

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FARKLI TÜRDEN HAREKETLİ MONOKROMATİK
KAYNAKLARA İLİŞKİN IŞIMA DİYAGRAMLARININ HESABI

AHMET YEŞİLYAYLA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. ALİ ALKUMRU

EKİM 2024

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FARKLI TÜRDEN HAREKETLİ MONOKROMATİK
KAYNAKLARA İLİŞKİN IŞIMA DİYAGRAMLARININ
HESABI

AHMET YEŞİLYAYLA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. ALİ ALKUMRU

EKİM 2024

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**CALCULATION OF RADIATION DIAGRAMS OF
DIFFERENT TYPES OF MOVING MONOCHROMATIC
SOURCES**

AHMET YEŞİLYAYLA

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ELECTRONICS ENGINEERING**

ADVISOR: PROF.DR. ALİ ALKUMRU

OCTOBER 2024

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 24/06/2024 tarih ve 2024/32 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 16/10/2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ahmet YEŞİLYAYLA'nın tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Ali ALKUMRU

ÜYE

: Doç. Dr. Ahmet GÜNEŞ

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Erkul BAŞARAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu çalışmanın amacı Monokromatik kaynakların iki farklı durumda elektrik ve manyetik alan hesaplamalarının yapılmasıdır. K ve K' iki farklı durumu göstermektedir K' v hızıyla hareket eden monokromatik kaynağın bulunduğu bölgedir bu bölgede (x', y', z', t') olarak koordinat ve zaman diliminde gösterilmektedir. K durumun da ise hareket eden kaynağın gözlemleyen bölge olarak adlandırılır.

Belirli bir hız ile hareket eden kaynağın gözlemlendiğinde oluşan elektrik alan ve manyetik alan için denklemlerin çıkarılması yapılacaktır bu çıkarımlarda Elemanter Elektrik Dipol, Magnetik Dipol ve Sonlu Uzunluklu Dipol kaynakların incelenmesi yapılacaktır.

Yapılacak analizler bilinen küresel koordinatlardaki elektrik ve manyetik alan denklemlerini ilk olarak Kartezyen koordinatlara dönüşümü yapılacaktır. Bu dönüşüm ile birlikte denklemler (x, y, z, t) 'ye bağlı birer denklem haline dönüşeceklerdir. Bulunan bu denklemler hareket halindeki kaynağın elektrik ve manyetik alan denklemleri olacaktır yani (x', y', z', t') olarak ifade edilebilecek denklemlerdir. Bu denklemlerin K durumunda ifade edilebilmesi için öncelikle literatürde bilinen Alan dönüşümleri kullanılacaktır. Bu dönüşümler ile gözlemci tarafında oluşan elektrik ve manyetik alan ifadeler ile bu dönüşümlerden yararlanılarak birçok denklem de çözümlenebilecektir. Alan dönüşümlerinden sonra Lorentz dönüşümleri uygulanır. Bu dönüşüm ile birlikte gözlemci durumunda olan K için elektrik ve manyetik alan denklemleri çıkarılmış olacaktır.

Çalışmanın genel amacı, gözlemci tarafındaki elektrik ve manyetik alan hesaplamalarının denklemlerinin çıkarılması ve çıkarılan bu denklemlerin MATLAB ile doğruluğunun gösterilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Monokromatik, çizgisel kaynak, Lorentz dönüşümleri, Işıma paterni

ABSTRACT

The purpose of this study is to make electric and magnetic field calculations of monochromatic sources in two different situations. K and K' show two different situations. K' is the region where the monochromatic source moving with speed v is located. In this region, it is shown in coordinates and time period as (x', y', z', t') . In the K case, it is called the observing region of the moving source. Equations will be derived for the electric field and magnetic field that occur when a source moving at a certain speed is observed, and in these deductions, Elementary Electric Dipole, Magnetic Dipole and Finite Length Dipole sources will be examined.

In the analysis to be carried out, the electric and magnetic field equations in known global coordinates will first be transformed into Cartesian coordinates. With this transformation, the equations will turn into equations dependent on (x, y, z, t) . These equations will be the electric and magnetic field equations of the source in motion, that is, they are equations that can be expressed as (x', y', z', t') . In order to express these equations in the K state, field transformations known in the literature must be used first. These transformations will be used and the electric and magnetic field expressions created by the observer will be used to solve many equations by using these transformations. After the field transformations, Lorentz transformations are applied and with this transformation, the electric and magnetic field equations for K , who is the observer, will be derived.

The general purpose of the study is to derive the equations of the electric and magnetic field calculations on the observer side and to demonstrate the accuracy of these equations using MATLAB.

Keywords: Monochromatic, linear source, Lorentz transformations, Glow pattern

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, eğitim sürem boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutamayacağım saygıdeğer danışman hocam; Prof. Dr. Ali ALKUMRU, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Osman Said BİŞKİN ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eşim Seda YEŞİLYAYLA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	2
2. MONOKROMATİK KAYNAKLARIN KARTEZYEN DENKLEM DÖNÜŞÜMLERİ	4
2.1. Elemanter Elektrik Dipol	4
2.2. Magnetik Dipol	7
2.3. Sonlu Uzunluklu Dipol	10
3. MONOKROMATİK KAYNAKLARIN ALAN HESAPLAMALARI	14
3.1. Elemanter Elektrik Dipol Alan ve Kaynak Dönüşümü	15
3.2. Magnetik Dipol Alan ve Kaynak Dönüşümü	23
3.3. Sonlu Uzunluklu Dipol Alan ve Kaynak Dönüşümü	29
4. ANALİZ	36
4.1. Elemanter Elektrik Simülasyon	36
4.2. Magnetik Dipol Simülasyon	40
4.3. Sonlu Uzunluklu Simülasyon	42
4. SONUÇLAR VE YORUMLAR	46
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	48
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	49

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

∇	: Nabla operatörü
$\vec{H}$	: Manyetik alan vektörü (A/m)
$\vec{E}$	: Elektrik alan vektörü (V/m)
ϵ	: Dielektrik sabiti (F/m)
ϵ_0	: Boş uzayda dielektrik sabiti (F/m)
$\vec{v}$	: Hız vektörü
μ	: Manyetik geçirgenlik (H/m)
μ_0	: Boş uzayda manyetik geçirgenlik (H/m)
σ	: İletkenlik (S)
j	: İmajiner Sayı
ω	: Açısal Frekans (rad/s)
c	: Işık Hızı (m/s)
t	: Zaman (s)
Hz	: Hertz
ρ	: Yük Yoğunluğu (C/m ³)
f	: Frekans (Hz)
λ	: Dalga Boyu (m)

ŞEKİLLER DİZİNİ

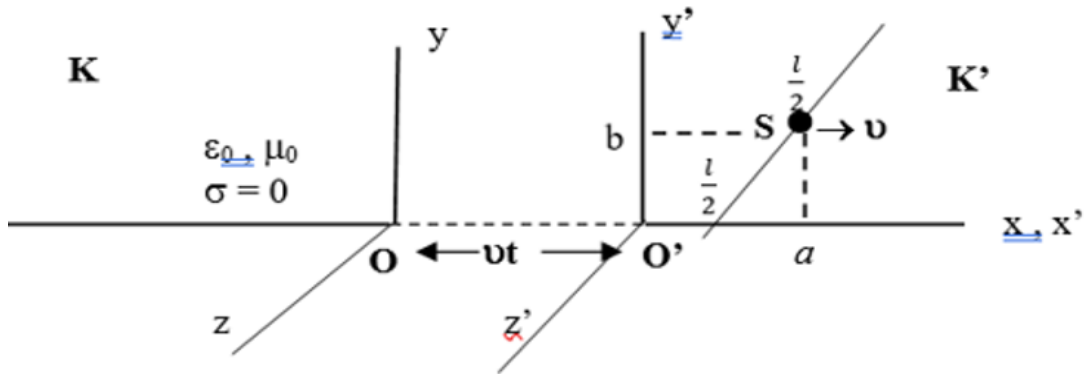
	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Kaynak $\vec{v} = v\vec{e}_x$ hız ile hareketi	1
Şekil 4.1 : $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ için $v = 0.0c_0$	37
Şekil 4.2 : $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ için $v = 108km/h$	38
Şekil 4.3 : $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ için $v = 0.5c_0$	39
Şekil 4.4 : $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ için $v = 0.99c_0$	39
Şekil 4.5 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 0.0c_0$ için	40
Şekil 4.6 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 108 km/h$ için	41
Şekil 4.7 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 0.99c_0$ için	42
Şekil 4.8 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 0.0c_0$ için	43
Şekil 4.9 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 108 km/h$ için	44
Şekil 4.10 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 0.99c_0$ için	45

1. GİRİŞ

Birbirinin yakınında bulunan cisimlerin birbirine uzaktan bir etki uyguladığı, eğer herhangi bir engel yoksa bu etki ile birbirinin konumunu ve durumunu değiştirmeye çalıştığı, çok eski zamanlardan beri gözlenmekte olan bir gerçektir.

Bütün varlıkların konumunu ve durumunu belirtmeye elverişli bir referans sisteminin, örneğin bir $Oxyz$ Kartezyen koordinatlar sisteminin net bir şekilde tanımlanmış bulunduğunu düşünelim. Bu referans sisteminin maddesel bir niteliğinin bulunmadığını ve dolayısıyla, diğer cisimler üzerine hiç etki uygulamadığını varsayalım. Öyle referans sistemleri bulabiliriz ki; uzayda tek başına var olan bir maddesel nokta, bu sisteme göre hareketsiz veya düzgün doğrusal bir hareket yapıyor, gözükür. Bu özelliğe sahip referans sistemlerine Galile Referans Sistemleri adı verilir.

Eylemsizlik ilkesinin geçerli olması bakımından Galile sistemlerinin diğer herhangi referans sistemlerine göre bir ayrıcalığı vardır. Örneğin $K0$ bir Galile sistemi olsun. Tanım uyarınca, uzayda tek başına var olan bir A maddesel noktasının $K0$ 'a göre ivmesi sıfırdır. Bu demektir ki; bir Galile sistemine göre düzgün doğrusal hareket halinde bulunan bütün referans sistemleri de bir Galile sistemidirler. Buna karşılık, $K0$ 'a göre ivmeli bir hareket yapan herhangi bir sisteme göre A'nın ivmesi sıfır olamaz. Yani, böyle bir referans sistemi Galile sistemi olarak düşünülemez.



Şekil 1.1: Kaynak $\vec{v} = v\vec{e}_x$ hız ile hareketi

K ve K' birbirine göre sabit bir v hızıyla hareket eden iki Galile Referans Sistemi olsun. Bir kaynak dağılımının yaratmış olduğu elektromagnetik alanın ifadesi bunların

birinde biliniyorsa, diğerkindeki ifadenin de basit bir lineer dönüşümle hemen yazılabileceğini göstermek istiyoruz. Çıkaracağımız dönüşüm formülleri, Maxwell denklemlerine ilişkin sınır değerk probleminin çözümünün K' de kolay fakat K da çok zor olduğu hallederde, K daki alan ifadelerini bulmakta büyük yarar sağlayacaktır.

Kaynak yoğunluklarından hareketle elektromagnetik alanın hesabında süperpozisyon ilkesi geçerli olduğundan, yukarıda sözü edilen dönüşüm formüllerini açığa çıkarmak amacıyla sadece bir tek noktasal yükün boşlukta yarattığı alanın göz önüne almak yetişir. Bunun da en basit hali, K' de hareketsiz duran bir noktasal yükün yarattığı alandır. Bu çalışmada K' de dönüşüm formüllerini elde edeceğiz.

1.1 Literatür Özeti

[Oleg S. Litvinov, Klavdia M. Koroleva ve Vsevolod V. Sivakov,2024] Küçük boyutlardaki bir dipolün hareketinden yayılan elektromanyetik radyasyonu inceleyen bir çalışmayı özetlemektedir. Hareket tarafından üretilen elektromanyetik dalga yapısını, polarizasyon özelliklerini ve gücünü tanımlayan bir ifade türetmeyi amaçlamışlardır. Çalışmanın hedefi, dipol momentinin üçüncü türevinin etkisi altındaki elektromanyetik alanı modellemektir. Özellikle, küçük dipol boyutları için, çalışma, gücün mevcut ifadelerle karşılaştırıldığında dipol momentinin üçüncü türevinin karesi tarafından belirlendiğini göstermektedir.

[Yupeng Ren, Chao Hu, Sheng Xiangve Zhongqing Feng, 2015] Bu çalışmada, manyetik dipol modelini düzeltmek için bazı katsayılar ekleyerek yakın alanın düzeltilmesi için modifiye bir yöntem önermektedir. Manyetik alanı, manyetik boyutuna göre mesafeye göre birkaç bölgeye ayırmaktadır. Miknatısın alanını ölçmek için deneyler yapmışlardır ve ardından her bölge için uygun katsayıları arayarak manyetik gücün ölçümleri ile varsayılan model değerkleri arasındaki hataları en aza indirmeye çalışmışlardır.

