullanılması planlanan ve yukarıda analizleri gerçekleştirilen ikinci VHF anteninin konumlandırılması; platformda VHF haberleşmesinin kullanım ihtiyaçları göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Operasyonel ihtiyaçları gereği platformun iskele köprü üstüne yerleştirilecek VHF antenin 220° ve 223°'lik bir kör saha yaşamasının daha uygun olacağı değerlendirilmiş ve bu noktaya konuşlandırılmıştır.

Sonuç olarak, anten mevkilerinin tespiti çalışmalarında yalnızca kapsama alanı ve azami menzil hedeflenmemekte bunun yanı sıra platformun icra edeceği görev doğrultusunda operasyonel ihtiyaçları da göz önünde bulundurulmalıdır.

6.3.5.1.3 Radar Yerleşim Kısıtlamaları

Modern denizcilikte olumsuz deniz koşullarında icra edilen seyirlerde kullanılan en önemli seyir yardımcılarında biri olan radarların yerleşiminin sağlanması büyük önem arz etmektedir. Kurtarma gemileri görevleri gereği acil durumların, iyi deniz koşulları yerine genellikle çok ağır deniz koşullarının meydana gelmesi nedeniyle, söz konusu bu koşullarda deniz açılmak durumdadırlar. Dolayısıyla kurtarma gemileri gibi sürekli ayakta kalması gereken platformlarda radarların çok büyük önemi olmaktadır.

Kurtarma gemileri tanımlanan bu operasyonel ihtiyaçları nedeniyle genellikle iki adet seyir radarı ile donatılırlar. Söz konusu bu radarlar; kötü hava koşullarının etkilerini azami düzeye indirerek uzun menzil sunan S-Band ve orta menzillerde yüksek çözünürlük sunabilen X-Band radarlarıdır. Her bir radar aynı anda kullanılır ve

¹ Ancak burada alıcı antenin deniz seviyesinde olduğu kabul edilmiştir. Örneğin; alıcı istasyonda bulunan VHF antenin deniz seviyesinden yüksekliği 7m ise bu durumda, kurtarma gemisinin çağrılarını duyabileceği azami menzil yaklaşık 30km olacaktır.

birbirlerine karşı olan üstünlükleri ağır deniz koşullarında platforma etkin bir görüş kabiliyeti sunar.

S-Band radarları yapıları gereği 2500-3000 MHz frekans bandında çalışırlar ve bu nedenle uzun menzilde görüş kabiliyeti sunarlarken (~120-180km) tespit edilebilecek hedeflerin radar kesit alanları yükselmektedir. Öte yandan X-Band radarları 8800-9500MHz frekans bandında çalışmakta ve orta menzilde görüş kabiliyeti sunmaktadırlar (~30-55km). Bu radarlar; 1m² radar kesit alanına haiz bir hedefi ortalama 12 km'den tespit edebilmektedirler. Sonuç olarak; S-Band radarları ile platform kendinden 150km uzaktaki bir yük gemisinden aldığı HF yardım sinyali neticesinde onun konumunu görmekte ve müdahale etmektedir. Kurtarma görevinin icrası esnasında; kaza bölgesine ulaşana kadar geçen sürede gemi batmış ise; flikalarla ayrılan mürettebatı 12 km uzaktan X-band radarıyla tespit edebilmektedir.

Kurtarma gemilerinde kullanılması planlanan bu radar sistemlerinin; platformun acil durumlarda görev etkinliğini arttırmada büyük bir faktör olması nedeniyle, optimum kapsama alanına sahip olması ve çevre cihaz/sistemlerden asgari düzeyde etkilenmesi gerekmektedir. Bu durum platformlarda kullanılması planlanacak radar sistemlerinin, platformun görev çeşitliliğine uygun seçilmesinin önemi çok büyüktür.

Platformda kullanılan telsiz sistemlerinin; radarları etkileme durumu Çizelge (6.2) ve (6.3)'te incelenmiş, herhangi risk barındırmadığı kanaatine varılmıştır. Ancak HF antenlerinin bu sistemlerden azami düzeyde uzak konuşlandırılmasına çalışılmış, çalışacakları ortamdaki HERE seviyelerinin asgari düzeyde kalması hedeflenmiştir. Ayrıca VHF sistemlerinin nispeten uzak konumlanmış olması güvenlik seviyesini arttırmıştır.

Platformda kullanılması planlanan uydu telefonlarının ise, S-band radarlarına etkileşimde bulunabileceği düşünülmüştür. Ancak söz konusu iletişim cihazlarının çıkış güçlerinin oldukça düşük oluşu ve harmoniklerinin S-band frekans bandına girmesi olasılığı nedeniyle Radarın konumu, uydu telefonundan yukarı alınmıştır. Diğer taraftan uydu telefonu antenlerinin, gökyüzüne bakıyor oluşu, olası etkileşimlerin asgari boyutlarda olacağı kanaatini doğurmuştur.

6.3.5.1.4 Uydu Telefonu / GPS / Galileo / (D)GPS Yerleşim Kısıtlamaları

Kurtarma gemilerinde, seyir yardımcısı olarak kullanılan GPS sistemlerinin ve VHF menzili dışında ve HF haberleşmesinin tesis edilemediği durumlarda kullanılan uydu haberleşmesi amacıyla uydu telefonları tesis edilmektedir. Bu maksatla, söz konusu sistemlerin antenlerin konumlandırılmasında mania kriteri olarak kabul edilebilecek en büyük etmenin; gökyüzünü azimutal olarak asgari 170°lik bir açı ile görebilmelerinin tesis edilmesidir (GPS gibi konumlama sistemleri için 140°).

Kurtarma gemilerinde bu gibi sistemlerin yerleşiminde en uygun yer, genellikle güverte üstü olarak kabul edilmekte ve seyir radarlarının tarama alanları dışında kalacak şekilde anten yerleşim mevkileri belirlenmektedir. Platformumuzda bu sistemler seyir radarlarının da konumlandırıldığı köprü üstü mevkiine konumlandırılmıştır. Özellikle operasyonel alanlardan uzakta yerleştirilmiş ve optimum alış hassasiyeti sağlanmaya çalışılmıştır.

6.3.5.2 Diğer Kısıtlamalar

Gerçekleştirilen kuplaj analizleri neticesinde nihali hale getirilen yerleşim çalışmaları neticesinde oluşturulan ve şekil (6.14)'te sunulan optimum anten yerleşim planı çerçevesinde; kapsama alanları haricinde anten bağlantı elemanlarından kaynaklanacak güverte altı problemleri ortaya çıkacaktır. Söz konusu problemlerin başında, anten bağlantılarının platform bölme geçişleri gelmektedir. Bir diğer problem ise telsizlerin güç çıkışlarının antene ulaşıncaya kadar olan hat boyunca normalden fazla güç kaybına uğramasından ötürü doğacak haberleşme zaafiyetleridir.

Gemilerin güverte altı yerleşimlerinin kapalı bir çelik kafes şeklinde olması ve her bir bölmenin kendi başına bir faraday kafesi özelliği göstermesinden ötürü bağlantı bölmeler arası geçişlerde bağlantı elemanlarından saçılacak kaçak EM emisyonlarının bölme içi cihaz/sistemler için zararlı etkileri olabilecektir. Bu zararlı etkiler, o bölmede görev yapacak ve yaşam idame edecek olan personeller için ayrıca değerlendirilmelidir.

Tanımlanan bu mania kriterleri ışığında nihai anten tasarımlarına yön verilmeli ve mümkün olduğunda anten ile cihaz arasındaki hattın kısa olmasına çalışılmalıdır. Kısalan hat uzunlukları, bağlantı kabloları üzerinden anten uyarlama birimlerine (ATU)

taşınan haberleşme sinyali üzerine binebilecek gürültünün ve hat kayıplarının asgariye indirilmesini sağlayacaktır. Kullanılacak bağlantıların mümkün olduğunca EMI kalkanlı olmasına ayrıca özen gösterilmelidir.

Kuplaj analizleri neticesinde nihai hale getirilen ve şekil (6.14)'te sunulan anten yerleşim planı doğrultusunda HF antenlerinin ve VHF-1 anteninin telsiz odasından oldukça uzak konumlandırıldığı görülmektedir. Bu cihazların anten bağlantı uzunluklarının, cihaz üreticilerinin vermiş olduğu limitlerin üzerinde olması durumunda ara sinyali kuvvetlendiricileri, sinyal filtreleri ve empedans uyarlayıcılar yardımı ile hattın kalitesi artırılmalıdır.

6.3.5.3 RADHAZ Sınırlamaları

Platformlarda kullanılan haberleşme ve seyir yardımcıları gibi sistem/cihazlar, ortama istenmeyen Elektromanyetik Emisyonlar yayar. Ortamda bulunacak bu emisyonlardan ötürü alınacak radyasyon güvenliğine dair önlemler bu çalışmanın 4. Bölümünde tanımlanmıştır. Söz konusu radyasyon tehlikeleri, platforma monte edilmesi planlanan tüm cihaz/sistemler için belirleyici mania kriterlerinin başında gelmektedir. RADHAZ kavramını ortaya atan ve platformlarda söz konusu bu sistem ve cihazların yerleşimine esas teşkil edecek uygulamaları içeren standartlar doğrultusunda mania kriterleri değerlendirilecektir.

RADHAZ kavramını içeren ulusal/uluslar arası standartlar doğrultusunda; yukarıda kuplaj analizleri sonucunda referans olarak hazırlanmış taslak anten yerleşimleri için yakın alan ışımaları hesaplanacak ve güvenli mesafelerin neler olması gerektiği tespit edilecektir.

Güvenli mesafelerin belirlenmesi neticesinde; söz konusu antenlerin çevresinde bulunacak personel, yakıt ya da mühimmat gibi hassas unsurlar için tehlikeli haller ortaya konacaktır. Kimi durumda ortaya konan bu tehlikeli durumları azaltıcı ya da engelleyici tedbirler alınmak vasıtasıyla; optimum güvenlik kriterleri sağlanmaya çalışılacaktır.

RADHAZ kavramı doğrultusunda, mania kriterleri HERP,HERO ve HERF kavramları kapsamında incelenecektir. Analizler öncesinde dikkat edilmesi gereken hassas

cihaz/sistemler tespit edilmiştir. Söz konusu bu sistemlerin başında tahmin edilebileceği üzere HF telsiz sistemleri gelmektedir. Bu sistemler hem çıkış güçleri hem de diğer sistemlere nazaran çalışma frekanslarının oldukça düşük olması, dalga boylarının gemi boyutlarına oranla oldukça büyük olması nedeniyle azami özenle incelenecektir.

6.3.5.3.1 HERP Sınırlamaları

INIRC/IRPA, IEEE C.95 ve NATO MIL STD 464 A standartları kapsamında hazırlanmış olan HERP limit değerleri platformumuzun operasyonel ihtiyaçları doğrultusunda incelendiğinde; INIRC/IRPA standardının referans kabul edilmesinin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, analizi gerçekleştirilecek sistemlerin yakın alanlarında oluşacak emisyonlar Çizelge (4.3)'te verilen limit değerler doğrultusunda değerlendirilecektir.

Platform; kurtarma görevleri esnasında ve sonrasında çok fazla insan ile etkileşimde bulunacağından, söz konusu bu görevlerin icrasında çok fazla HF haberleşmesi ihtiyacı doğacağından ötürü INIRC/IRPA standardı limit değerlerinin kullanılması uygun bulunmuştur.

6.3.5.3.2 HERF Sınırlamaları

Platformlarda istenmeyen EM emisyonlarının yakıt gibi tehlikeli maddeler üzerindeki zararlı etkilerini sınırlamayı amaçlayan HERF uygulamaları kapsamında çalışmada kullanılan Kurtarma Gemisi platformu incelemeye alınmıştır. HERF kapsamında karşımıza çıkacak mania kriterleri ise platformun operasyonel ihtiyaçları doğrultusunda tespit edilecektir.

Şekil (5.1)'de sunulan platformun kıç üstü bölgesi olarak tanımlanan açık platform bölgesinde yakıt ikmalinin sağlandığı kavancaların (rekorlar), açık risk oluşturmasından ötürü bu civarda bulunacak emisyonların NATO-MIL-STD 464A kapsamında çizelge (4.2)'de sunulan limit seviyeler üzerinden değerlendirilmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda şekil (6.14)'te sunulan optimum anten yerleşim planı incelendiğinde yakıt ikmali, transferi ya da taşınması esnasında risk oluşturabilecek HF telsizleri açısından

HERF limitleri incelenecektir. EM emisyonlarının sınırlandırılmadığı durumlarda yakıt tanklarının durumu ve yakıt işlemleri operasyonel olarak yeniden değerlendirilmelidir.

6.3.5.3.3 HERO Sınırlamaları

Kurtarma gemileri, yapıları itibarıyla, sivil amaçlı gemilerdir ve görevleri denizde mal ve can emniyetini tesis etmektir. Ancak bu platformların kimi olağanüstü durumlarda mühimmat bulundurma ya da taşıma gibi ulusal güvenliği ilgilendiren konularda görev yapma zorunluluğu doğabilecektir. Bu kapsamda platformun nasıl görevler icra edebileceğinin operasyonel anlamda değerlendirme zorunluluğu doğacaktır.

Platform yapı itibarıyla denizde kalmış gemileri ve hayati tehlike altındaki kazazedeleri kurtarma amacıyla üretilmiş olası nedeniyle; mühimmat içeren görevlerde muhtemel bulundurma yerleri kıç platformu olarak değerlendirilmiştir. Özellikle vincin çalışma bölgesine yakın olması nedeniyle mühimmat taşınması için en uygun alan olarak kabul edilmektedir. Bu durum çok sıradışı bir durum olacağından, platformun normal planlamasının haricinde risk sınırları belirtilecek ve mühimmat uygulamaları gerektiği takdirde mania kriterlerine yönelik taşıma işlemleri gerçekleştirilmelidir.

HERO uygulamalarına esas kabul edilmek üzere Şekil (6.14)'te sunulan optimum anten yerleşim planı üzerinde HF telsizleri için HERO çalışmaları uygulanacak ve risk yaratan durumlar tespit edilecektir. HERO uygulamalarına esas teşkil etmek üzere referans alınacak limit değerler NATO MIL-STD 464A temel alınarak hazırlanan çizelge(4.7)'de sunulmuştur.

6.3.6 Yakın Alan ve Işıma Paterni Analizleri

Kurtarma gemilerinin taşımakta olduğu ve çizelge (6.1)'de tanımlanarak analizleri gerçekleştirilen sistem/cihazların şekil (6.14) doğrultusunda hazırlanan yerleşim planı üzerinden yakın alan (eşitlik (4.2)'de sunulmuştur.) analizleri gerçekleştirilecektir. Söz konusu bu analizler; cihazların çalışma frekansları doğrultusunda belirlenen bir yakın alan üzerinden EM hesaplamaları ile gerçekleştirilmekte ve sonuç olarak Elektrik alan değeri ve sistem işletimine referans teşkil etmek üzere poynting vektörleri de hesaplanacaktır.

Her bir cihaz için ayrı ayrı icra edilecek bu analizler neticesinde HERP,HERF ve HERO kapsamında incelenerek risk tanımı için güvenli mesafeler tespit edilecektir. Güvenli mesafelerin tespit edilmesi neticesinde, antenlerin platform üzerindeki yerleşimleri nihai hale getirilecektir. Ancak söz konusu standartlarda sunulan limit değerlerinin çok üzerinde bir emisyon değeri görülecek olursa iyileştirici önlemlere başvurulacak ya da ilgili anten yerleşimi yeniden değerlendirilecektir.

EM analiz programı aracılığı ile yakın alan analizlerinin yanı sıra her bir anten için uzak alan ışıma paternleri ve yüzey akımları da hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen bu analiz sonuçları da yakın alan analizleri ile beraber sunulacaktır. Işıma paterni analizlerinin gerçekleştirilmiş olması özellikle şekil (6.14)'te sunulan anten yerleşim planına göre anten çevresindeki engelleyici unsurların ışıma paternine olan etkilerini görebilmek açısından oldukça önemlidir. Sunulacak olan yüzey akımları¹ ise; metal bir yapıya sahip olan platformumuz için icra edilecek topraklama çalışmalarına esas teşkil edecektir.

6.3.6.1 HF Tx/Rx Sistemleri için Analizler

Kurtarma gemilerinde sıklıkla kullanılacak olan HF telsiz sistemlerinin şekil (6.14) doğrultusunda; HF haberleşme bandının en yoğun kullanılan alt bandları için gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda seçilen analiz frekansları; 3MHz,6MHz,10MHz,20MHz ve 30 MHz'dir. Herbir frekans için platform mesh olarak yeniden modellenmiş ve analizler tekrarlanmıştır. Güvenli mesafelerin belirlenmesi maksadıyla elde edilen sonuçlar her bir frekans için ayrı ayrı tespit edilerek oluşturulacaktır.

¹ Yüzey akımları analizinde platform yüzeyi metal olarak kabul edilmiş ancak uygulamada bu yüzeyler deniz koşullarındaki ihtiyaçlara göre boyanacaktır. Uygulanacak olan boya korozyona karşı dayanıklı olması amacıyla kurşun içerecektir. Yüzey akımları analizinde bu durumun azaltıcı etkisi olacaktır. Ancak yüzeye uygulanacak boyanın içeriği ve kalınlığı konusunda kararsız kalındığı için yüzey PEC olarak kabul edilmiştir. Bu kabulün sonucunda elde edilecek yüzey akımlarının normalinden daha yüksek çıkması beklenmektedir. Ancak bu seviyedeki akımlar için uygulanacak topraklama uygulamalarının özellikle yakıt tankları ve diğer tehlikeli yükler için güvenlik önlemlerini arttıracak kanaatine varılmıştır.

6.3.6.1.1 3MHz Tx Analizi

3 MHz analizi kapsamında; HF-1'in 400 Watt CW çıkış yapacağı, bu Çıkış gücünün zamanla değişmeyeceği ve yayın süresince sabit kalacağı varsayılmıştır. Analiz için platformu ve yakın çevresini kapsayacak bir uzak alan ve asgari yakın alanı içine alacak bir yakın bölge tanımlanmıştır. Bunun yanı sıra yüzey akımları ve poynting vektörü de hesaplanmıştır.

Gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil (6.15),(6.16),(6.17),(6.18) ve (6.19)'da sunulmuştur.

6.3.6.1.2 6MHz Tx Analizi

6 MHz analizi kapsamında HF-1 telsizinin CW modunda yapacağı yayını ve etkilerini incelemek maksadıyla gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil (6.20),(6.21),(6.22),(6.23) ve (6.24)'te sunulmuştur.

6.3.6.1.3 10MHz Tx Analizi

10 MHz analizi kapsamında HF-1 telsizinin CW modunda yapacağı yayını ve etkilerini incelemek maksadıyla gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil (6.25),(6.26),(6.27),(6.28) ve (6.29)'da sunulmuştur.

6.3.6.1.4 20MHz Tx Analizi

20 MHz analizi kapsamında HF-1 telsizinin CW modunda yapacağı yayını ve etkilerini incelemek maksadıyla gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil (6.30),(6.31),(6.32),(6.33) ve (6.34)'te sunulmuştur.

6.3.6.1.5 30MHz Tx Analizi

30 MHz analizi kapsamında HF-1 telsizinin CW modunda yapacağı yayını ve etkilerini incelemek maksadıyla gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil (6.35),(6.36),(6.37),(6.38) ve (6.39)'da sunulmuştur.

6.3.6.1.6 HF Telsiz Sistemleri için Güvenli Mesafeler

Platforma tesis edilmesi planlanan HF telsiz sistemleri için önceki bölümlerde gerçekleştirilen analizler neticesinde, söz konusu sistemlerin yayını esnasında oluşabilecek emisyonlara karşı teşkil edilmesi gereken güvenli mesafeler tespit edilmiştir. Özellikle platformun, operasyonel ihtiyaçları göz önünde bulundurularak ortaya koyulan kullanım karakteristikleri doğrultusunda HERP uyumlulukları yanı sıra HERF ve HERO uyumlulukları da sağlanmıştır.

Analizler, RADHAZ uygulamaları için referans kabul edilen standartlar doğrultusunda Çizelge (6.7) ve (6.8)'de sunulmuştur. Bu çizelgelerde, limit değerler ve bu limit değerlerin sağlanacağı antenden uzaklıklar hesaplanarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları, referans standartlarda atıfta bulunulan Elektrik Alan, Poynting Vektörü ve Manyetik Alan sınır değerlerine göre yorumlanarak optimum mesafeler tespit edilmiştir. Platformda, güvenlik önlemlerini tesis etmek amacıyla, yayın esnasında uyulacak güvenlik mesafeleri çizelgede verilmiş ve bu güvenlik mesafeleri platform tabanına kırmızı boya ile işaretlenecektir. Ayrıca azami güvenliğin tesis edilmesi amacıyla, özellikle yayın yapılacağı zamanlarda açık güvertelerde görevli olmayan personelin bulunmasını engelleyici önlemler alınacaktır.

Çizelge 6.7 HF Telsiz Sistemleri için Güvenli Mesafeler (HERP-RADHAZ)

HF Yayını için Güvenli Mesafeler (HERP-RADHAZ)						
Frekans (MHz)	INIRC/IRPA Standardı Referans Değeri (V/m)	INIRC/IRPA Standardı Referans Değeri (W/m ²)	INIRC/IRPA Standardı Referans Değeri (A/m)	Güvenli Mesafe (E) (m)	Güvenli Mesafe (W/m ²) (m)	Güvenli Mesafe (A/m) (m)
3	204,67	-	0,53	2,40	-	4,36
6	102,33	-	0,27	1,80	-	5,50
10	61,40	10,00	0,16	0,01	1,65	4,50
20	61,00	10,00	0,16	0,01	1,10	8,00
30	61,00	10,00	0,16	0,01	1,10	8,50

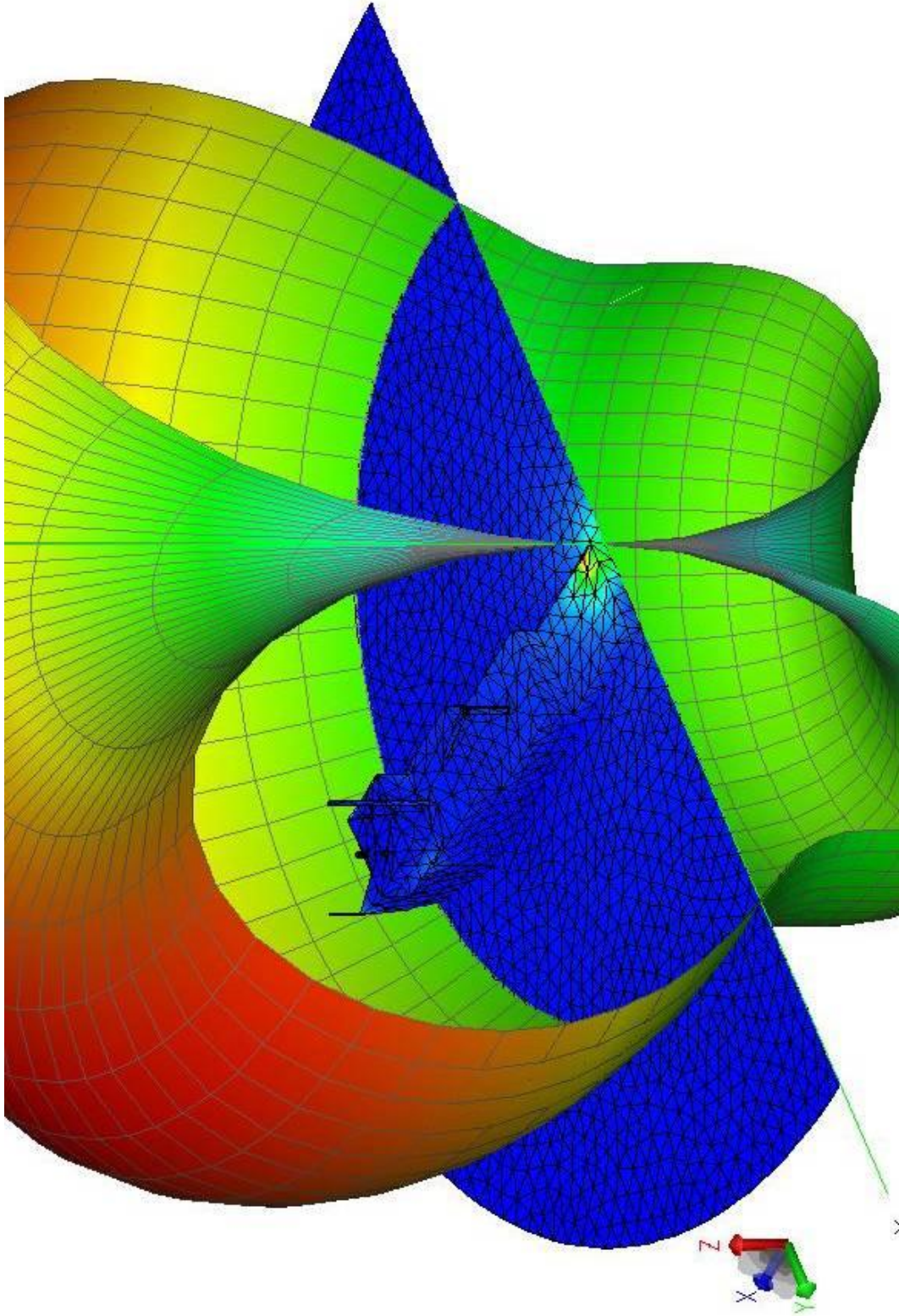
Çizelge 6.8 HF Telsiz Sistemleri İçin Güvenli Mesafeler (HERF/HERO-RADHAZ)

HF Yayını İçin Güvenli Mesafeler (HERF/HERO-RADHAZ)				
Frekans (MHz)	HERF NATO MIL-STD-464A Referans Değeri (V/m)	HERO NATO MIL-STD-464A Referans Değeri (V/m)	HERF Güvenli Mesafe (E) (m)	HERO Güvenli Mesafe (E) (m)
3	200,00	100,00	2,50	3,00
6	200,00	100,00	1,20	1,80
10	200,00	100,00	0,01	0,01
20	200,00	100,00	0,01	0,01
30	200,00	100,00	0,01	0,01

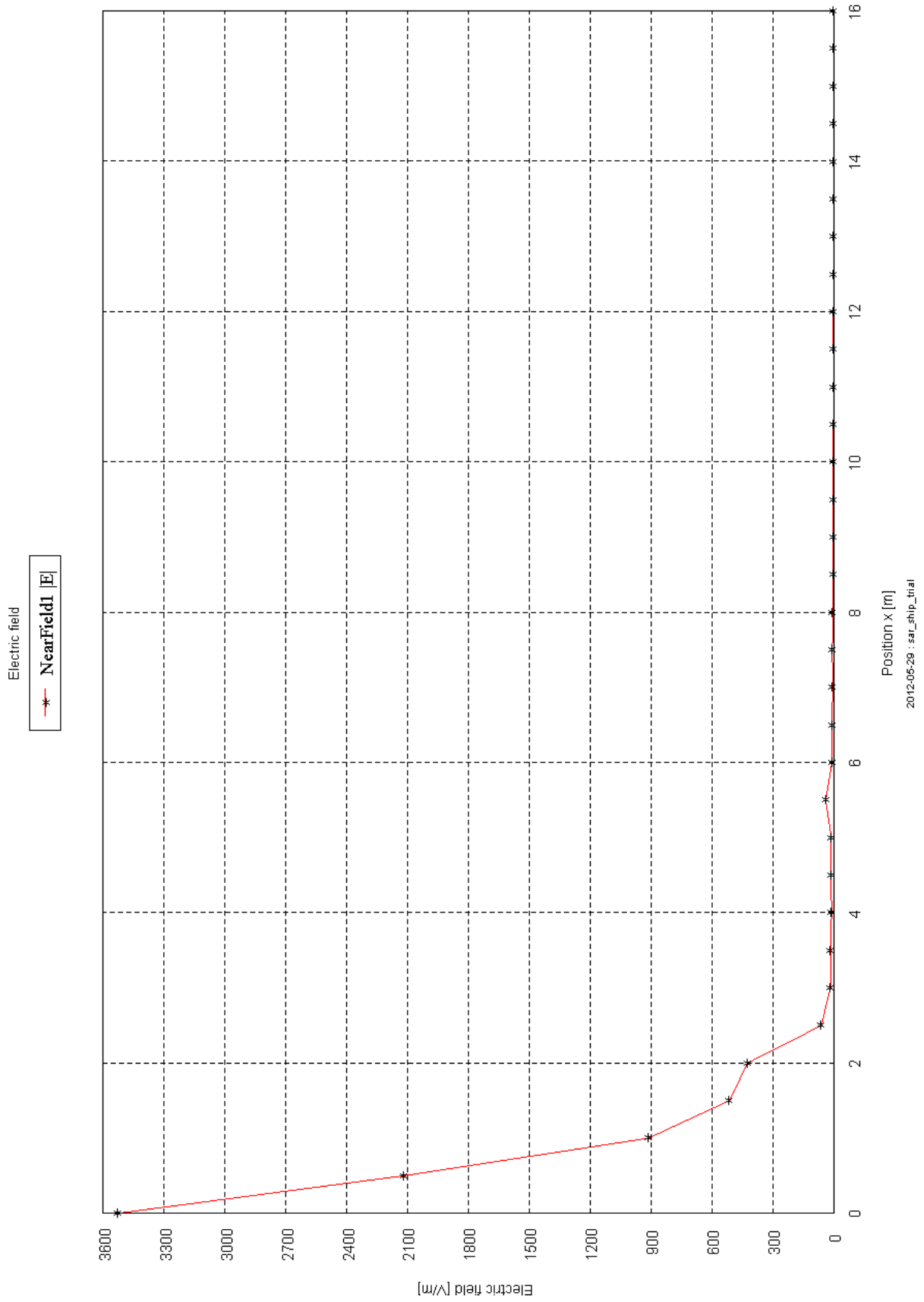
Yukarıda sunulan Çizelge (6.7)ve (6.8)'deki sonuçlar incelenecek olursa; HERP kapsamında güvenli sınır değerlerine asgari 8.5m mesafede erişilebilmektedir. Bu mesafe, kış üstü platformunun neredeyse tamamına tekabül etmektedir. Bu bağlamda, güvenli mesafeyi sağlayacak bir uyarı çizgisi, söz konusu mesafenin yarı çap olarak kabul edilmesiyle tesis edilecektir. Ayrıca, yayın esnasında mutlaka personeli uyarıcı ışıklı ve sesli panolar, güverteiçi ve dış mahallerde tesis edilecektir.

HERF ve HERO kapsamında sınır değerler referans alınarak gerçekleştirilen analizler doğrultusunda oluşturulan güvenli mesafelerin HERP kapsamında oluşturulan mesafelerle uyumlu olduğu tespit edilmiş, bu nedenle herhangi uyarıcı uygulamaya gidilmemiştir. Ancak; HERF kapsamında, kimi zaruri durumlarda yakıt ikmalinin sağlandığı ve genellikle tanklardaki fazla yakıtın tahliyesinin gerçekleştirildiği yakıt kavancalarının HF antenlerine çok yakın tesis edildiği tespit edilmiştir (~1m). Bu kapsamda söz konusu kavancaların yerlerinin, platformun tasarımı aşamasında değişimine karar verilerek emisyonlar açısında daha güvenli olan bir mevkiye taşınmasına karar verilmiştir.