[Dumin O. M., Volvach I. S. ve Dumina O. O. ,2012] Dalganın hızla azalan bileşenlerinin (kısaca, statik ve dipolar) enerjisinin dönüşümü ile radyatörün yakınında elektromanyetik dalga oluşumundan oluşur. Klasik ifadelerin enerji analizi, toplam enerji akışının sıfıra eşit olduğu nedensel yüzeyleri belirlenmesine ve bunların, dış sonsuz uzaydan dipol ve kısaca statik bileşenlerden aldığı elektromanyetik enerjiyi

geri aldığı hacim sınırları olduğunu gösterilmiştir Ancak, klasik ifadelerden analitik olarak elektromanyetik dalganın kökenini görmek imkansızdır. Bu çalışmada, Hertzian dipolün yakın geçici alanları için daha kesin bir ifade elde etmişlerdir

[Kuisong Zheng, Xiangpeng Liu, Zongmin Mu ve Gao Wei, 2017] Bu çalışmada yüksek hızla hareket eden dipolün Lorentz-FDTD'nin üç boyutlu durumu için iteratif formülleri çıkarılmıştır. Bir hareketli dipol kaynağının yayılan alanlarını dikkate alındığında, iyi bir uyum elde edilmiştir. Doğruluk ve geçerlilik de doğrulanmıştır.

[SUN Ji-ping, GAO Mei-feng ,2011] Anten yatay yönde hareket ettiğinde veya frekans değiştiğinde, ana iletim güç modları bir yay içinde dağıtılır ve maksimum güç model indeksi biraz değişir.

[C. P. Du, M. Y. Xia, S. X. Huang, Z. H. Xu, X. Peng ve H. Guo, 2017] Bu çalışmada, en az üç adet skaler manyetometre kullanılarak düz bir hat boyunca sabit bir hızla hareket eden bir manyetik dipol hedefinin izlenmesi için uygun bir prosedür geliştirilmiştir. Karakteristik zamanlar ve geçiş anları bulunduktan sonra, hareket yönü, hızı, yükseltilmesi ve manyetik moment kolayca belirlenebildiğini göstermişlerdir. Örneklerde basit hareketli ortalama filtreleme yöntemi etkili gibi görünse de gerçek uygulamalardaki ciddi manyetik ortamlarla başa çıkmak için daha derinlemesine bir yöntem kesinlikle gereklidir.

2. MONOKROMATİK KAYNAKLARIN KARTEZYEN DENKLEM DÖNÜŞÜMLERİ

Kartezyen denklem dönüşümleri matematiksel bir tekniktir ve bir koordinat sistemi yerine başka bir koordinat sistemi kullanma ihtiyacını ele alır. Özellikle, bir problemin çözümünde belirli bir koordinat sistemi uygun olmayabilir veya işleri karmaşık hale getirebilir. Bu durumda, kartezyen denklem dönüşümleri kullanılarak sorunu daha uygun bir koordinat sistemiyle ifade edebiliriz.

Kartezyen denklem dönüşümleri, genellikle iki veya üç boyutlu kartezyen koordinat sistemlerinden başka bir koordinat sistemi kullanmamıza izin verir. Örneğin, silindirik veya küresel koordinat sistemlerine geçiş yapabiliriz.

Bu çalışmada küresel koordinatlardan kartezyen koordinatlara dönüşüm yapılacaktır. Dönüşüm kuralları ilgili kaynaklar için ayrı ayrı uygulanacak ve denklem çözümü için çok daha basit bir yönteme indirgenmiş olacaktır.

2.1 Elemanter Elektrik Dipol

Uzak alan bölgesi ($kr \gg 1$) için elektrik alan ve manyetik alan ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} E_\theta &= -iZ \frac{kM_0 e^{ikr}}{4\pi r} \sin \theta \\ E_\theta &= E_\phi = H_r = H_\theta = 0 \\ H_\phi &= -i \frac{kM_0 e^{ikr}}{4\pi r} \sin \theta \end{aligned} \quad (2.1)$$

Bu denklem ifadeleri ile $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bu ifadeyi bulabilmek için her denklemin birim vektörler ile çarpılması ve çarpım sonuçlarının Kartezyen koordinatlar şeklinde dönüşüm yapılması gerekmektedir. İlk olarak $\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_\phi$ ifadeleri ile $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$ değerleri cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir.

$$\begin{aligned} \vec{e}_r &= \sin \theta \cos \phi \vec{e}_x + \sin \theta \sin \phi \vec{e}_y + \cos \theta \vec{e}_z \\ \vec{e}_\theta &= \cos \theta \cos \phi \vec{e}_x + \cos \theta \sin \phi \vec{e}_y - \sin \theta \vec{e}_z \\ \vec{e}_\phi &= -\sin \phi \vec{e}_x + \cos \phi \vec{e}_y \end{aligned} \quad (2.2)$$

Yukarıda belirtilen birim vektörler ve E_θ ile $\vec{E}'$ bulunması gerekmektedir. Bu ifadelerin K' bölgesinde bu şekilde olmaktadır tüm denklemlerde bu şekilde olacak $\vec{E}' = E_\theta \vec{e}_\theta$ bağıntı belirtildiği gibidir.

Denklemden eşitlikteki ifadeler yerine yazıldığında işlem sonucu aşağıdaki gibi çıkmaktadır.

$$\vec{E}' = -iZ \frac{kM_0 e^{ikr'}}{4\pi r'} \sin \theta' (\cos \theta' \cos \phi' \vec{e}_x + \cos \theta' \sin \phi' \vec{e}_y - \sin \theta' \vec{e}_z) \quad (2.3)$$

Yukarıda verilen denklem ifadesinde $-i = e^{i\frac{\pi}{2}}$ eşitliği ile birlikte denklemin real ifadesinin alınması gerekmektedir. Monokromatik olarak çalışıldığı için yukarıda verilen denklem $e^{-i\omega t'}$ ile çarpılması gerekmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Re}\{\vec{E}' e^{-i\omega t'}\} &= Z \frac{kM_0}{4\pi r'} \sin \theta' (\cos \theta' \cos \phi' \vec{e}_x + \cos \theta' \sin \phi' \vec{e}_y - \sin \theta' \vec{e}_z) e^{i(\frac{\pi}{2} + kr' - \omega t')} \\ \vec{E}'(r'; \theta'; \phi', t') &= Z \frac{kM_0}{4\pi r'} (\sin \theta' \cos \theta' \cos \phi' \vec{e}_x + \sin \theta' \cos \theta' \sin \phi' \vec{e}_y - \sin^2 \theta' \vec{e}_z) e^{i(\frac{\pi}{2} + kr' - \omega t')} \\ \vec{E}'(r'; \theta'; \phi', t') &= Z \frac{kM_0}{4\pi r'} (\sin \theta' \cos \theta' \cos \phi' \vec{e}_x + \sin \theta' \cos \theta' \sin \phi' \vec{e}_y - \sin^2 \theta' \vec{e}_z) \sin(kr' - \omega t') \end{aligned} \quad (2.4)$$

Kartezyen koordinatlarda analiz yapılması için yukarıda verilen ifadelerin uygun şekilde Kartezyen koordinatlara dönüşmesi gerekmektedir;

$$\begin{aligned} \cos \theta' &= \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \\ \sin \theta' &= \frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \\ \cos \phi' &= \frac{x'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \end{aligned}$$

$$\sin \varnothing' = \frac{y'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}}$$

$$r' = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} \quad (2.5)$$

Yukarıda gösterilen denklemleri $\vec{E'}(r'; \theta'; \varnothing', t')$ ifadelerinde yerine konularak $\vec{E'}(x'; y'; z', t')$ olarak Kartezyen koordinatlarda Elektrik alan ifadesi çıkarılmış olacak.

$$\begin{aligned} \vec{E'}(x'; y'; z', t') = & \\ & Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt' \right) z' x'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \vec{e}_x \\ & + Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt' \right) z' y'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \vec{e}_y \\ & - Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt' \right) (x'^2 + y'^2)}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \vec{e}_z \end{aligned} \quad (2.6)$$

Elemanter Elektrik Dipol için $\vec{E'}$ ifadesi Kartezyen koordinatlarda yukarıdaki gibi ifade edilmektedir.

Manyetik alan için elektrik alan ile aynı işlem mantığı ile çözülmesi gerekmektedir. Denklem 2.1 manyetik alan ifadesi ile K' bölgesindeki manyetik alan için gerekli işlemler yapılarak $\vec{H'}$ ifadesi bulunacaktır.

$$\vec{H'} = H_\varnothing \vec{e}_\varnothing \quad (2.7)$$

Vektörel olarak manyetik alan ifadesi yukarıdaki ifade edilmektedir. Denklem 2.2'de verilen $\vec{e}_\varnothing$ ifadesi ve $H_\varnothing$ ile denklem 2.7 çözülecektir. Bulunan ilk ifade küresel koordinatlar biçiminde olacaktır. Küresel ifadeler bulunduktan sonra Kartezyen koordinatlara dönüşüm işlemleri yapılacaktır. Denklem 2.1'de verilen ifadeler genel denklemlerdir K' ifadesi ile bu denklemlerde verilen $r', \theta', \varnothing', t'$ olarak incelenecek.

$$\begin{aligned}
\vec{H}' &= H_0 \vec{e}_\phi = -i \frac{kM_0 e^{ikr'}}{4\pi r'} \sin \theta' (-\sin \phi' \vec{e}_x + \cos \phi' \vec{e}_y) \\
&= \frac{kM_0 e^{i(kr' - \frac{\pi}{2})}}{4\pi r'} (-\sin \theta' \sin \phi' \vec{e}_x + \cos \phi' \sin \theta' \vec{e}_y)
\end{aligned} \tag{2.8}$$

Yukarıda verilen denklemin monokromatik ifadesini bulabilmek için real olarak hesaplanması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\text{Re}\{\vec{H}' e^{-i\omega t'}\} &= \frac{kM_0 e^{i(kr' - \frac{\pi}{2} - \omega t')}}{4\pi r'} (-\sin \theta' \sin \phi' \vec{e}_x + \cos \phi' \sin \theta' \vec{e}_y) \\
&= \frac{kM_0 \sin(kr' - \omega t')}{4\pi r'} (-\sin \theta' \sin \phi' \vec{e}_x + \cos \phi' \sin \theta' \vec{e}_y)
\end{aligned} \tag{2.9}$$

Denklem 2.9'da verilen ifade küresel koordinatları içermektedir. Kartezyen koordinatlarda gösterilmesi için denklem 2.5'da verilen ifadeleri denklem 2.9 eşitliğinde ilgili eşitlik ifadelerine yerine konulması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\vec{H}'(r'; \theta'; \phi', t') &= \\
&- \frac{kM_0 \sin(kr' - \omega t')}{4\pi r'} \sin \theta' \sin \phi' \vec{e}_x \\
&+ \frac{kM_0 \sin(kr' - \omega t')}{4\pi r'} \cos \phi' \sin \theta' \vec{e}_y
\end{aligned} \tag{2.10}$$

$$\begin{aligned}
\vec{H}'(x'; y'; z', t') &= \\
&- \frac{kM_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t'\right)}{4\pi} \frac{y'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \vec{e}_x \\
&+ \frac{kM_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t'\right)}{4\pi} \frac{x'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \vec{e}_y
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Elemanter Elektrik Dipol için $\vec{E}'$ ve $\vec{H}'$ ifadesi Kartezyen koordinatlarda ifade edilmiştir.