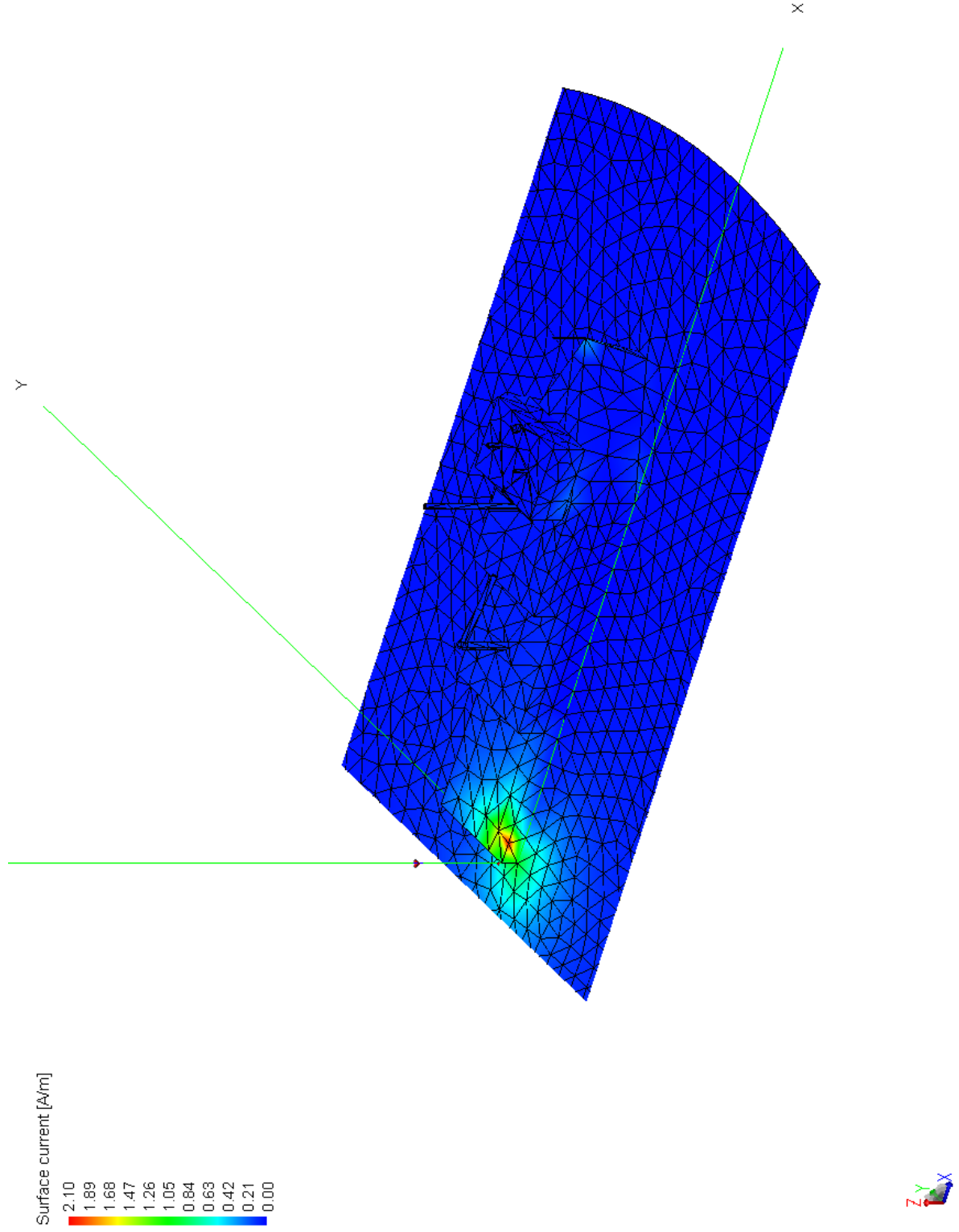
Şekil 6. 15 HF Işıma Paterni (3MHz)



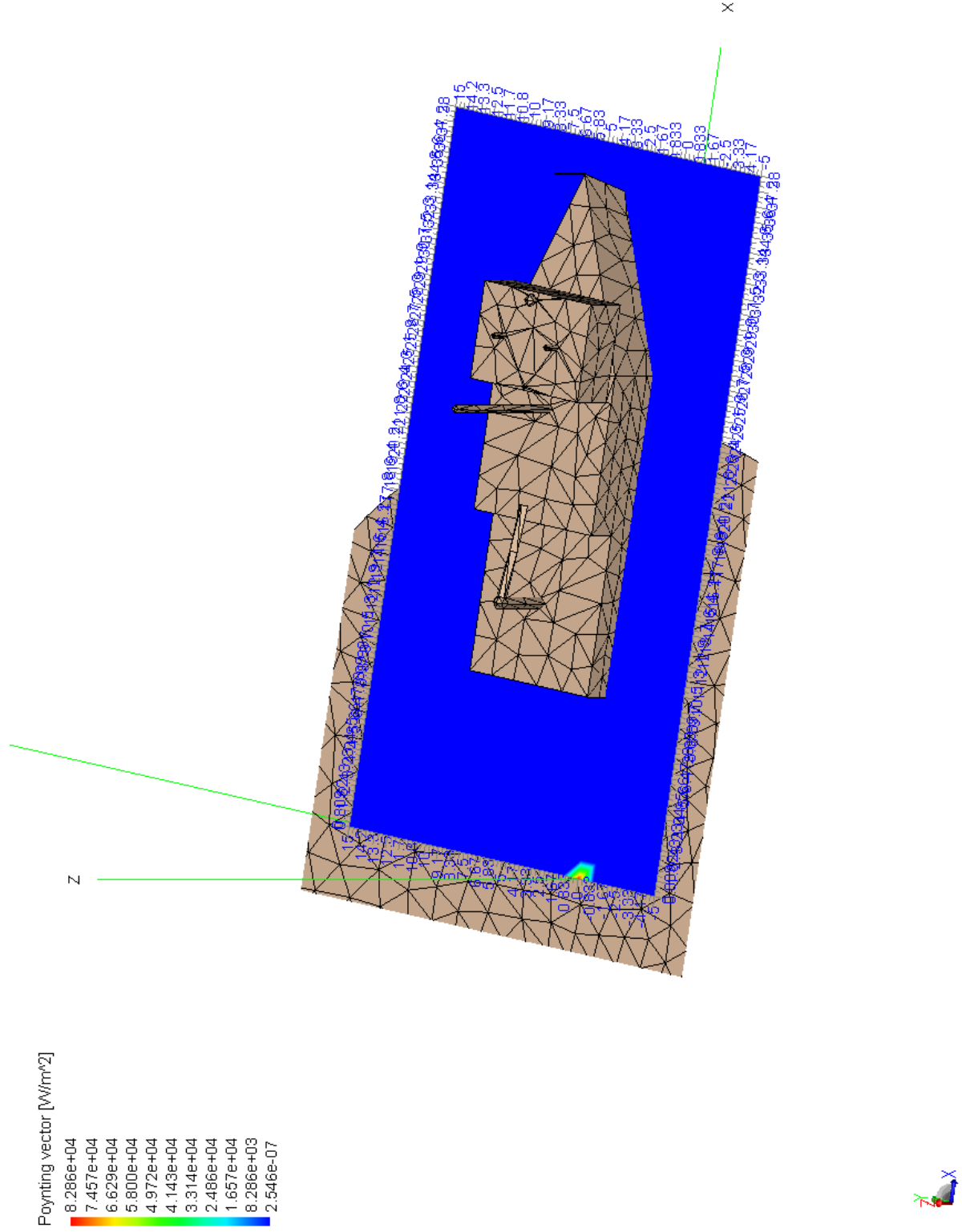
Şekil 6. 16 HF Yakın Bölge Elektrik Alanı (3MHz - V/m)



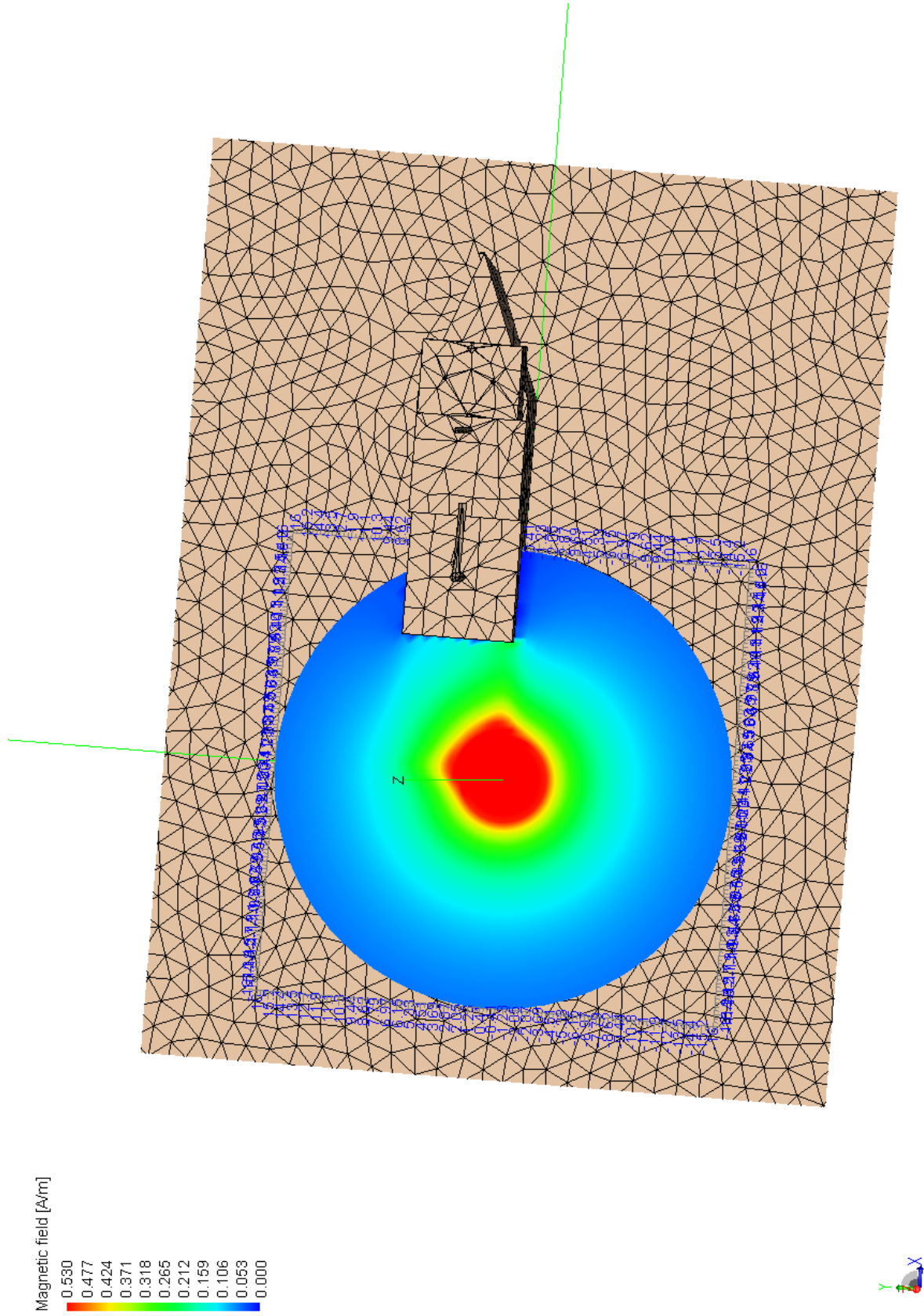
Şekil 6. 17 HF Yüzey Akımları (3MHz - A/m)



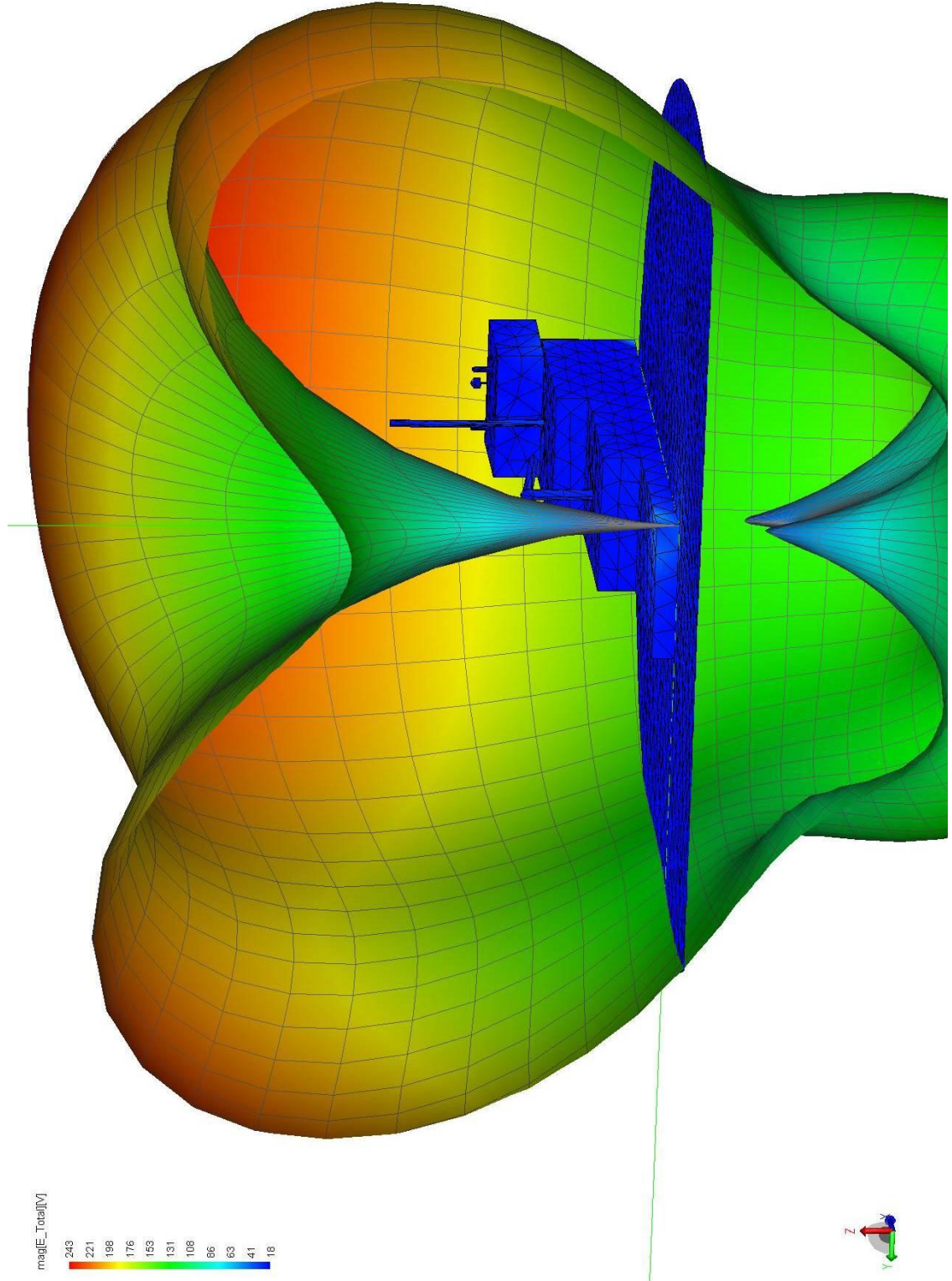
Şekil 6. 18 HF Poynting Vektörü (3MHz - W/m²)



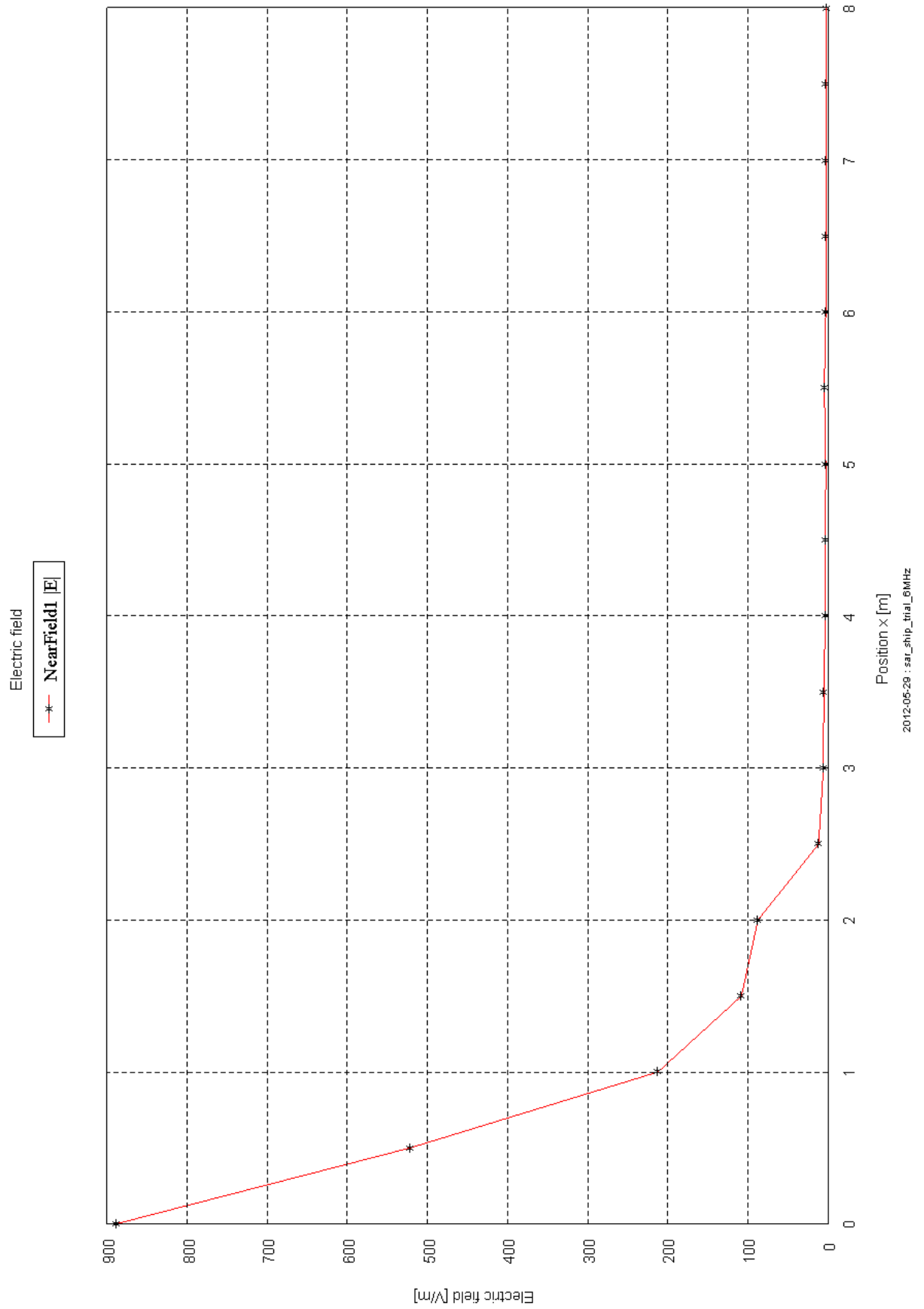
Şekil 6. 19 HF Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (3MHz)



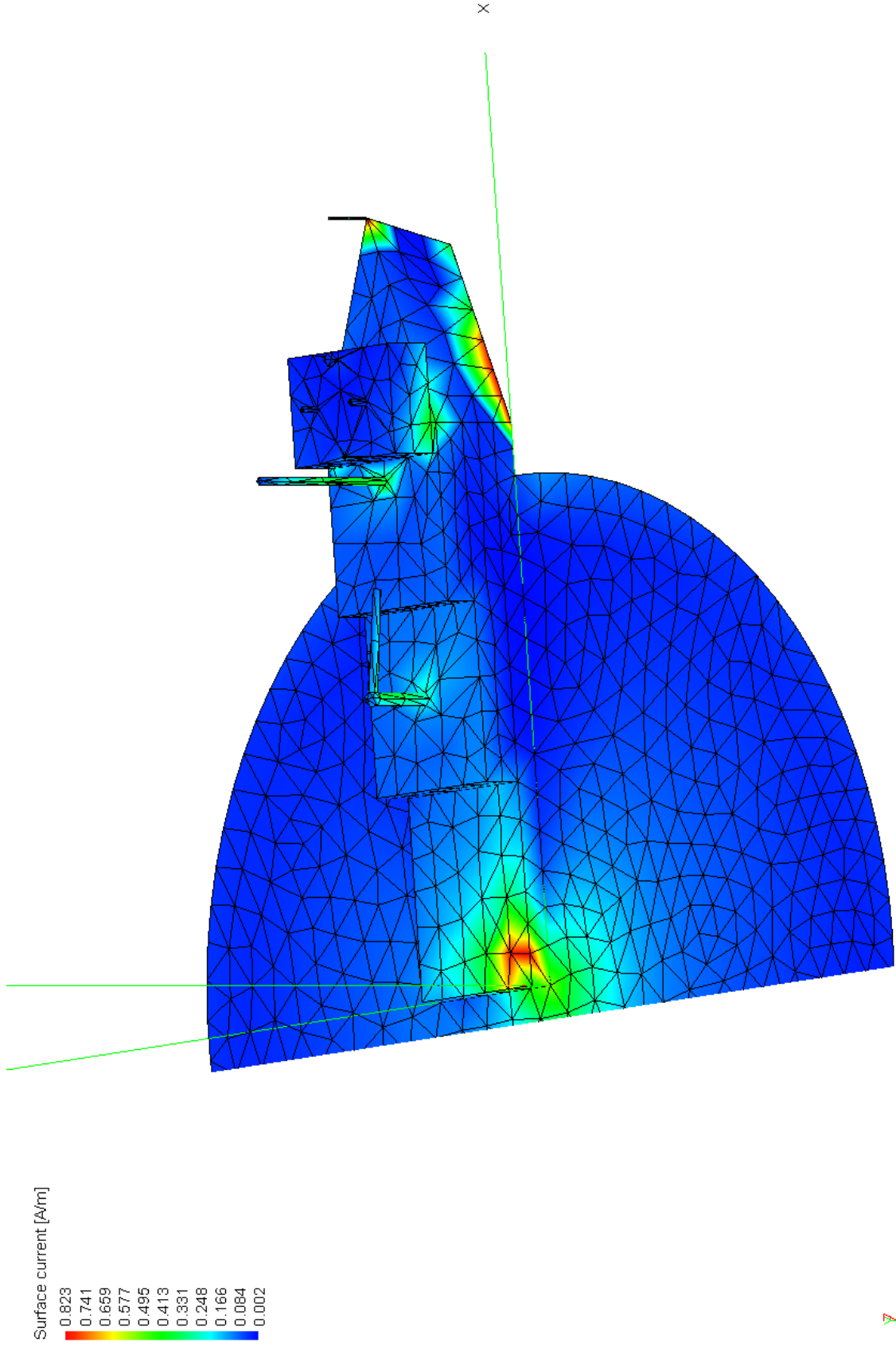
Şekil 6. 20 HF Işıma Paterni (6MHz)



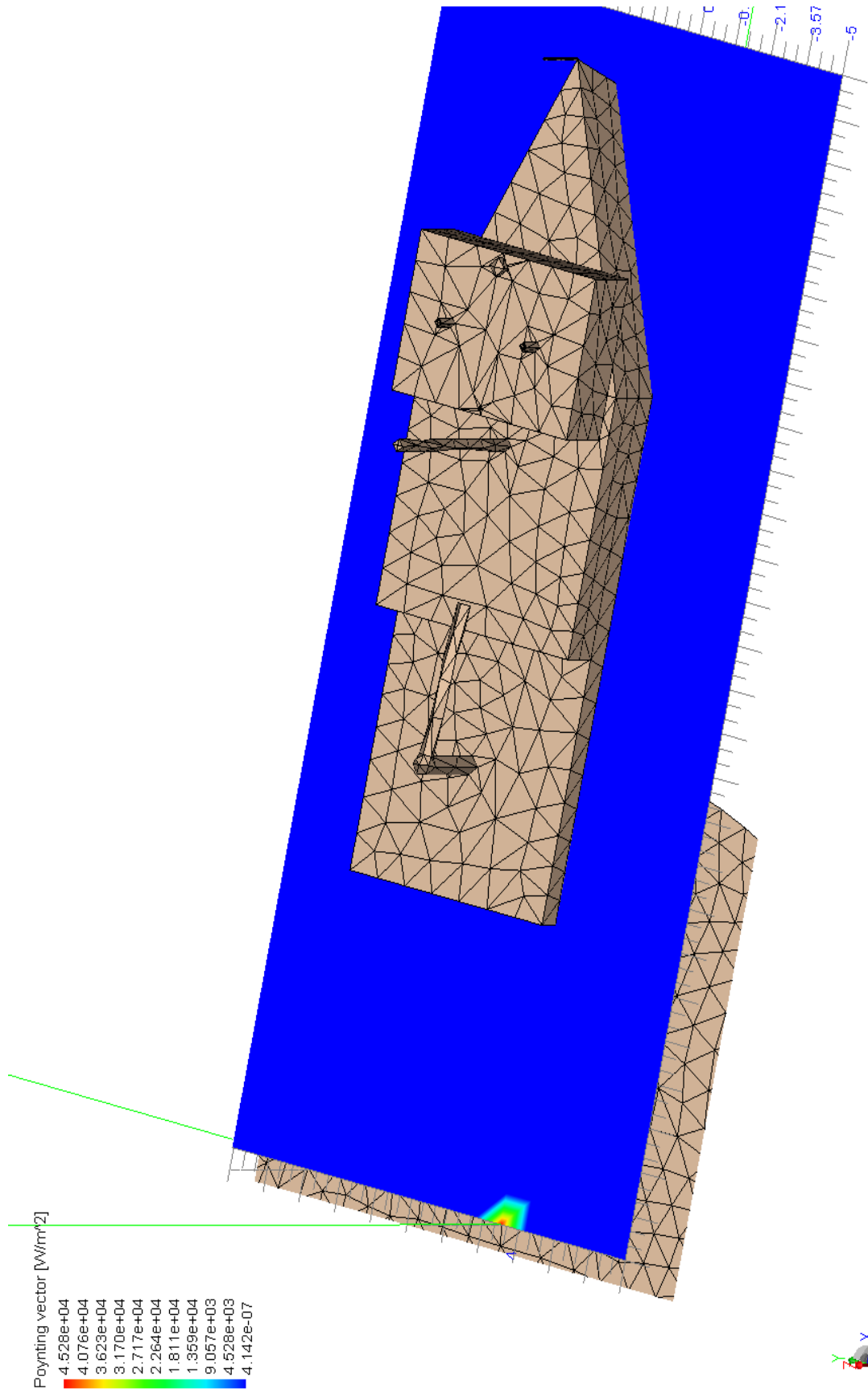
Şekil 6. 21 HF Yakın Bölge Elektrik Alanı (6MHz - V/m)



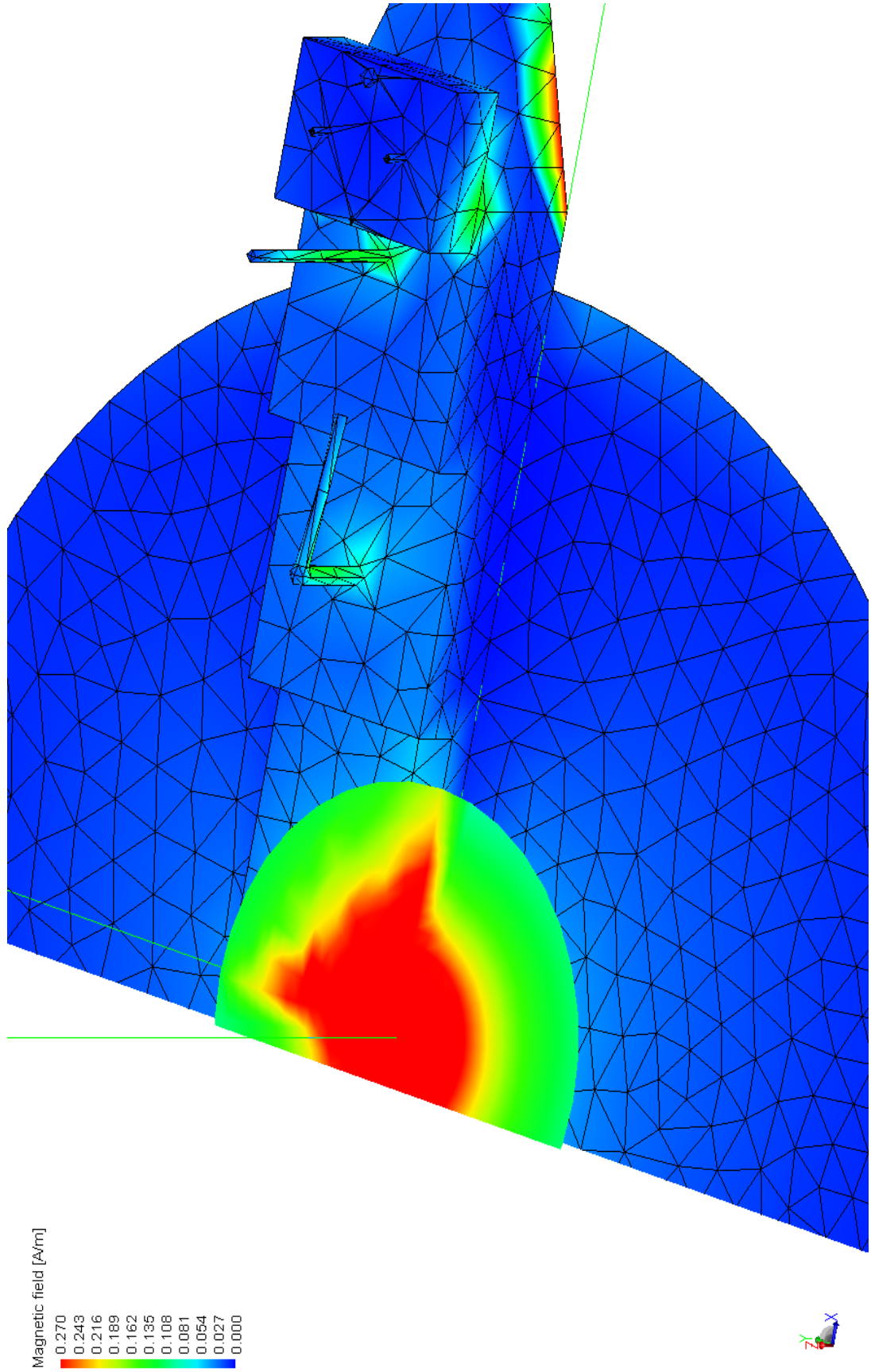
Şekil 6. 22 HF Yüzey Akımları (6MHz - A/m)



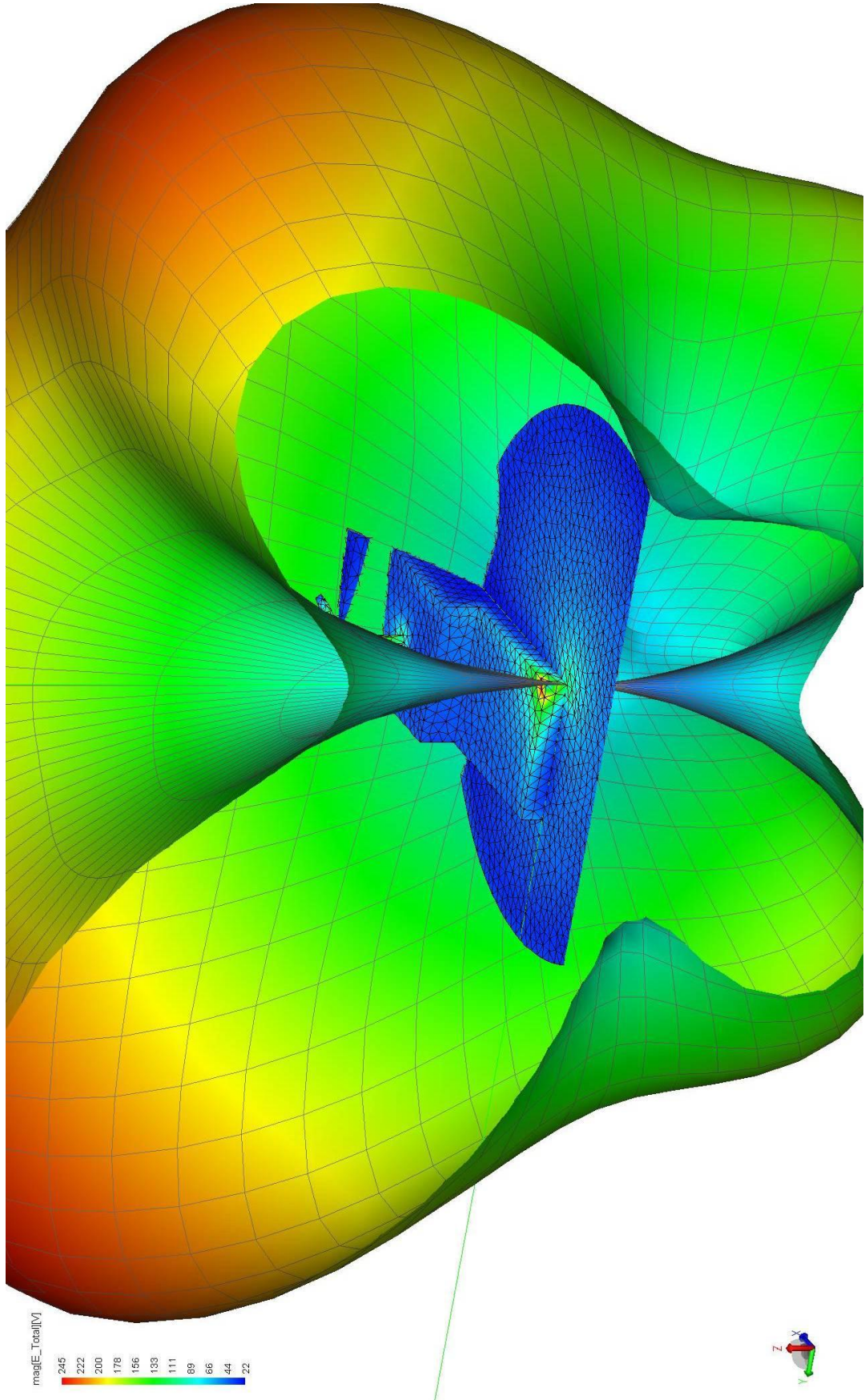
Şekil 6. 23 HF Poynting Vektörü (6MHz - W/m²)



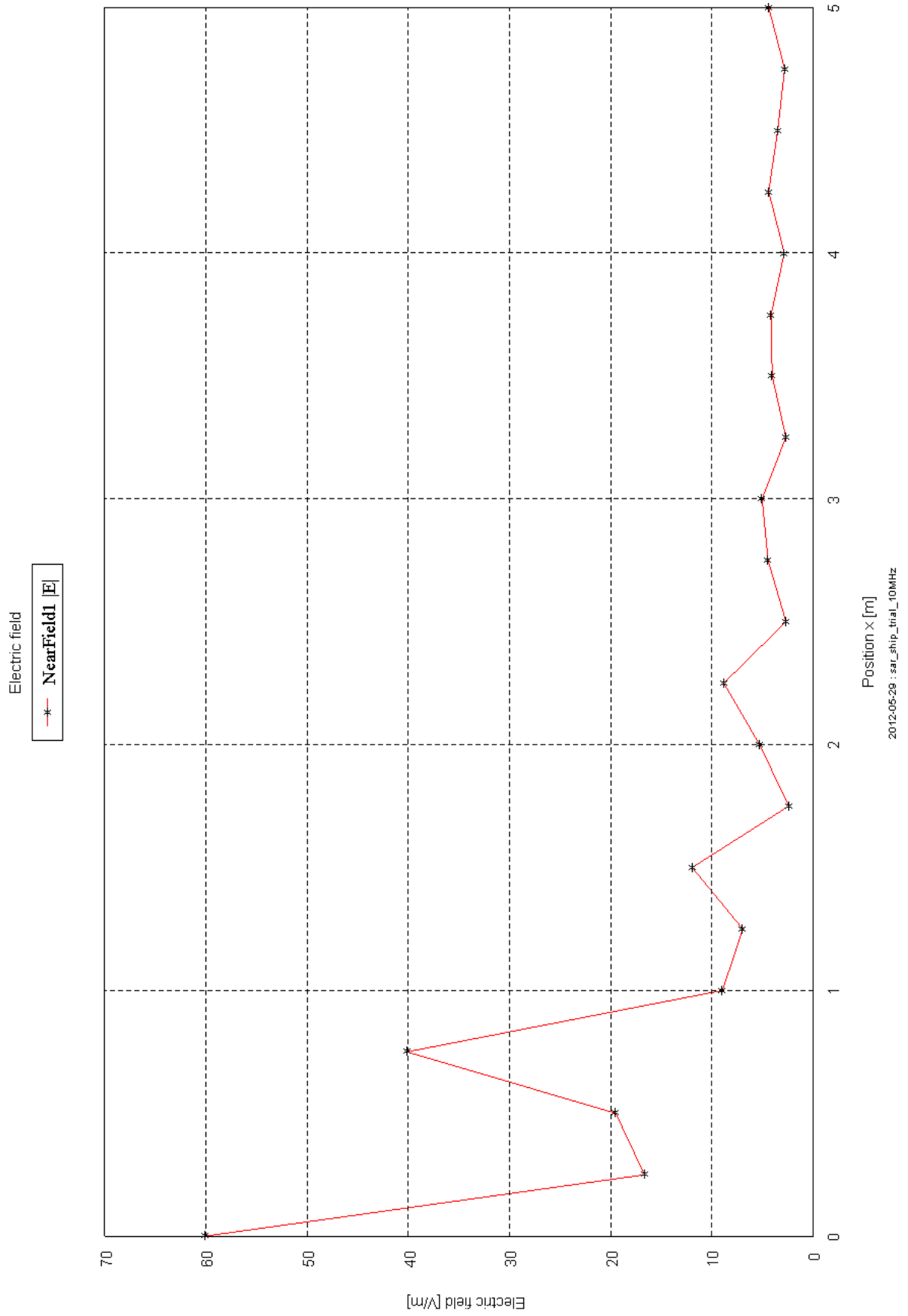
Şekil 6. 24 HF Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (6MHz)



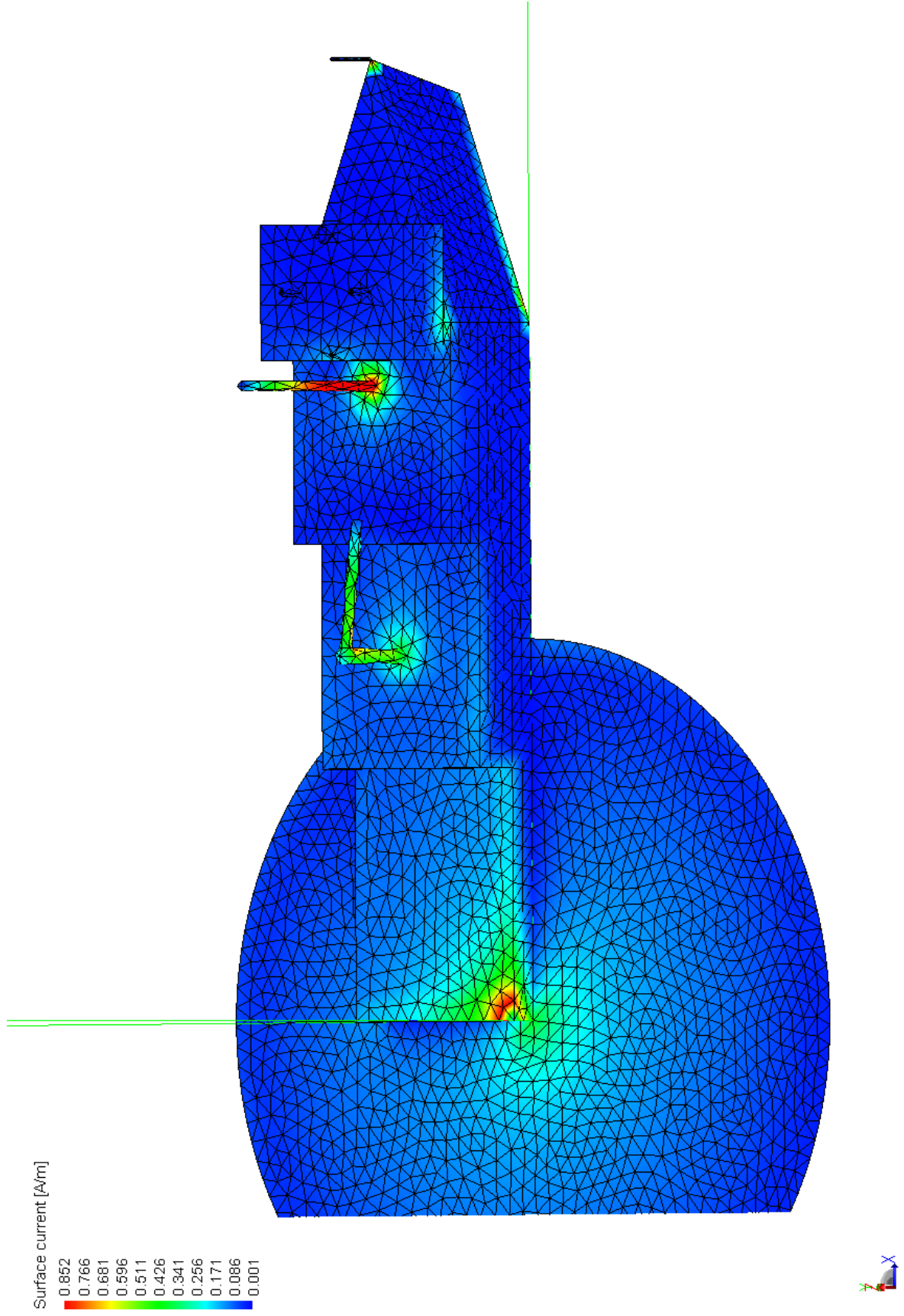
Şekil 6. 25 HF Işıma Paterni (10MHz)