2.2 Magnetik Dipol

Uzak alan bölgesi ($kr \gg 1$) için elektrik alan ve manyetik alan ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
E_{\phi} &= Z \frac{\pi S I_0 e^{ikr}}{\lambda^2 r} \sin \theta \\
E_{\theta} = E_r = H_r = H_{\phi} &= 0 \\
H_{\theta} &= -\frac{\pi S I_0 e^{ikr}}{\lambda^2 r} \sin \theta
\end{aligned} \tag{2.12}$$

Küçük dairesel halka anten magnetik dipol olarak da bilinmektedir. Dairesel halka anten için Elektrik alan ve manyetik alan ifadesini K' de Kartezyen koordinatlarda gösterimi yapılacaktır.

$$\vec{E}' = E_{\phi} \vec{e}_{\phi} \tag{2.13}$$

K' de elektrik alan ifadesi $\vec{E}'$ sembolü ile gösterilmektedir. $\vec{e}_{\phi}$ birim vektörü denklem 2.2'de belirtildiği gibi denklem 2.13'de yerine konulması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\vec{E}' &= E_{\phi} \vec{e}_{\phi} = Z \frac{\pi S I_0 e^{ikr'}}{\lambda^2 r'} \sin \theta' (-\sin \phi' \vec{e}_x + \cos \phi' \vec{e}_y) \\
&= Z \frac{\pi S I_0 e^{ikr'}}{\lambda^2 r'} (-\sin \phi' \sin \theta' \vec{e}_x + \cos \phi' \sin \theta' \vec{e}_y)
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Yukarıda ifade edilen elektrik alan denklemi küresel koordinatlarda ifade edilen denklemdir. Kartezyen koordinatlarda ifade edilebilmesi için denklemin monokromatik ifade ile real ifadesi alınması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\text{Re}\{\vec{E}' e^{-i\omega t'}\} &= Z \frac{\pi S I_0 e^{i(kr' - \omega t')}}{\lambda^2 r'} (-\sin \phi' \sin \theta' \vec{e}_x + \cos \phi' \sin \theta' \vec{e}_y) \\
&= Z \frac{\pi S I_0 \cos(kr' - \omega t')}{\lambda^2 r'} (-\sin \phi' \sin \theta' \vec{e}_x + \cos \phi' \sin \theta' \vec{e}_y)
\end{aligned} \tag{2.15}$$

Real olarak bulunan monokromatik kaynağın küresel koordinatlardan Kartezyen koordinatlara dönüşümü için denklem 2.5'de verilen ifadeler ile belirtilmesi gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\vec{E}'(x', y', z', t') &= \\
&= Z \frac{\pi S I_0 \cos\left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t'\right)}{\lambda^2} \frac{1}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \times
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(-\frac{y'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \vec{e}_x + \frac{x'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \vec{e}_y \right) \\
& = -Z \frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t' \right)}{\lambda^2} \frac{y'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \vec{e}_x \\
& + Z \frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t' \right)}{\lambda^2} \frac{x'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \vec{e}_y
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Magnetik dipol için Kartezyen koordinatlarda bulunan Elektrik alan ifadesi yukarıdaki gibidir. Manyetik alan için elektrik alana benzer yöntemler ile bulunması gerekmektedir.

$$\vec{H}' = H_\theta \vec{e}_\theta \tag{2.17}$$

Denklem 2.12 ve denklem 2.2 ile verilen ifadeler denklem 2.16 ile belirtilen ifadede yerine konulması gerekmektedir. Bu ifade manyetik alan vektörel olarak yönlü bir ifade şeklinde bulunacaktır.

$$\begin{aligned}
\vec{H}'(r'; \theta'; \phi', t') = \\
\left(-\frac{\pi S I_0 e^{i k r'}}{\lambda^2 r'} \sin \theta' \right) \left(\cos \theta' \cos \phi' \vec{e}_x + \cos \theta' \sin \phi' \vec{e}_y - \sin \theta' \vec{e}_z \right)
\end{aligned} \tag{2.18}$$

Yukarıda verilen denklemin monokromatik ifadesini bulabilmek için real olarak hesaplanması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\text{Re} \{ \vec{H}' e^{-i \omega t'} \} = \\
\left(-\frac{\pi S I_0 e^{i(k r' - \omega t')}}{\lambda^2 r'} \sin \theta' \right) \left(\cos \theta' \cos \phi' \vec{e}_x + \cos \theta' \sin \phi' \vec{e}_y - \sin \theta' \vec{e}_z \right) \\
= \left(-\frac{\pi S I_0 \cos(k r' - \omega t')}{\lambda^2 r'} \sin \theta' \right) \left(\cos \theta' \cos \phi' \vec{e}_x \right. \\
\left. + \cos \theta' \sin \phi' \vec{e}_y - \sin \theta' \vec{e}_z \right)
\end{aligned} \tag{2.19}$$

Monokromatik olarak küresel koordinatlarda bulunan denklemin Kartezyen dönüşümü yapılması gerekmektedir. Dönüşüm için denklem 2.5 ifadeleri kullanılacaktır.

$$\begin{aligned}
\vec{H}'(x', y', z', t') = & \left(-\frac{\pi S I_0 \cos\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t'\right)}{\lambda^2} \frac{1}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \right) \times \\
& \left(\frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \frac{x'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \vec{e}_x \right. \\
& + \frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \frac{y'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \vec{e}_y \\
& \left. - \frac{(x'^2 + y'^2)}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \vec{e}_z \right) \quad (2.20)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\vec{H}'(x', y', z', t') = & -\frac{\pi S I_0 \cos\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t'\right)}{\lambda^2} \frac{z' x'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \vec{e}_x \\
& -\frac{\pi S I_0 \cos\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t'\right)}{\lambda^2} \frac{z' y'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \vec{e}_y \\
& + \frac{\pi S I_0 \cos\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t'\right)}{\lambda^2} \frac{(x'^2 + y'^2)}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \vec{e}_z
\end{aligned}$$

Küçük halka anten için Kartezyen koordinat sisteminde K' bölgesinde elektrik ve manyetik alan ifadeleri bulunmuştur.

2.3 Sonlu Uzunluklu Dipol

Sonlu uzunluklu dipol uzak alan bölgesinde bölüm 2.1 ve 2.3'te bulunan yöntemler ile benzer şekilde çalışma yapılacaktır. Uzak alan bölgesinde elektrik alan ve manyetik alan için denklemler aşağıdaki gibidir. Bu denklemler küresel koordinatları ifade etmektedir.

$$\begin{aligned}
E_\theta &= -iZ \frac{I_0 e^{ikr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos(\frac{kl}{2} \cos \theta) - \cos(\frac{kl}{2})}{\sin \theta} \right] \\
E_\theta &= E_\phi = H_r = H_\theta = 0 \\
H_\phi &= -i \frac{I_0 e^{ikr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos(\frac{kl}{2} \cos \theta) - \cos(\frac{kl}{2})}{\sin \theta} \right]
\end{aligned} \tag{2.21}$$

Yukarıda verilen küresel koordinatlardaki elektrik ve manyetik alanları vektörel denklem şeklinde göstermek için her küresel koordinata uygun şekilde birim vektörler ile çarpılması gerekmektedir. Elektrik alan için aşağıdaki gibi yapılacaktır. K' bölgesinde elektrik alan ifadesi $\vec{E}'$ şeklinde gösterilir.

$$\vec{E}' = E_\theta \vec{e}_\theta \tag{2.22}$$

Denklem 2.2 ve 2.21 yukarıdaki ifade ile çarpılması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\vec{E}' &= E_\theta \vec{e}_\theta = \\
&= -iZ \frac{I_0 e^{ikr'}}{2\pi r'} \left[\frac{\cos(\frac{kl}{2} \cos \theta') - \cos(\frac{kl}{2})}{\sin \theta'} \right] \cdot \\
&(\cos \theta' \cos \phi' \vec{e}_x + \cos \theta' \sin \phi' \vec{e}_y - \sin \theta' \vec{e}_z)
\end{aligned} \tag{2.23}$$

Vektörel olarak ifade edilen bu denklemin monokromatik olarak real ifadesinin alınması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\text{Re}\{\vec{E}' e^{-i\omega t'}\} &= \\
&= Z \frac{I_0 e^{i(kr' - \frac{\pi}{2} - \omega t')}}{2\pi r'} \left[\frac{\cos(\frac{kl}{2} \cos \theta') - \cos(\frac{kl}{2})}{\sin \theta'} \right] \times \\
&(\cos \theta' \cos \phi' \vec{e}_x + \cos \theta' \sin \phi' \vec{e}_y - \sin \theta' \vec{e}_z) \\
&= Z \frac{I_0 \sin(kr' - \omega t')}{2\pi r'} \left[\frac{\cos(\frac{kl}{2} \cos \theta') - \cos(\frac{kl}{2})}{\sin \theta'} \right] \times \\
&(\cos \theta' \cos \phi' \vec{e}_x + \cos \theta' \sin \phi' \vec{e}_y - \sin \theta' \vec{e}_z)
\end{aligned} \tag{2.24}$$

Monokromatik olarak küresel koordinatlarda bulunan denklem Kartezyen dönüşümü yapılması gerekmektedir. Dönüşüm için denklem 2.5 ifadeleri kullanılacaktır.

$$\begin{aligned}
\vec{E}'(x', y', z', t') = & \frac{ZI_0 \sin(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt')}{2\pi\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \left[\frac{\cos\left(\frac{klz'}{2\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}} \right] \\
& \times \left[\frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \frac{x'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \vec{e}_x + \right. \\
& \left. \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \frac{y'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \vec{e}_y - \frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \vec{e}_z \right] \\
& \frac{ZI_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) \left[\cos\left(\frac{klz'}{2\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right) \right]}{2\pi\sqrt{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}} \\
& \times \left(\frac{x'z'\vec{e}_x}{(x'^2 + y'^2)} + \frac{y'z'\vec{e}_y}{(x'^2 + y'^2)} - \vec{e}_z \right)
\end{aligned} \tag{2.25}$$

Denklem 2.24 ile sonlu uzunluktaki bir dipolün Kartezyen koordinatlarda elektrik alan vektörü bulunmuştur. Manyetik alan için ise aynı yöntem ile bulunacaktır.

$$\vec{H}' = H_\phi \vec{e}_\phi \tag{2.26}$$

Denklem 2.21 ve denklem 2.2 ile verilen ifadeler denklem 2.25 ile belirtilen ifadede yerine konulması gerekmektedir. Bu ifade manyetik alan vektörel olarak yönlü bir ifade şeklinde bulunacaktır.

$$\begin{aligned}
\vec{H}'(r'; \theta'; \phi', t') = & -i \frac{I_0 e^{ikr'}}{2\pi r'} \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos \theta'\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin \theta'} \right] (-\sin \phi' \vec{e}_x + \cos \phi' \vec{e}_y)
\end{aligned} \tag{2.27}$$

Yukarıda verilen ifade ile küresel koordinatlarda ifade edilmiştir. Monokromatik olarak ifade edilebilmesi için real ifadesinin alınması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\text{Re}\{\vec{H}' e^{-i\omega t'}\} &= \\
&= \frac{I_0 e^{i(kr' - \frac{\pi}{2} - \omega t')}}{2\pi r'} \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos \theta'\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin \theta'} \right] (-\sin \theta' \vec{e}_x + \cos \theta' \vec{e}_y) \\
&= \frac{I_0 \sin(kr' - \omega t')}{2\pi r'} \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos \theta'\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin \theta'} \right] (-\sin \theta' \vec{e}_x + \cos \theta' \vec{e}_y) \quad (2.28)
\end{aligned}$$

Real olarak bulunan denklem 2.27 küresel koordinatlardadır bu denklemin Kartezyen dönüşümü yapılarak küresel koordinatlarda ifade edilmesi gerekmektedir. Denklem 2.5 real olarak ifade edilen manyetik alan denkleminin yerine konulması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\vec{H}'(x', y', z', t') &= \\
&= \frac{I_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t'\right)}{2\pi\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}} \right] \\
&\quad \times \left(-\frac{y'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \vec{e}_x + \frac{x'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \vec{e}_y \right) \\
&= \frac{I_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t'\right) \left[\cos\left(\frac{kl}{2} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right) \right]}{2\pi(x'^2 + y'^2)} \\
&\quad \times (-y' \vec{e}_x + x' \vec{e}_y) \quad (2.29)
\end{aligned}$$

Sonlu uzunluklu dipol için elektrik alan ve manyetik alan ifadeleri yukarıdaki gibi bulunmuştur.

3. MONOKROMATİK KAYNAKLARIN ALAN HESAPLAMALARI

Farklı türden monokromatik kaynakların elektrik alan ve manyetik alan denklemlerin formülleri Bölüm 2’de hesaplanmıştır. Bu bölümde belirli bir hız ile hareket eden ve hareket ettiği konumdaki alan hesapları ile gözlemciye göre olan alan hesapları yapılacaktır.

Gözlemciye göre olan alan hesabı için literatürde bilinen alan dönüşümlerinden yararlanılarak gözlemcinin bulunduğu konuma ve zamana göre alan hesabı yapılacaktır. Daha sonrasında gözlemcinin bulunduğu alan hesabı ile birlikte Lorentz dönüşümlerini yapılmış olacak.

Elektromagnetik alanın dönüşümü bir elektromanyetik alanın K sistemindeki bileşenlerini K' dekiler arasında var olan bağıntıyı bulunulabilir. Alan dönüşümü için kullanacağımız denklemler aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{E}' + [1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}] (\vec{E}' \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{v} \times \vec{B}' \\ \vec{H} &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{H}' + [1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}] (\vec{H}' \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{v} \times \vec{D}'\end{aligned}\quad (3.1)$$

Yukarıda hesaplanan denklemlere aşağıda literatürde bilinen bünye denklemler ile ifade edilmesi denklemin çözülmesi için büyük kolaylık sağlayacaktır.

$$\begin{aligned}\vec{D}' &= \epsilon_0 \vec{E}' \\ \vec{B}' &= \mu_0 \vec{H}' \\ \vec{E} &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{E}' + [1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}] (\vec{E}' \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{v} \times (\mu_0 \vec{H}') \\ \vec{H} &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{H}' + [1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}] (\vec{H}' \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{v} \times (\epsilon_0 \vec{E}')\end{aligned}\quad (3.2)$$

Bölüm 2’de bulunan monokromatik alan hesaplamaları yukarıdaki denklemde ilgili yerlere konulduğunda ve gerekli hesaplamalar yapıldığında gözlemci tarafında bulunan ilgili alan hesaplamaları bulunmuş olacaktır. Belirli bir elektromagnetik alanın K' ve K sistemlerindeki ifadeleri arasında var olan ilişkilerin bilinmesi bu büyüklükler ile ifade edilen diğerleri arasındaki ilişkilerin de açığa çıkarılmasına yardımcı olacaktır.

3.1 Elemanter Elektrik Dipol Alan ve Lorentz Dönüşümü

Elemanter elektrik dipol için alan dönüşümlerini denklem 3.3 de ifade edilen denkleme gerekli işlemlerin yapılarak K sistemlerindeki gözlemcinin Elektrik alan ve manyetik alan ifadeleri bulunacak.

$$\vec{E} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{E}' + [1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}] (\vec{E}' \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} (\vec{v} \times (\mu_0 \vec{H}')) \quad (3.3)$$

$\vec{v} = v \vec{e}_x$ ifadesi denklemde yerine konulması gerekmektedir. Bu ifade ile denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\vec{E} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{E}' + [1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}] (\vec{E}' \cdot v \vec{e}_x) \frac{1}{v} \vec{e}_x - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} (v \vec{e}_x \times (\mu_0 \vec{H}')) \quad (3.4)$$

$$(\vec{E}' \cdot v \vec{e}_x) = \frac{Z k M_0}{4\pi} \frac{\sin \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - wt'} \right) z' x' v}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \vec{e}_x \quad (3.5)$$

$$(v \vec{e}_x \times (\mu_0 \vec{H}')) = \frac{k M_0 \sin(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - wt'})}{4\pi} \frac{x' v \mu_0 \vec{e}_z}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \quad (3.7)$$

Yukarıda vektörel ve skaler çarpım olarak sonuçlar bulunmuştur. Yukarıda bulunan ifadeler denklem 3.4’te yerlerine konulduğunda;

$$\begin{aligned}
\vec{E}(x', y', z', t') = & \left(Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - wt'}\right) z' x'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \vec{e}_x \\
& + \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - wt'}\right) z' y'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \vec{e}_y \\
& - \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} Z \frac{kM_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - wt'}\right) (x'^2 + y'^2)}{4\pi (x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \right. \\
& \left. + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \frac{kM_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - wt'}\right) x' v \mu_0}{4\pi (x'^2 + y'^2 + z'^2)} \right) \vec{e}_z
\end{aligned} \tag{3.8}$$

Elektrik alan olarak yukarıdaki gibi ifade edilmektedir fakat bu denklemde K sisteminde geçerli olan konumlara geçmek için Lorentz dönüşümünün yapılması gerekmektedir.

$O'x'y'z'$ sistemi $Oxyz$ sistemine göre $\vec{v} = v\vec{e}_x$ hızıyla hareket etmekte olduğundan klasik Newton mekaniğinden edinmiş olduğumuz alışkanlık ile x ile x' arasındaki bağlantının $x' = x - vt$ olması beklenirdi. Bu uyumsuzluğa bakılarak şu iki halden birinin geçerli olması gerektiği iddia edilebilir.

Birinci Hal : Maxwell denklemleri $Oxyz$ sisteminde geçerlidir fakat $O'x'y'z'$ sisteminde geçerli değildir.

İkinci Hal : Maxwell denklemleri hem $Oxyz$ hem de $O'x'y'z'$ sisteminde geçerlidir.

Birinci hal çok açık bir biçimde $Oxyz$ sistemini Galile sistemlerinden ayırmakta ve ona ayrı bir ayrıcalık vermektedir. Maxwell denklemleri bu ayrıcalıklı sistemde geçerlidir, diğerlerinde değildir. 19 yüzyıl süresince hep böyle bir mutlak uzayın varlığı düşünülmüş ve ona eter adı verilmiştir fakat o yüzyılın sonlarında bu uzaya göre dünyanın hareketini açığa çıkarabilmek amacıyla yapılmış bulunan teorik ve

deneysel çalışmalar hep çelişkiler ile sonuçlanmış ve 20. yüzyılın başlarında bu kavramın terk edilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Yukarıda sözü edilen ikinci hal Maxwell denklemlerinin geçerliliği bakımından hiçbir Galile Sisteminin ayrıcalıklı olmadığını, fakat bunların kendilerine özgü ayrı zaman değerlendirmelerinin bulunduğu iddia etmektedir. Başka bir ifade ile ne mutlak uzay ne de mutlak zaman söz konusudur. 20. yüzyılın başlarında Einstein tarafından ortaya atılan ve o günün fizikçileri tarafından hemen benimsenmiş bulunan o görüş 20. yüzyılda tüm doğam bilimlerin ve onların temelini oluşturan kavramların büyük değişikliklere uğramasına neden oldu.

Maxwell denklemlerinden bağımsız olarak (K, K') çiftine özgü dönüşüm denklemleri oldukları varsayımı, K sisteminde bilinen ifadelerden K' sisteminde geçerli olanlara geçmek için de bunların simetriklerinin kullanılmasını gerektirir. Sözü edilen simetrik bağıntıları yazmak için biz O' noktası K ya göre $\vec{v}$ hızıyla hareket ediyorsa, O noktasında K' ye göre $(-\vec{v})$ hızıyla hareket ediyor gibi göründüğünü kabul edeceğiz. Aksi halde, O daki gözlemci O' deki gözlemci başka bir hızla arttığını söyler. Bu kabul edilebilir bir durum değildir çünkü uzaklığın artması bakımından O ile O' nün konumu aynıdır böylece aşağıdaki denklem yazılır.

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}}, \quad y = y', z = z' \quad (3.9)$$

Lorentz formülleri olarak tanına bu formülleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$x = \frac{x' - vt'}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}}, \quad y = y', z = z', \quad t = \frac{t' - (v/c_0^2)x'}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}} \quad (3.10)$$

Veya tersine olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}}, \quad y' = y, z' = z, \quad t' = \frac{t - (v/c_0^2)x}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11 ifadesi 3.8 ifadesine konulduğunda aşağıdaki gibi K bölgesindeki elektrik alan ifadesi çıkmaktadır.

$$\begin{aligned}
\vec{E}(x, y, z, t) = & \left(\frac{Z \frac{kM_0}{4\pi} \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right) z \frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}}}{\left(\frac{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^{\frac{3}{2}}} \right) \vec{e}_x \\
+ & \left(\frac{Z \frac{kM_0}{4\pi} \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right) z y}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}} \left(\frac{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^{\frac{3}{2}}} \right) \vec{e}_y
\end{aligned} \tag{3.12}$$

$$\begin{aligned}
& - \left(\frac{ZkM_0 \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right) \left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 \right)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}} 4\pi \left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \right. \\
& + \left. \frac{kM_0 \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right) \frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} v\mu_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}} 4\pi \left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)} \vec{e}_z \right)
\end{aligned}$$

Denklem 3.11'deki ifade ile elemanter elektrik dipol için elektrik alan ifadesi bulunmuştur, manyetik alan ifadesi de benzer şekilde bulunacaktır.

$$\begin{aligned}
\vec{H} &= \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{H}' + \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right] (\vec{H}' \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} + \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{v} \times (\varepsilon_0 \vec{E}') \quad (3.13) \\
(\vec{H}' \cdot v \vec{e}_x) &= \\
&= \frac{kM_0 \sin \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt' \right)}{4\pi} \frac{y' v}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \vec{e}_x \\
(v \vec{e}_x \times (\varepsilon_0 \vec{E}')) &= \\
&= Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt' \right) (x'^2 + y'^2) v \varepsilon_0}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \vec{e}_z
\end{aligned}$$

$$+ Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) z' y' v \varepsilon_0}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \vec{e}_y$$

Yukarıda verilen denklemlerin denklem 3.13 de ifadeler yerine konulduğunda aşağıdaki gibi $\vec{H}$ ifadesi bulunacaktır.

$$\begin{aligned} \vec{H}(x', y', z', t') = & \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \left(- \frac{kM_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) y'}{4\pi(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \vec{e}_x \right. \\ & + \frac{kM_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right)}{4\pi} \frac{x'}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \vec{e}_y \left. \right) \\ & + \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right] \left(- \frac{kM_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) y'}{4\pi(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \right) \vec{e}_x \\ & + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \left(Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) (x'^2 + y'^2) v \varepsilon_0}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \vec{e}_z \right. \\ & + Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) z' y' v \varepsilon_0}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \vec{e}_y \left. \right) \\ \vec{H}(x', y', z', t') = & \left(- \frac{kM_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) y'}{4\pi(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \right) \vec{e}_x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \frac{kM_0 \sin \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - wt'} \right) x'}{4\pi(x'^2 + y'^2 + z'^2)} \right. \\
& \quad \left. + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - wt'} \right) z' y' v \varepsilon_0}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \vec{e}_y \\
& + \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} Z \frac{kM_0}{4\pi} \frac{\sin \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - wt'} \right) (x'^2 + y'^2) v \varepsilon_0}{(x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \right) \vec{e}_z
\end{aligned} \tag{3.14}$$

Yukarıda bulunan denklem 3.13, x', y', z', t' cinsinden bulunan denklemlerdir bunu K da bulunan sisteme göre yazılması için Lorentz Dönüşümleri uygulanması gerekmektedir.

$$\vec{H}(x, y, z, t) = \left(\frac{kM_0 \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}} \right)^2 + y^2 + z^2 - w \frac{t - (v/c_0^2)x}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}}} y \right)}{4\pi \left(\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c_0^2}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)} \right) \vec{e}_x$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\frac{kM_0}{4\pi \sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \frac{\sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right) \frac{x-vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}}{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} \right. \\
& + \left. \frac{Z \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right) z y v \epsilon_0}{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2}^{\frac{3}{2}}} \right) \vec{e}_y \\
& + \left(\frac{Z \frac{kM_0}{4\pi} \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right) \left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 \right) v \epsilon_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}} \left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \right) \vec{e}_z
\end{aligned} \tag{3.15}$$

Elemanter elektriksel dipol için K durumunda elektrik alan ve manyetik alan denklemleri çıkartılmıştır.

3.2 Magnetik Dipol Alan ve Lorentz Dönüşümü

Magnetik Dipol için K' durumunda elektrik ve manyetik alan denklemleri bölüm 2.2 denklem 2.17 ve 2.21'de çıkarılmıştır bu denklemler üzerinden alan ve Lorentz dönüşümleri yapılarak K durumunda elektrik ve manyetik alan hesaplamaları tamamlanmış olacak. Alan dönüşümü için formül aşağıdaki gibidir;

$$\vec{E} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{E}' + [1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}] (\vec{E}' \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{v} \times (\mu_0 \vec{H}') \quad (3.16)$$

Bu denklem bölüm 2.2'de belirtilen denklemler yerlerine konularak işlemler yapılacaktır. Elektrik alan dönüşümü için sadece elektrik alan değil manyetik alan ifadesine de bağlı olduğu denklemde gözükmemektedir.