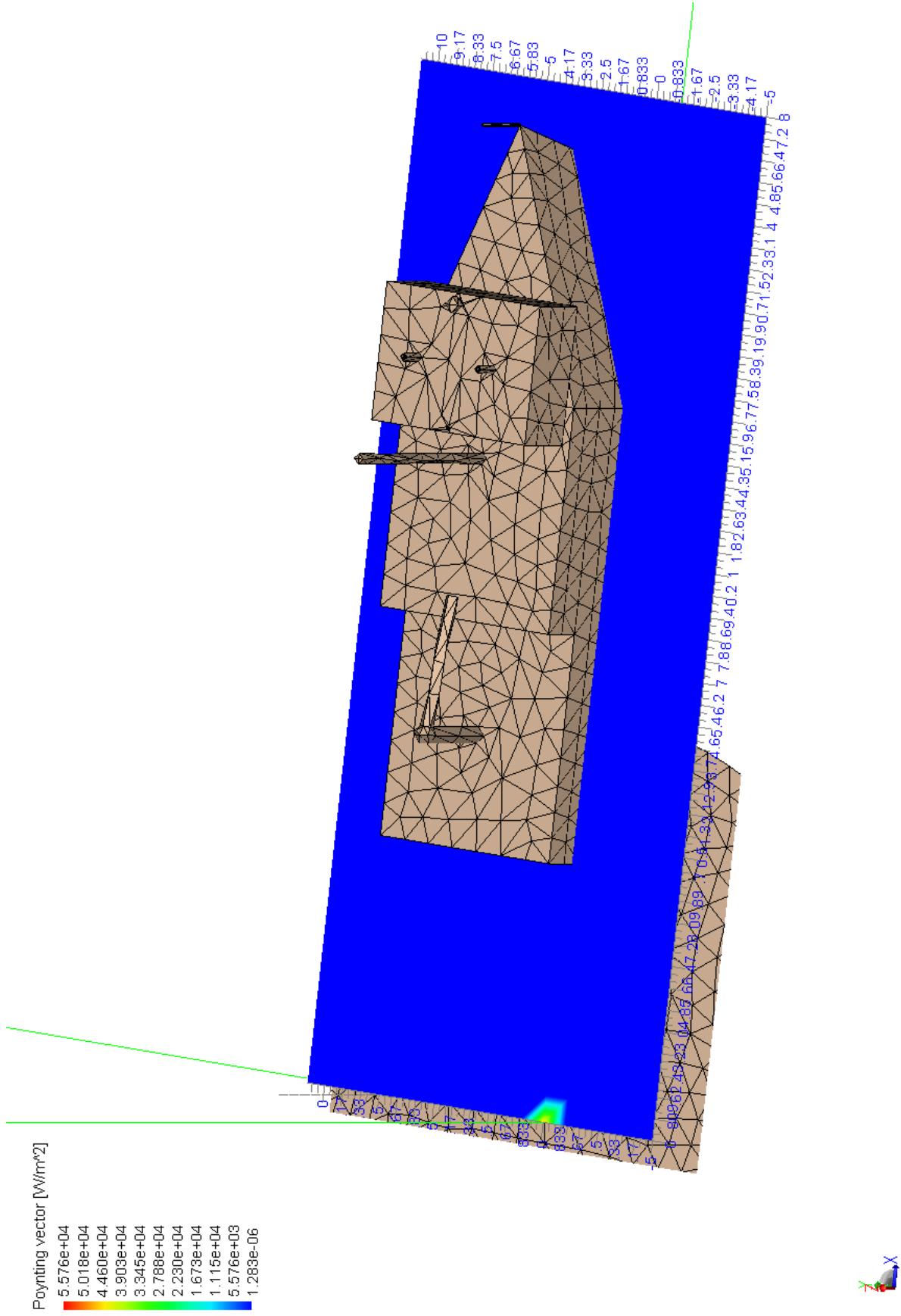
Şekil 6. 26 HF Yakın Bölge Elektrik Alanı (10MHz - V/m)



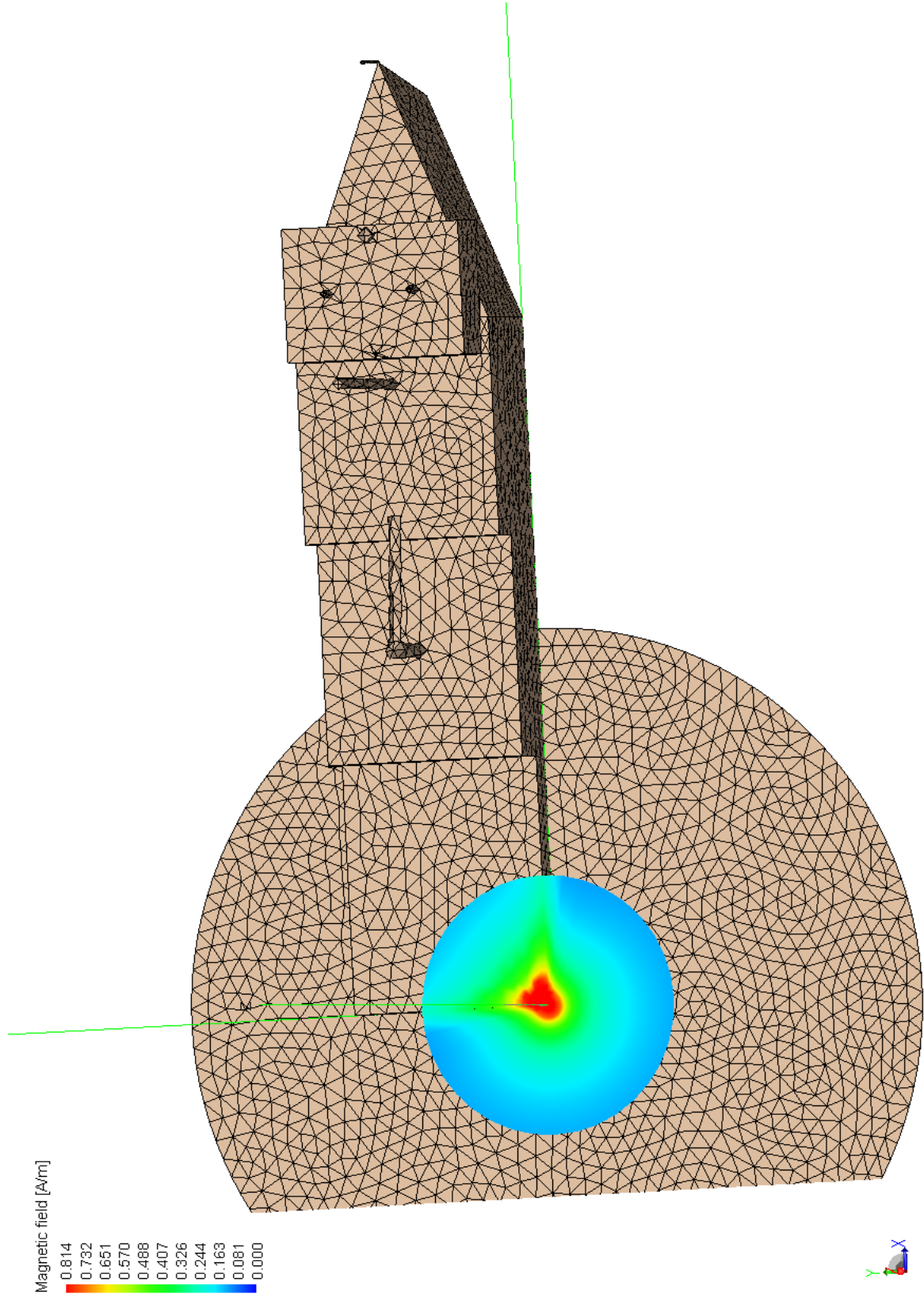
Şekil 6. 27 HF Yüzey Akımları (10MHz - A/m)



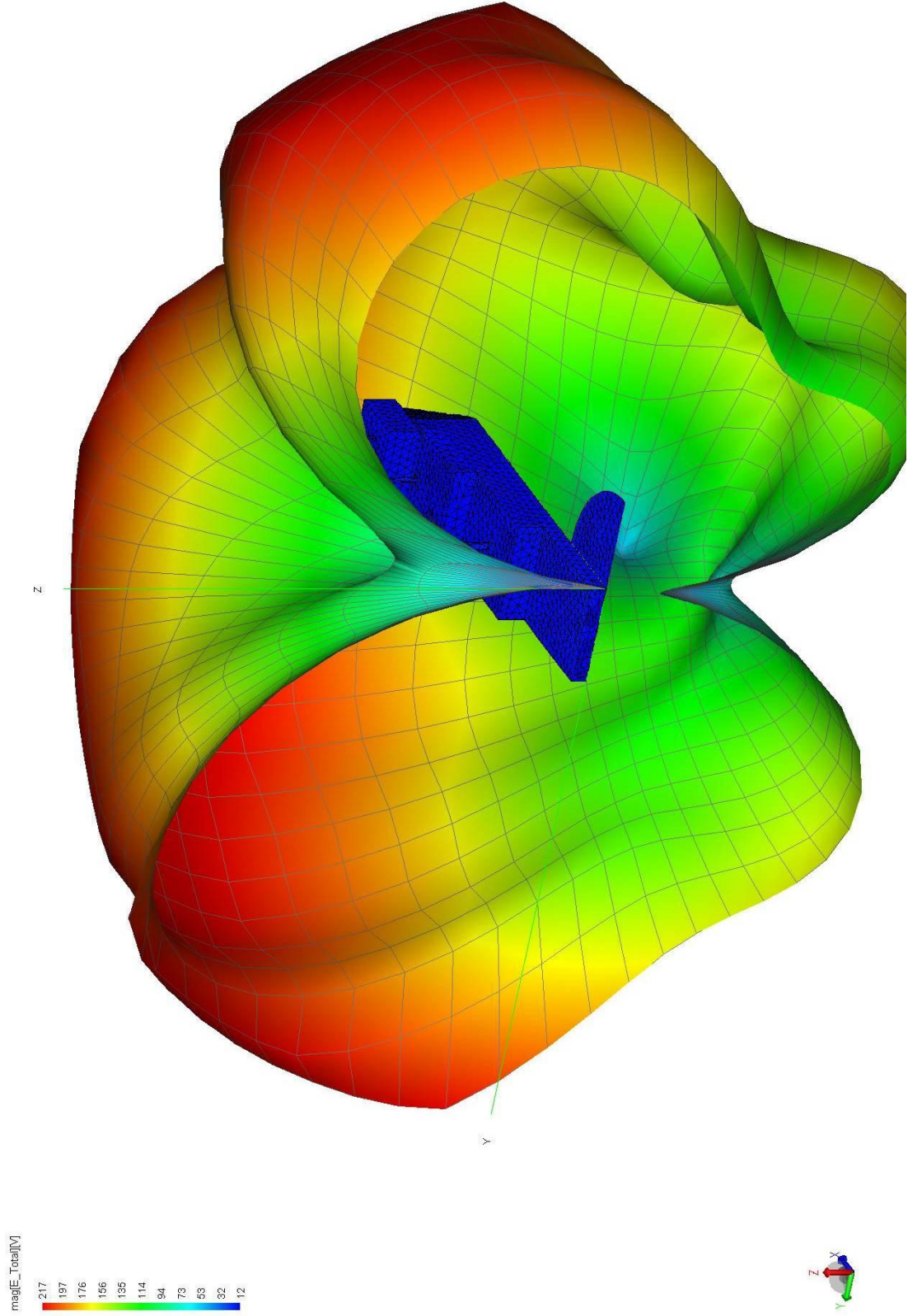
Şekil 6. 28 HF Poynting Vektörü (10MHz - W/m²)



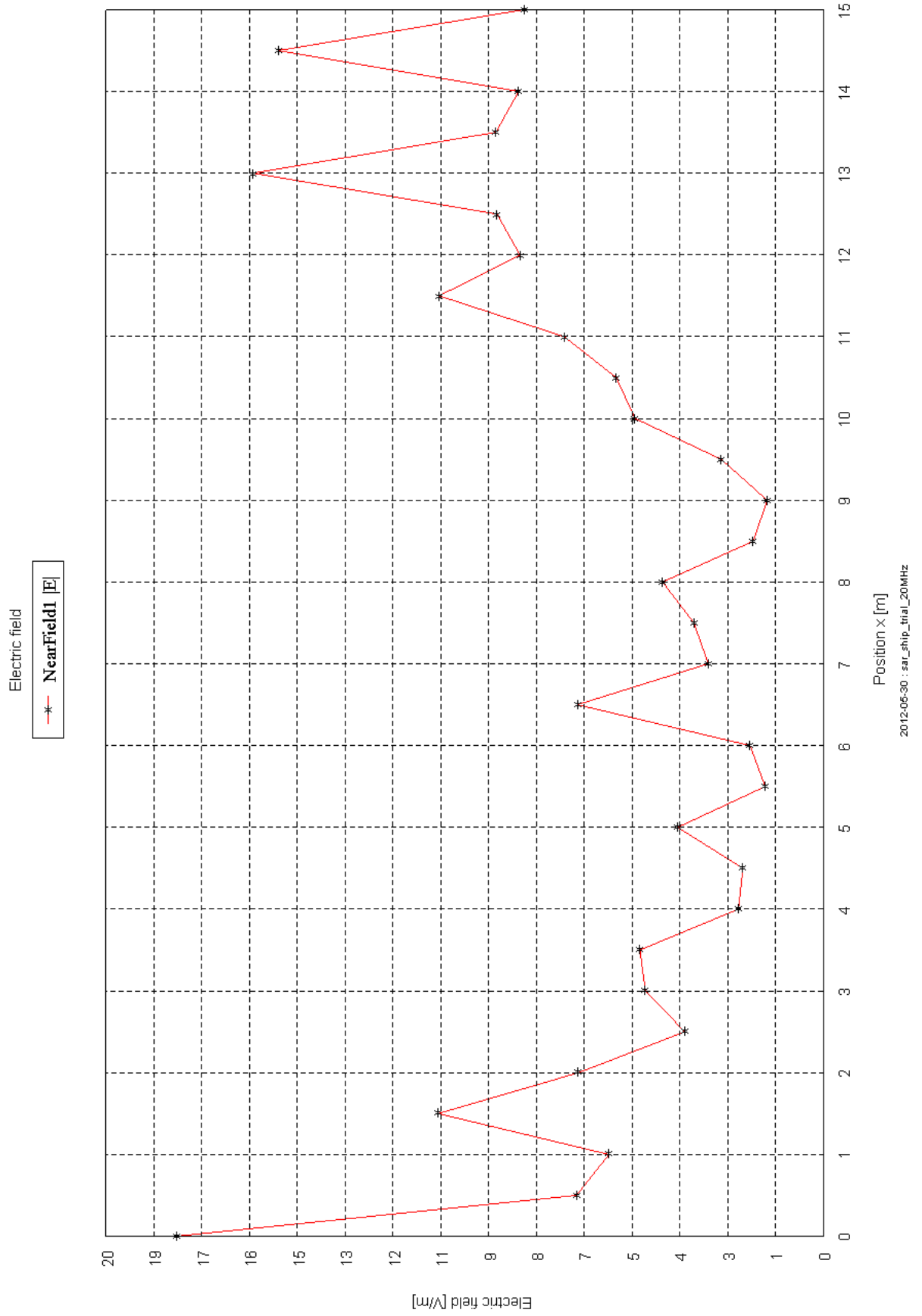
Şekil 6. 29 HF Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (10MHz)



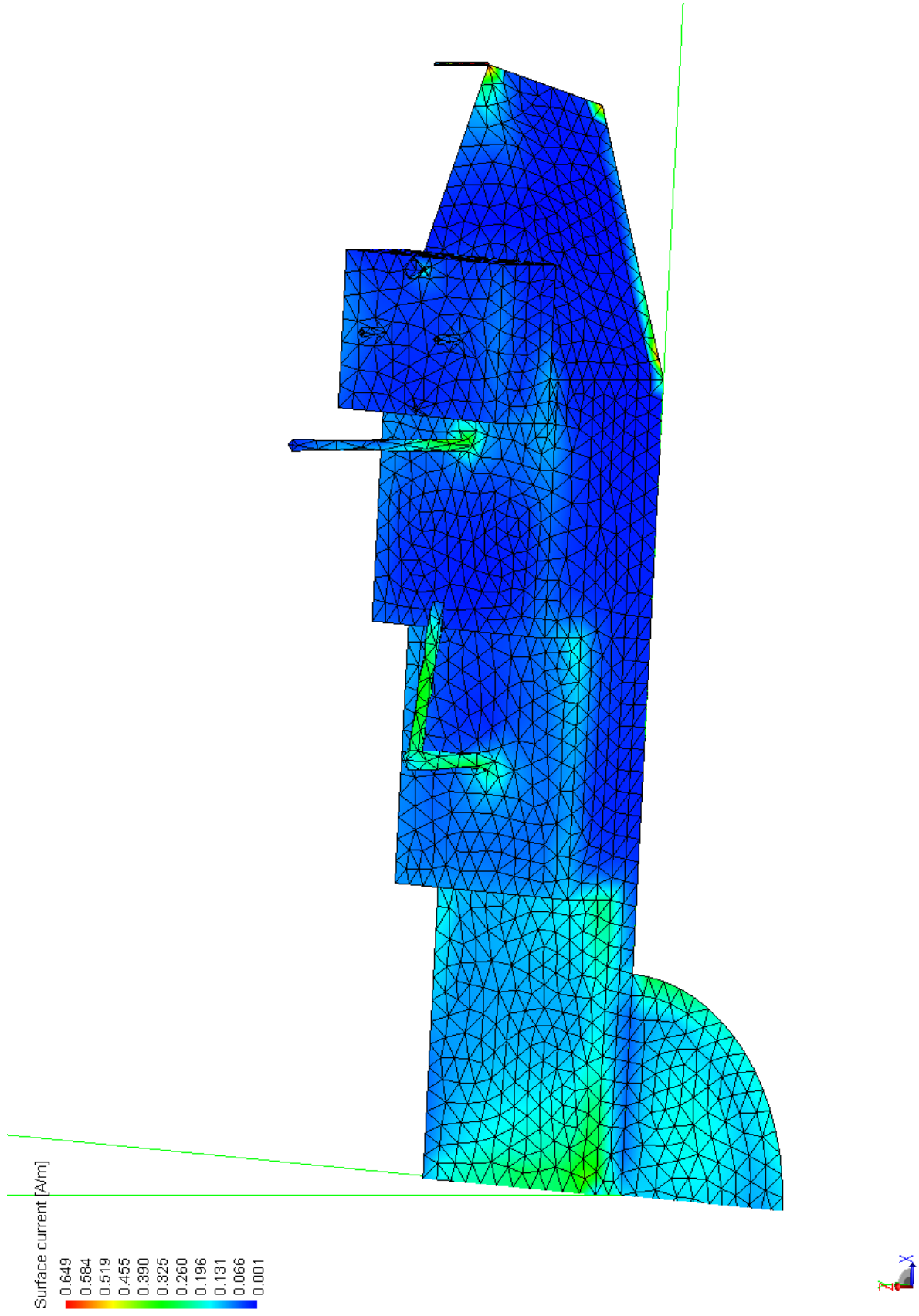
Şekil 6. 30 HF Işıma Paterni (20MHz)



Şekil 6. 31 HF Yakın Bölge Elektrik Alanı (20MHz - V/m)



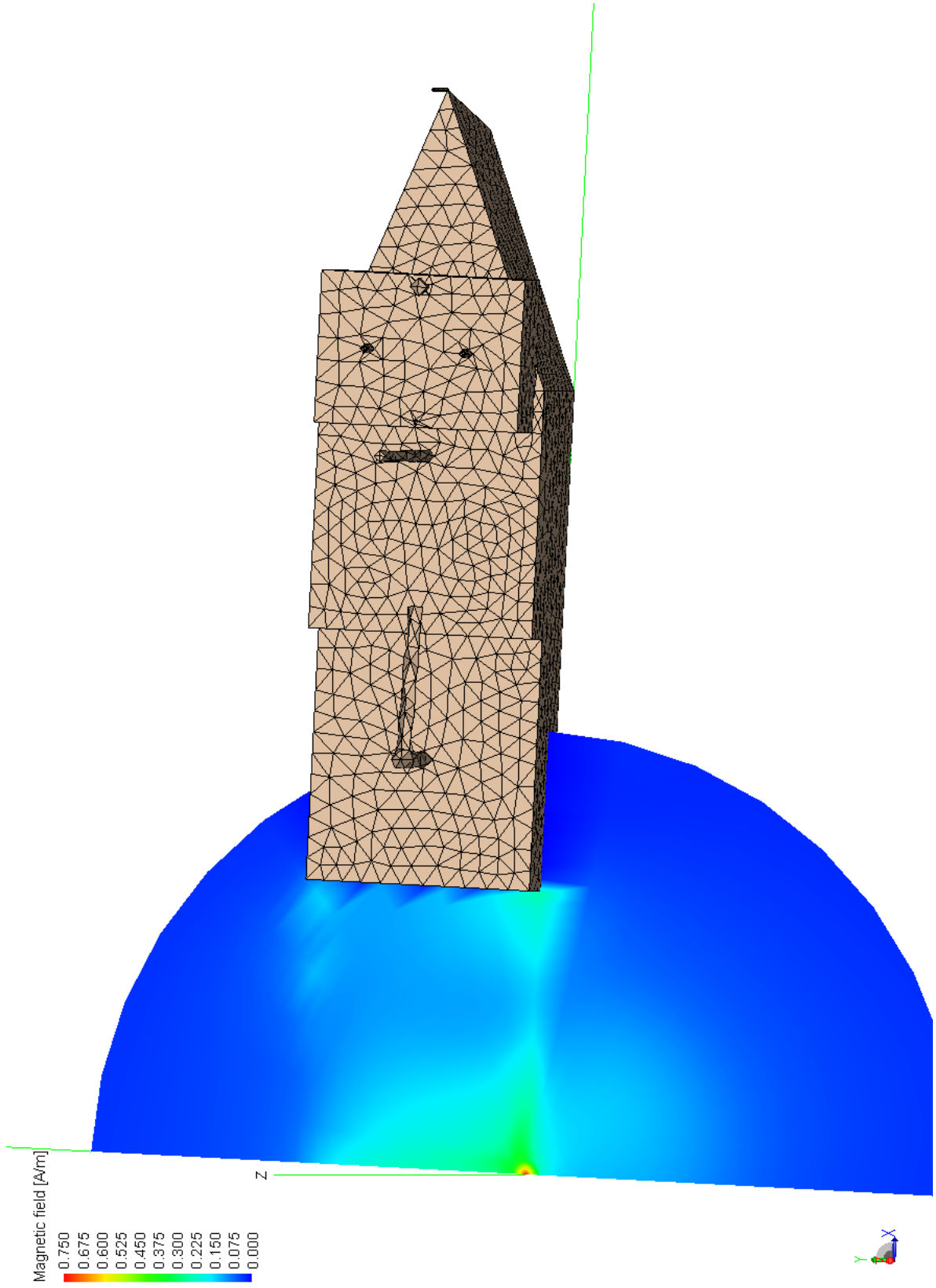
Şekil 6. 32 HF Yüzey Akımları (20MHz - A/m)



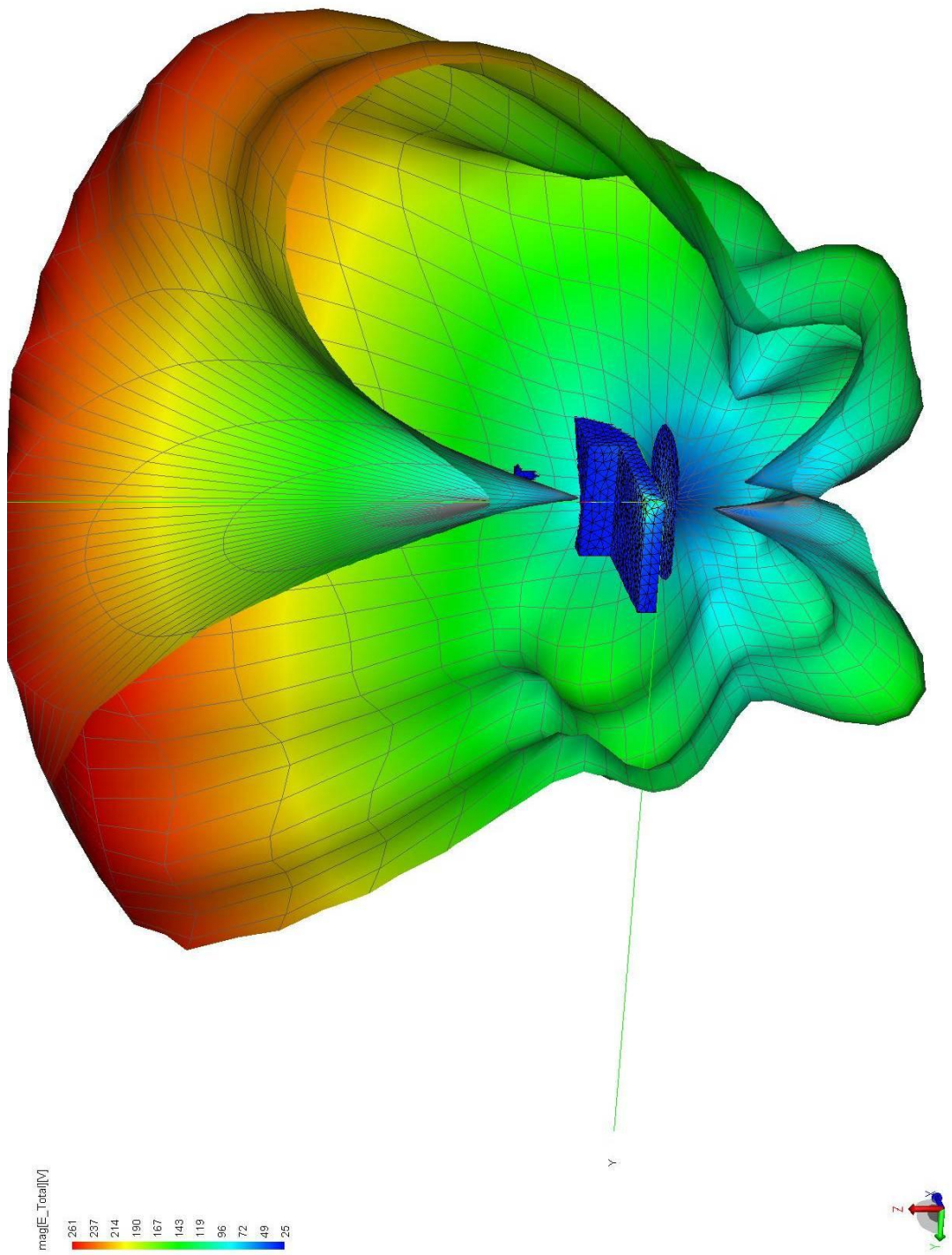
Şekil 6. 33 HF Poynting Vektörü (20MHz - W/m²)



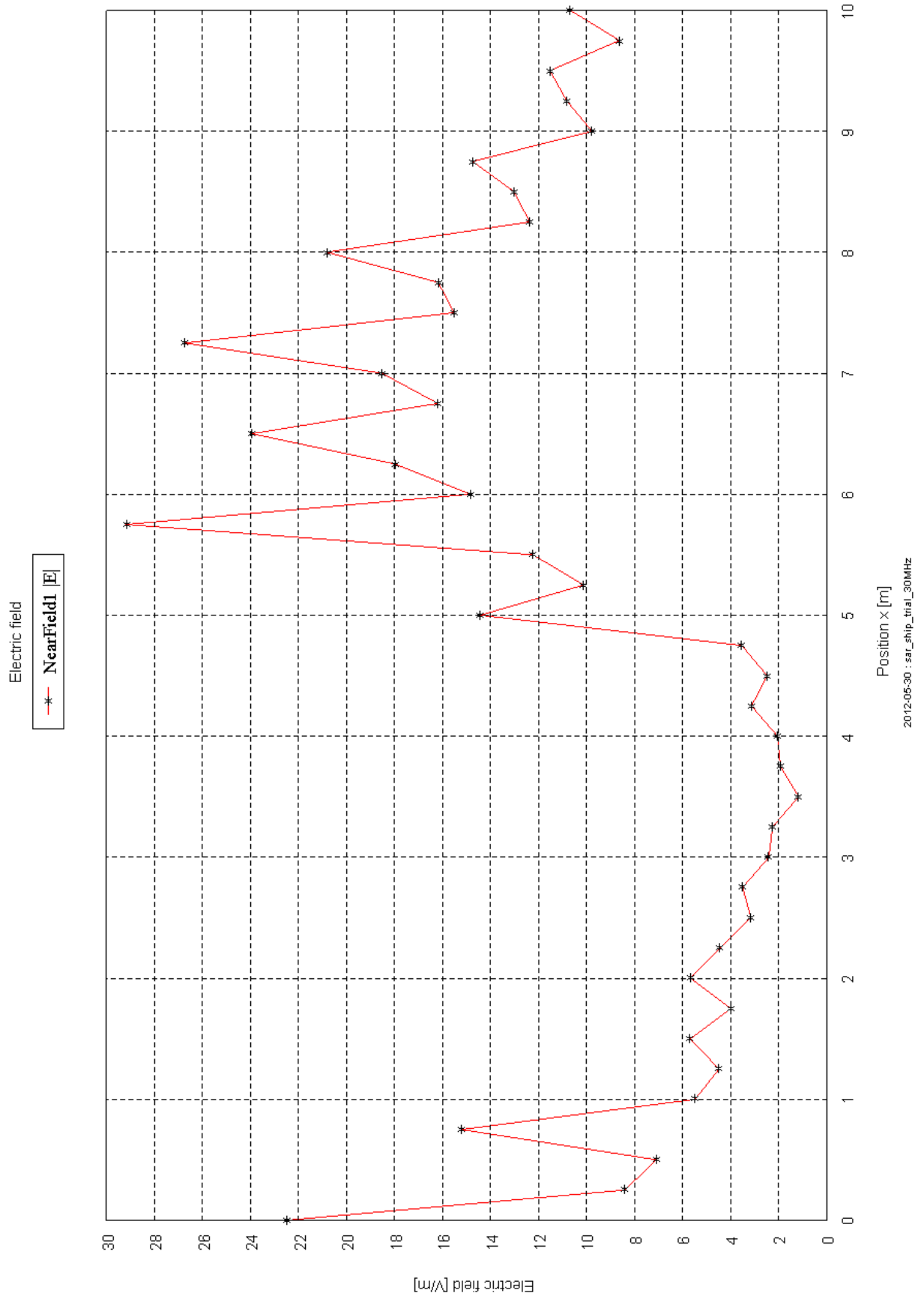
Şekil 6. 34 HF Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (20MHz)



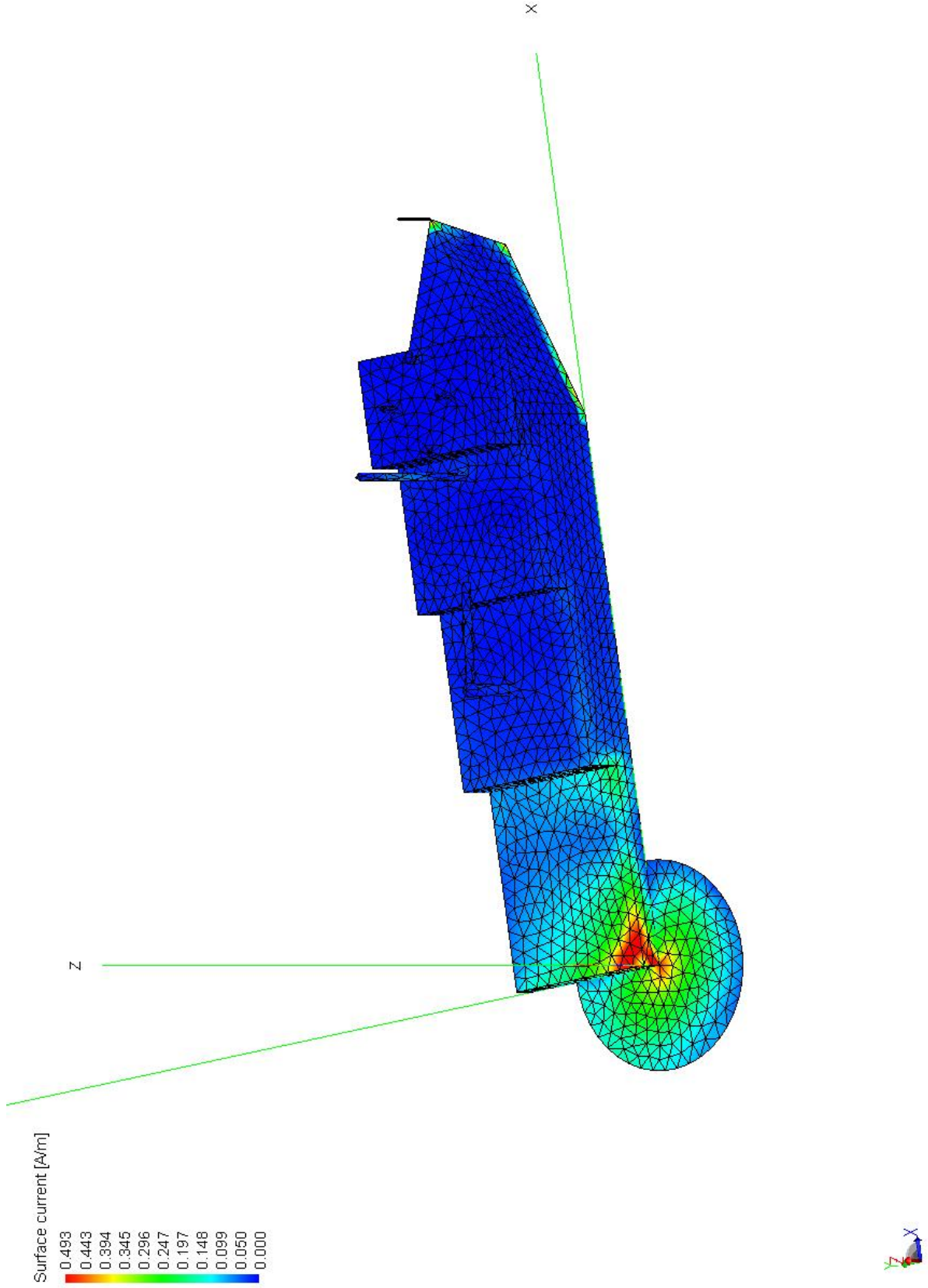
Şekil 6. 35 HF Işıma Paterni (30MHz)



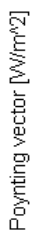
Şekil 6. 36 HF Yakın Bölge Elektrik Alanı (30MHz - V/m)



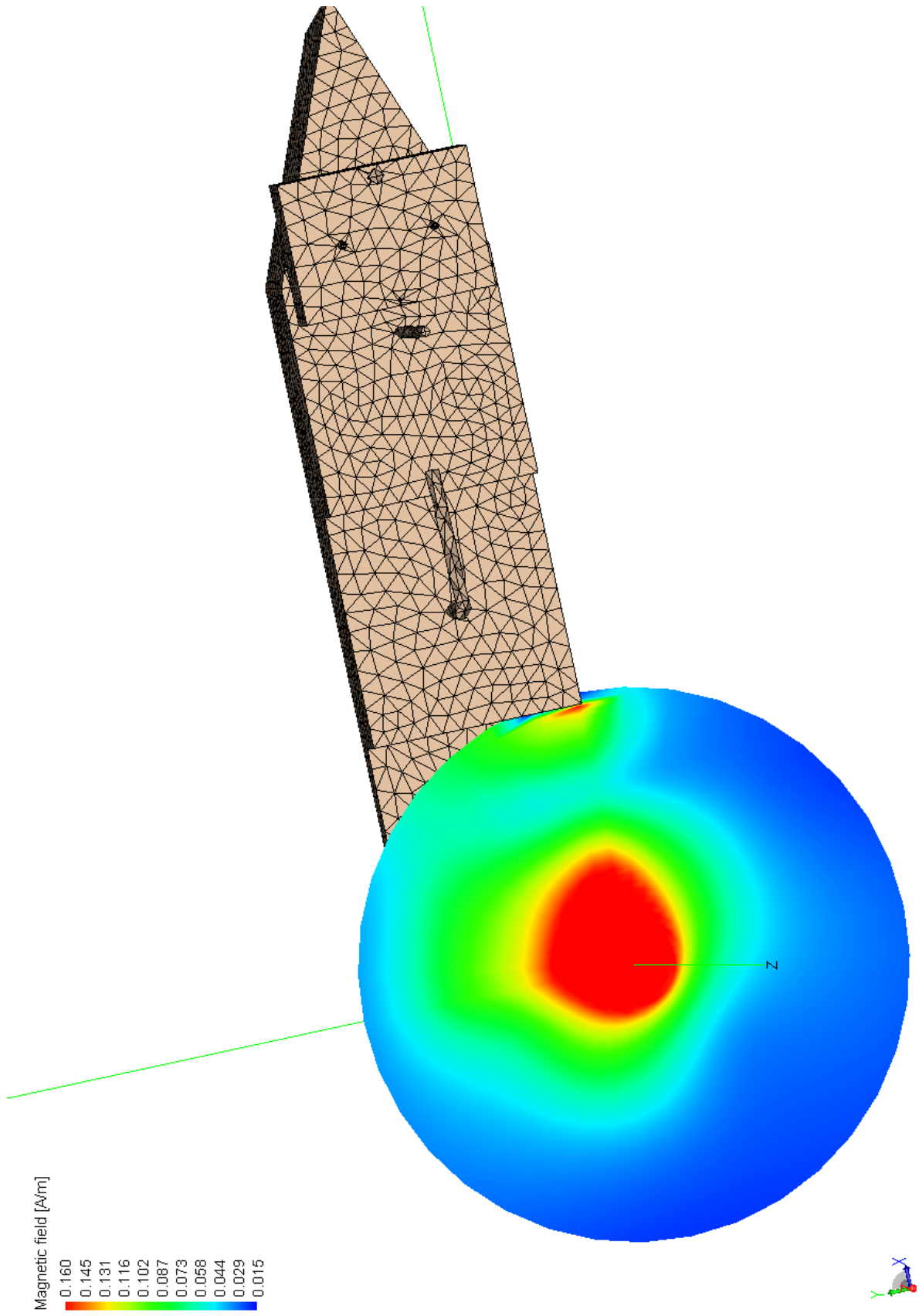
Şekil 6. 37 HF Yüzey Akımları (30MHz - A/m)



Şekil 6. 38 HF Poynting Vektörü (30MHz - W/m²)



Şekil 6. 39 HF Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (30MHz)



6.3.6.2 VHF Tx/Rx Sistemleri için Analizler

Kurtarma gemilerinde özellikle orta mesafe haberleşmesinde ve denizcilik otoritelerinin çağrılarının takibinde çok büyük önem arz eden VHF telsiz sistemleri için analizler; kullanım açısından oldukça yoğun olan 160MHz ve 170MHz bantlarında icra edilmiştir. Söz konusu bu analizler platformda Şekil (6.14) doğrultusunda planlanan anten kurulumları üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Analizler, her bir VHF telsiz sistemi ve her iki frekans bandı için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Elde edilecek analiz sonuçları, antenlerin kapsama alına girecek engellerin tespit edilmesi ve RADHAZ uyarınca güvenli mesafelerin tespit edilmesi çalışmalarına esas teşkil edecektir.