Vektörel ve skaler çarpım ;

$$(\vec{E}' \cdot \vec{v}) = (\vec{E}' \cdot (v \vec{e}_x)) \quad (3.17)$$

$$= -Z \frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt' \right) y' v}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)} \vec{e}_x$$

$$\vec{v} \times (\mu_0 \vec{H}') = (v \vec{e}_x \times (\mu_0 \vec{H}')) \quad (3.18)$$

$$= - \frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt' \right) (x'^2 + y'^2) v \mu_0}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \vec{e}_y$$

$$- \frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt' \right) z' y' v \mu_0}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \vec{e}_z$$

Denklem 3.17 ve 3.18'de bulunan ifadeler denklem 3.19'te elektrik alan dönüşümü olarak belirtile denklemde ilgili yerlerde ifade edilecektir.

$$\begin{aligned}
\vec{E} &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{E'} + [1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}] (\vec{E'} \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{v} \times (\mu_0 \vec{H'}) \\
\vec{E}(x', y', z', t') &= \left(\begin{aligned} &\frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - w t'} \right) y'}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)} \right) \vec{e}_x + \\ &\left(\begin{aligned} &+ \frac{Z \pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - w t'} \right) x'}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)} \\ &+ \frac{\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - w t'} \right) (x'^2 + y'^2) v \mu_0}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \end{aligned} \right) \vec{e}_y + \\ &\left(\begin{aligned} &\frac{\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2 - w t'} \right) z' y' v \mu_0}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)^{3/2}} \end{aligned} \right) \vec{e}_z
\end{aligned} \right) \quad 3.19)
\end{aligned}$$

Yukarıda bulunan denklemi Lorentz Dönüşümü yapılarak K durumunda ifade edilecek elektrik alan ifadesi bulunmuş olacak.

$$\begin{aligned}
\vec{E}(x, y, z, t) = & \quad (3.20) \\
& \left(\begin{array}{c} \pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}} y \right) \\ -Z \frac{\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2}{\lambda^2 \left(\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)} \end{array} \right) \vec{e}_x + \\
& \left(\begin{array}{c} \pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}} \right) \\ \times \end{array} \right) \\
& \left(\begin{array}{c} Z \left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right) \\ + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \left(\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 \right) v \mu_0 \\ + \frac{\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2}{\lambda^2 \left(\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)} + \frac{\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2}{\lambda^2 \left(\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \end{array} \right) \vec{e}_y +
\end{aligned}$$

$$\left(\frac{\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} - w \frac{t - (\frac{v}{c_0^2})x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right) z y v \mu_0}{\lambda^2 \left(\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)^{3/2}} \right) \vec{e}_z$$

Yukarıda bulunan denklem ile Lorentz Dönüşümü yapılarak K durumunda ifade edilecek elektrik alan ifadesi bulunmuş oldu. Aynı dönüşümün manyetik alan için yapılması gerekmektedir.

$$\vec{H} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{H'} + \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right] (\vec{H'} \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{v} \times (\epsilon_0 \vec{E'}) \quad (3.21)$$

Denklem 3.20 için vektörel ve skaler çarpım ;

$$\begin{aligned} (\vec{H'} \cdot \vec{v}) &= (\vec{H'} \cdot (v \vec{e}_x)) \\ &= - \frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - w t' \right) z' x' v}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \vec{e}_x \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} \vec{v} \times (\epsilon_0 \vec{E'}) &= (v \vec{e}_x \times (\epsilon_0 \vec{E'})) \\ &= Z \frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - w t' \right) x' v \epsilon_0}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)} \vec{e}_z \end{aligned} \quad (3.23)$$

Denklem 3.20 manyetik alan dönüşüm denklemine denklem 3.22 ve 3.23 vektörel ve skaler çarpım ifadelerinin konulması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\vec{H}(x', y', z', t') = & - \left(\frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t' \right) z' x'}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \vec{e}_x \\
& - \left(\frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t' \right) z' y'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}} (x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}} \lambda^2} \right) \vec{e}_y \\
& + \left(\frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t' \right) (x'^2 + y'^2)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}} (x'^2 + y'^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}} \lambda^2} \right. \\
& \left. + Z \frac{\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t' \right) x' v \varepsilon_0}{\lambda^2 (x'^2 + y'^2 + z'^2)} \right) \vec{e}_z \quad (3.24)
\end{aligned}$$

Denklem 3.24 ile magnetik dipol K durumu için manyetik alan denklemi çıkartılmıştır. Bu denkleme Lorentz dönüşümü yapılarak x, y, z, t için ifade edilmiş olacaktır.

$$\begin{aligned}
\vec{H}(x, y, z, t) = & \\
- & \left(\frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}} \right) z \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}}{\lambda^2 \left(\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \right) \vec{e}_x \\
- & \left(\frac{\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}} \right) z y}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}} \left(\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \lambda^2 \right) \vec{e}_y \\
+ & \left(\pi S I_0 \cos \left(k \sqrt{\left(\frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2} \right) x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}} \right) \right) \times
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 \right)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}} \left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \lambda^2 \right. \\
& \left. + \frac{z \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} v \epsilon_0}{\lambda^2 \left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)} \vec{e}_z \right) \quad (3.25)
\end{aligned}$$

3.3 Sonlu Uzunluklu Dipol Alan ve Lorentz Dönüşümü

Sonlu uzunluklu Dipol için Alan Lorentz dönüşümlerinin nasıl yapılacağı bu bölümde gösterilecektir. K durumunda elektrik alan ve manyetik alan ifadesini bulabilmek için bu dönüşümlerinin yapılması gerekmektedir.

Elektik alan için, alan dönüşümü yapılarak başlanacaktır.

$$\vec{E} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{E}' + \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right] (\vec{E}' \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} - \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{v} \times (\mu_0 \vec{H}') \quad (3.26)$$

Denklemden belirtilen skaler ve vektörel çarpım işlemleri :

$$\begin{aligned}
(\vec{E'} \cdot \vec{v}) &= (\vec{E'} \cdot (v\vec{e_x})) \\
&= \frac{ZI_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) \left[\cos\left(\frac{kl}{2} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)\right] x' z' v \vec{e_x}}{2\pi\sqrt{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}(x'^2 + y'^2)} \\
\vec{v} \times (\mu_0 \vec{E'}) &= (v\vec{e_x} \times (\mu_0 \vec{H'})) \\
&= \frac{I_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) \left[\cos\left(\frac{kl}{2} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)\right] x' v \mu_0}{2\pi(x'^2 + y'^2)} \vec{e_z}
\end{aligned}$$

Yukarıdaki bulunan skaler vektörel çarpımların denklem 3.26'da yerine konulması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\vec{E}(x', y', z', t') &= \\
&\left(\frac{ZI_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) \left[\cos\left(\frac{kl}{2} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)\right]}{2\pi\sqrt{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}(x'^2 + y'^2)} \right) \\
&\times \left(x' z' \vec{e_x} + \frac{y' z'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{e_y} \right) + \\
&\left(\frac{I_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) \left[\cos\left(\frac{kl}{2} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)\right]}{2\pi \sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \right) \\
&\times \left(-\frac{z}{\sqrt{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}} - \frac{x' v \mu_0}{(x'^2 + y'^2)} \right) \vec{e_z}
\end{aligned}$$

Yukarıda bulunan elektrik alan denkleminde Lorentz Dönüşümü yapılarak K durumunda elde edilecek elektrik alan bulunmuş olacak.

$$\begin{aligned} \vec{E}(x, y, z, t) = & \left(\frac{ZI_0 \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2}\right)x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}}} \right)}{2\pi \sqrt{\left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z'^2 \right)} \left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 \right)} \right. \\ & \times \left(\cos \left(\frac{kl}{2} \frac{z}{\sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2}} \right) - \cos \left(\frac{kl}{2} \right) \right) \\ & \times \left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} z \vec{e}_x + \left(\frac{y z}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right) \vec{e}_y \right) + \\ & \left. \left(\frac{I_0 \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2}\right)x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}}} \right)}{2\pi \sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right) \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times \left(\cos \left(\frac{kl}{2} \frac{z}{\sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2}} \right) - \cos \left(\frac{kl}{2} \right) \right) \\
& \times \left(- \frac{Z}{\sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2}} - \frac{\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} v \mu_0}{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2} \right) \vec{e}_z
\end{aligned} \tag{3.27}$$

Manyetik alan için alan dönüşümü ve Lorentz dönüşümü yapılarak devam edilecektir.

$$\vec{H} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{H'} + \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right] (\vec{H'} \cdot \vec{v}) \frac{1}{v^2} \vec{v} + \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \vec{v} \times (\epsilon_0 \vec{E'}) \tag{3.28}$$

Manyetik alan için alan dönüşümünde

$$\begin{aligned}
(\vec{H'} \cdot \vec{v}) &= (\vec{H'} \cdot (v \vec{e}_x)) \\
&= v I_0 \sin \left(k \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - \omega t' \right) \left[\cos \left(\frac{kl}{2} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}} \right) - \cos \left(\frac{kl}{2} \right) \right] y' \vec{e}_x \\
&= - \frac{2\pi(x'^2 + y'^2)}{2\pi(x'^2 + y'^2)} \\
\vec{v} \times (\epsilon_0 \vec{E'}) &= (v \vec{e}_x \times (\epsilon_0 \vec{E'}))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\varepsilon_0 v Z I_0 \sin(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt') \left[\cos\left(\frac{kl}{2} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right) \right] \vec{e}_y \\
= & \frac{2\pi\sqrt{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}}{2\pi\sqrt{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}} \\
& v Z \varepsilon_0 I_0 \sin(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt') \left[\cos\left(\frac{klz'}{2\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right) \right] y' z' \vec{e}_z \\
+ & \frac{2\pi\sqrt{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}(x'^2 + y'^2)}{2\pi\sqrt{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}(x'^2 + y'^2)}
\end{aligned}$$

Alan dönüşümü için bulunan vektörel ve skaler çarpım denklemleri manyetik alan dönüşümü denklemi içine konulacaktır.

$$\begin{aligned}
\vec{H}(x', y', z', t') = & \quad (3.29) \\
& \left(\begin{aligned} & I_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) \left[\cos\left(\frac{kl}{2} \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right) \right] y' \vec{e}_x \\ & - \frac{2\pi(x'^2 + y'^2)}{2\pi(x'^2 + y'^2)} \end{aligned} \right) \\
& + \left(\begin{aligned} & I_0 \sin\left(k\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} - wt'\right) \left[\cos\left(\frac{klz'}{2\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right) \right] \\ & \frac{2\pi\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}{2\pi\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}} \end{aligned} \right) \\
& \times \left(\begin{aligned} & \left(\frac{x'}{(x'^2 + y'^2)} - \frac{\varepsilon_0 v Z}{\sqrt{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}} \right) \vec{e}_y + \frac{v Z \varepsilon_0 y' z'}{\sqrt{(x'^2 + y'^2 + z'^2)}(x'^2 + y'^2)} \vec{e}_z \end{aligned} \right)
\end{aligned}$$

K durumunda manyetik alan hesabını yapmak için Lorentz dönüşümü uygulanması gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
\vec{H}(x, y, z, t) = & \left(\frac{I_0 \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2}\right)x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)}{2\pi \left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 \right)} \right) \times \\
& \left(\left[\cos \left(\frac{kl}{2} \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} \right) - \cos \left(\frac{kl}{2} \right) \right] y \right) \vec{e}_x + \\
& \left(\frac{I_0 \sin \left(k \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2} - w \frac{t - \left(\frac{v}{c_0^2}\right)x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)}{2\pi \sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right) \times \\
& \left(\left[\cos \left(\frac{klz}{2 \sqrt{\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2}} \right) - \cos \left(\frac{kl}{2} \right) \right] \right) \times
\end{aligned} \tag{3.30}$$

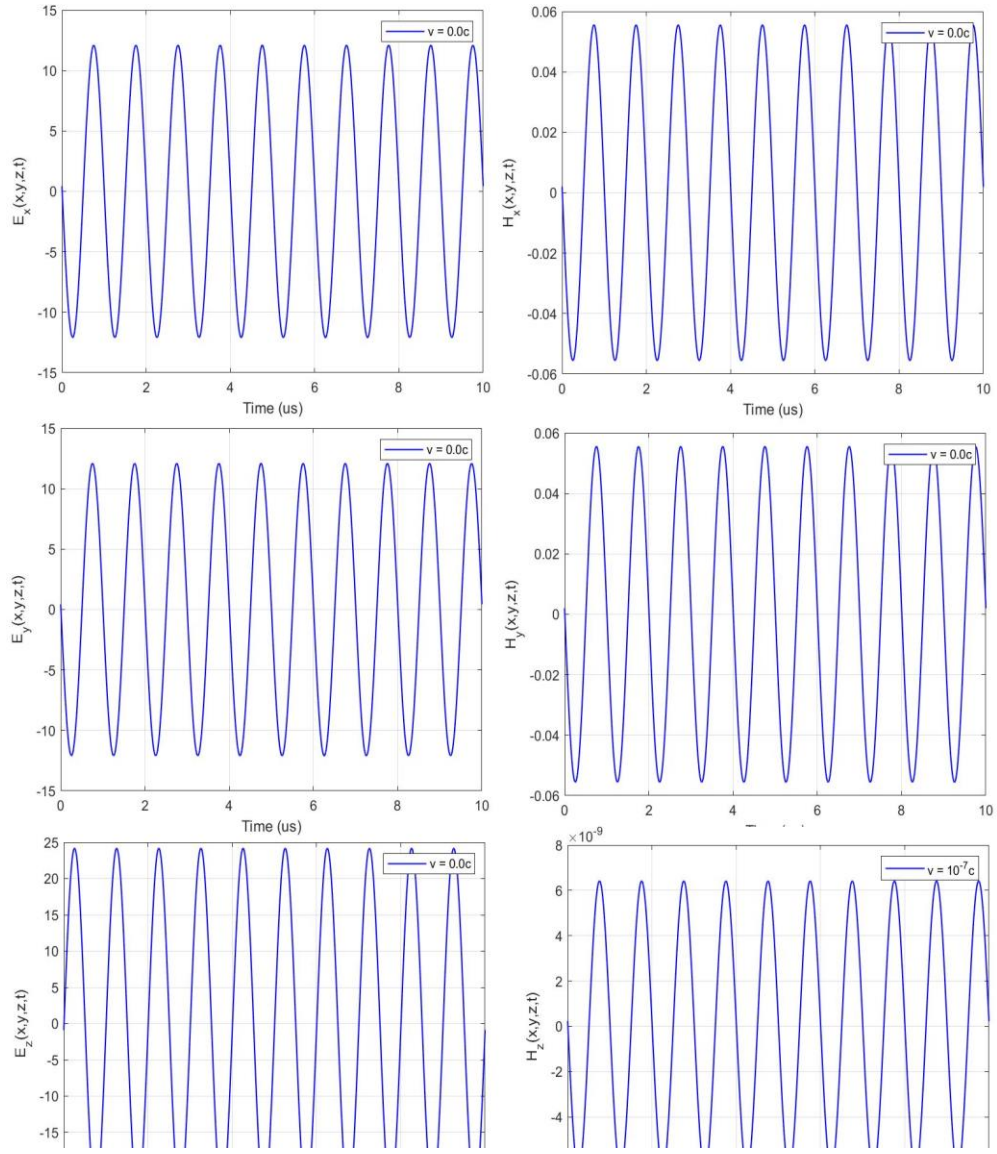
$$\left[\left(\frac{\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}}}{\left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 \right)} - \frac{\varepsilon_0 v Z}{\sqrt{\left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right)}} \right) \vec{e}_y \right. \\
\left. + \frac{v Z \varepsilon_0 y z}{\sqrt{\left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 + z^2 \right) \left(\left(\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c_0^2}}} \right)^2 + y^2 \right)}} \vec{e}_z \right]$$

4. ANALİZ

Bu bölümde 3.Bölümde bulunan denklemler için MATLAB programı ile simülasyon sonuçları incelenecek.