6.3.6.2.1 160MHz Tx Analizi

160 MHz analizi, VHF GMDSS ve VHF AM/FM/AIS telsizinin sürekli yayın yapacağı varsayılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda elde edilen analiz sonuçları; GMDSS telsizi için Şekil (6.40),(6.41),(6.42),(6.43) ve (6.44)'te, VHF AM/FM AIS telsizi için ise Şekil (6.45),(6.46),(6.47),(6.48) ve (6.49)'da sunulmuştur.

6.3.6.2.2 170MHz Tx Analizi

170 MHz analizi, VHF GMDSS ve VHF AM/FM/AIS telsizinin sürekli yayın yapacağı varsayılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda elde edilen analiz sonuçları; GMDSS telsizi için Şekil (6.50),(6.51),(6.52),(6.53) ve (6.54)'te, VHF AM/FM AIS telsizi için ise Şekil (6.55),(6.56),(6.57), (6.58) ve (6.59)'da sunulmuştur.

6.3.6.2.3 VHF Telsiz Sistemleri için Güvenli Mesafeler

Platformda kullanılması planlanan telsiz sistemleri için önceki bölümlerde gerçekleştirilen analizler neticesinde oluşturulan güvenli mesafeler Çizelge (6.9)'da sunulmuştur. Bu kapsamda, söz konusu çizelge detaylı olarak incelenecek olursa; HERP standardında atıfta bulunulan sınır değerlere yaklaşık 1m'lik mesafelerde ulaşılabilirdiği görülmektedir.

Telsizlerin kullanım karakteristikleri göz önünde bulundurularak VHF GMDSS telsizinin platform ana direğine yerleştirilmiş olması personelin bulunacağı mahallerden azami uzaklıkta olmasını sağlamıştır. Bu nedenle söz konusu telsiz için güvenli mesafeler işaretlenmeyecektir. VHF AM/FM/AIS telsizi için tespit edilen güvenli mesafeler; söz konusu telsiz anteninin güverte üstü mahallere oldukça yakın olmasından ötürü platform tabanına işaretlenerek, platform personelinin uyarılması sağlanacaktır.

Çizelge 6.9 VHF Telsiz Sistemleri İçin Güvenli Mesafeler (HERP-RADHAZ)

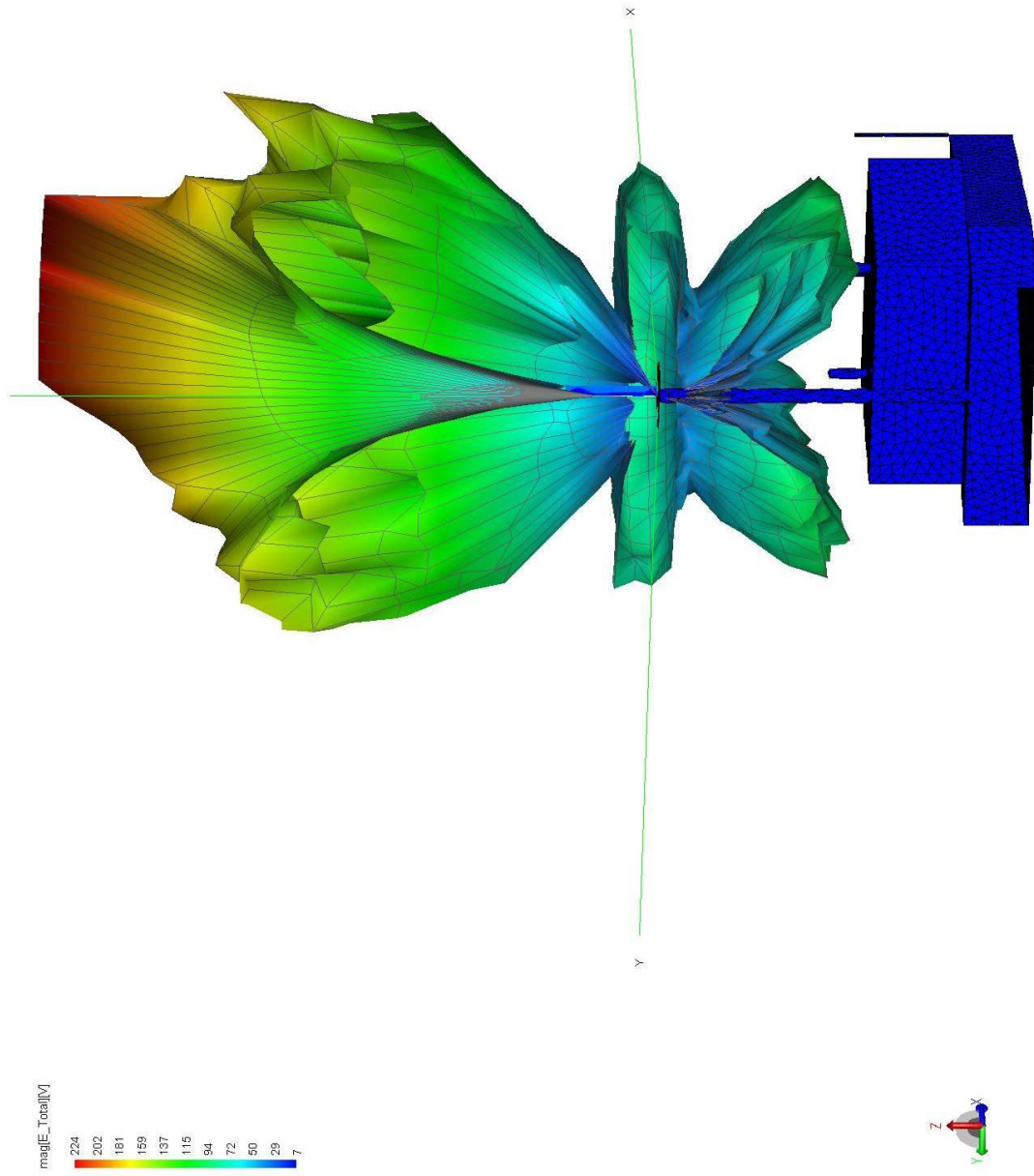
VHF Yayını İçin Güvenli Mesafeler (HERP-RADHAZ)							
	Frekans (MHz)	INIRC/IRPA Standardı Referans Değeri (V/m)	INIRC/IRPA Standardı Referans Değeri (W/m ²)	INIRC/IRPA Standardı Referans Değeri (A/m)	Güvenli Mesafe (E) (m)	Güvenli Mesafe (W/m ²) (m)	Güvenli Mesafe (A/m) (m)
VHF GMDSS	160	61,00	10,00	0,16	0,55	0,45	0,85
	170	61,00	10,00	0,16	0,35	0,45	1,00
VHF AM/FM AIS	160	61,00	10,00	0,16	0,45	0,83	0,50
	170	61,00	10,00	0,16	0,95	1,00	0,70

6.3.6.3 GSM Bandı için Analizler ve Güvenli Mesafeler

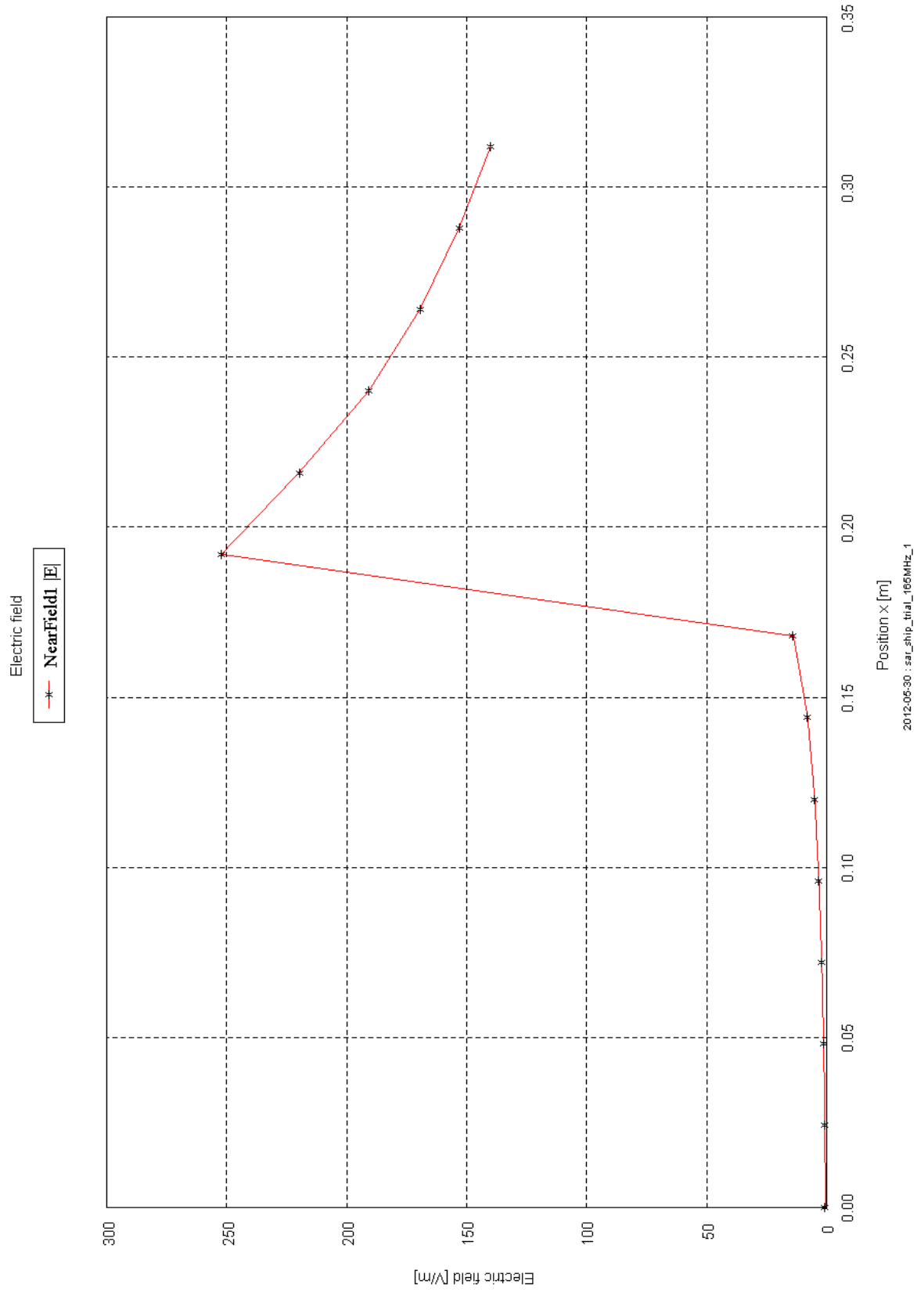
900 MHz analizi kapsamında GSM sistemleri kullanımı için gemide kullanımı planlanan harici anten tertibatının sürekli yayında kalacağı varsaymıştır. Özellikle kıyıya yakın ve karasal yayının alınabildiği noktalarda (Yaklaşık 7km menzil) kolay kullanım imkanı nedeniyle GSM sistemleri tesis edilmiştir. Söz konusu bu sistemler için gerçekleştirilen EM analizi sonuçları Şekil (6.60), (6.61) ve (6.62)'de sunulmuştur.

Gerçekleştirilen analizler neticesinde GSM bandı sistemleri için oluşturulan güvenli mesafeler Çizelge (6.10)'da sunulmuştur. GSM yayınları için güvenli mesafelerin antenden itibaren asgari 1.20m civarı olacağı tespit edilmiştir.

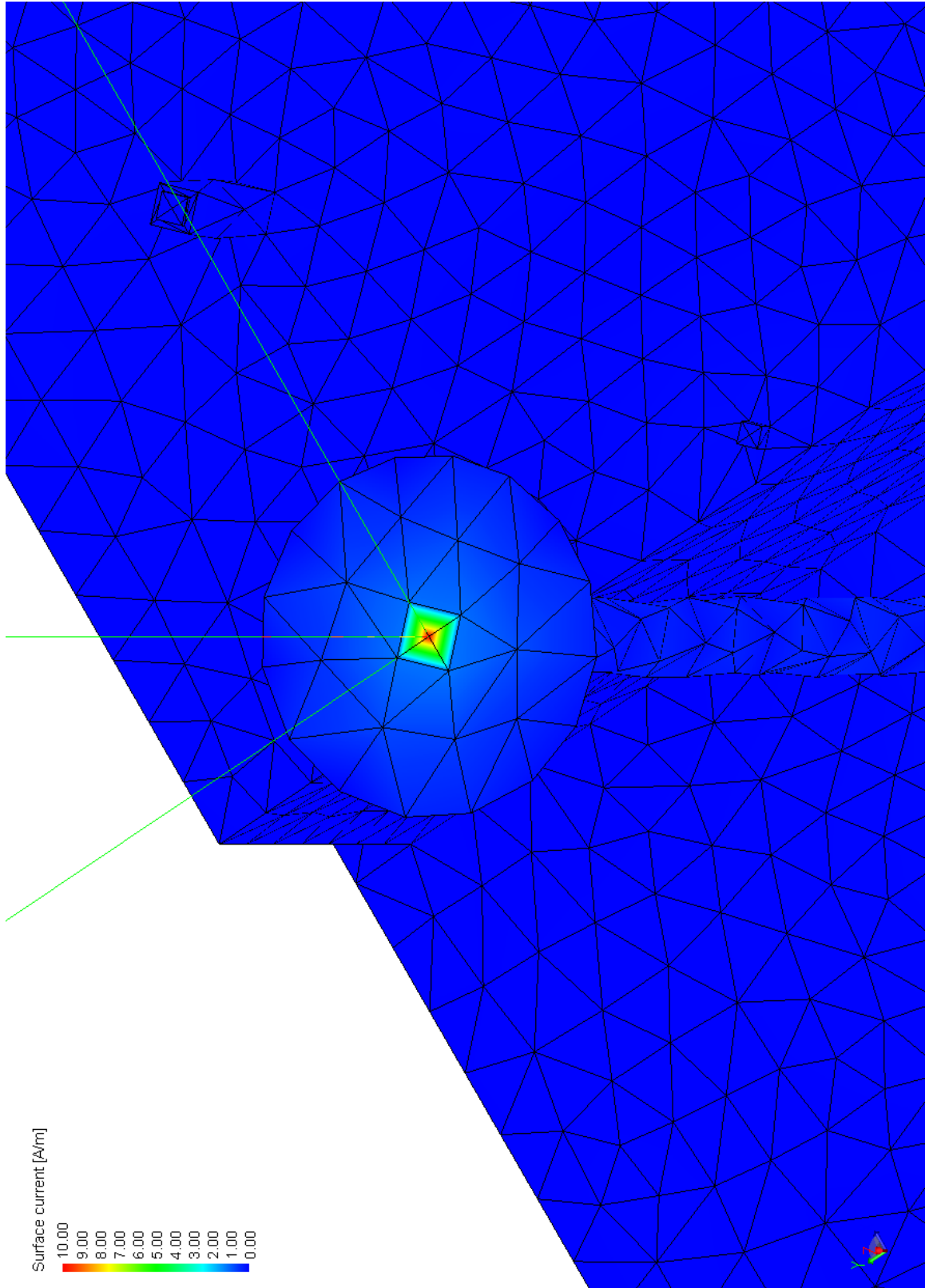
Şekil 6. 40 VHF GMDSS Işıma Paterni (160MHz)



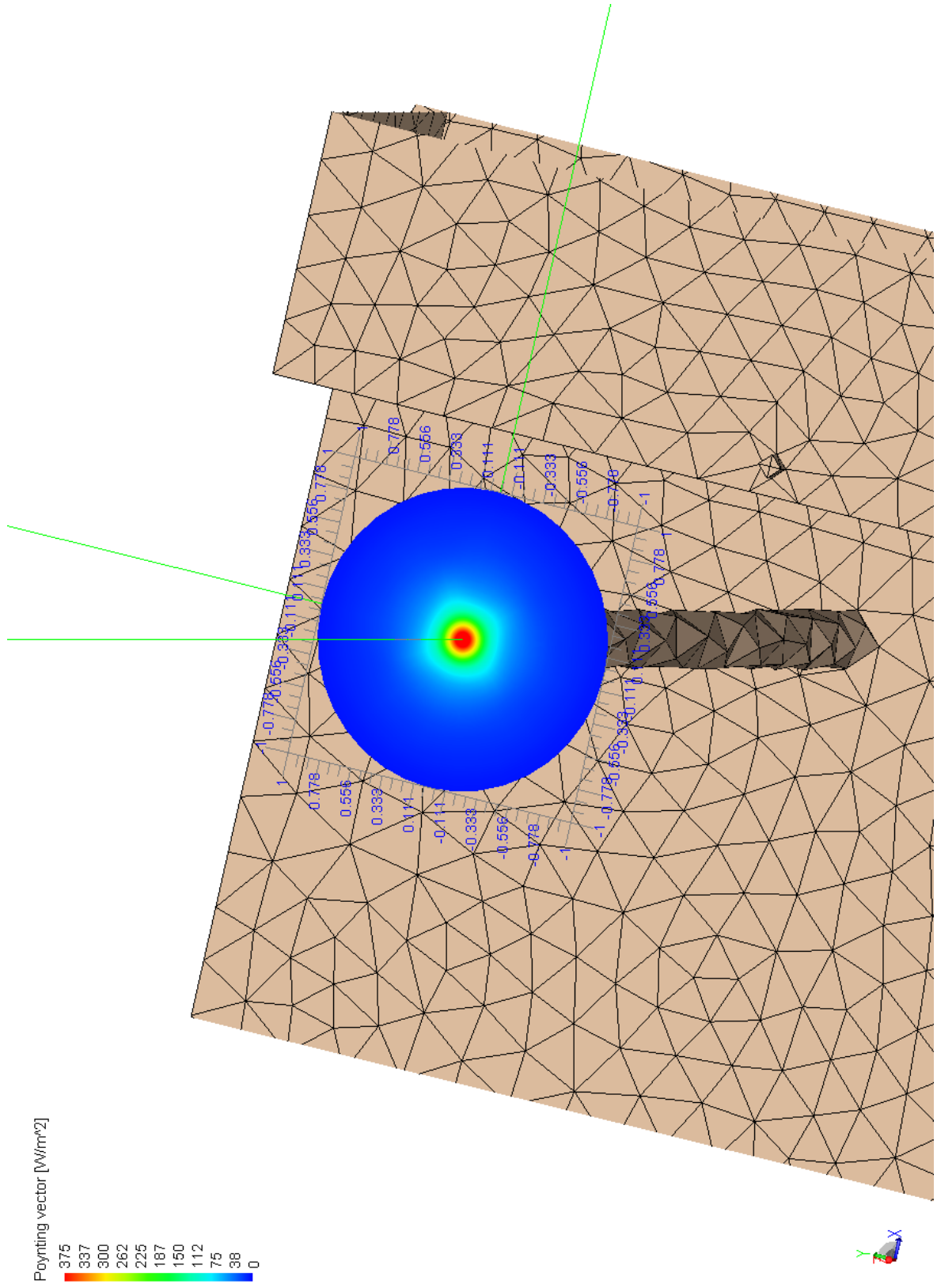
Şekil 6. 41 VHF GMDSS Yakın Bölge Elektrik Alanı (160MHz - V/m)



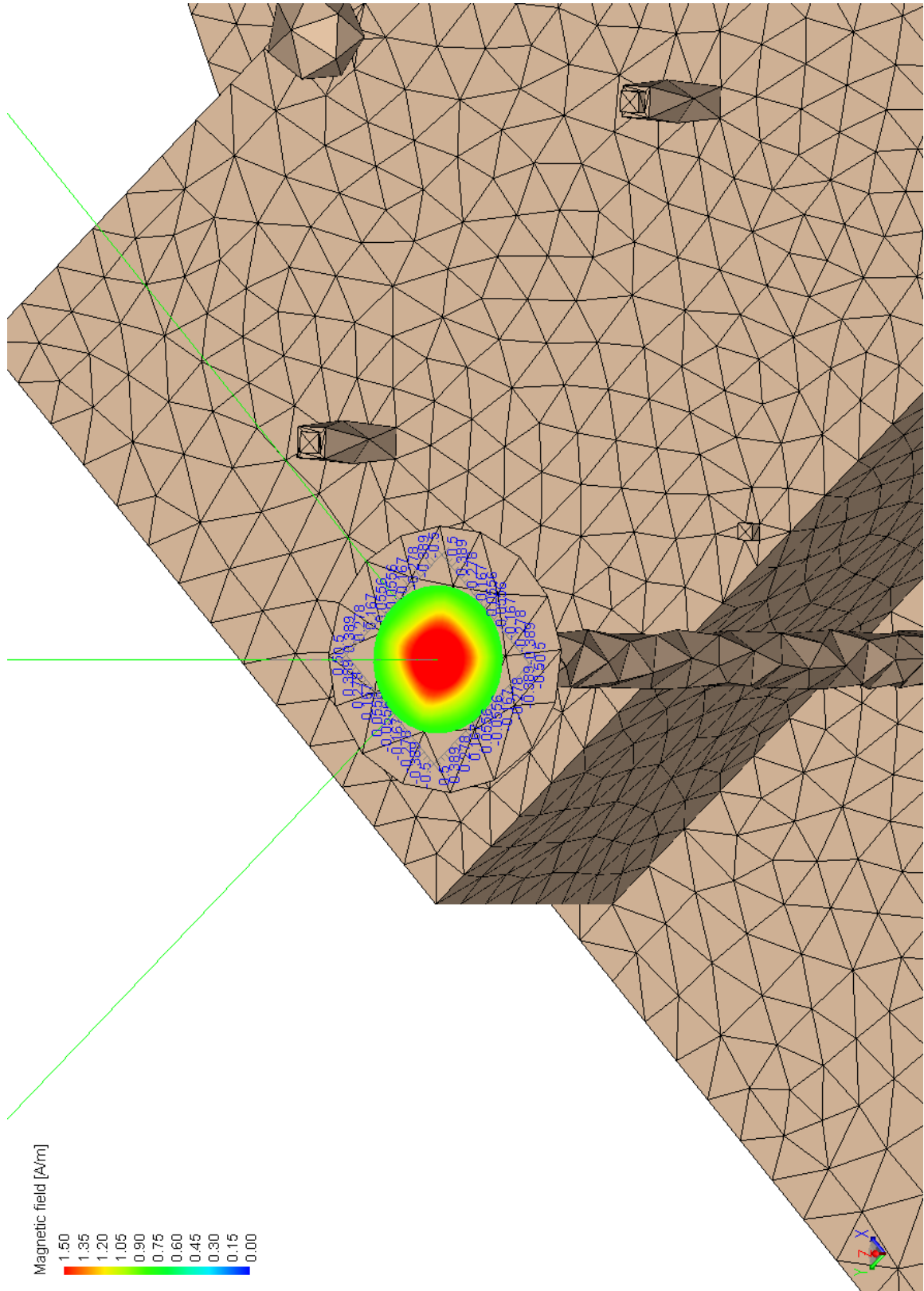
Şekil 6. 42 VHF GMDSS Yüzey Akımları (160MHz - A/m)



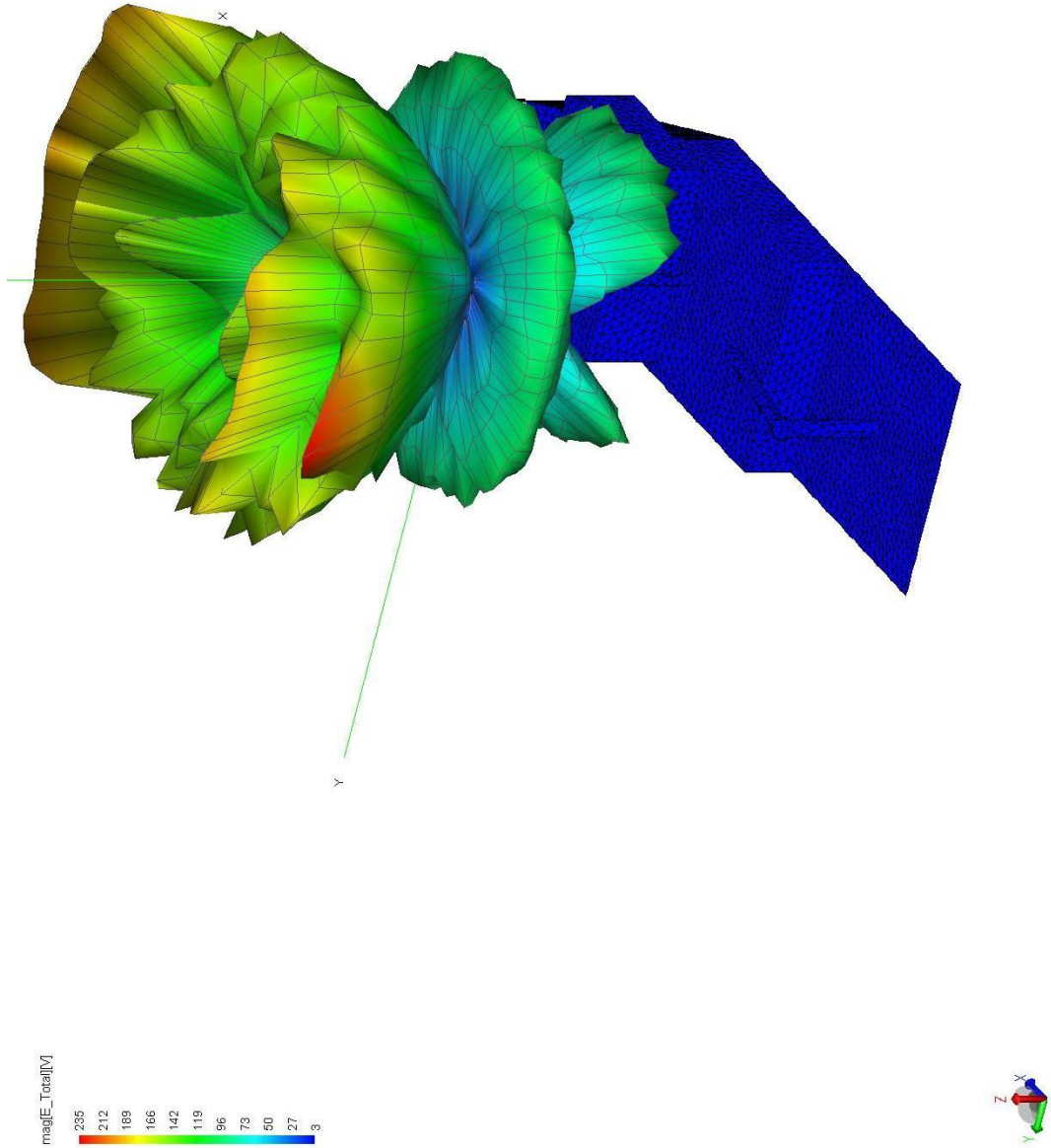
Şekil 6. 43 VHF GMDSS Poynting Vektörü (160MHz - W/m²)



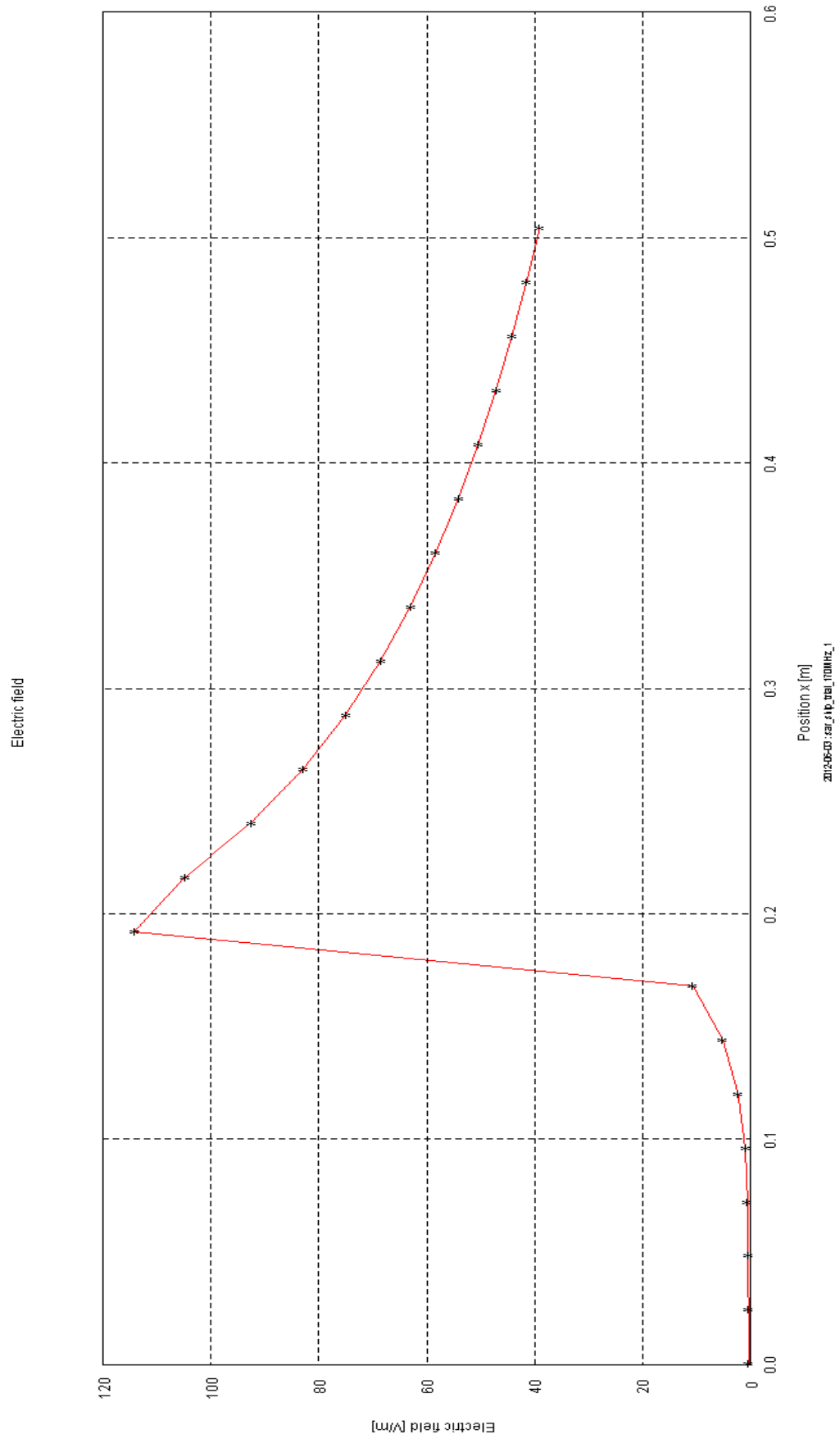
Şekil 6. 44 VHF GMDSS Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (160MHz)



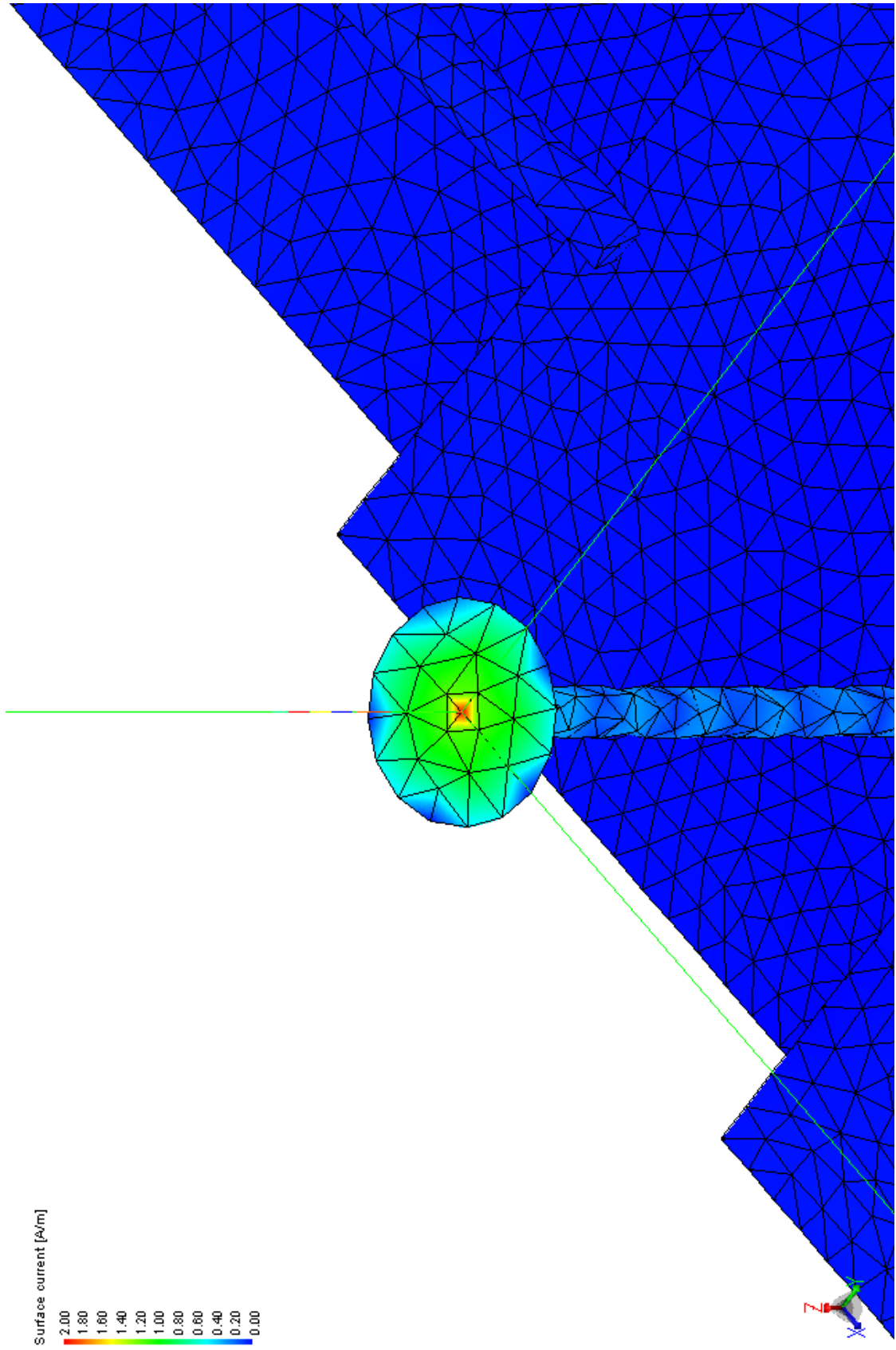
Şekil 6. 45 VHF GMDSS Işıma Paterni (170MHz)



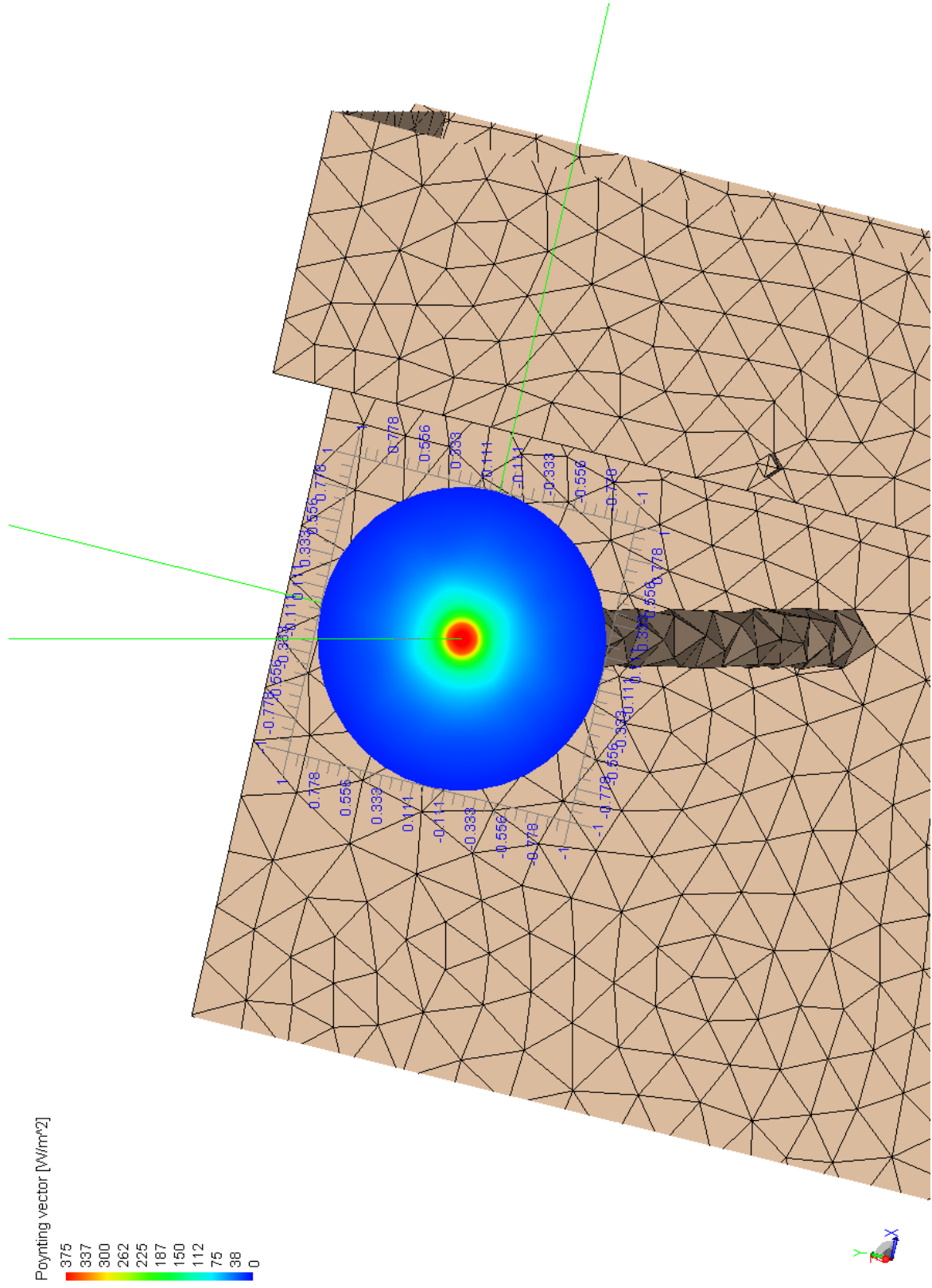
Şekil 6. 46 VHF GMDSS Yakın Bölge Elektrik Alanı (170MHz - V/m)



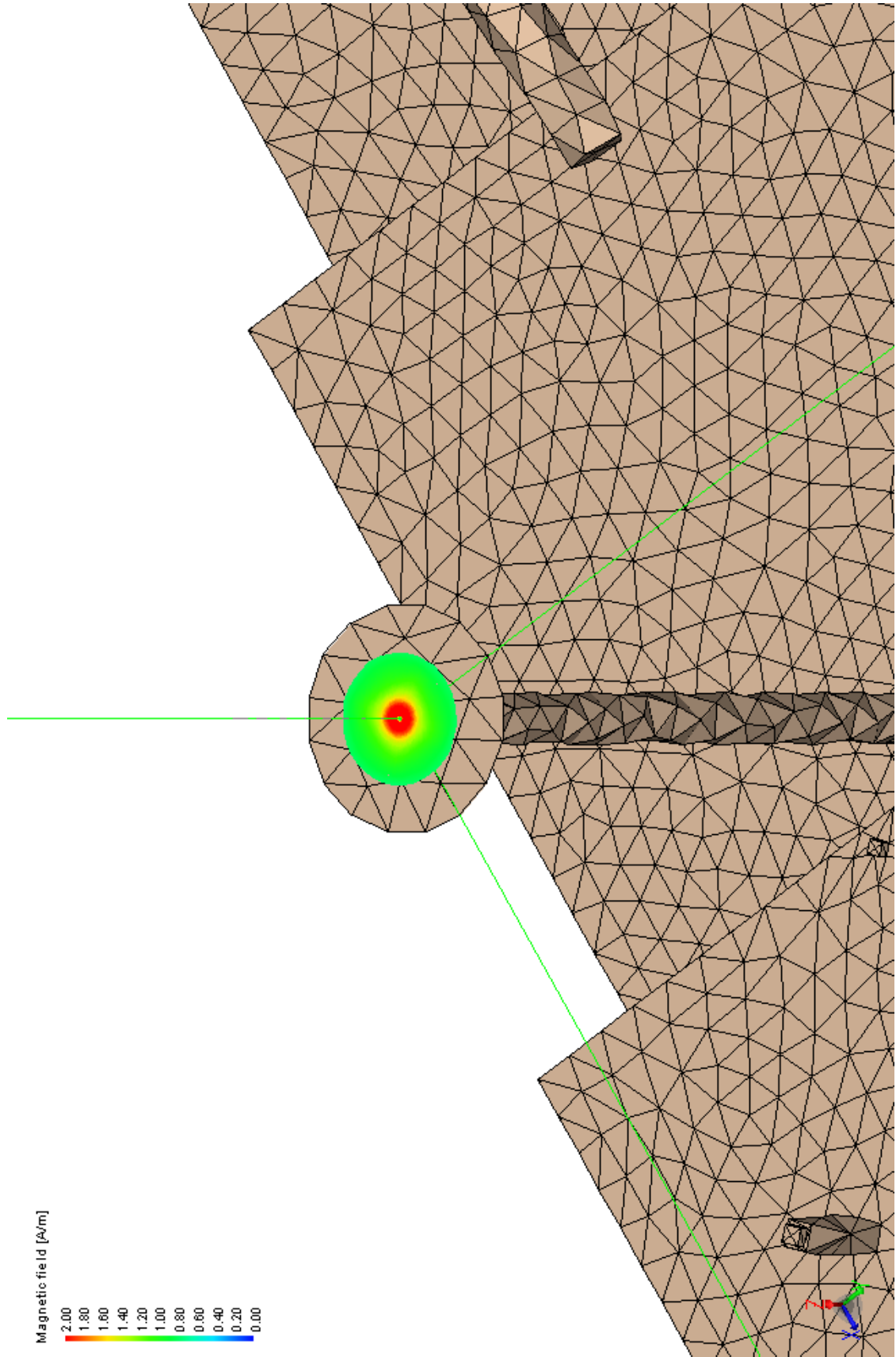
Şekil 6. 47 VHF GMDSS Yüzey Akımları (170MHz - A/m)



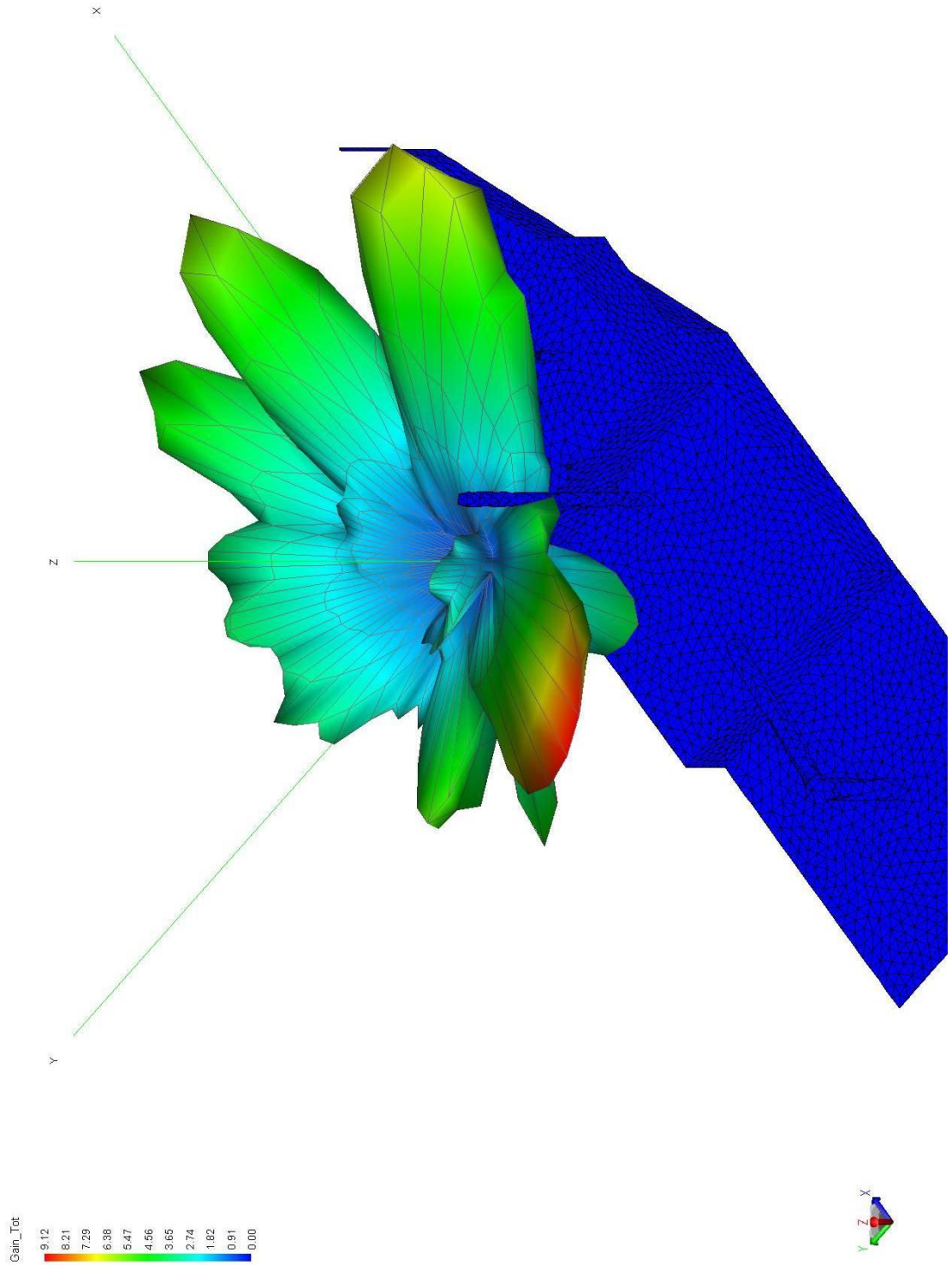
Şekil 6. 48 VHF GMDSS Poynting Vektörü (170MHz - W/m²)



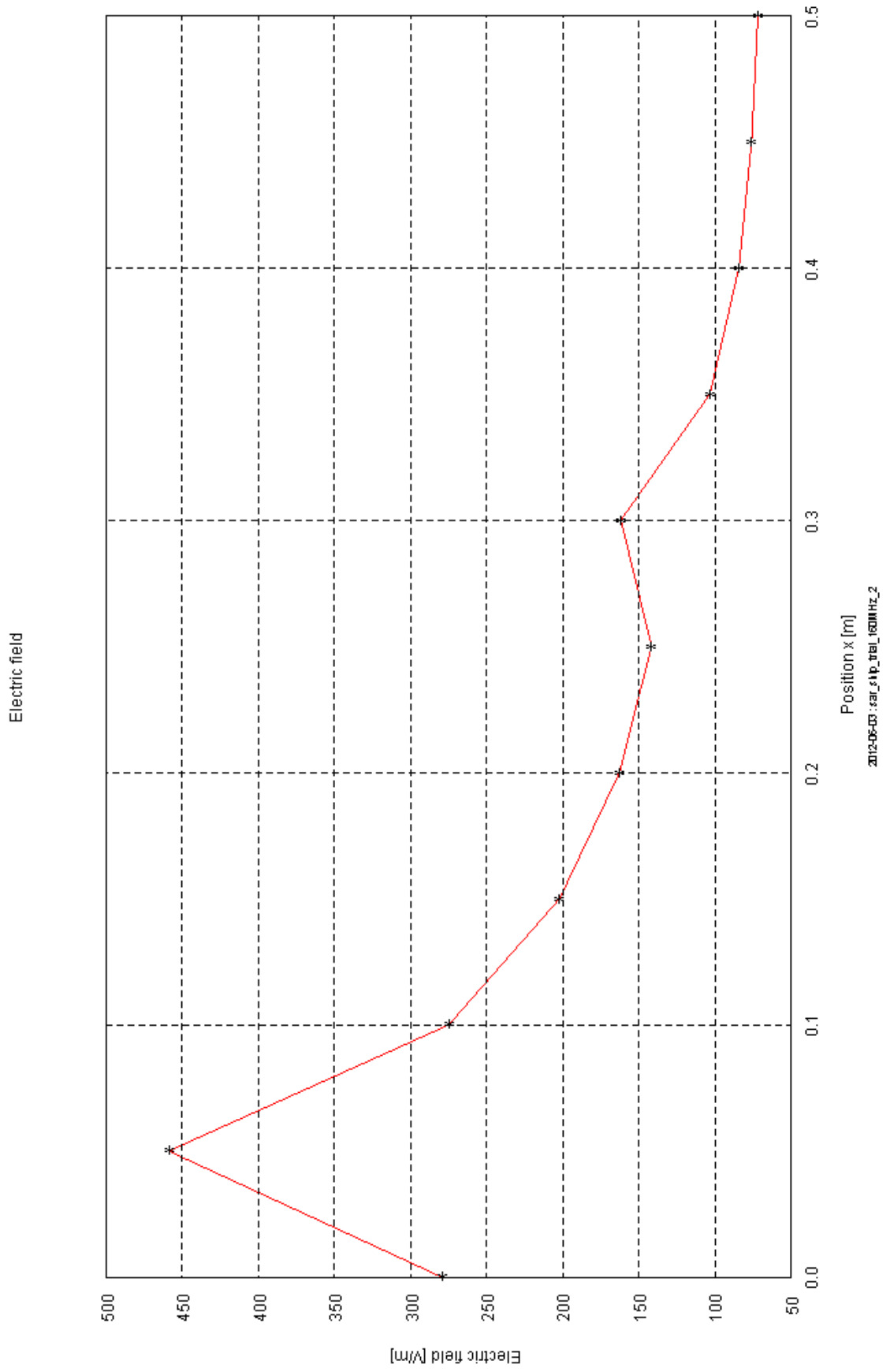
Şekil 6. 49 VHF GMDSS Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (170MHz)



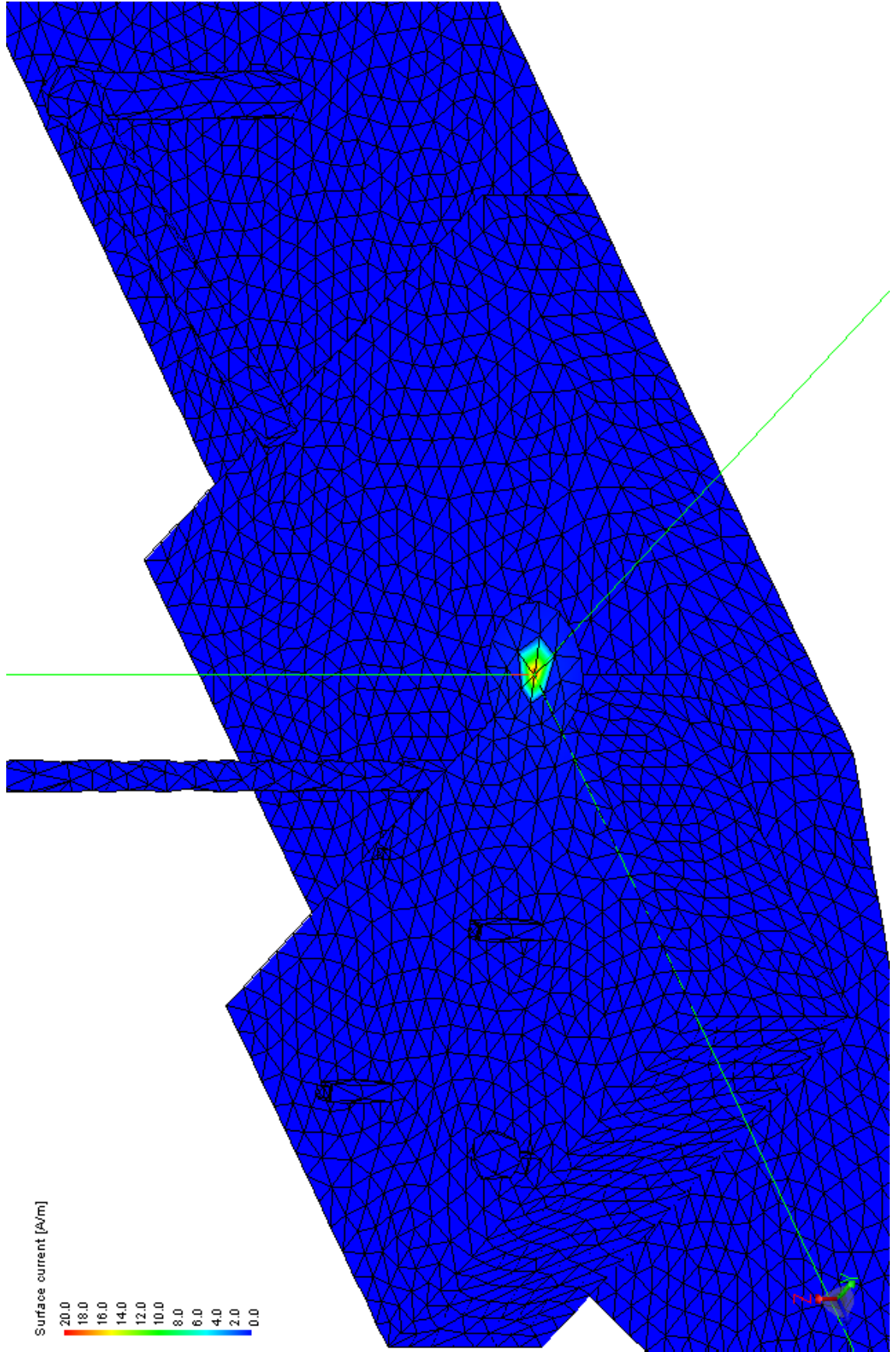
Şekil 6. 50 VHF AIS/FM/AM Işıma Paterni (160MHz)



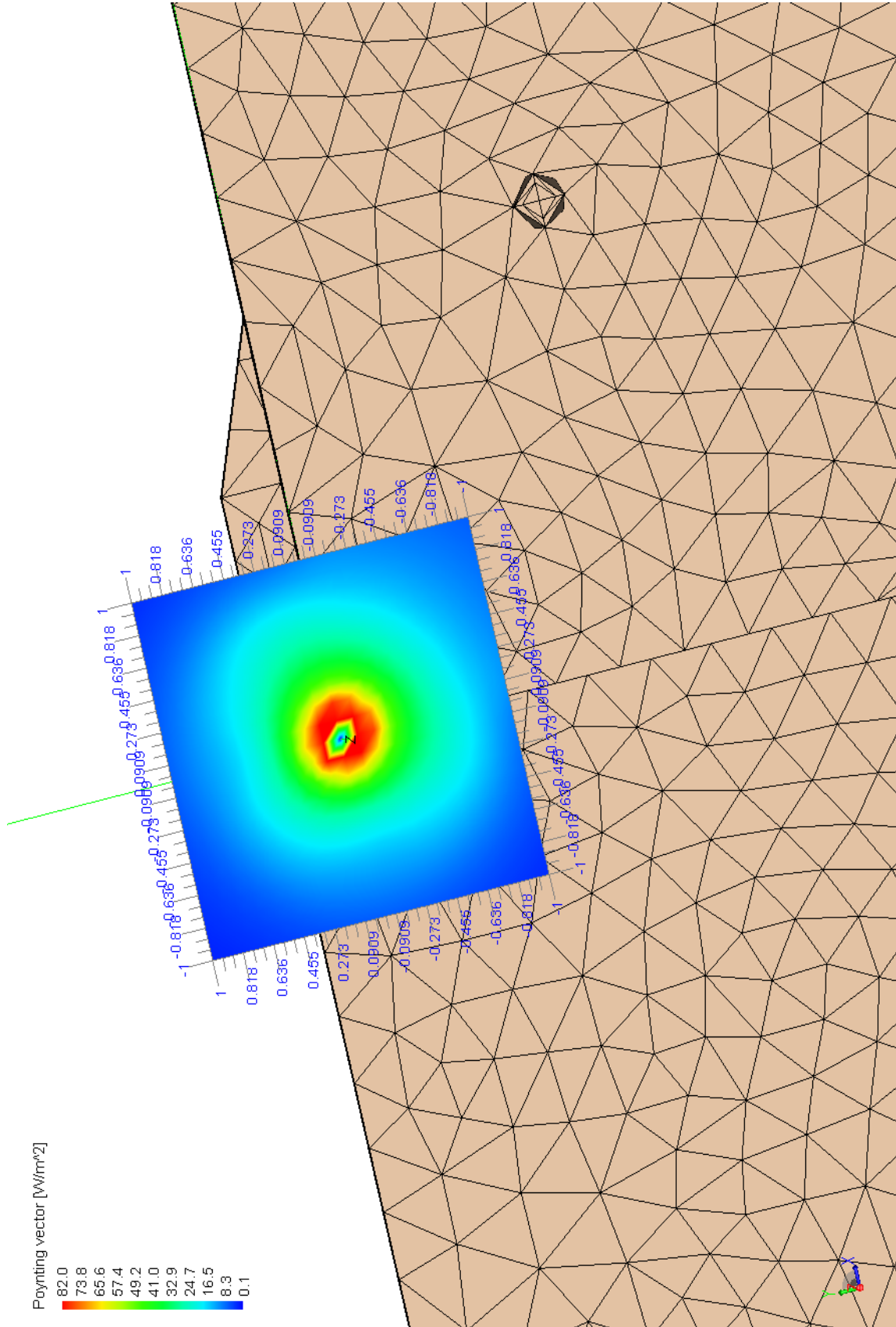
Şekil 6. 51 VHF AIS/FM/AM Yakın Bölge Elektrik Alanı (160MHz - V/m)



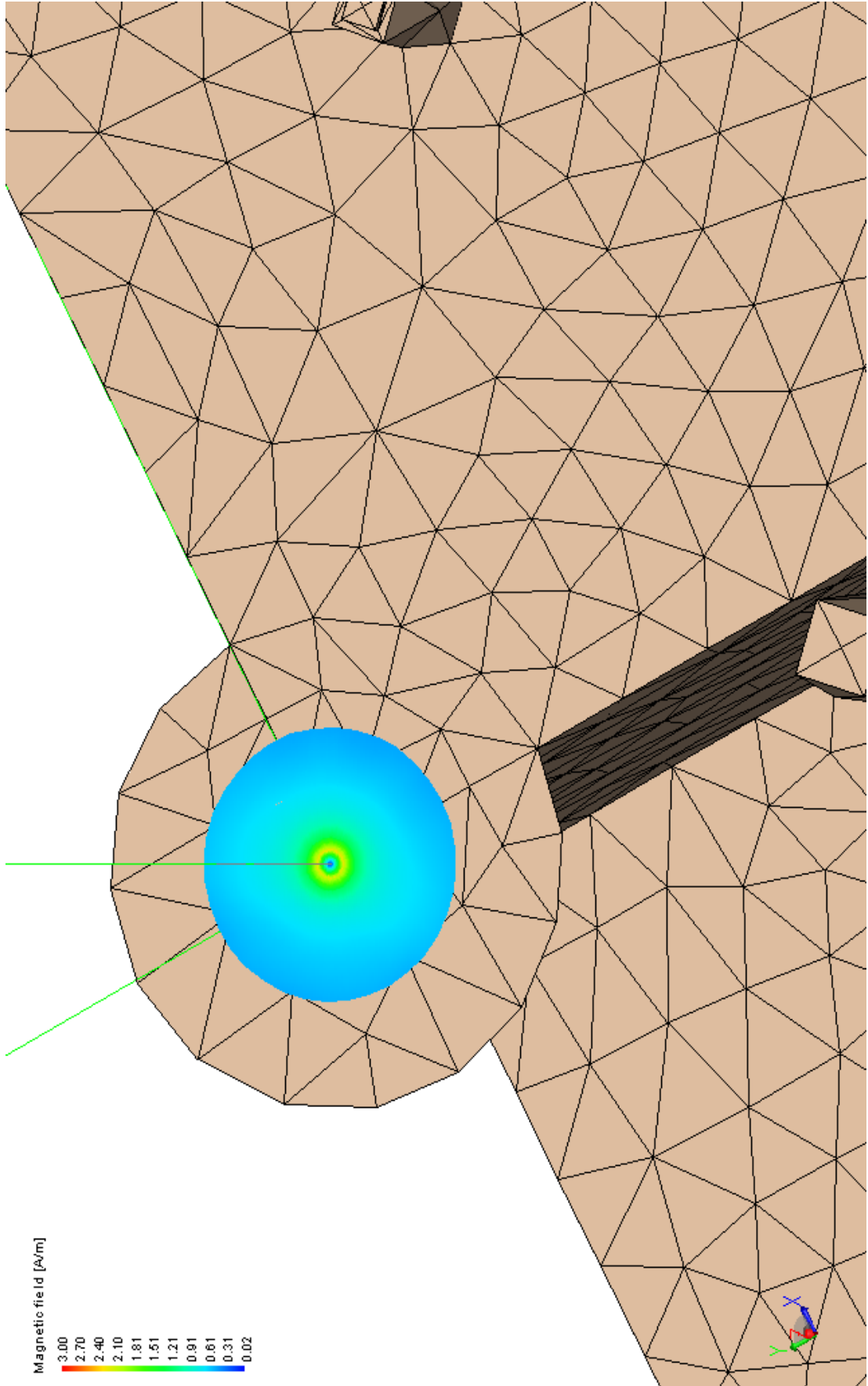
Şekil 6. 52 VHF AIS/FM/AM Yüzey Akımları (160MHz - A/m)



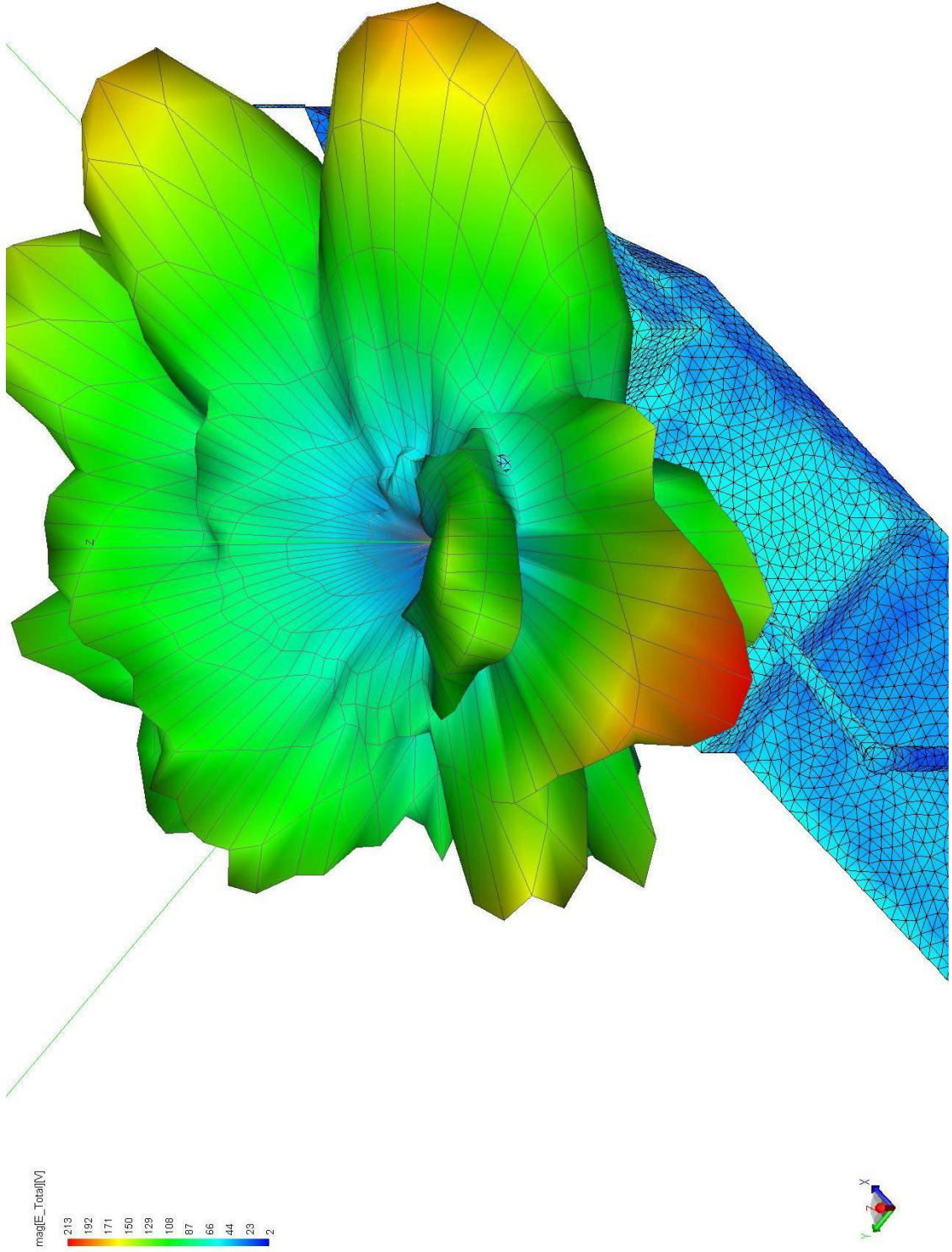
Şekil 6. 53 VHF AIS/FM/AM Poynting Vektörü (160MHz - W/m²)



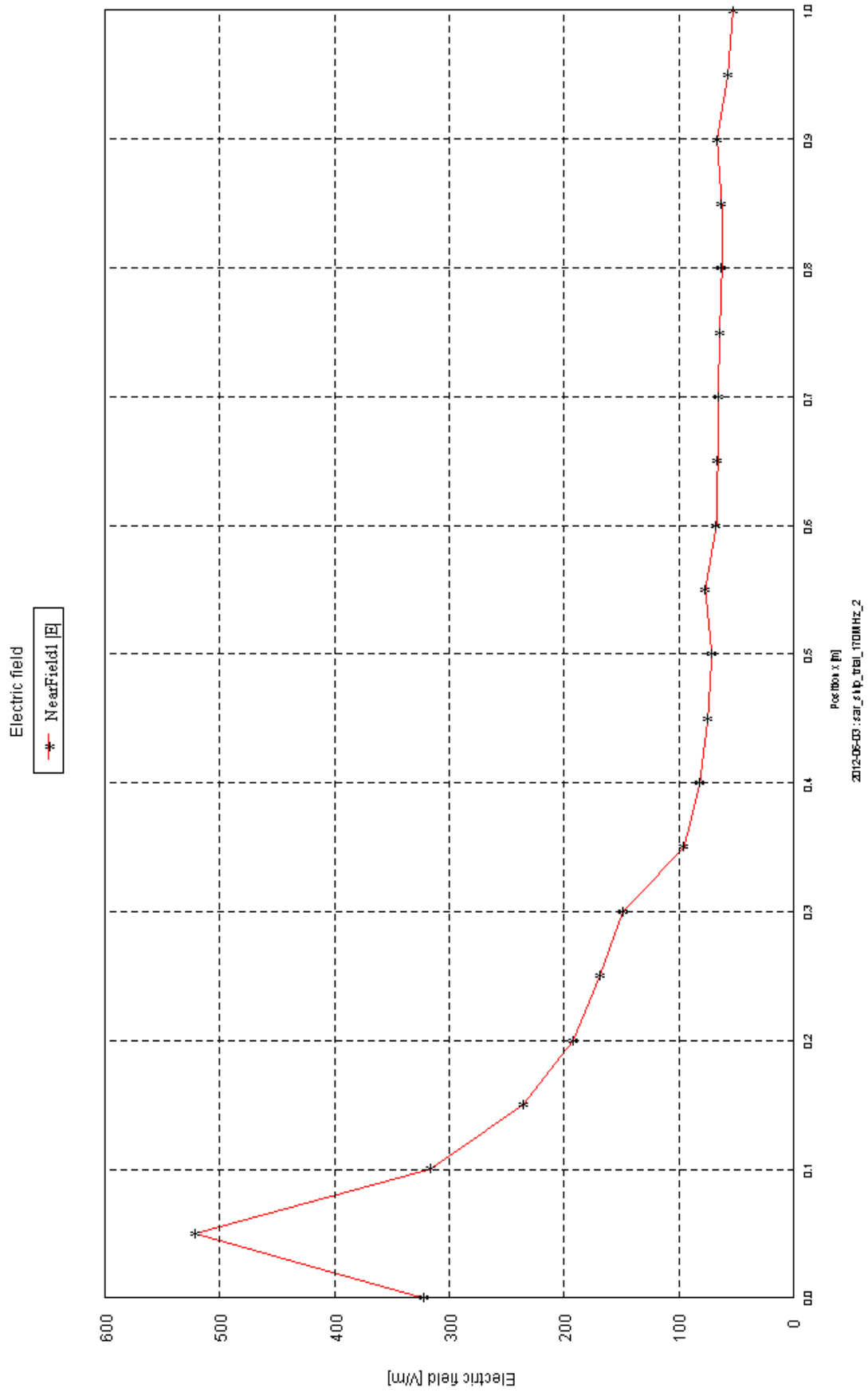
Şekil 6. 54 VHF AIS/FM/AM Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (160MHz)