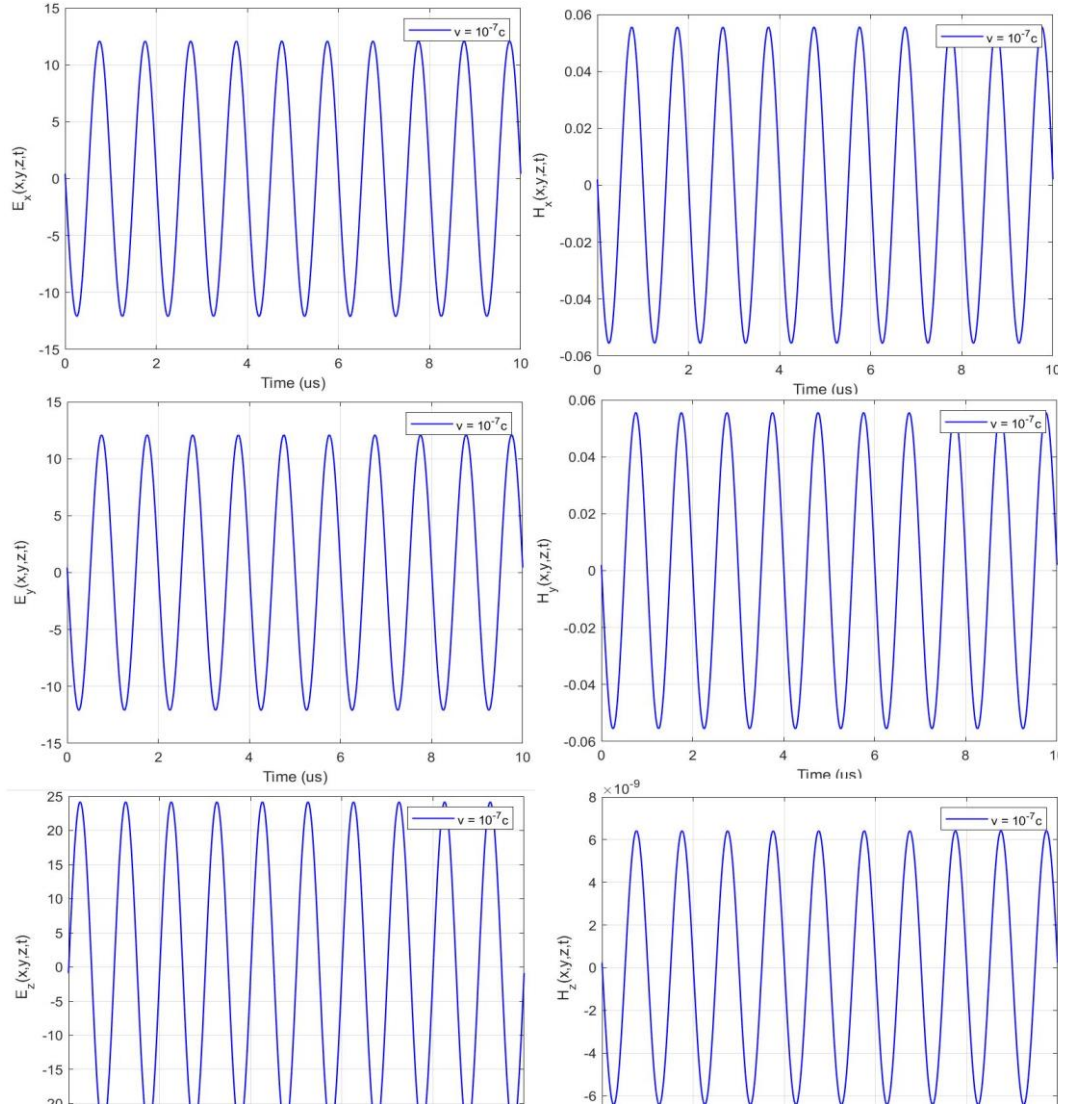
4.1 Elemanter Elektrik Dipol Simülasyon

Elemanter Elektrik Dipol simülasyon çalışmasında hız olarak ilk olarak durgun halde olan dipolün simülasyonu yapıldı ve burada beklenen sonuç dipolün manyetik olarak elektrik ve manyetik alanının sonucunun görünmesidir. Hızı ortalama otomobil hızına getirdiğimizde ışık hızına oran ile çok düşük hızda olacağı beklenmekte ve hız belli bir hıza geldiğinde Elektrik Alan ve Manyetik Alan simülasyonlarında değişiklik görmeyi beklemekte olacağız ve en son hız olarak ışık hızı olarak belirlenirse programın çalışmayacağı bunun için ışık hızına çok yakın bir değer ile denklem çalıştırılır ise Alan simülasyonlarının bozulacağı görülmektedir.



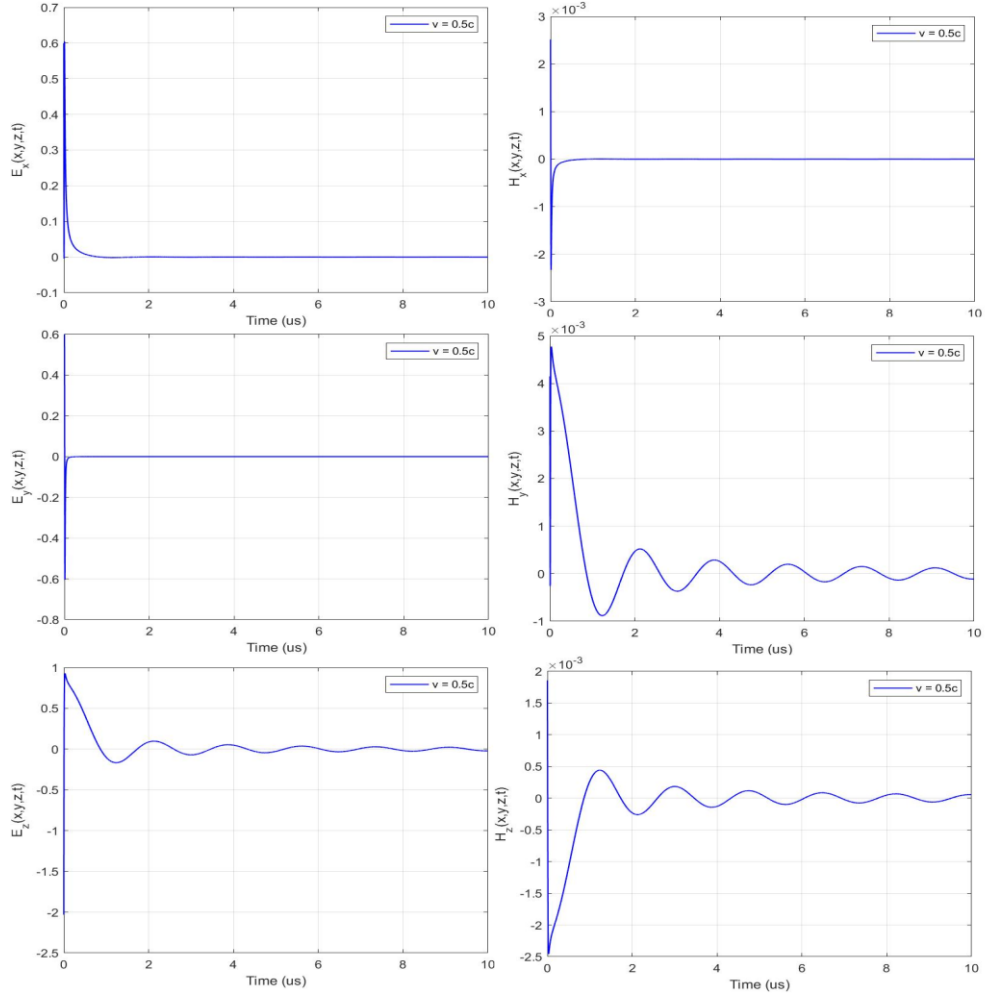
Şekil 4.1 : $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ için $v = 0.0c_0$

Yukarıda belirtilen tüm simülasyon sonuçları durgun haldeki alan yayınımlarını göstermektedir bu yayınımlarda görüldüğü dipol olarak sinüs dalgaları gözükmemektedir. Beklenen sonuç MATLAB programı ile gözlemlenmiştir.



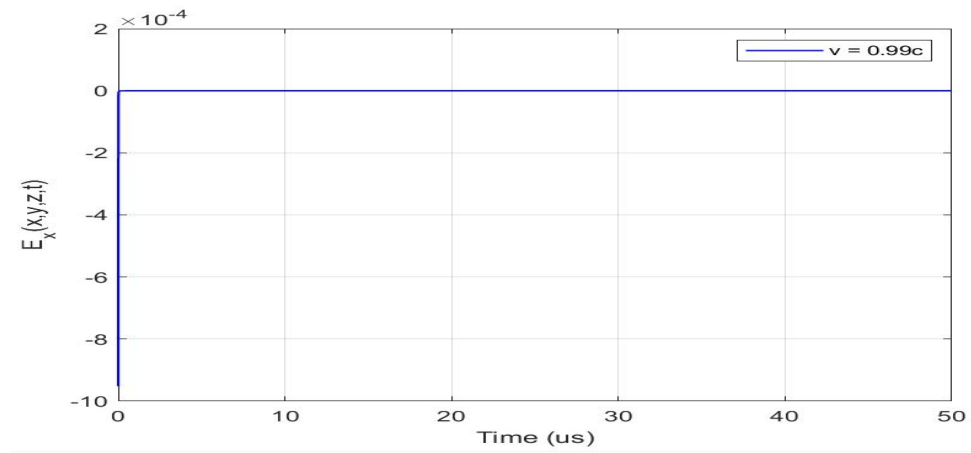
Şekil 4.2 : $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ için $v = 108km/h$

Yukarıda belirtilen tüm simülasyon sonuçları ışık hızına göre çok düşük hız olarak kabul edilen araç hızının alan yayınımlarını göstermektedir. Bu yayınının sonucuna bakıldığında ışık hızına göre yok sayılacak derecede küçük olduğu için durgun alan ifadeleri ile aynı çıkmaktadır.



Şekil 4.3 : $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ için $v = 0.5c_0$

Yukarıdaki simülasyon sonucundan sonra çok yüksek yani ışık hızından sonra herhangi bir simülasyon çalışmadığı gözlemlenmiştir.