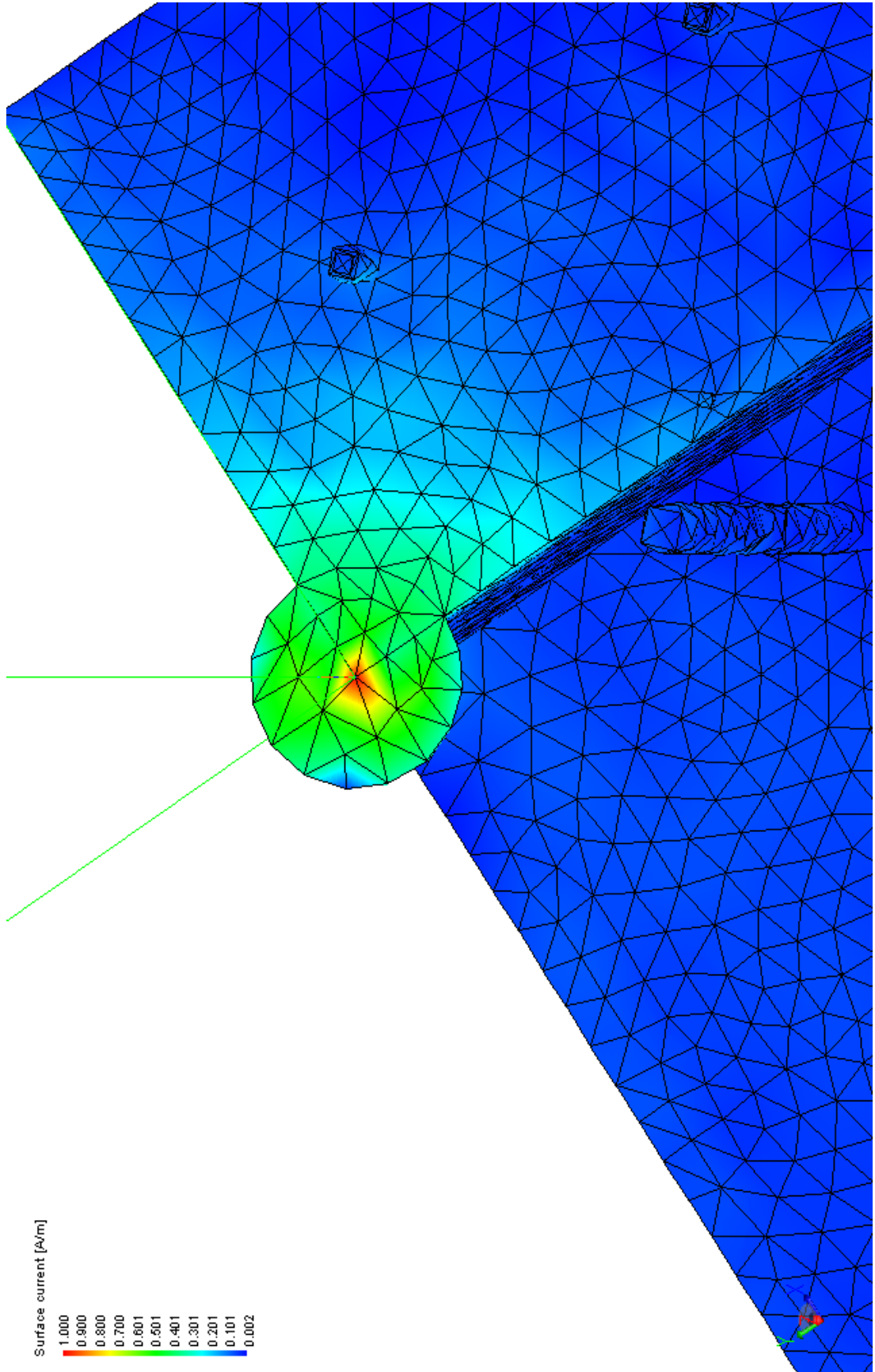
Şekil 6. 55 VHF AIS/FM/AM Işıma Paterni (170MHz)



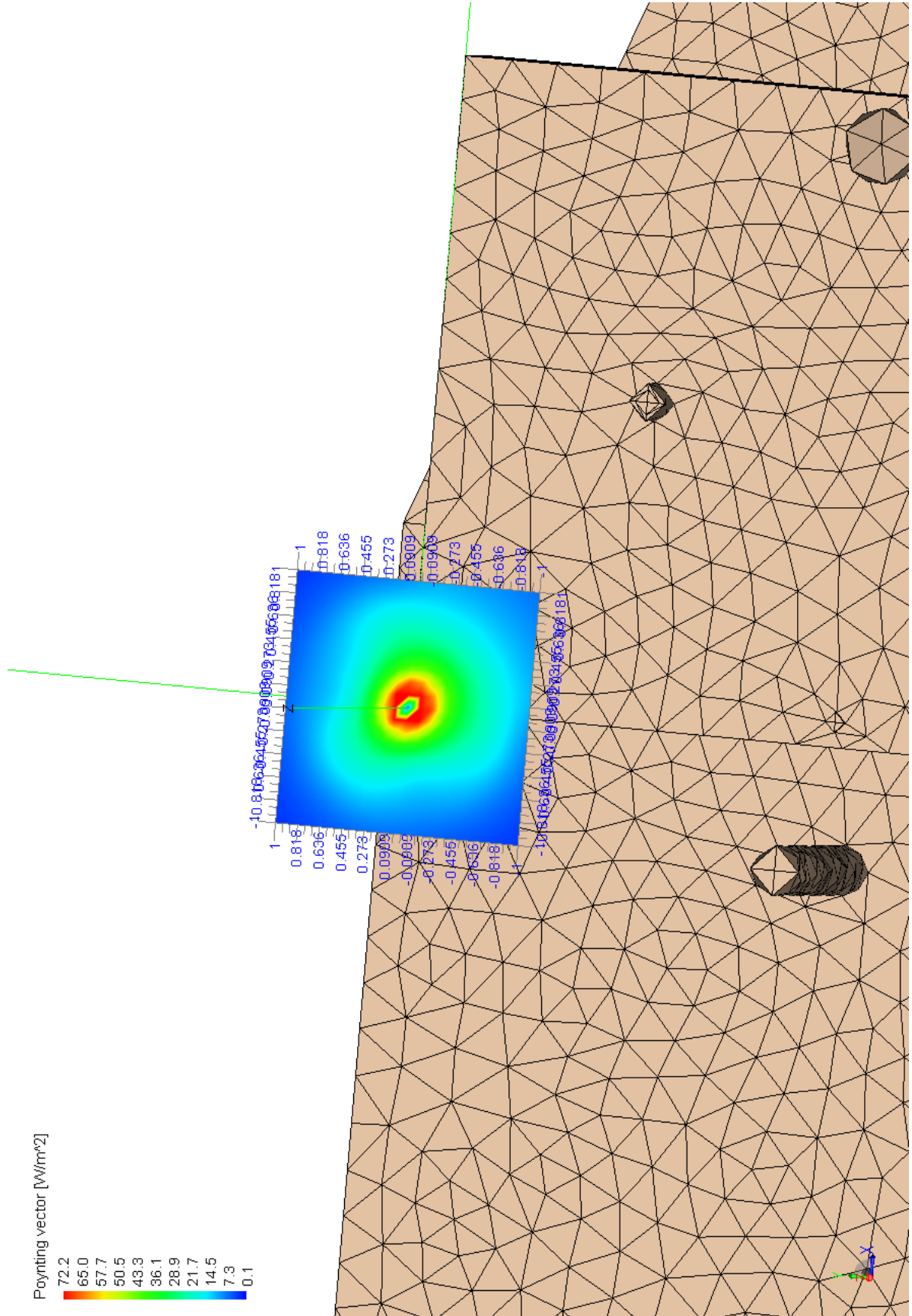
Şekil 6. 56 VHF AIS/FM/AM Yakın Bölge Elektrik Alanı (170MHz - V/m)



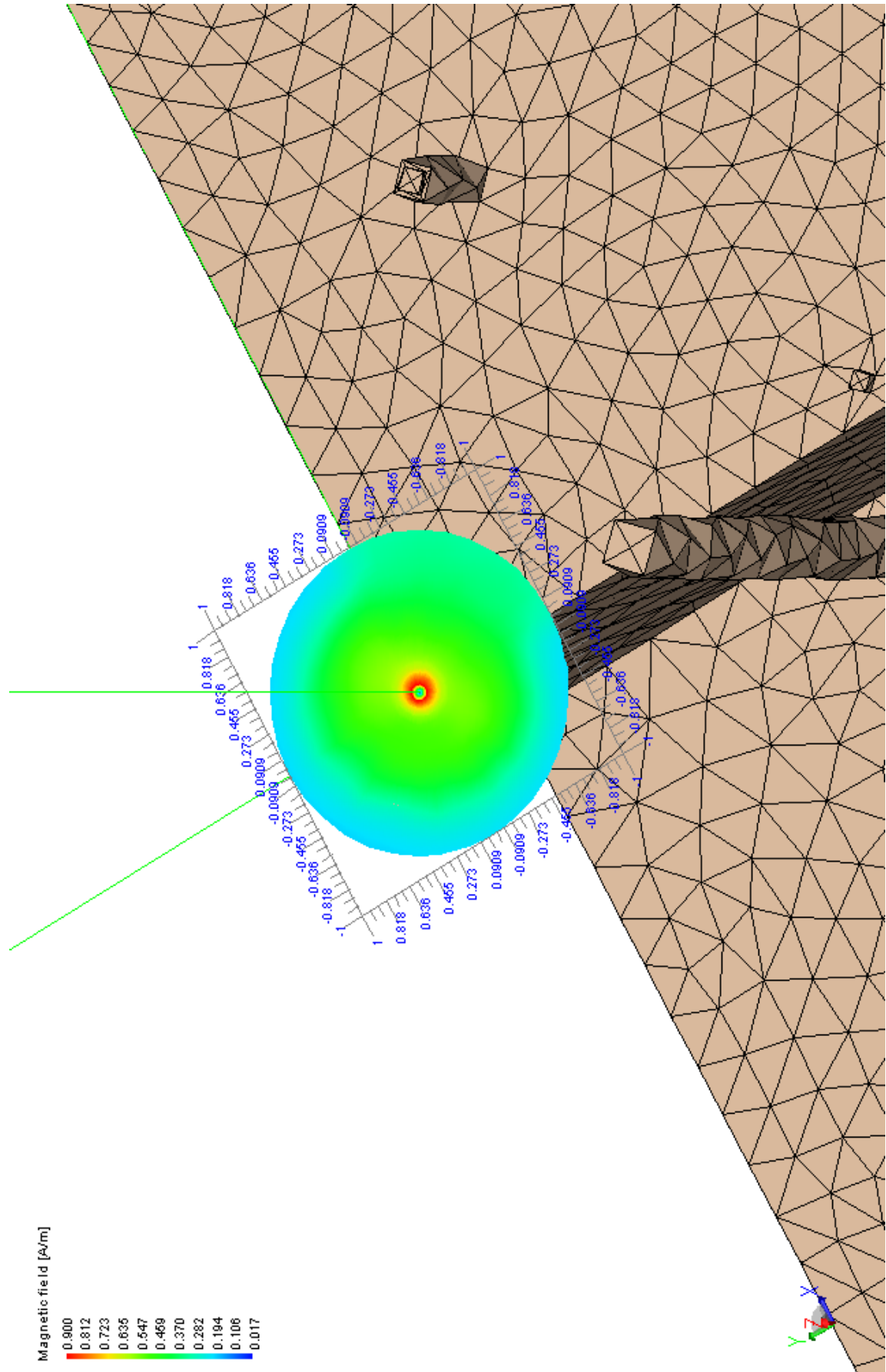
Şekil 6. 57 VHF AIS/FM/AM Yüzey Akımları (170MHz - A/m)



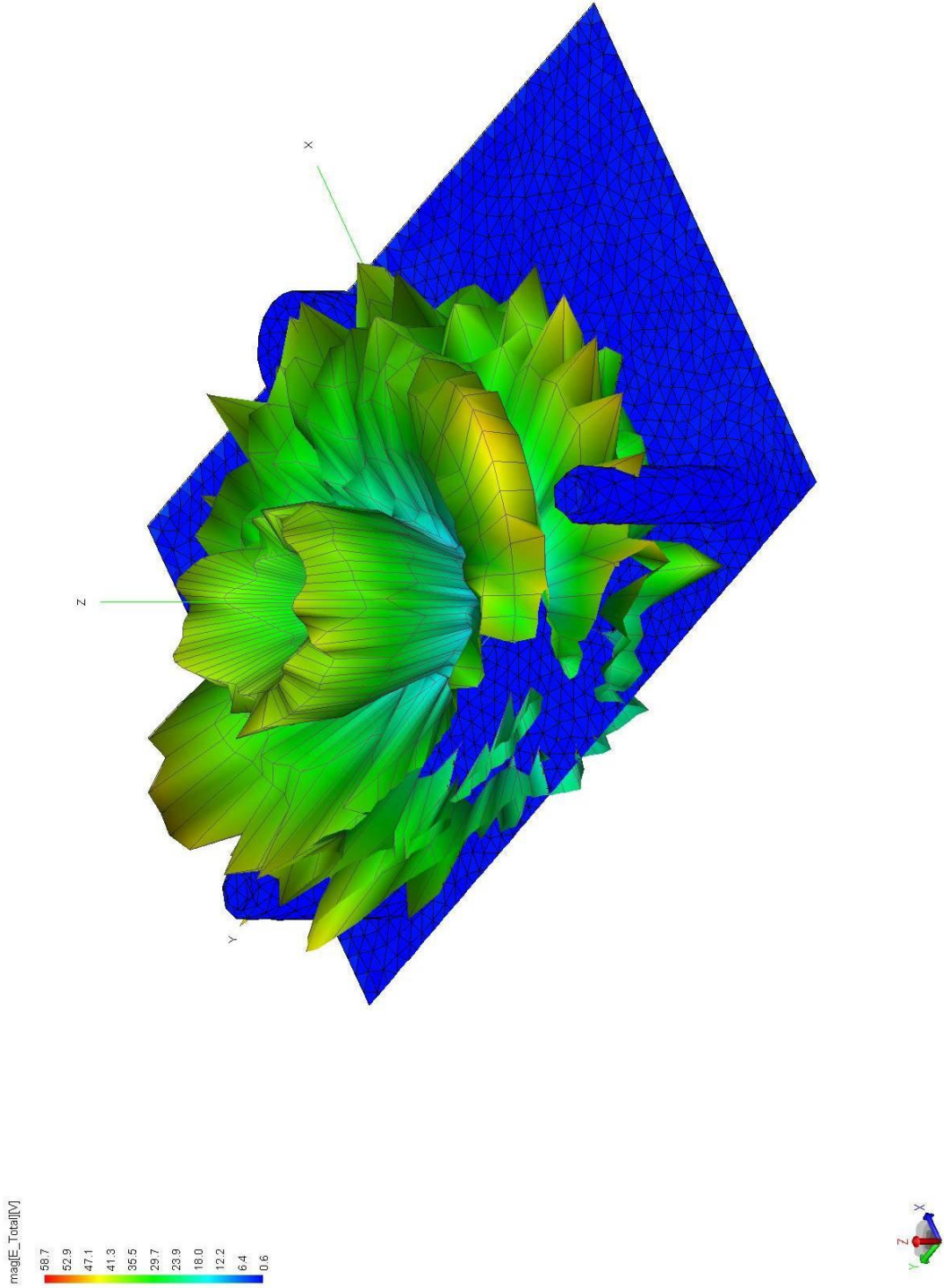
Şekil 6. 58 VHF AIS/FM/AM Poynting Vektörü (170MHz - W/m²)



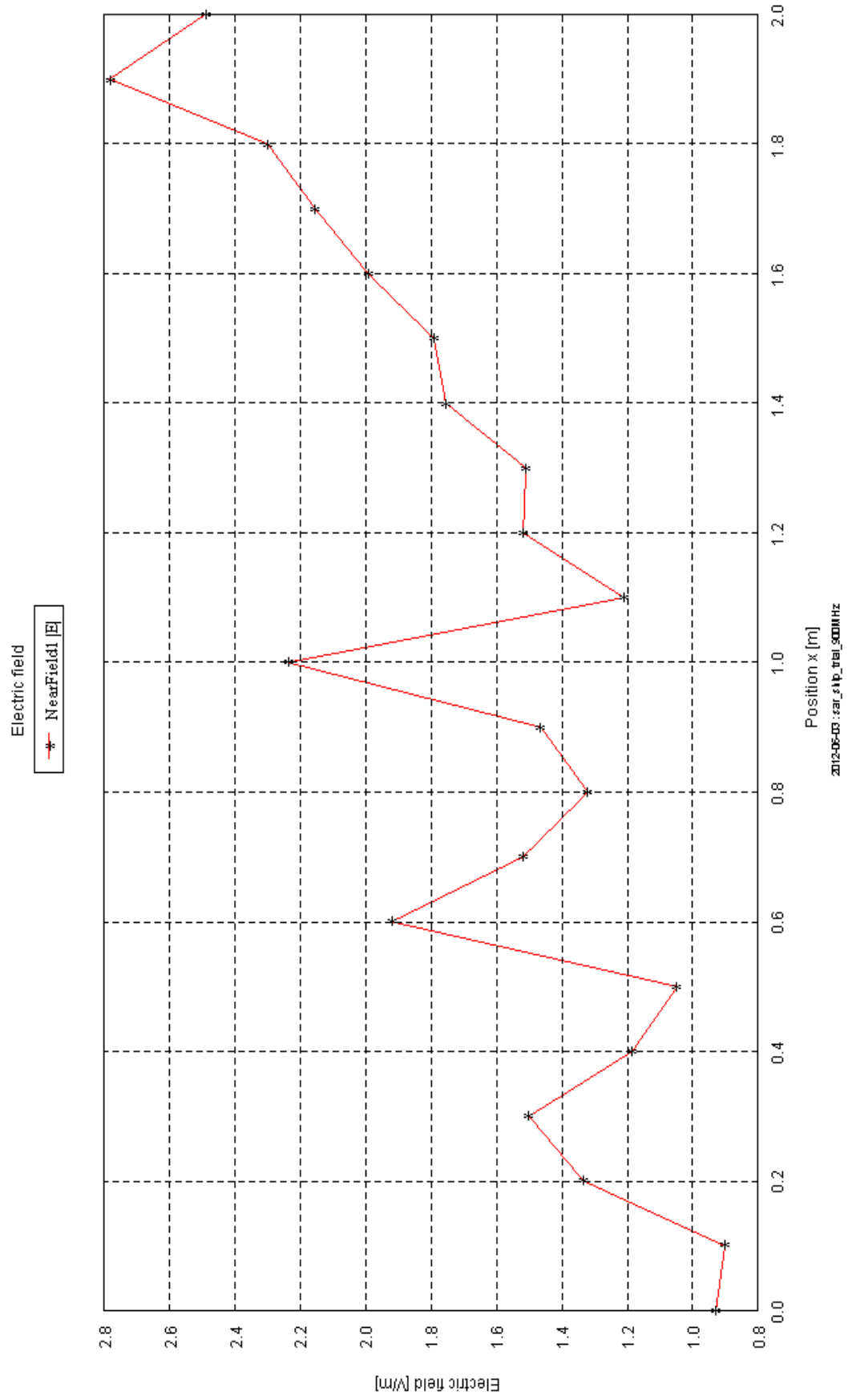
Şekil 6. 59 VHF AIS/FM/AM Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (170MHz)



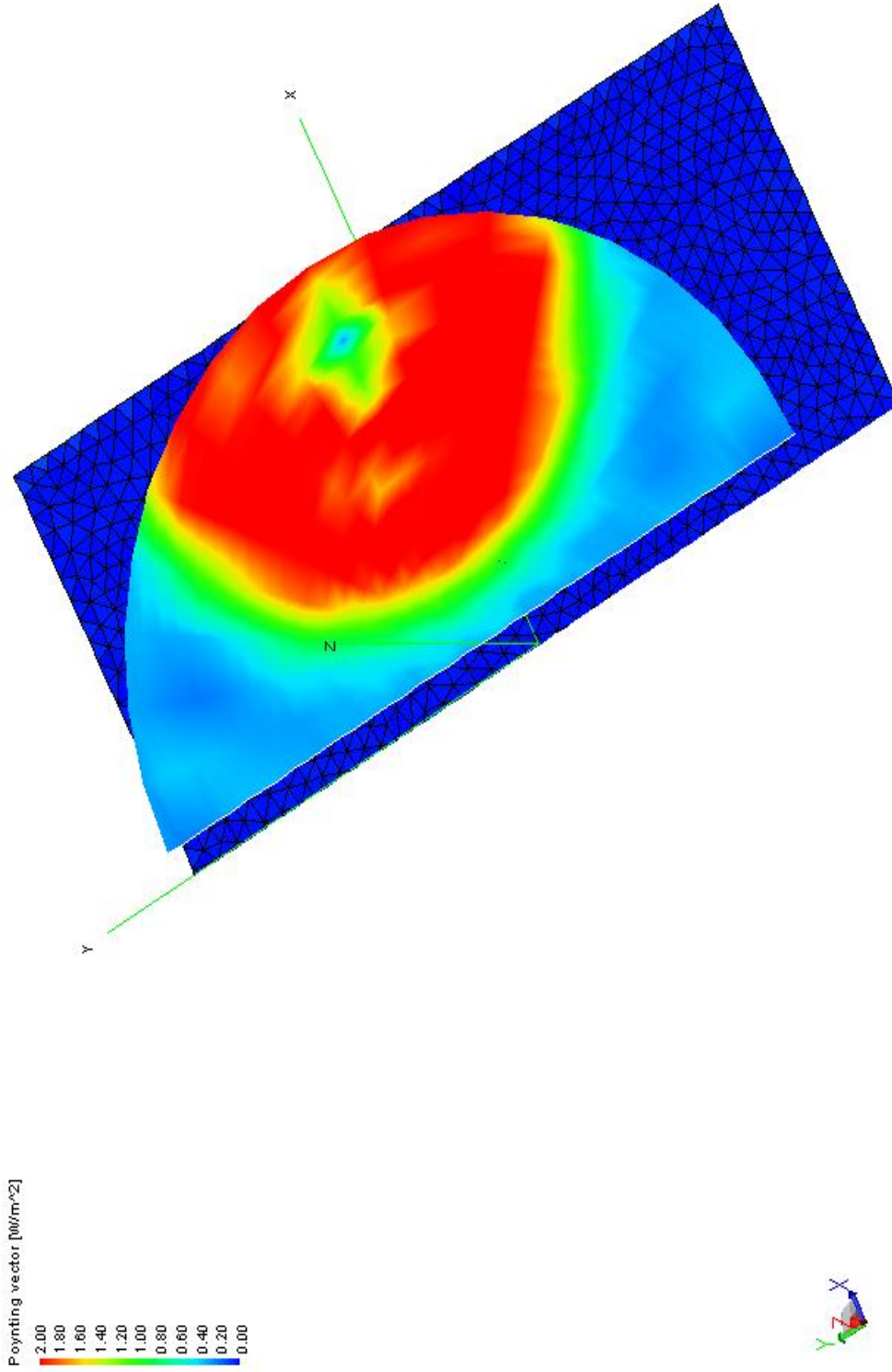
Şekil 6. 60 GSM Köprü Üstü Işıma Paterni (900MHz)



Şekil 6. 61 GSM Köprü Üstü Yakın Bölge Elektrik Alanı (900MHz - V/m)



Şekil 6. 62 GSM Köprü Üstü Poynting Vektörü (900MHz - W/m²)



6.3.6.4 L Band için Analizler ve Güvenli Mesafeler

Acil durumlarda kullanım amacıyla gemide tesis edilmesi planlanan uydu haberleşmesi (SATCOMM) sistemlerinin kullanacağı L-Band (1600MHz merkez frekansında) vericilerinin, sürekli ve 360° yayın yapacağı varsayılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bahse konu bu analiz sonuçları Şekil (6.63),(6.64),(6.65) ve (6.66)'da sunulmuştur.

Gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen ve L- Bandı sistemleri için oluşturulan güvenli mesafeler Çizelge (6.10)'da sunulmuştur. Bu kapsamda L-Bandı sistemleri için öngörülen güvenli mesafelerin; asgari 0.82m civarında olacağı tespit edilmiştir.

6.3.6.5 S Band Radarlar için Analizler ve Güvenli Mesafeler

Platformun seyir kabiliyetini genişletmek amacıyla platforma tesis edilen S-Band seyir radarı¹ için gerçekleştirilen (2800MHz merkez frekansı) analizler sonuçları Şekil (6.67), (6.68),(6.69),(6.70) ve (6.71)'de sunulmuştur.

Gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen ve S- Band Seyir Radar sistemleri için oluşturulan güvenli mesafeler Çizelge (6.10)'da sunulmuştur. Bu kapsamda S-Bandı sistemleri için öngörülen güvenli mesafelerin (Radarın sürekli yayında kaldığı ve çıkış gücünün ize (6.1)'de tanımlandığı üzere 30kW olacağı kabul edilmiştir.); asgari 10m civarında olacağı tespit edilmiştir. Bu kapsamda söz konusu radarın yerleşiminin güverte üstünde açık alanda ve platformu kullanıcı personele çok yakın olmasından ötürü bu tahdide uyulması sağlanmalıdır. Ayrıca yerleşimi nedeniyle nispeten personelden arındırılmış olması, platform açık güvertelerinde gerekmedikçe personel bulundurulmamasıyla desteklendiği takdirde optimum güvenlik sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte güvenli mesafeleri belirtici uyarı çizgileri çizilecek ve yayın esnasında personeli bilgilendirici ışıklı uyarı levhaları kullanılacaktır.

¹ Gerçekleştirilecek analizlere referans olması amacıyla S-Band radarının tek yönlü bir Horn anten olduğu ve dikey polarizasyonda yayın yaptığı var sayılmıştır. Sunulan uzak alan ışıma paternleri incelendiğinde; yan bantların S-Band seyir radarlarına nazaran daha dar olduğu görülmektedir. Tezimize referans olması ve analizlerde çok daha çabuk hesaplanabilmesi nedeniyle bu tarz bir modellemenin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

6.3.6.6 X Band Radarlar için Analizler ve Güvenli Mesafeler

Platforma tesis edilen X-Band radarı ¹için gerçekleştirilen analiz sonuçları Şekil (6.72), (6.73), (6.74),(6.75) ve (6.76)'da sunulmuştur.

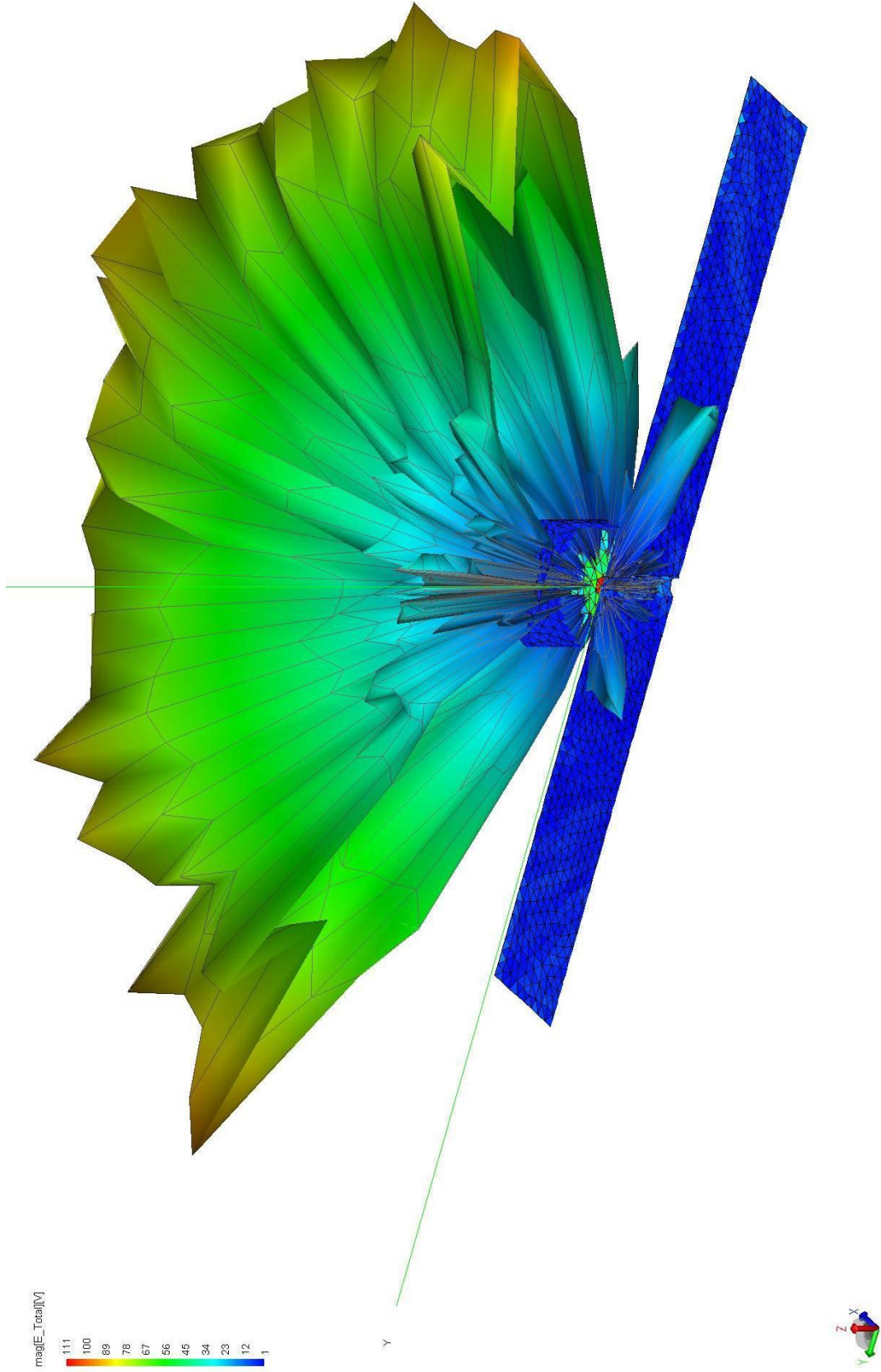
Gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen ve X- Band Seyir Radar sistemleri için oluşturulan güvenli mesafeler Çizelge (6.10)'da sunulmuştur. Bu kapsamda X-Bandi sistemleri için öngörülen güvenli mesafelerin (Radarın sürekli yayında kaldığı ve çıkış gücünün izelge (6.1)'de tanımlandığı üzre 25kW olacağı kabul edilmiştir.); asgari 8m civarında olacağı tespit edilmiştir. Bu kapsamda söz konusu radarın yerleşiminin güverte üstünde açık alanda ve platformu kullanıcı personele çok yakın olmasından ötürü bu tahdide uyulması sağlanmalıdır. Ayrıca yerleşimi nedeniyle nispeten personelden arındırılmış olması, platform açık güvertelerinde gerekmedikçe personel bulundurulmamasıyla desteklendiği takdirde optimum güvenlik sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte güvenli mesafeleri belirtici uyarı çizgileri çizilecek ve yayın esnasında personeli bilgilendirici ışıklı uyarı levhaları kullanılacaktır.

Çizelge 6.10 300 MHz Üstü Sistemler için Güvenli Mesafeler (HERP-RADHAZ)

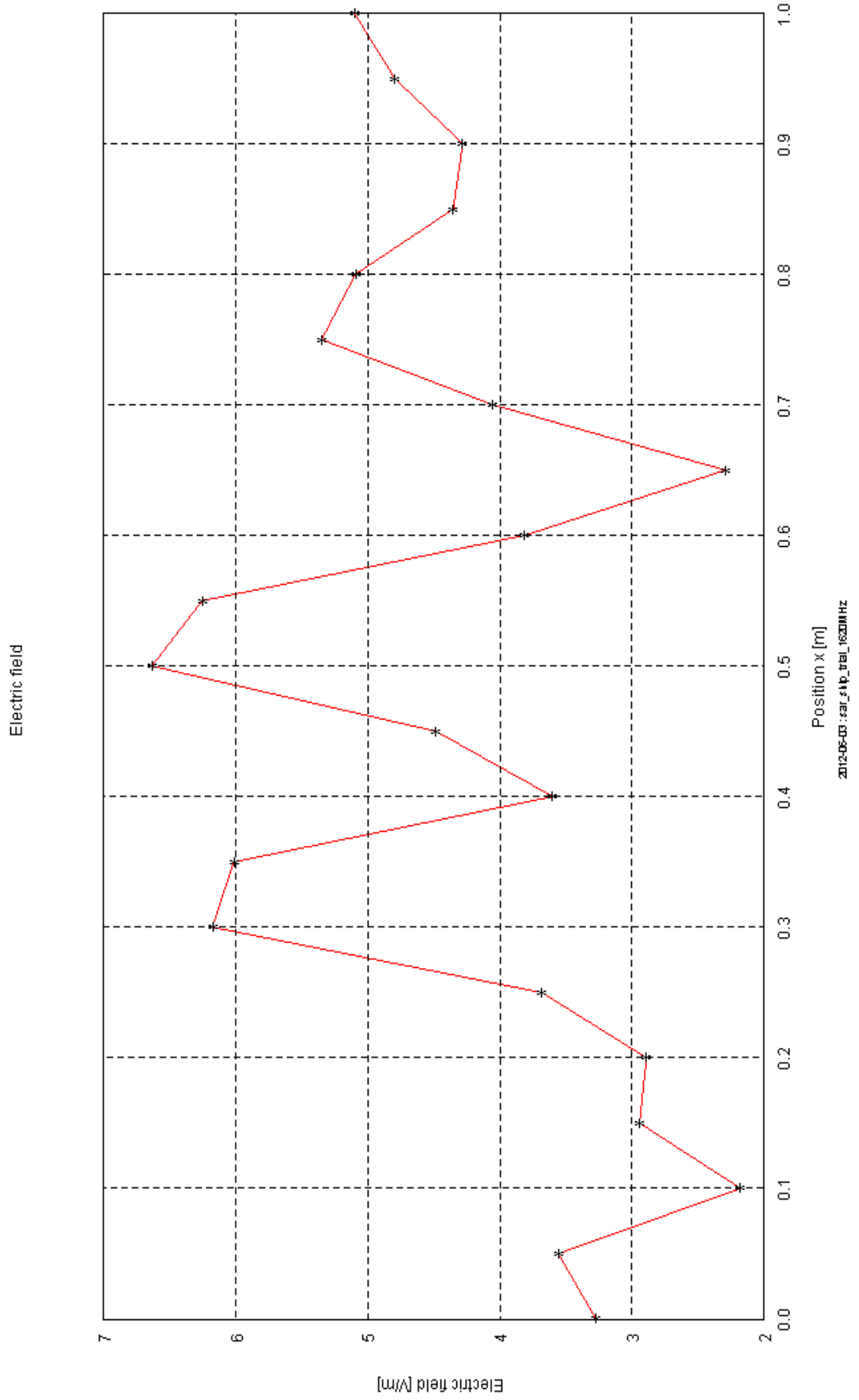
300MHz Üstü Yayınlar için Güvenli Mesafeler (HERP-RADHAZ)						
Frekans (MHz)	INIRC/IRPA Standardı Referans Değeri (V/m)	INIRC/IRPA Standardı Referans Değeri (W/m ²)	INIRC/IRPA Standardı Referans Değeri (A/m)	Güvenli Mesafe (E) (m)	Güvenli Mesafe (W/m ²) (m)	Güvenli Mesafe (A/m) (m)
900	90,00	22,50	0,24	-	0,01	1,20
1620	120,00	40,50	0,32	0,65	0,40	0,82
2800	137,00	500,00	0,36	10,00	5,10	-
9000	137,00	500,00	0,36	6,30	8,00	-

¹ Gerçekleştirilecek analizlere referans olması amacıyla X-Band radarının tek bir yönlü bir Horn anten olduğu ve dikey polarizasyonda yayın yaptığı var sayılmıştır. Sunulan uzak alan ışıma paternleri incelendiğinde; yan bantların X-Band seyir radarlarına nazaran nispi anlamda daha geniş olduğu, ana sinyalin çok daha dar dar olduğu görülmektedir. Tezimize referans olması ve analizlerde çok daha çabuk hesaplanabilmesi nedeniyle bu tarz bir modellemenin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

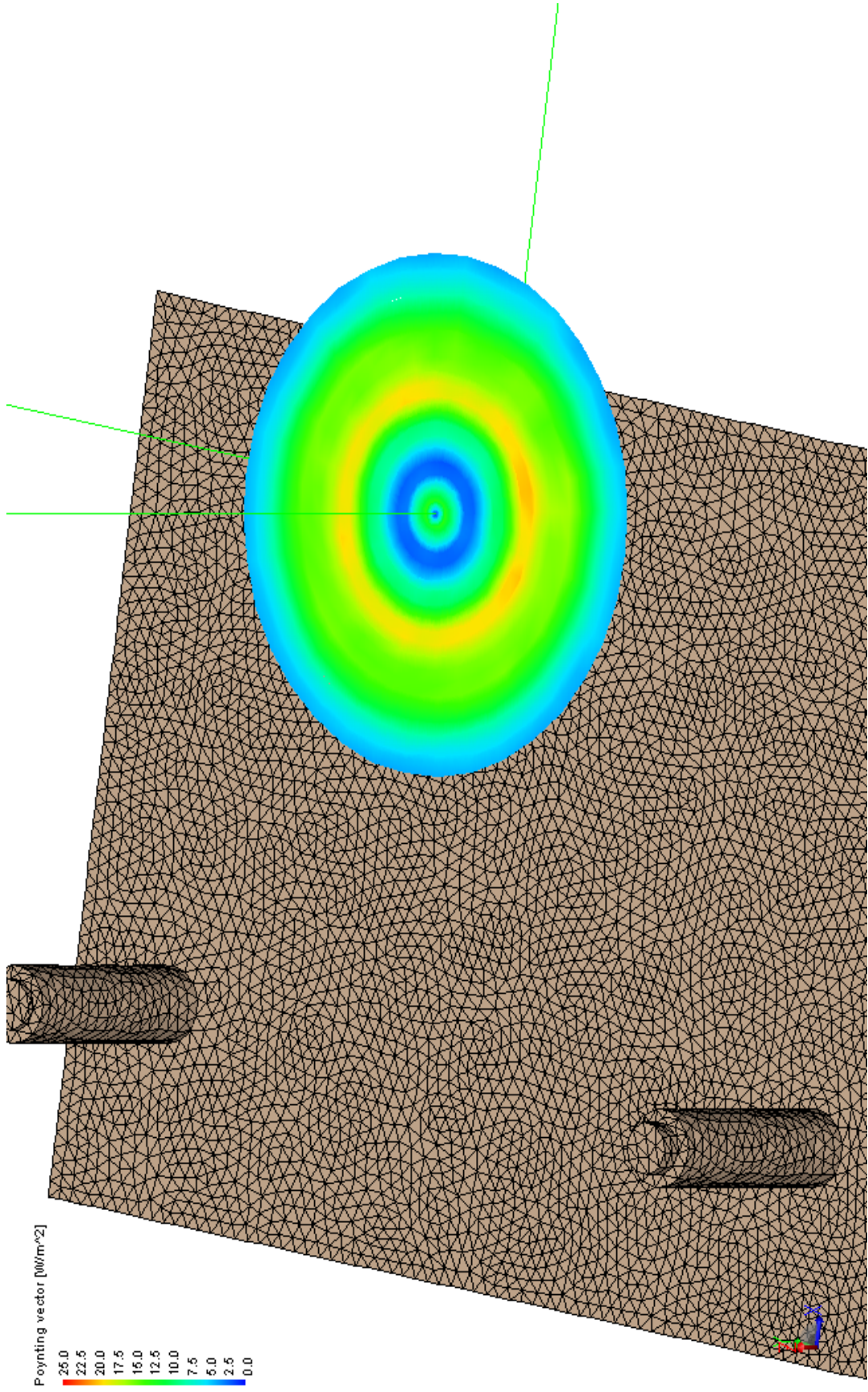
Şekil 6. 63 SATCOMM Köprü Üstü Işıma Paterni (1620MHz)



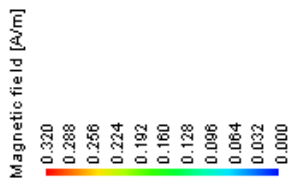
Şekil 6. 64 SATCOMM Köprü Üstü Yakın Bölge Elektrik Alanı (1620MHz - V/m)



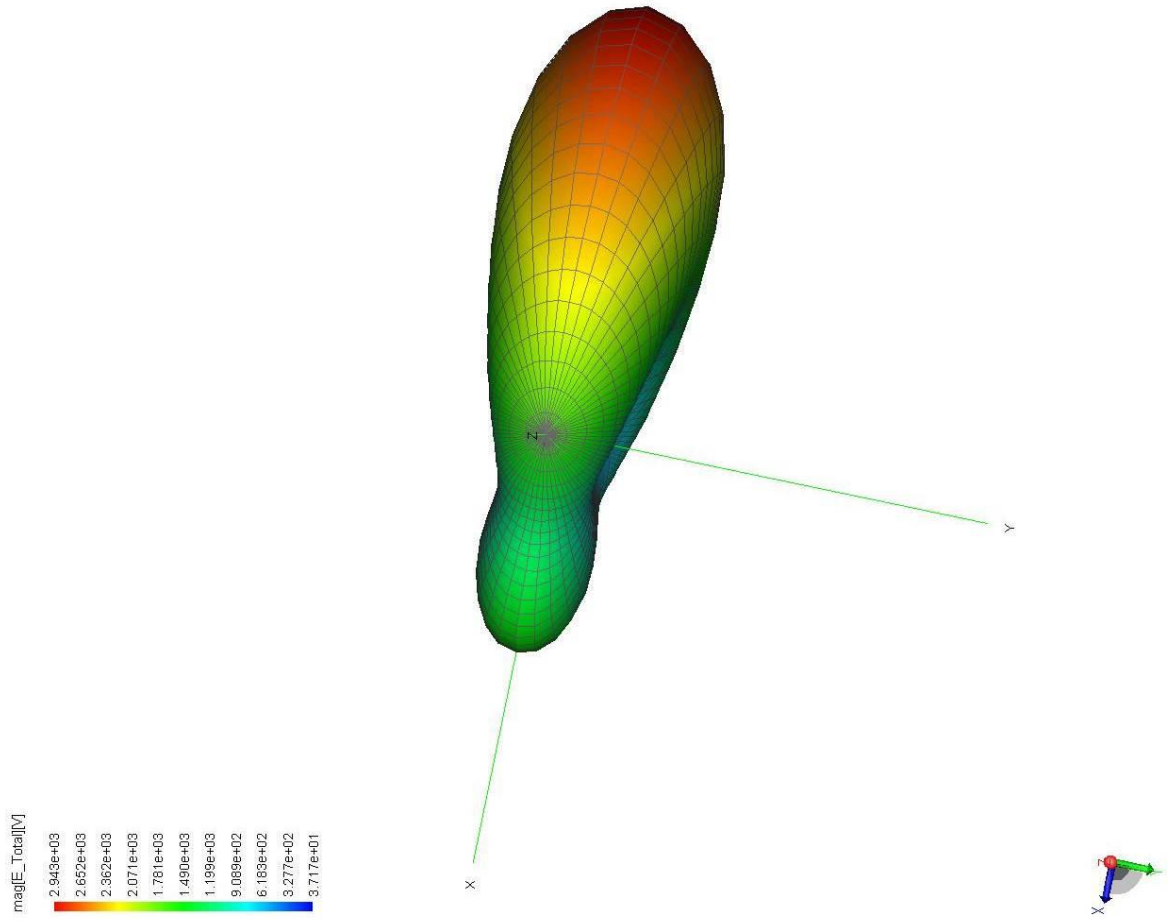
Şekil 6. 65 SATCOMM Köprü Üstü Poynting Vektörü (1620MHz - W/m²)



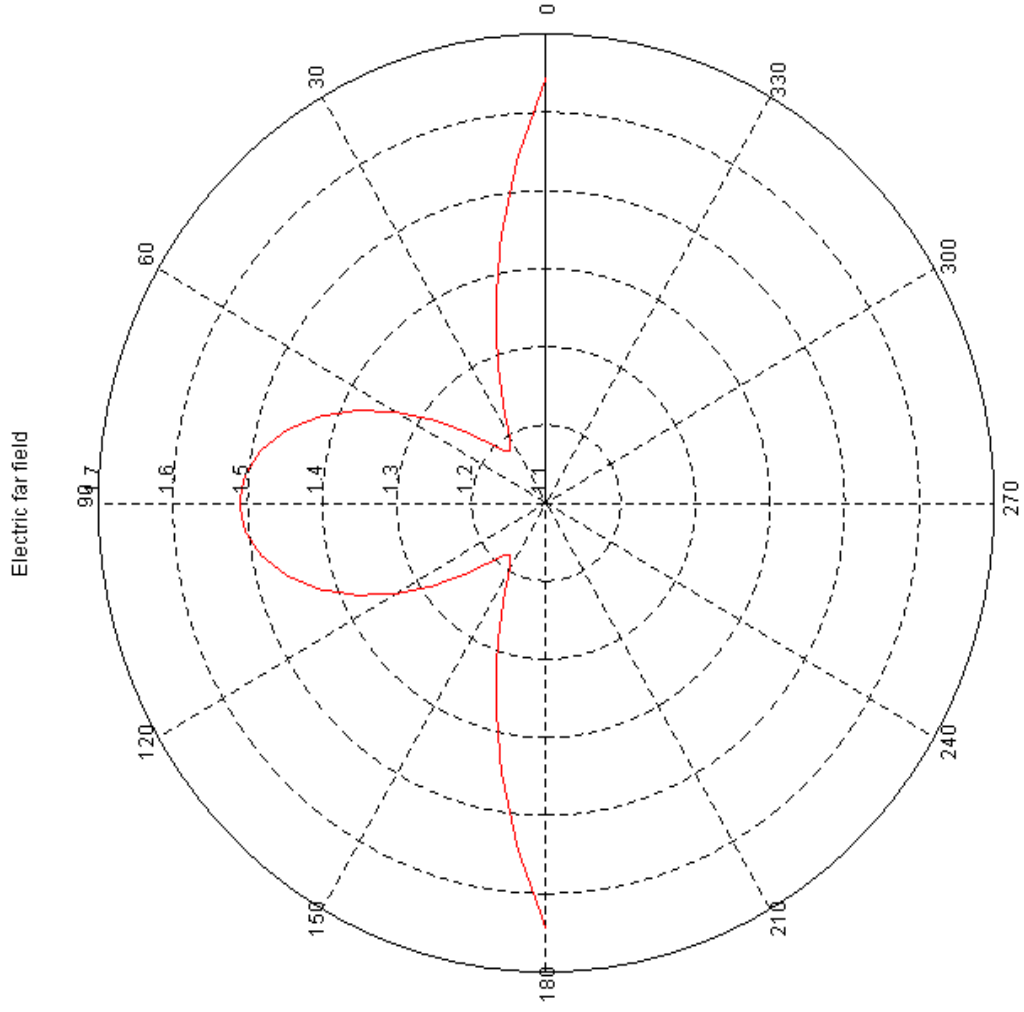
Şekil 6. 66 SATCOMM Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni (1620MHz)



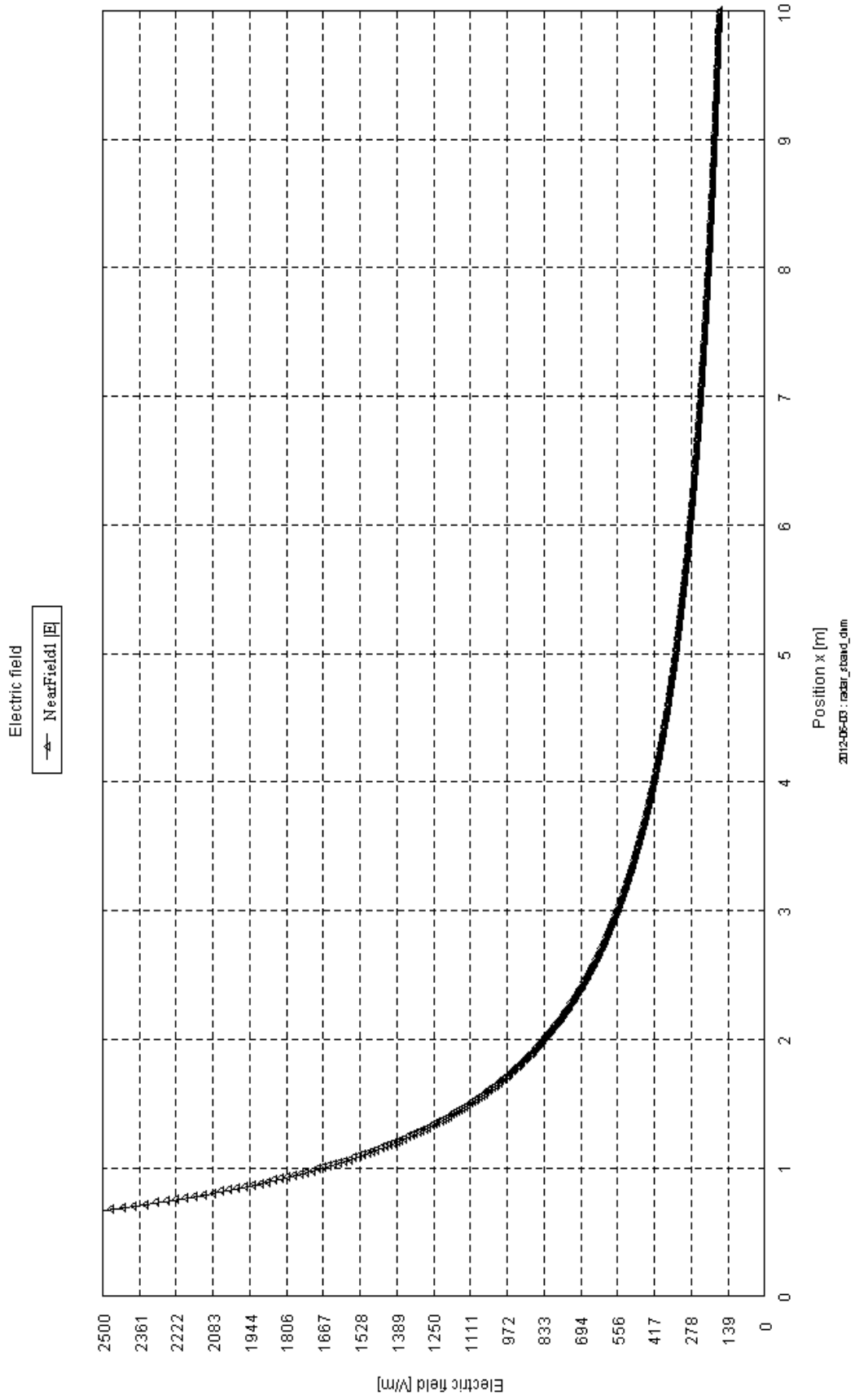
Şekil 6. 67 S Band Seyir Radarı Köprü Üstü Işıma Paterni (2800MHz) ($Az=90^\circ$)



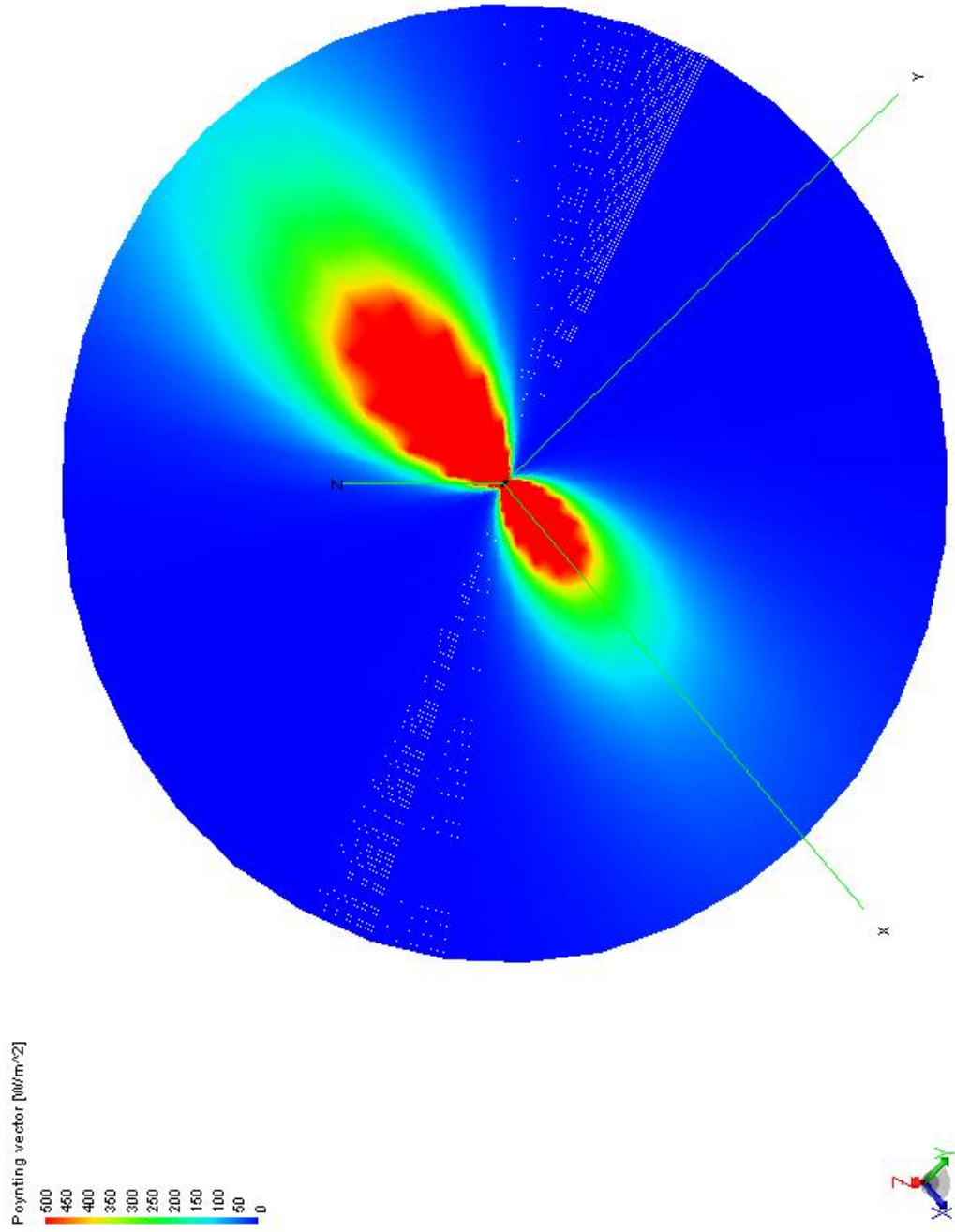
Şekil 6. 68 S Band Seyir Radarı Köprü Üstü Işıma Paterni – Kutupsal (2800MHz) (Az=90°)



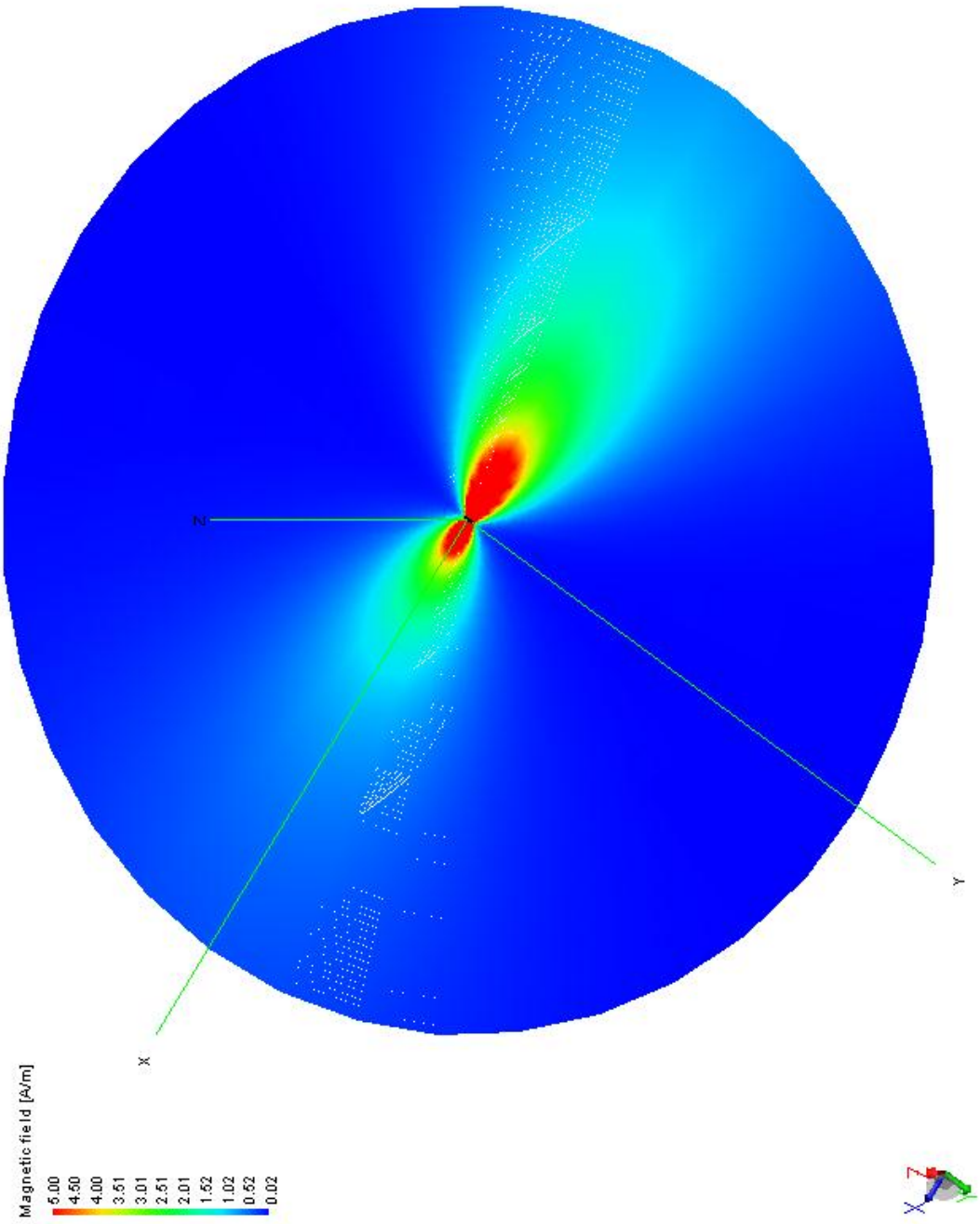
Şekil 6. 69 S Band Seyir Radarı Köprü Üstü Yakın Bölge Elektrik Alanı (2800MHz - V/m)
(Az=90°)



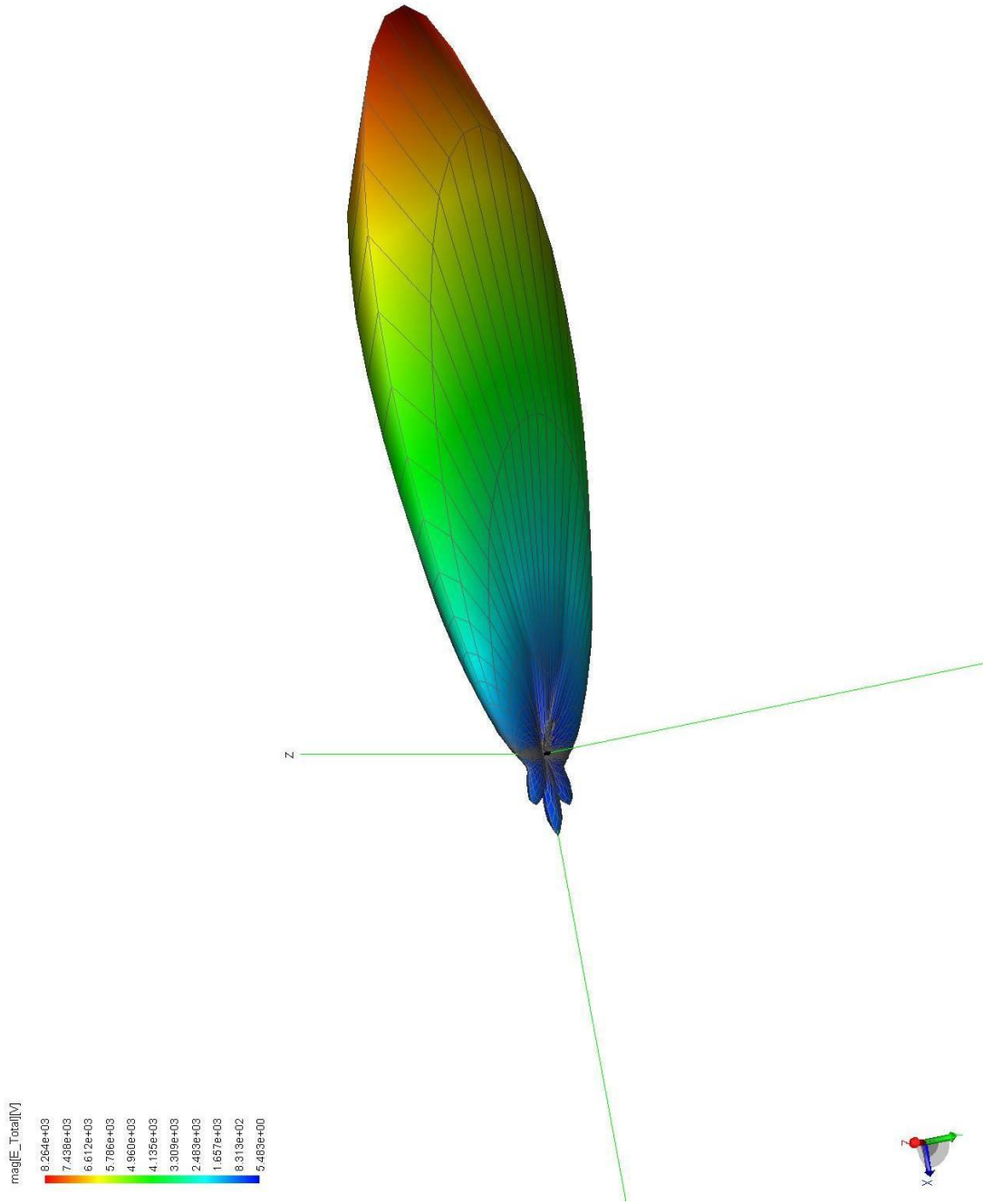
Şekil 6. 70 S Band Seyir Radarı Köprü Üstü Poynting Vektörü (2800MHz - W/m²)
(Az=90°)



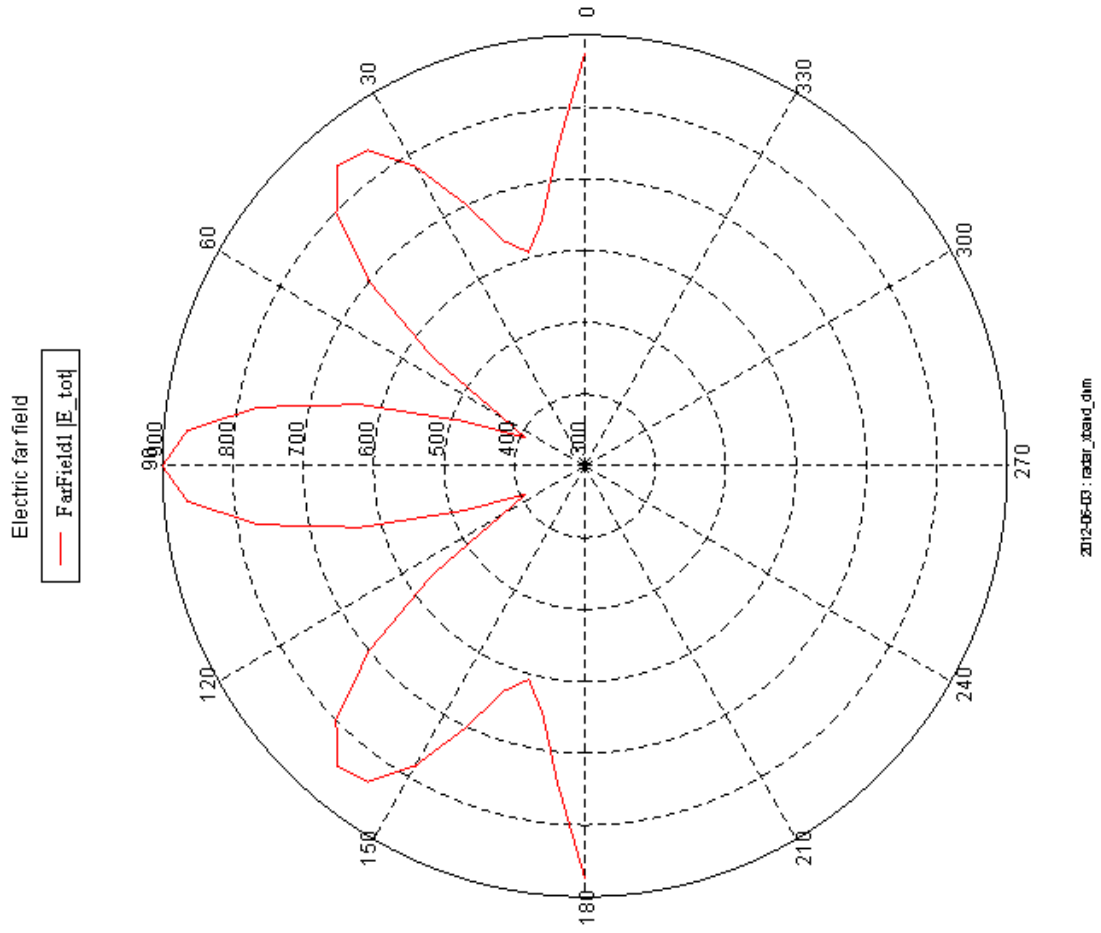
Şekil 6. 71 S Band Seyir Radarı Köprü Üstü Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni
(2800MHz) (Az=90°)



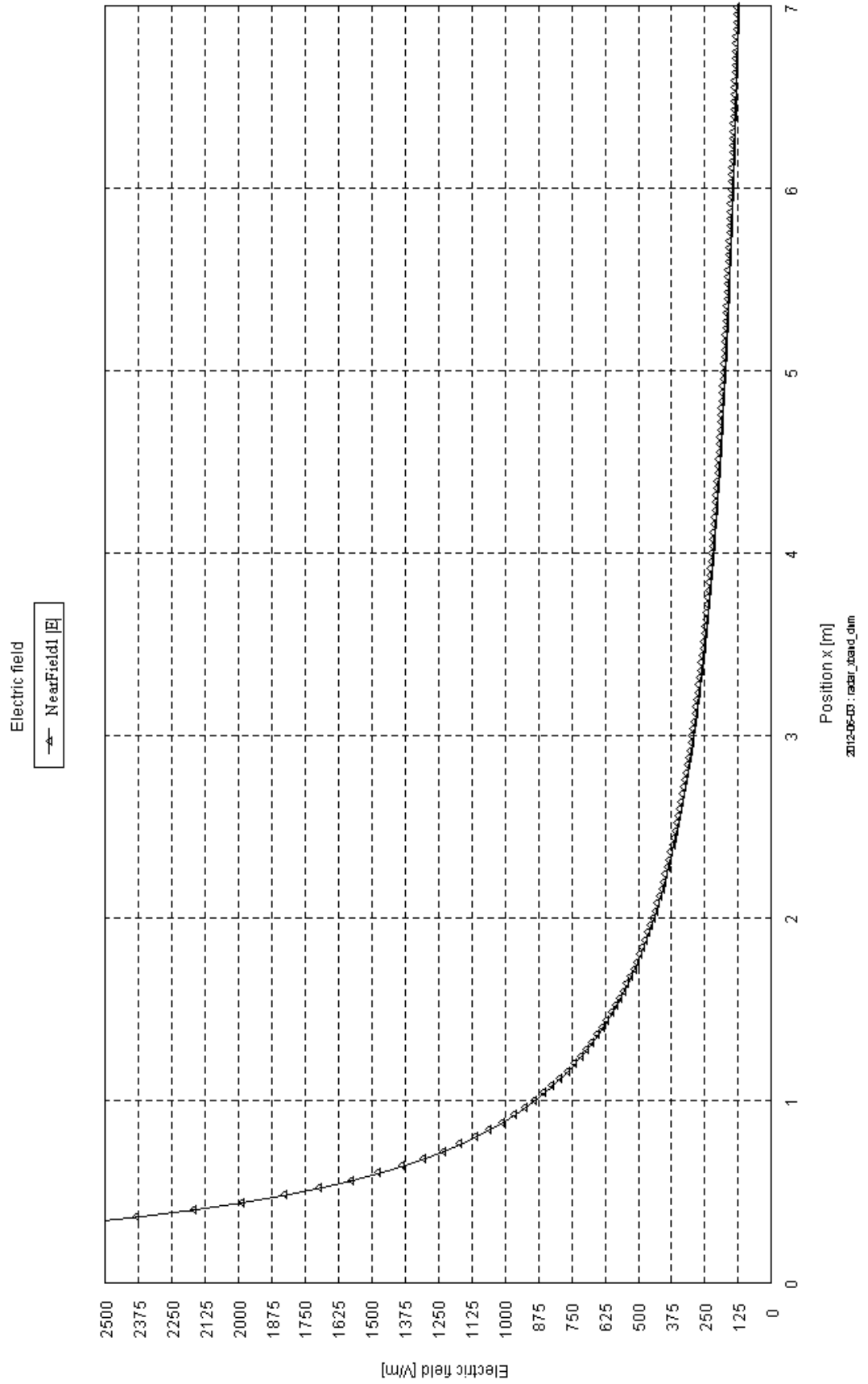
Şekil 6. 72 X Band Seyir Yayını Köprü Üstü Işıma Paterni (9000MHz) ($Az=90^\circ$)



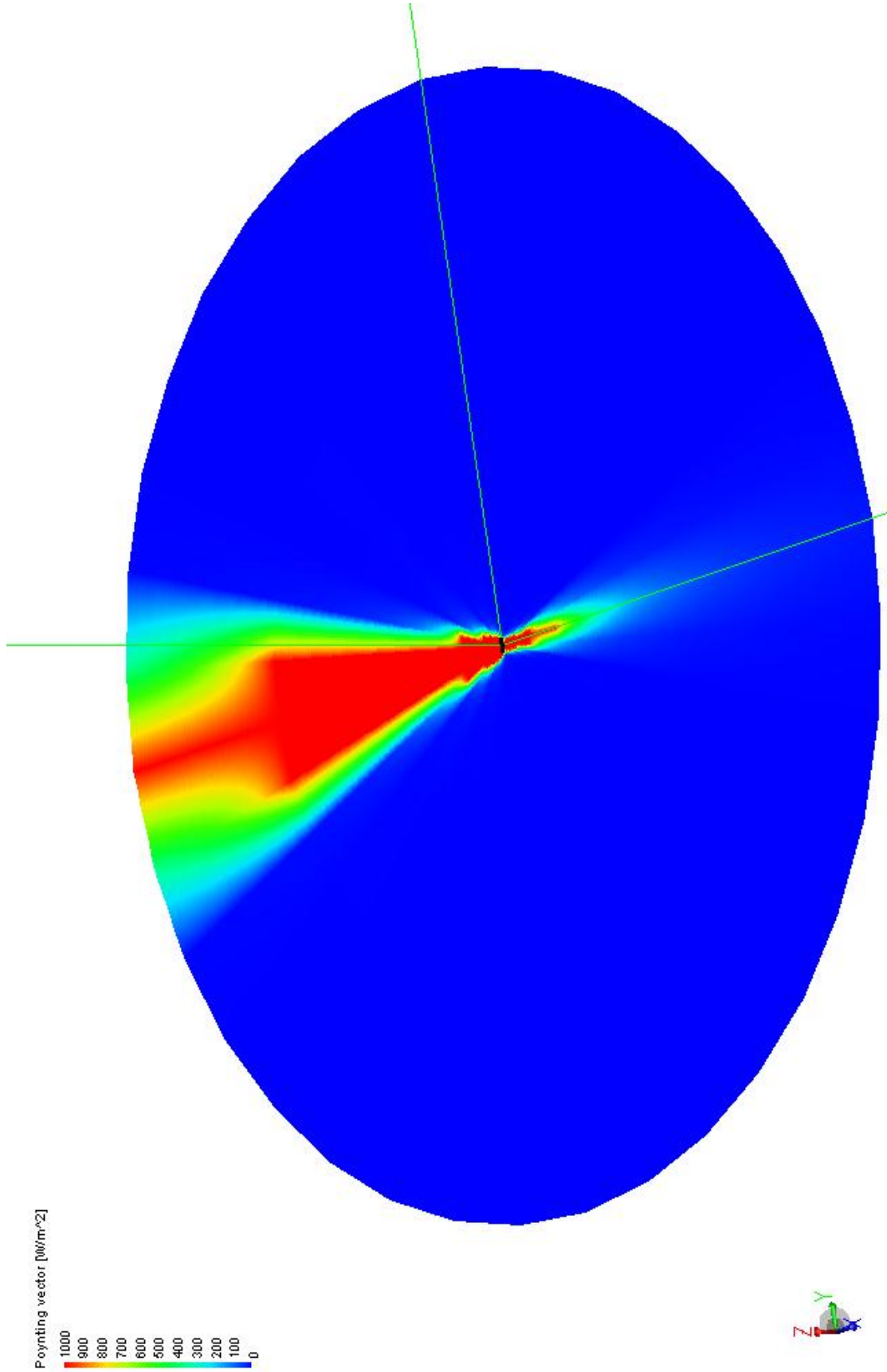
Şekil 6. 73 X Band Seyir Yayını Köprü Üstü Işıma Paterni – Kutupsal (9000MHz) (Az=90°)



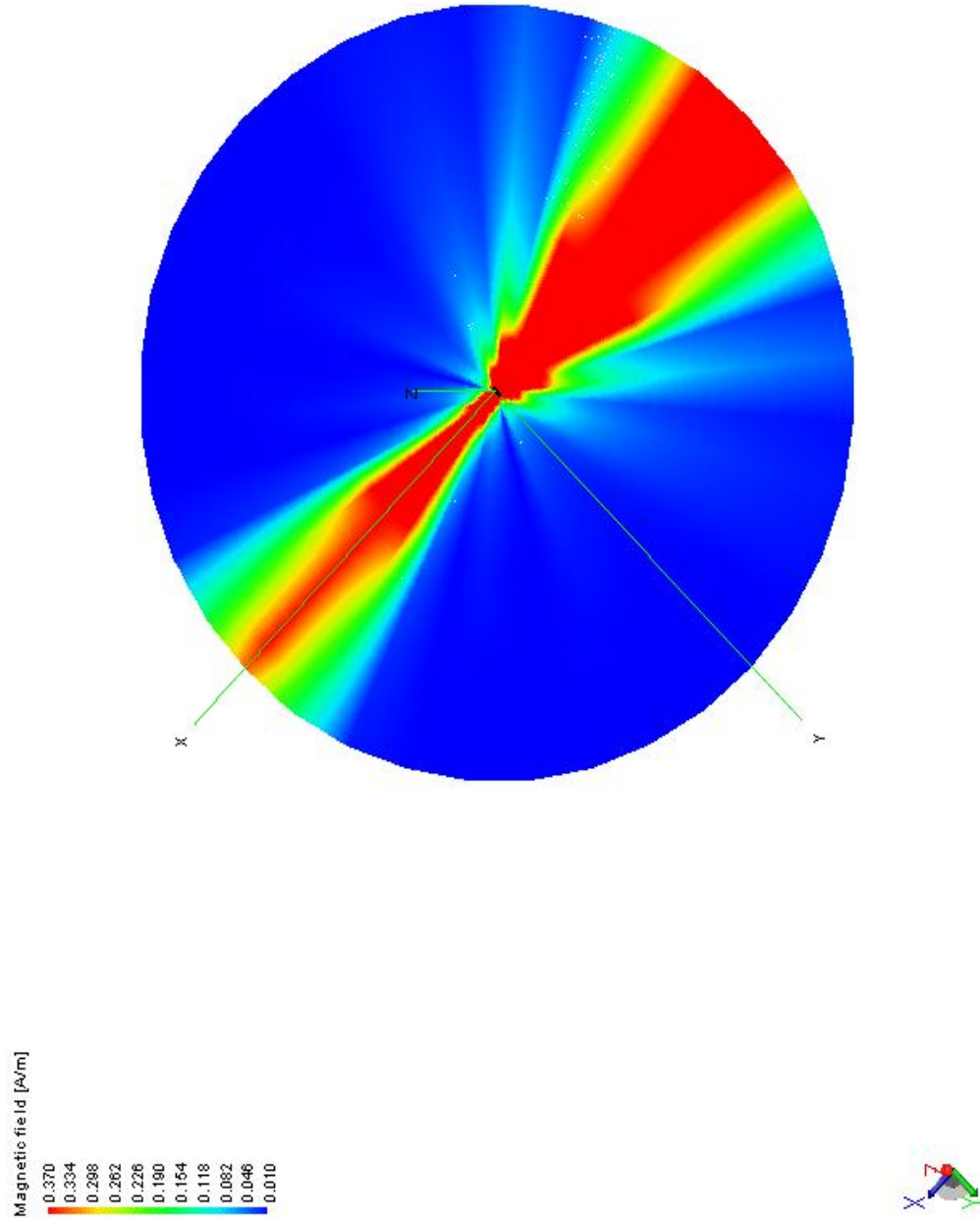
Şekil 6. 74 X Band Seyir Radarı Köprü Üstü Yakın Bölge Elektrik Alanı (9000MHz - V/m)
(Az=90°)



Şekil 6. 75 X Band Seyir Radarı Köprü Üstü Poynting Vektörü (9000MHz - W/m²)
(Az=90°)



Şekil 6. 76 X Band Seyir Radarı Köprü Üstü Işıma Paterni Manyetik Alan Bileşeni
(9000MHz) (Az=90°)



6.4 Analizler Işığında EMI Risklerinin Yeniden Değerlendirilmesi

Elektromanyetik Uyumluluk haritasının elde edilebilmesi amacıyla gerçekleştirilmesi planlanan tüm analizlerin tamamlanması neticesinde ve eldeki verilerin ışığında çizelge (6.3)'te sunulan risk matrisi yenilenmiştir. İcra edilen iyileştirme çalışmaları ve optimum yerleşim modelinin hazırlanması sonucunda platformdaki mevcut EM riskleri yeniden incelenmiştir.