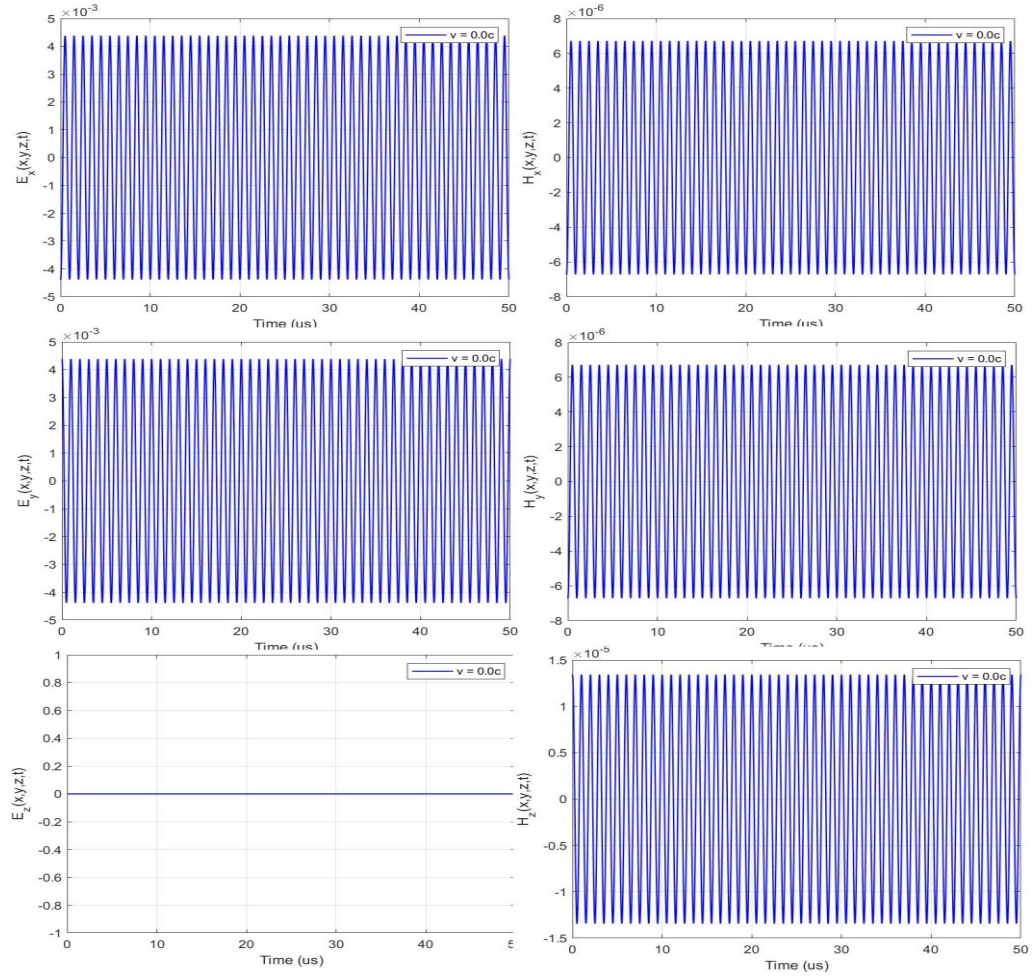


Şekil 4.4 : $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ için $v = 0.99c_0$

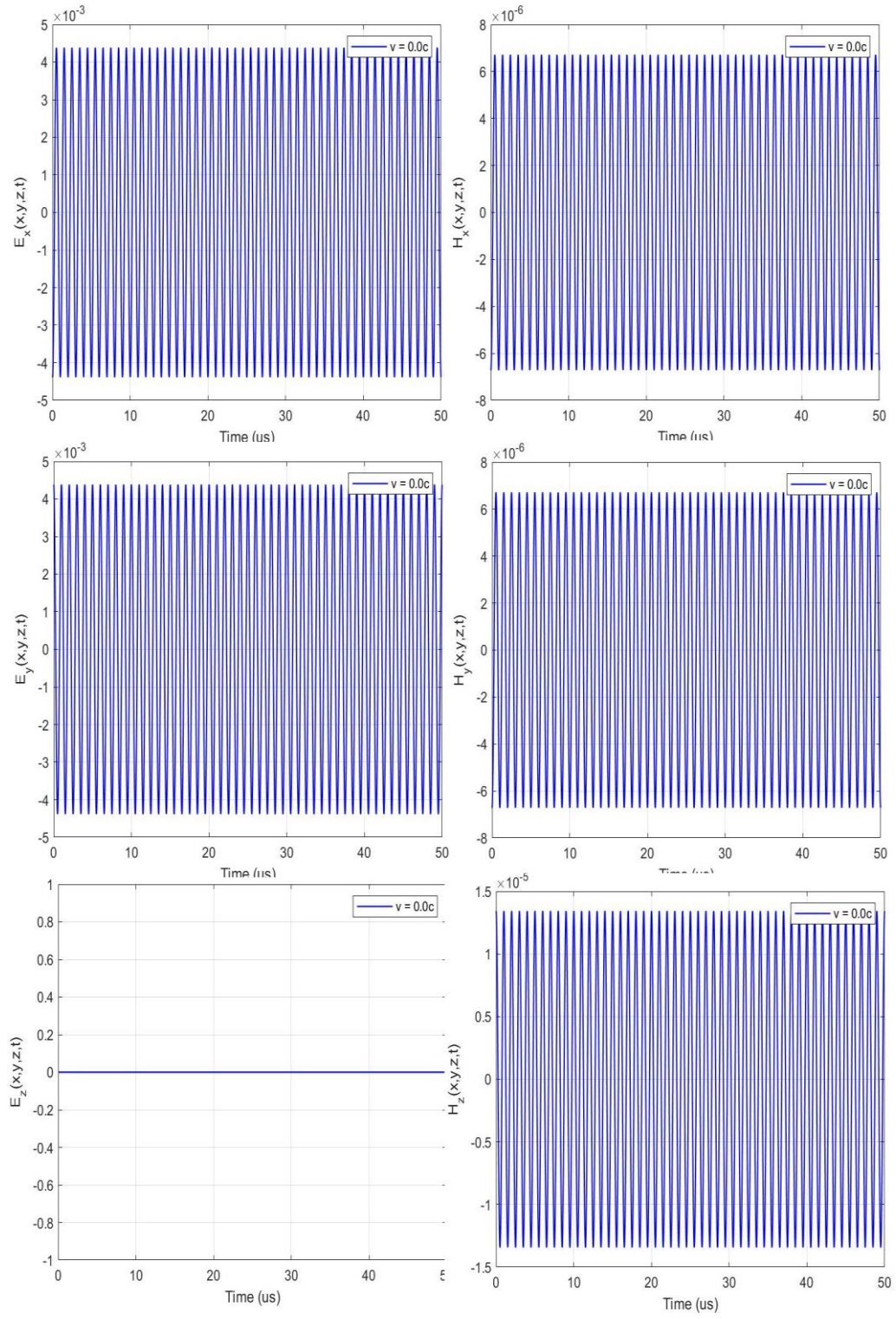
Tüm Elektrik ve Manyetik Alan simülasyonunda ışık hızına yakın simülasyondaki yukarıdaki gibi ifade çıkmaktadır.

4.2 Magnetik Dipol Simülasyon

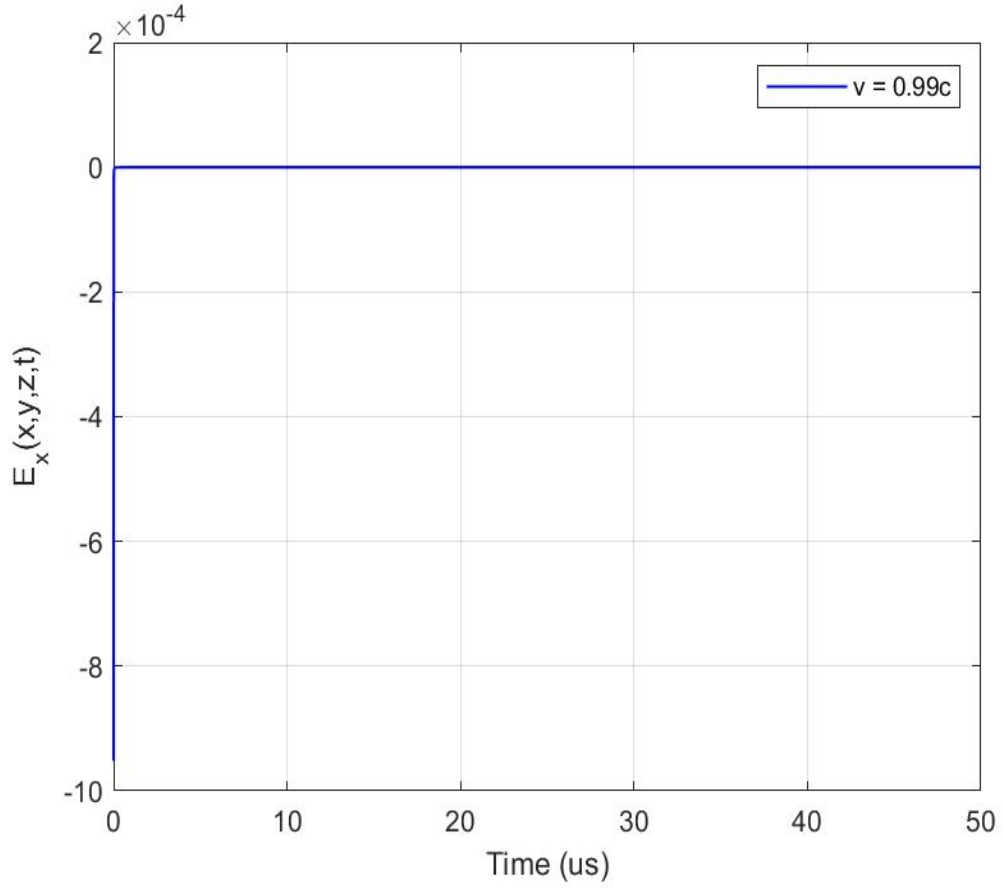
Manyetik Dipol simülasyon çalışmasında hız olarak ilk olarak durgun halde olan dipolün simülasyonu yapıldı ve burada beklenen sonuç dipolün manyetik olarak elektrik ve manyetik alanının sonucunun görünmesidir. Hızı ortalama otomobil hızına getirdiğimizde ışık hızına oran ile çok düşük hızda olacağı beklenmekte ve hız belli bir hıza geldiğinde Elektrik Alan ve Manyetik Alan simülasyonlarında değişiklik görmeyi beklemekte olacağız ve en son hız olarak ışık hızı olarak belirlenirse programın çalışmayacağı bunun için ışık hızına çok yakın bir değer ile denklem çalıştırılır ise Alan simülasyonlarının bozulacağı görülmektedir.



Şekil 4.5 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 0.0c_0$ için



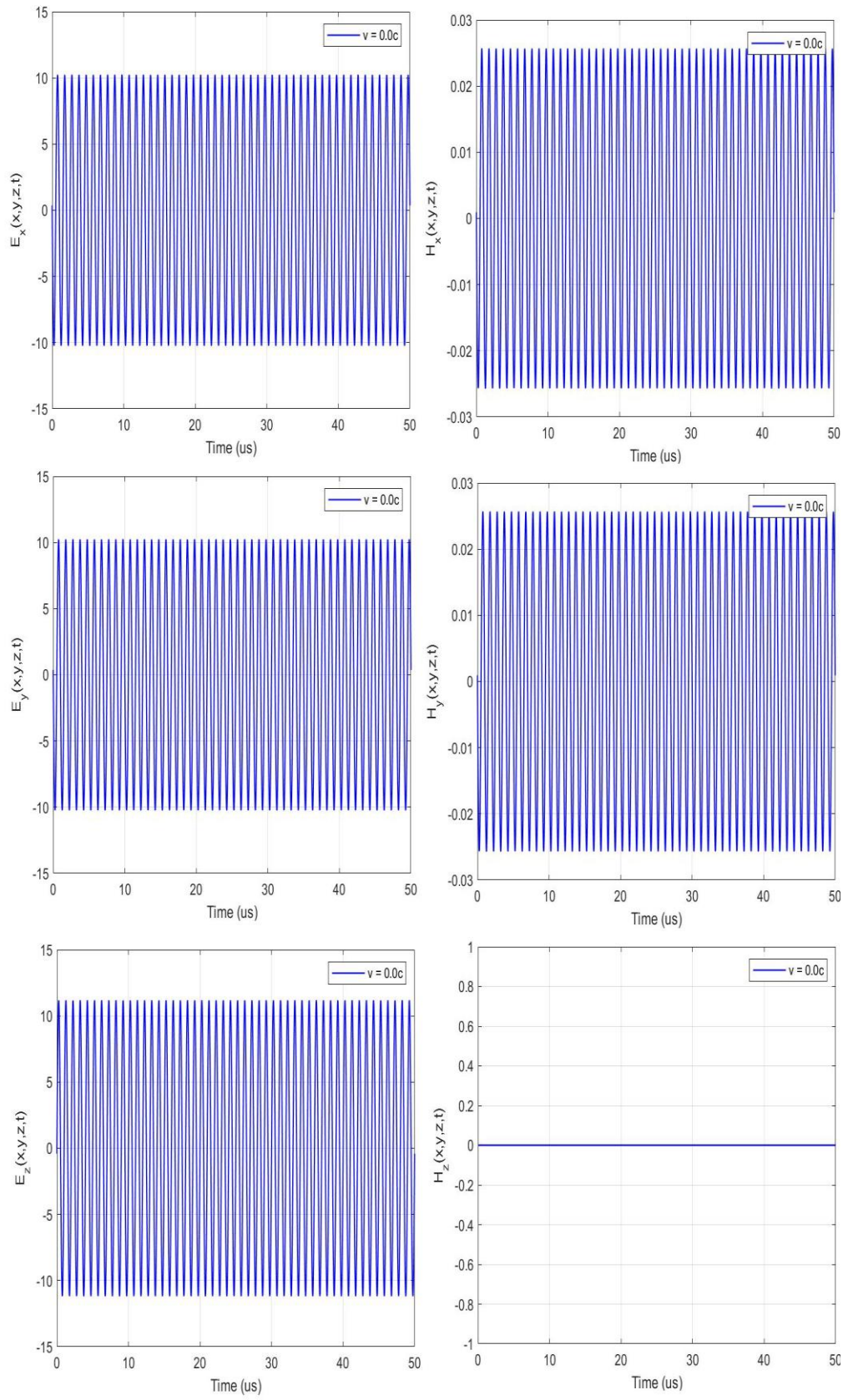
Şekil 4.6 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 108 \text{ km/h}$ için



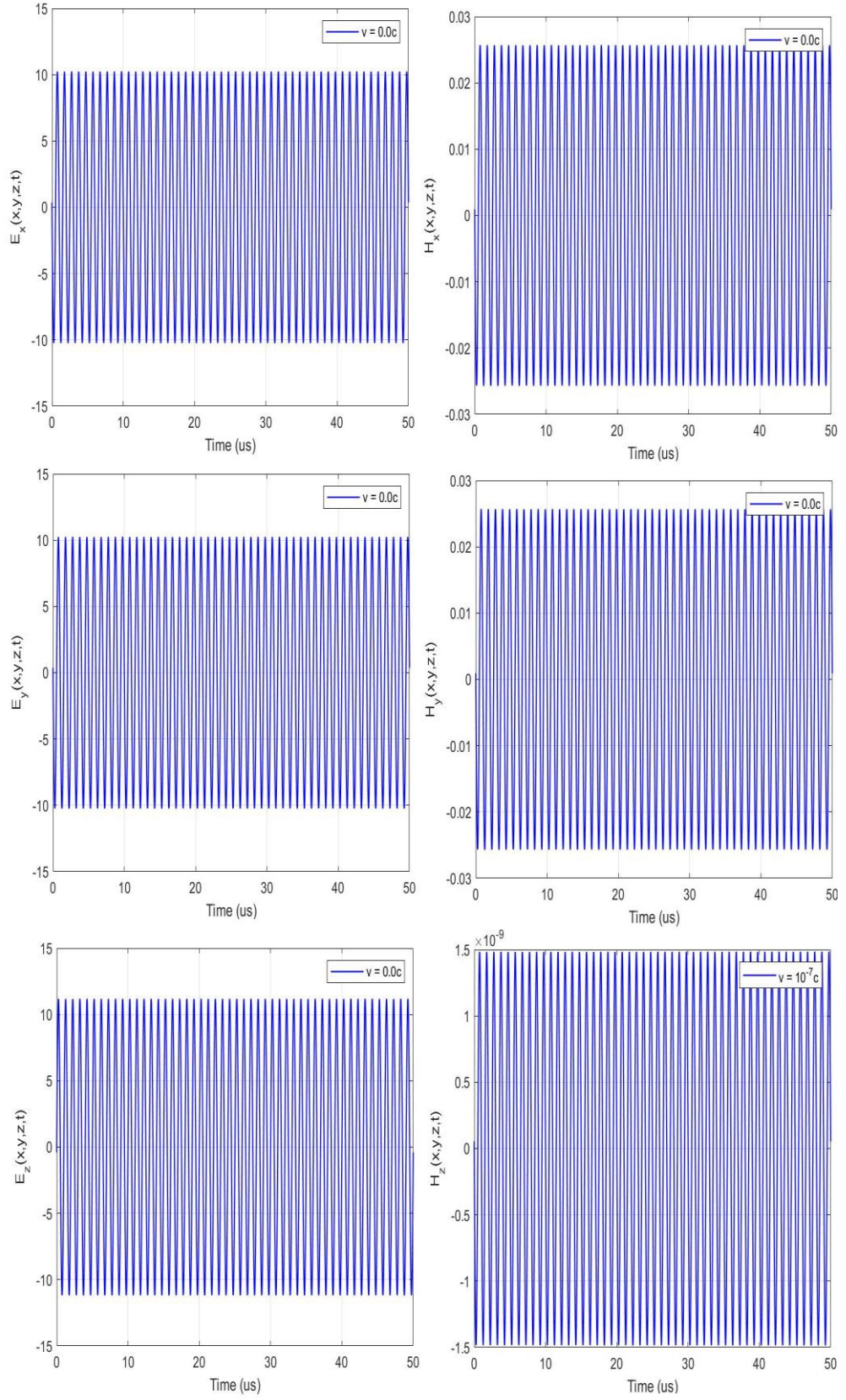
Şekil 4.7 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 0.99c_0$ için

4.3 Sonlu Uzunluklu Dipol Simülasyon

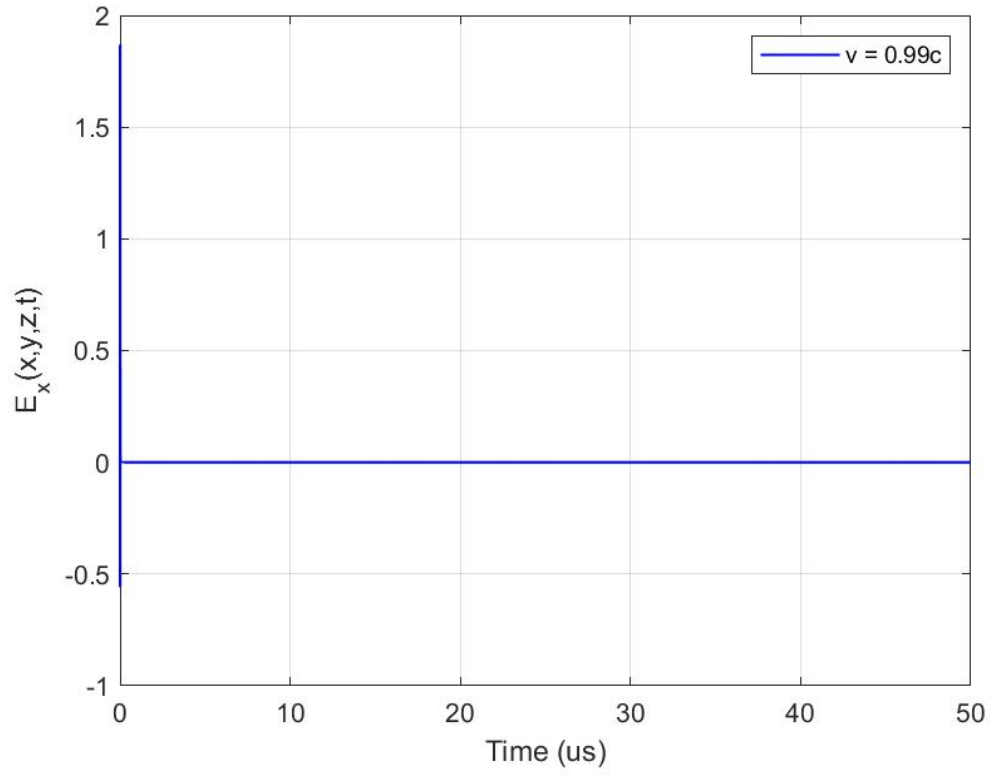
Manyetik Dipol simülasyon çalışmasında hız olarak ilk olarak durgun halde olan dipolün simülasyonu yapıldı ve burada beklenen sonuç dipolün manyetik olarak elektrik ve manyetik alanının sonucunun görünmesidir. Hızı ortalama otomobil hızına getirdiğimizde ışık hızına oran ile çok düşük hızda olacağı beklenmekte ve hız belli bir hız geldiğinde Elektrik Alan ve Manyetik Alan simülasyonlarında değişiklik görmeyi beklemekte olacağız ve en son hız olarak ışık hızı olarak belirlenirse programın çalışmayacağı bunun için ışık hızına çok yakın bir değer ile denklem çalıştırılır ise Alan simülasyonlarının bozulacağı görülmektedir.



Şekil 4.8 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 0.0c_0$ için



Şekil 4.9 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 108 \text{ km/h}$ için



Şekil 4.10 : Elektrik ve Manyetik Alan $v = 0.99c_0$ için

5. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Bu tez çalışmasında K ve K' birbirine göre sabit bir v hızıyla hareket eden iki Galile referans sistemlerinin yaratmış olduğu elektromagnetik alan ifadelerinden biri bilindiği için diğerindeki ifadenin de dönüşüm kuralları ile yazılabileceği gösterildi. Çıkardığımız dönüşüm formülleri, Maxwell denklemlerine ilişkin sınır değer probleminin çözümünün K' de kolay fakat K da çok zor olduğu hallerde, ilgili dönüşümler yapılarak denklem ifadeleri çıkarılmıştır.

K' de bilinen alan denklemleri öncelikle Kartezyen dönüşümler yapılarak Kartezyen koordinatlar da gösterilmiştir. Bu dönüşümler ile denklemler x, y, z ve t cinsinden gösterilmiştir bu dönüşümler monokromatik kaynaklar için ayrı ayrı yapılmıştır. İlgili dönüşümden sonra K' deki bilinen denklemin K bölgesindeki alan olarak ifade edilmesi için Alan Dönüşümü yapılmıştır. Bu dönüşüm ile birlikte K bölgesindeki alan ifadeleri bulunmuştur fakat burada da bu denklemler x', y', z' ve t' olarak ifadelere bağlı denklemler olmuştur bu denklemlerin Lorentz Dönüşümleri uygulanarak x, y, z, t cinsinden denklemler elde edilmiştir.

Uygulanan Alan Dönüşümleri, Lorentz Dönüşümleri ile monokromatik kaynakların v hızı ile hareket halinde iken K bölgesinde oluşacak alan ifadeleri bulunmuştur.

Bu çalışma ile hareketli dipol kaynaklardan olan elemanter dipol, magnetik dipol ve sonlu uzunluklu dipollerin elektrik ve manyetik alan ifadeleri çıkarılmıştır. Çalışma haberleşme mühendisliği ve elektromanyetik alanlarında büyük katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, New York:Wiley, 1982.
- [2] J. Yang and A. Kishk, "A novel low-profile compact directional ultra-wideband antenna: The self-grounded bow-tie antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 3, pp. 1214-1220, Mar. 2012.
- [3] D. Lai, C. Liu, M. D. Eggen, P. A. Iaizzo, B. He, "Equivalent moving dipole localization of cardiac ectopic activity in a swine model during pacing", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14 (6), pp. 1318-1326, 2010
- [4] J. Sarvas, "Basic mathematical and electromagnetic concepts of the biomagnetic inverse problem", *Phys. Med. Biol.* Vol.32, pp. 11-22, 1987
- [5] J. D. Kraus, "Antennas since Hertz and Marconi", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-33, pp. 131-137, Feb. 1985
- [6] S. W. Lee and Y. T. Lo, "Reflection and transmission of electromagnetic waves by moving uniaxially anisotropic medium," *J. Appl. Phys.*, vol. 38, pp. 870–875, 1967.
- [7] O.E.Gawhary, S.Severini, "Degree of paraxiality for monochromatic light beams". *Opt. Letters* 33 (2008) 1360-1362.
- [8] P.Ostlund, A.T.Friberg, "Radiation efficiency of partially coherent electromagnetic beams". *J. Opt. Soc. Am. A*, 18, 1696-1703 (2001).
- [9] C. L. Mak, K. M. Luk, K. F. Lee and Y. L. Chow, "Experimental study of a microstrip patch antenna with an L-shaped probe", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 48, no. 5, pp. 777-782, May 2000.
- [10] J. Yang and A. Kishk, "A novel low-profile compact directional ultra-wideband antenna: The self-grounded bow-tie antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 3, pp. 1214-1220, Mar. 2012.
- [11] B. Polat, "Scattering by a moving circular cylinder in Hertzian electrodynamics," *Selc,uk Journal of Applied Mathematics*, vol. 13, no. 1, pp. 89- 109, 2
- [12] Moeller C., *The Theory of Relativity*, 2nd ed., Oxford University Press, London, 1972.
- [13] Kong, J.A., *Electromagnetic Wave Theory*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1990.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet YEŞİLYAYLA, lisans derecesini 2020 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden almıştır. Arçelik Anonim Şirketine Kıdemli Uzman Mühendis olarak çalışmaktadır. Araştırma alanları elektromanyetik anabilim dalı ile ilgilidir.

TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Yeşilyayla A., Alkumru A., (2023), “ Hareketli Monokromatik Çizgisel Kaynaklara İlişkin Işıma Diyagramlarının Hesabı”, Gebze Teknik Üniversitesi,31 Mayıs-1 Haziran.

Yeşilyayla A., Alkumru A., (2023), “ A Relativistic Study of a Moving Line Source Radiation ”, MIMCS’2022, Antalya-Turkey, 04-05 November,2022.