Risk matrislerinin yenilenmesi ile anten yerleşimleri nihai hale getirilmiştir. Tasarım aşamasında ve sonrasında icra edilecek EMU çalışmaları neticesinde gerçekleştirilecek kurulum çalışmaları esnasında belirebilen ve önceden tahmin edilemeyen durumlarda; anten yerleşimlerinde ufak oynamalar ile söz konusu problemler aşılmaya çalışılmaktadır. Ancak üretim aşamasında platformda oluşacak ciddi yapısal değişiklikler (ana kulenin yer değiştirmesi gibi), EMU çalışmalarının bir bölümünün ya da tümünün yenilenmesi gerekecektir.

6.5 Sonuçların Değerlendirilmesi ve Risk Matrislerinin Yenilenmesi

Kurtarma gemileri gibi büyük platformlar için EMI haritasının elde edilebilmesi amacıyla gerçekleştirilen ve sonuçları önceki bölümlerde sunulan analizler neticesinde risk matrisi yenilenerek Çizelge (6.11) ve Şekil (6.77)'de sunulmuştur.

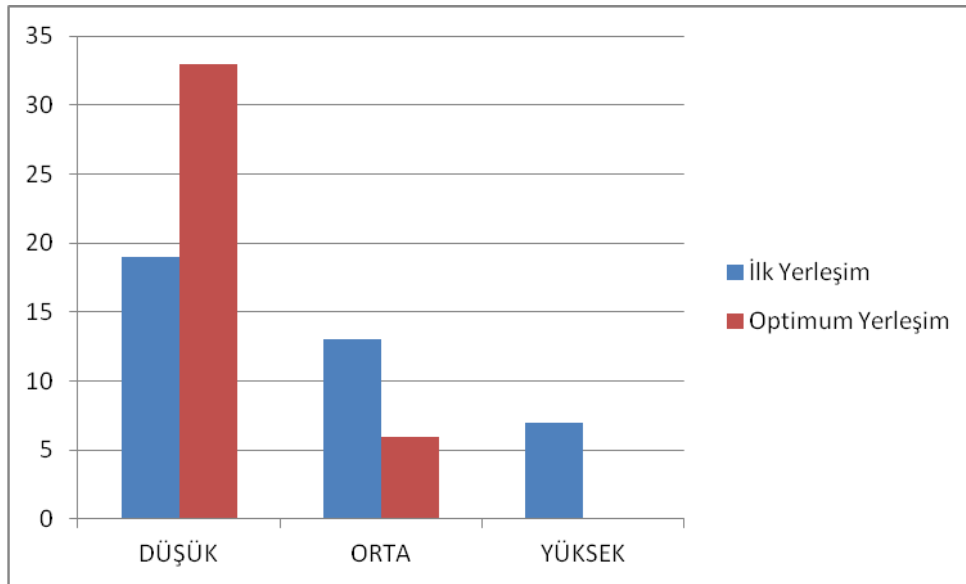
İndirgenmiş risk matrisleri, verilmiş olan referans model üzerinden Çizelge (6.3)'te sunulmuş olan risk matrisinin, şekil (6.14)'te sunulan optimum yerleşimler üzerinden gerçekleştirilen yeni analizler sonucunda ışığında oluşturulmuştur. Özellikle HF telsizlerinden kaynaklanan EMI risklerinin, antenlerin platform için en uygun ve diğer sistemlerin antenlerinden en uzak mevkiiye konumlandırılması ile oldukça azaldığı görülmüştür. Bunun yanı sıra RADHAZ problemlerinin çözümlenmesi ve VHF telsizlerinin farklı konumlara alınarak EMI problemlerinin çözümlenmesi olası tüm risklerin azaltılmasını sağlamıştır.

Çizelge 6.11 İndirgenmiş Risk Matrisi

Sistem	Risk Tipi	Risk Kapsamı (Çizelge (6.3))					
		İlk Yerleşim (Şekil (6.3))			Optimum Yerleşim (Şekil (6.14))		
		Risk seviyesi			Risk seviyesi		
		Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
HF TX/RX AM/FM/CW/SSB TELSİZ	EMI	2	-	2	4	-	-
	RADHAZ (HERP,HERF,HERO)	-	-	2	2	-	-
	Kapsama sorunları	-	2	-	2	-	-
VHF TX/RX/AM/FM TELSİZ (GMDSS- AIS)	EMI	1	1	3	5	-	-
	RADHAZ (HERP,HERF,HERO)	-	2	-	2	-	-
	Kapsama sorunları	-	2	-	2	-	-
GSM	EMI	6	-	-	6	-	-
	RADHAZ (HERP,HERF,HERO)	1	-	-	1	-	-
	Kapsama sorunları	-	1	-	-	1	-
L-BAND (SATCOMM)	EMI	5	-	-	5	-	-
	RADHAZ (HERP,HERF,HERO)	1	-	-	1	-	-
	Kapsama sorunları	-	1	-	-	1	-
S-BAND NAVIGATON RADAR	EMI	2	-	-	2	-	-
	RADHAZ (HERP,HERF,HERO)	-	1	-	-	1	-
	Kapsama sorunları	-	1	-	-	1	-
X-BAND NAVIGATON RADAR	EMI	1	-	-	1	-	-
	RADHAZ (HERP,HERF,HERO)	-	1	-	-	1	-
	Kapsama sorunları	-	1	-	-	1	-
Toplam Risk		19	13	7	33	6	0

Tüm bu optimizasyon çalışmaları neticesinde azaltılan risklerin görsel olarak ifade edildiği ve şekil (6.77)’de sunulmuş olan grafikten de görülebileceği üzere “Yüksek” olarak tanımlanan tüm riskler ortadan kaldırılmıştır. Söz konusu bu yüksek risklerin, ana kaynağının HF telsiz sistemlerinin olması ve bu sistemlerin optimum şekilde yerleştirilmesi, iyileştirmeyi tesis etmiştir. Aynı grafikte “Orta” olarak tanımlanan risklerin, genel olarak RADHAZ ve kapsama problemlerinden meydana geliyor oluşu ve bu problemlerin çözümlenmesi ile son modelde oldukça azaltılmış olduğu görülmektedir. “Düşük” olarak tanımlanan risklerin kapsamlarının, platform bütününde olumsuz etkiler yaratmayacağı düşünüldüğünden ayrıca optimizasyona gerek duyulmamıştır. Ancak daha büyük ve çok daha fazla cihaz anteninin yerleşiminin yapılacağı uygulamalarda, düşük olarak tanımlanan risklerin de ele alınması gerekebilir. Bunun yanı sıra güverte altı yerleşimlerin ve platform içi haberleşme sistemleri için de EMI/EMC çalışmalarının gerçekleştirilmesi yararlı olacaktır.

Şekil 6. 77 Optimizasyon Sonrası EMI/EMC Riskleri



6.6 Anten Yerleşiminin Neticelendirilmesi

Sonuç olarak icra edilen analizler neticesinde ulaşılmış olan optimum anten yerleşim modeli şekil (6.14)’te sunulmuştur. Bu model, görev ihtiyaçları tanımlanan ve bu doğrultuda konfigürasyonları sağlanan platform için en uygun model olarak kabul edilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kurtarma gemilerinde elektromanyetik uyumluluk çalışmaları oldukça kapsamlı analiz ve planlamaları gerektirmiştir. Çalışmamızda; bir platformda bulunması gereken sistem/cihazların tanımı yapılmış, yerleşimlerinin sağlanması için gereken asgari ortam koşulları sağlanmış ve birbirleri ile oluşabilecek etkileşimler en aza indirgenmiştir. Tüm bu çalışmaların yanı sıra RADHAZ kapsamında güvenli mesafeler belirlenmiş ve gerektiği durumlarda tasarım için gerekli önlemler alınmıştır.

Birden fazla EM emisyonu yaratan sistem/cihazları barındıran, kurtarma gemisi gibi büyük platformlarda EMC çalışmaları tamamlanmıştır. Bu çalışma neticesinde benzer platformlarda icra edilmesi planlanan EMC çalışmalarına ışık tutulmuş olunacaktır.

Kapsam bakımından çalışmamız yalnızca antenler arası kuplajları içermemektedir. Bunun yanı sıra RADHAZ analizleri, yüzey akımları, ışıma diyagramları ve kapsama problemleri çözümlerini de içermekte olduğu için komple bir anten yerleşim ve EMU çalışmasıdır. Bu açıdan çalışma, kurtarma gemisi gibi büyük platformlar için üretim esnasında ve sonrasında referans kabul edilebilecek incelemeleri içermektedir. Her bir antenin frekans bandı içersisinden seçilmiş olan ve genellikle yoğun kullanılan frekanslar için poynting vektörlerinin hesaplanması ile antenlerin çıkış güçleri ve bu gücün yakın alandaki dağılımı hakkında önemli ipuçları sunulmuştur.

Sonuç olarak; Kurtarma gemilerinde elektromanyetik girişim haritasının çıkarılması sonrasında gerçekleştirilen optimizasyonlar ile en uygun anten yerleşimleri belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Cheng, D.K., (2003). Dalga ve Alan Manyetizması, Akademi Yayıncılık, Ankara.
- [2] Rappaport, T., (2002). Wireless Communications, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- [3] Ulaby, T.F., (2004). Fundamentals of Applied Electromagnetics – Media Edition, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- [4] Krueger, J.Q., (2002). Electromagnetic Interference and Radio Frequency Interference Shielding of Carbon Filled Conductive Resins, Yüksek Lisans Tezi, Michigan Technological University Graduate Faculty, Houghton Michigan.
- [5] Chen, (1992). Advanced Electromagnetic Theory, Michigan State University Press, Michigan.
- [6] Chang, K., (2000). RF and Microwave Wireless Systems, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [7] Swiak, K., (1998). Radiowave Propagation and Antennas For Personal Communications, Artech House Inc., Norwood Massachusetts.
- [8] Gallo, R.L.E., (2006). Propagation Modelling of Wireless Systems on Shipboard External Decks, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey.
- [9] Edminister, J.A., (1993). Electromagnetics”, McGraw-Hill, New York.
- [10] Golio, M. (2001). The RF and Microwave Handbook, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.
- [11] Kaya, Y., (2005). Simulation of Wireless Propagation and Jamming in a High-Rise Building, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey.
- [12] Chung, C.V., (2007). Simulation of Radiowave Propagation in a Dense Urban Environment, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey.
- [13] Orfanidis, S.J. (2003). Electromagnetic Waves and Antennas, Rutgers University, Berkley.
- [14] Griffiths, D.J., (1991). Introduction to Electrodynamics, Prentice-Hall PTR, New Jersey, ABD.
- [15] Apaydın, Ö. (2004). Elektromanyetik Ortam Etileri ve Elektromanyetik Uyumluluk, Uzmanlık Tezi, Milli Savunma Bakanlığı SSM, Ankara.

- [16] Elhasanoğlu, D. (2006). Elektromanyetik Kirliliğin Zararlı Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [17] Güler, S. (2007). Elektromanyetik Uyumluluk Tekniklerinde Elektromanyetik Işımanın Modellenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [18] Engelbrecht, J.J. (2004). Methods to Measure and Limit Electromagnetic Interference to Power Systems and Satellite Earth Stations, Yüksek Lisans Tezi, Rand Afrikaans University Faculty of Electronic and Electric Engineering, Johannesburg.
- [19] Kenneth, S.G., (2007). Shipboard Radio Frequency and Free Space Optics Communications System Using an Airborne Relay, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey.
- [20] Mohan, R.P., Kumar M.V., Reddy R.O.V. (2007). "A Novel Topology of EMI Filter To Suppress Common Mode and Differential Mode Noises of Electromagnetic Interference in Switching Power Supplies", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, India.
- [21] NATO AECP-2(C) (1979). Recommendations to Ensure RADHAZ Safety, NATO Naval Radio and Radar Radiation Hazards Manual, Department of Defence Interface Standard, Second Edition, Washington.
- [22] NATO MIL-STD-461F (2007). Requirements For The Control of Electromagnetic Interference Characterists of Subsystems and Equipment, Department Of Defence Interface Standard, Sixth Edition, Washington.
- [23] NATO MIL-STD-464A (2002). Electromagnetic Environmental Effects Requirements For Systems, Department Of Defence Interface Standard, First Edition, Washington.
- [24] Niska, S. (2008). Measurements and Analysis of Electromagnetic Interferences in the Sweedish Railway Systems, Doktora Tezi, Luleå University of Technology, Luleå.
- [25] Kitchen, R., (2001). RF and Microwave Radiation Safety Handbook, Newnes, Oxford.
- [26] Mitchell, S. (2008). Electromagnetic Wave Propagation – Theory and Application to Bathymetric Lidar Simulation, University of Colorado at Boulder Print House, Colorado.
- [27] Alzaghal, M.H. (2006). Wireless Sensor Network: Channel Propagation Measurements and Comparison with Simulation, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey.
- [28] Johannesson, P. (2001), Wave Propagation Through Vegetation at 3.1 GHz and 5.8 GHz, Yüksek Lisans Tezi, Lund Institute of Technology, Lund.
- [29] Mitchell, S. (2009). Electromagnetic Wave Detection – Theory and Application to Bathymetric Lidar Simulation, University of Colorado at Boulde Print Houser, Colorado.

- [30] Cengiz, Y. (2000). Yüksek Frekans Elektromanyetik Dalgaların İletimi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [31] Dursun, E. (2006). Elektrik Sistemlerinde Elektromanyetik Uyum, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] Silfverskiöld, S. (2002). Effects of Lightning Electromagnetic Pulse and High Power Microwaves on Military Electric Systems, Doktora Tezi, Uppsala University, Uppsala.
- [33] IEEE C95.1, (1999). IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnet Fields, 3kHz to 300GHz, IEEE SA Standards Board, II.Baskı, New York.
- [34] IEC 61000 (2001). Elektromanyetik Uyumluluk Genel Standardı, TSE, II.Baskı, Ankara.
- [35] IEC 60533(2010). Gemilerde Elektrikli ve Elektronik Sistemlerin Kurulumları ve EMU, TSE, II. Baskı, Ankara.
- [36] IRPA INIRP, (1977). Standard for Safety with Non-Ionizing Radiation, IRPA, New York.
- [37] Paul, R.C. (2005). Introduction to Electromagnetic Compatibility, Wiley Interscience Publication, New Jersey.
- [38] Williams, T. (1996). EMC for Product Designers, Newnes, Oxford.
- [39] Harris Corporation, (1996). Radio Communications in the Digital Age, Volume One: HF Radio Technology, New York.
- [40] Lahanas, A.B. (1995).Electromagnetic Theory,University of Athens Print House, Atina, Yunanistan.
- [41] Latturalo, F., (2007). Electromagnetic Compatibility in Power Systems, Elsevier B.V., Amsterdam.
- [42] Millard, D.P. (1985). Short Course: EMC Design Principles for Shipboard Electronic Systems, U.S. Navy Press, Maryland.
- [43] Siwiak, K., Bahreini Y. (2007). Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communication, Artech House Printing, Norwood.
- [44] Slattery, K., Skinner H. (2008). Platform Interference in Wireless Systems, Elsevier B.V., Amsterdam.
- [45] Önal, E. (2005). Elektromanyetik Alanların Canlı Organizmalara Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [46] Katznelson, Y. (2002).An Introduction to Harmonic Analysis, Stanford University, Kaliforniya.
- [47] Seybold, J.S., (2005). Introduction to RF Propagation, Wiley Interscience Publication, New Jersey.

- [48] Preston, E.L. (1987). Shipboard Electromagnetics Artech House Printing, Norwood.
- [49] Lopez, J. (2004). An Analysis of Electromagnetic Interference (EMI) of Ultra Wideband (UWB) and IEEE 802.11a Wireless Local Area Network (WLAN) Employing Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), Yüksek Lisans Tezi, U.S. Air Force Institute of Technology, Ohio.
- [50] Skolnik, M. (2008). Radar Handbook, McGraw-Hill Publication, New Jersey.
- [51] Dağdeviren, A. (2006). Monopol Antenli Uçaklarda Alan Örüntüsünün ve Kuplajın Kırınımın Düzgün Teorisi (UTD) ile Bulunması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [52] Walter, I., Arnold E., Holtzhausen C., Sabielny M. (2005). "Antenna Coupling on Electromagnetic Large Objects" Bildiri, European Aeronautic Defence and Space Company, Ulm.
- [53] Daniel, L. (2003). Simulation and Modeling Techniques for Signal Integrity and Electromagnetic Interference on High Frequency Electronic Systems, Doktora Tezi, University of California at Berkeley, Kaliforniya.
- [54] Weinberg, S. [1979]. "Conceptual Foundations of the Unified Theory of Weak and Electromagnetic Interactions", Lyman Laboratory of Physics Harvard University, Massachusetts.
- [55] Chaabane, A. (2005). Propagation Modeling of Wireless Systems in Ship Compartments, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey.
- [56] Vanhoenacker-Janvier, D. (2006). Propagation Models for Wireless Mobile Communications, Microwave Lab. UCL, Louvain-la-Neuve, Belçika.
- [57] Aydemir, M.E., Günel, T. (2006). "Uçak Antenleri Arasındaki Kuplajın Sürekli Parametrelili Genetik Algoritma ile Optimizasyonu", İTÜ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Semp., İstanbul.
- [58] Iskander, M.F., Yun, Z. (2002). "Propagation Prediction Models for Wireless Communication Systems", IEEE Communication Symposium, 4-8 August 2002, İstanbul.

FREKANS BANDLARI

Frekans Bantları, Elektromanyetik Spektrum içerisinde bulunan ve genellikle haberleşme için kullanılacak frekans bantlarını tanımlamaktadır. Elektromanyetik Spektrum, birkaç Hertz'den (ses frekansları) başlayıp YHZ (Yotta Hertz – X-ışınları) mertebelerindeki tüm elektromanyetik dalgaları kapsar. Frekans bandları ise bu spektrumun haberleşme için kullanılacak çok dar bir bölgesini tanımlamaktadır. (Çizelge (Ek-A.1)).

Çizelge Ek-A.1 Frekans Bantları

IEEE 521 StandardınaGöre Karşılaştırmalı Uluslararası Frekans Spekturumu					
Radar Tanımlaması		ITU Tanımlaması			
Radar Harf Gösterimi	Frekans Aralığı	Frekans Aralığı	Bant Nu.	Açık Bant Gösterimi	Metrik Gösterim
HF	3-30 MHz	3-30 MHz	7	HF	Dekametrik Dalga
VHF	30-300MHz	30-300MHz	8	VHF	Metrik Dalga
UHF	300-3000 MHz	0.3-3 GHz	9	UHF	Desimetrik Dalga
L	1-2 GHz				
S	2-4 GHz				
C	4-8 GHz	3-30 GHz	10	SHF	Santimetrik Dalga
G *	4-6 GHz				
I *	8-10 GHz				
X	8-12 GHz				
Ku	12-18 GHz				
K	18-27 GHz				
Ka	27-40 GHz	30-300 GHz	11	EHF	Milimetrik Dalga
V	40-75 GHz				
W	75-110 GHz				
Mm	110-300 GHz				
*	NATO Gösteriminde kullanılan sembollerdir. Literatürde yoğun olarak kullanılmalarından ötürü çizelgeye alınmıştır.				

ANTEN PATTERN DOSYASI

Kurtarma gemilerinin EM girişim haritasının çıkarılması maksadıyla gerçekleştirilen analizlerde özellikle GPS ve Uydu Telefonlarının modellenmesinde ihtiyaç duyulan ışıma paternlerinin MATLAB üzerinde hazırlanan kodları aşağıda sunulmuştur. Bu cihazlar modellenirken alış paternleri bu kodların çalıştırılması ile elde edilmiş ve analizlere esas teşkil etmiştir.

B-1 Uydu Telefonu ve GPS Analizlerinde Kullanılan Anten Işıma Paterni

```
% Antenna Pattern File Generation for a x pol circular aperture of  
radius a % Aperture is in the x-y plane and beam is in the z direction  
  
close all;  
  
clc;  
  
clear;  
  
fr=1600e6;  
  
lamda = 3*10^8/fr;  
  
HPBW = 60; % in degrees  
  
a = 58.4 * lamda / (2*HPBW); % Uniform Circular Aperature Size (radius)  
  
beta = 2*pi/lamda;  
  
EO = 1;  
  
c = j*beta*EO*pi*a^2/(2*pi); %Contant term in E field
```

```

Directivity = (4*pi*pi*a^2)/lamda^2;

Directivity_dB = 10*log10(Directivity);

disp(['Computing pattern for HPBW = ',num2str(HPBW),' deg, f =',num2str(fr/1e6),'
MHz'])

step1 = 90; % Vertical Steps

step2 = 180; % Horizontal Steps

d_theta = 180/(step1);

d_phi = 360/(step2);

k = 0;

ip = 0;

iq = 0;

for phi = 0:d_phi:360

for theta = 0:d_theta:180 % plots out the zero point

k = k+1;

arg=beta*a*sin(theta*pi/180);

f = 1;

if abs(arg)>=1e-4

f = 2*besselj(1,arg)/arg;

end

e_theta = cos(phi*pi/180)*c*f;

e_phi = -sin(phi*pi/180)*cos(theta*pi/180)*c*f;

if theta > 90 % pattern in the rear hemisphere is zero

e_theta = 0;

e_phi = 0;

end

```

```

if phi == 0 % E-plane pattern

ip = ip + 1;

et0(ip) = 20*log10(abs(e_theta)+1e-10);
ep0(ip) = 20*log10(abs(e_phi)+1e-10);
eth0(ip) = theta;

end

if phi == 90 % H-plane pattern

iq = iq + 1;

et90(iq) = 20*log10(abs(e_theta)+1e-10);
ep90(iq) = 20*log10(abs(e_phi)+1e-10);
eth90(iq) = theta;

end

A(k,1:4) = [real(e_theta), imag(e_theta), real(e_phi), imag(e_phi)];

end

end

A0=max(max(abs(A)));

Amax=max(max(20*log10(abs(A)+1e-10)));

figure(1)

plot(eth0,et0-Amax,eth0,ep0-Amax)

title('Normalized Antenna Pattern (HPBW=90 degrees), \phi=0^\circ')

xlabel('Angle [degree]')

ylabel('Relative Power [dB]')

grid, legend('E-theta','E-phi')

axis([0,180,-50,0])

figure(2)

```

```

plot(eth90,et90-Amax,eth90,ep90-Amax)

title('Normalized Antenna Pattern (HPBW=90 degrees), \phi=90^o')

xlabel('Angle [degree]')

ylabel('Relative Pattern, dB')

grid, legend('E-theta','E-phi')

axis([0,180,-50,0])

% write the antenna file

fname=input('Enter the output file name with any extension: ','s');

fid=fopen(fname,'w');

S=['# Antenna file, HPBW=',num2str(HPBW),',

D=',num2str(Directivity_dB),...

', f=',num2str(fr/1e6),' MHz'];

fprintf(fid,'%s\n',S);

fprintf(fid,'%s\n','rect');

fprintf(fid,'%s\n','theta_phi');

fprintf(fid,'%s\n','vert_first');

fprintf(fid,'%s\n','renorm');

fprintf(fid,'%s\n',['steps ',num2str(step1),' ',num2str(step2)]);

for i=1:k

fprintf(fid,'%10.6f\t%10.6f\t%10.6f\t%10.6f\n',A(i,1:4)/A0);

end

fclose(fid);

disp(['File ',fname,' written'])

```

B-2 EM Analizinde Kullanılmak Üzere Hazırlanan EM Alan Dosyası

```
% plot field file (surface plot only)

clear

% load file

name=input('Enter root name of the file (without .field): ','s');

fname=[name, '.field'];

fid=fopen(fname);

% discard first 6 lines (comments and headings)

for i=1:6, linedat=fgetl(fid); end

irow=0;

% read edge data in blocks

disp('reading input file .....')

n=1;

while feof(fid)==0

irow=irow+1;

linedat=fgetl(fid);

B=sscanf(linedat,'%f');

A(irow,1:11)=transpose(B);

% display every 1000 rows to monitor rate

if floor(irow/n/5000)==irow/n/5000

n=n+1;

disp(['up to row ',num2str(irow)])

end

end

disp(['data read, number of rows =',num2str(irow)])
```

```

x=A(:,2); xmax=max(x); xmin=min(x);

y=A(:,3); ymax=max(y); ymin=min(y);

z=A(:,4); zmax=max(z); zmin=min(z);

f1=A(:,5);

disp(['frequency=',num2str(f1(1))])

% find the cell size -- assumed square and

for i=2:irow

if x(i) ~= x(i-1), dx=abs(x(i)-x(i-1)); break, end

end

disp(['cell size=',num2str(dx)])

Ex1=A(:,6)+j*A(:,7);

Ey1=A(:,8)+j*A(:,9);

Ez1=A(:,10)+j*A(:,11);

%

Emag=sqrt(abs(Ex1.^conj(Ex1))+abs(Ey1.^conj(Ey1))+abs(Ez1.^conj(Ez1)));

Emag=abs(Ez1); % only want vertical component

Edbm=20*log10(Emag);

iprt=1;

if iprt==1 % print the field values

disp(' x y z |E|, dBm')

for i=1:irow

disp([' ',num2str(x(i)), ' ',num2str(y(i)), ' ',num2str(z(i)), '

', num2str(Edbm(i))])

end

end

```

```

hf = figure(1); clf

% set floor and ceiling values (max and min for colorbar)

Efloor=min(Edbm); %-50;

Eceil=max(Edbm); %20;

% add mini-patches at the corners to set the scale

% Edbm(1)=Efloor; Edbm(irow)=Eceil;

for i=1:irow

x1=x(i)-dx/2; x2=x(i)+dx/2;

y1=y(i)-dx/2; y2=y(i)+dx/2;

if Edbm(i)<Efloor, Edbm(i)=Efloor; end

if Edbm(i)>Eceil, Edbm(i)=Eceil; end

hs2=patch([x1 x2 x2 x1],[y1 y1 y2 y2],Edbm(i));

set(hs2,'edgecolor','none');

end

% lighting gouraud

% camlight

view(0,90)

Lx=xmax-xmin; Lxave=(xmax+xmin)/2;

Ly=ymax-ymin; Lyave=(ymax+ymin)/2;

Lz=zmax-zmin;

L=max([Lx,Ly,Lz]);

axis([Lxave-L/2,Lxave+L/2,Lyave-L/2,Lyave+L/2,0,L])

xlabel('x, inches')

ylabel('y, inches')

zlabel('Height, inches')

```

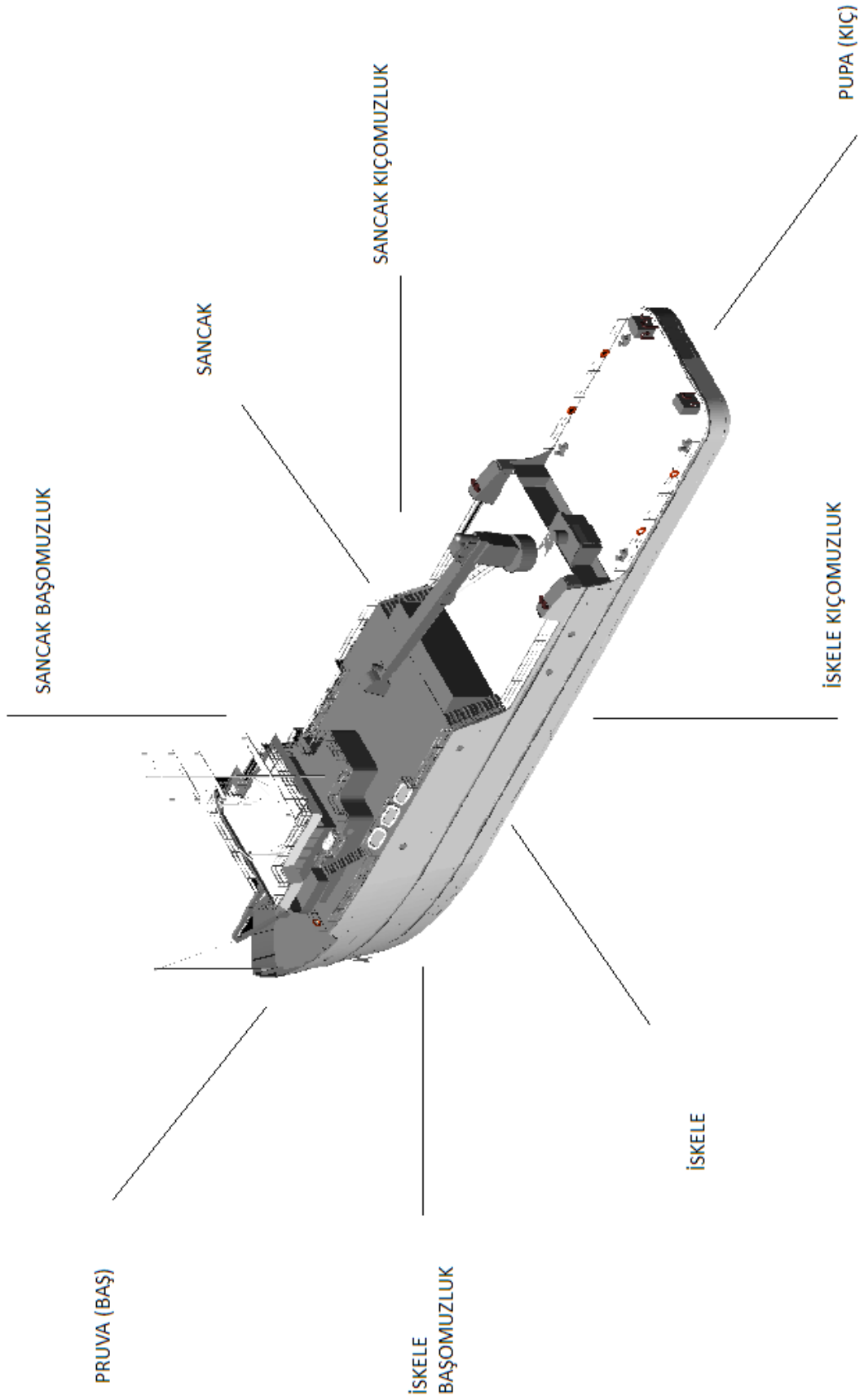
```
% title(['Observation height: ',num2str(z1(1,1)),' inches; Antenna  
location = +'])  
colorbar('vert')  
grid off
```

ÇALIŞMA İÇERİSİNDEKİ GEMİCİLİK TERİMLERİ

Konu itibarıyla bu çalışmada denizcilik ve gemicilik terimleri yoğun olarak kullanılmıştır. Kimi terimler gündelik hayatımızda sıklıkla kullanılmakla beraber, büyük çoğunluğu yalnızca bu mesleğe has terimlerdir. Özellikle çok yoğun kullanılan terimlerin Türkçe karşılıkları Çizelge (Ek-C.1)'de sunulmuş, bunun yanı sıra gemicilikte kullanılan yönleri ifade eden şema Şekil (Ek-C.1)'de sunulmuştur.

Çizelge Ek-C.1 Bazı Gemicilik Terimleri.

Terim	Türkçe Karşılığı
Alabanda	Geminin su kesiminden yukarı kalan iç kısmı.
Borda	Geminin su kesiminden yukarı kalan dış kısmı.
Baş	Geminin ön ya da ileri kısmı.
Güverte	Geminin başından kıçına kadar yekpare döşenen madeni ya da ahşap platform döşeme.
Kaporta	Gemi içerisinde bölmeleri ayıran kapılara ve güverteler arası geçişi sağlayan dikey kapaklara verilen addır.
Karina	Geminin su kesiminden aşağıda kalan dış kısmı.
Kavanca	Yakıt ya da diğer sıvıların transferi için kullanılan istasyonlara verilen addır.
Kıç	Geminin arka ya da geri kısmı.
Köprü üstü	Geminin kullanıldığı ve kaptanın bulunduğu yerdir.
Lumbarağzı	Gemilere girip çıkılan bordada açılan dört köşe kapak
Sintine	Geminin su kesiminden altta kalan iç kısmı. Genellikle gemi içerisindeki atık sıvıların biriktirildiği hazne görevi görmektedir.
Vasat	Geminin orta yan kısmına verilen addır.



Şekil Ek-C. 1 Gemi Yönleri

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Umut ÖRS
Doğum Tarihi ve Yeri :28/10/1984
Yabancı Dili :İngilizce, Almanca
E-posta :umutors@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	İstanbul Üniversitesi	2006
Lise	Fen Bilimleri	Atatürk Anadolu Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008-	Sahil Güvenlik Komutanlığı	Proje Subayı
2006-2008	Teknikel Tic.San.Ltd.Şti.	Servis Mühendisi
2005-2006	İstanbul Üniversitesi	Radyololoji Cihazları Uzmanı